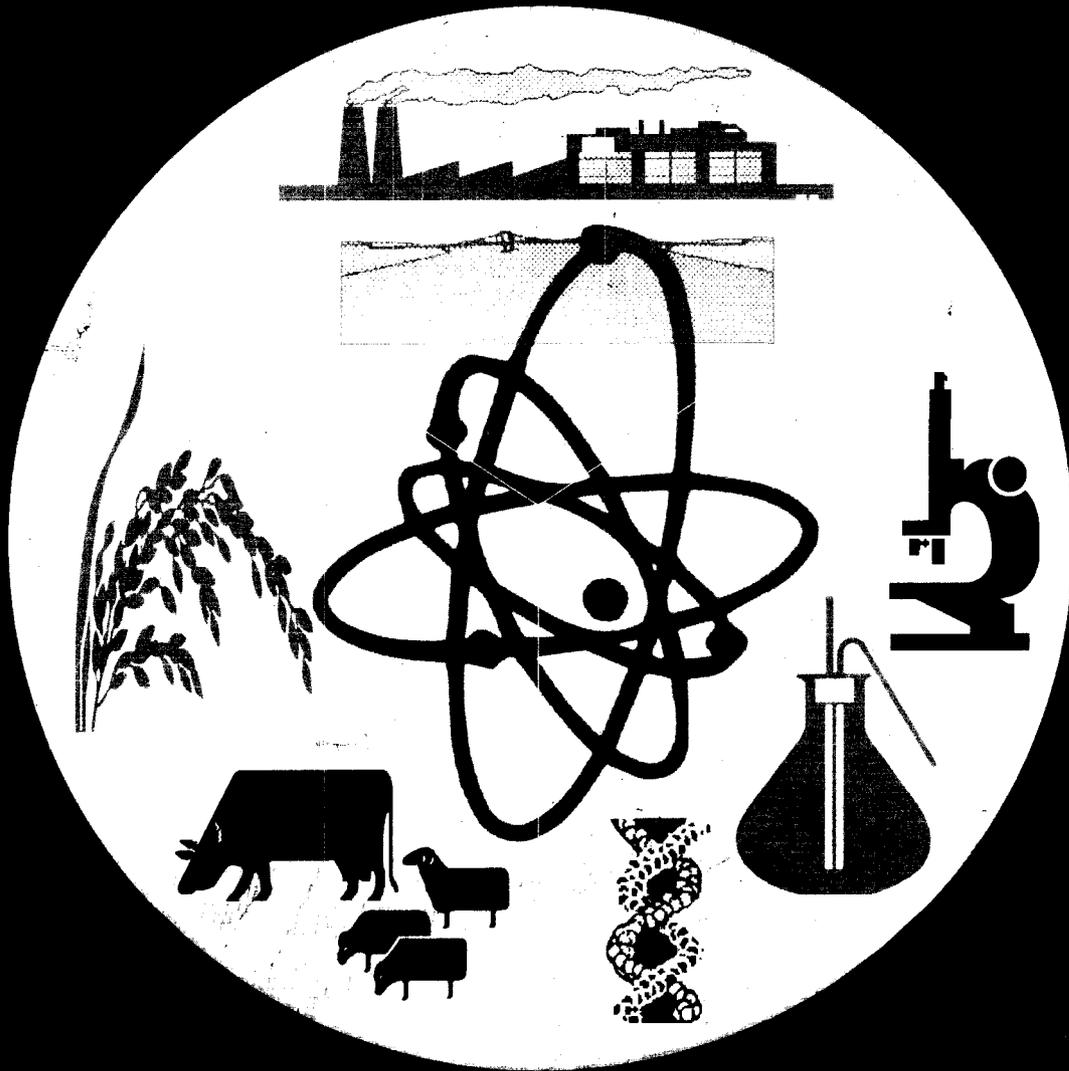




ID0000175

INIS-ID--006

RISALAH PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI



BUKU 2

**KIMIA, LINGKUNGAN,
PROSES RADIASI, DAN INDUSTRI**



BADAN TENAGA ATOM NASIONAL, JAKARTA, 1998

33 / 02

**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
1997/1998**

Jakarta, 18 - 19 Februari 1998

5700 0119 -

1997/1998

2/19/98

NIS-ID-06

BUKU 2

**KIMIA, LINGKUNGAN,
PROSES RADIASI, DAN INDUSTRI**

**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

JL. CINERE PASAR JUMAT KOTAK POS 7002 JKSKL JAKARTA 12070; INDONESIA
TEL. 7690709 - KAWAT/CABLE: JUMATOM - TELEX 47113 CAIRCA IA FAX. 7691607

Penyunting : KPTP PAIR

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Dr. F. Suhadi, APU | Ketua merangkap Anggota |
| 2. Ir. Elsje L. Sisworo, MS, APU | Wakil Ketua merangkap Anggota |
| 3. Ir. Munsiah Maha, APU | Anggota |
| 4. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU | Anggota |
| 5. Dra. Nazly Hilmy, PhD., APU | Anggota |
| 6. Dr. Made Sumatra, MS | Anggota |
| 7. Dr. Ir. Mugiono | Anggota |
| 9. Ir. Wandowo | Anggota |
| 10. Dr. Yanti S. Soebianto | Anggota |

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1998 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 18 - 19 Februari 1998 / Penyunting, F. Suhadi (*et al.*) -- Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, 1998.
2 jil. ; 30 cm

Isi Jil. 1. Pertanian, Peternakan, dan Biologi
2. Kimia, Lingkungan, Proses Radiasi, dan Industri

ISBN 979-95390-6-4 (no. jil. lengkap)

ISBN 979-95390-7-2 (jil. 1)

ISBN 979-95390-8-0 (jil. 2)

1. Isotop - Kongres I. Judul II. Suhadi, F.

541.388

Alamat : Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi
Jl. Cinere Pasar Jumat
Kotak Pos 7002 JKSKL
Jakarta 12070

PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) ke-10 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 18 - 19 Februari 1998 bertujuan untuk menyebarkan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Pertanian, Peternakan, Biologi, Kimia, Lingkungan, Proses Radiasi, dan Industri. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diketahui dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini dihadiri oleh 152 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan dan peneliti, serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintah (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, Puslitbang BULOG, Balitbu Solok, Balittas Malang, Balitbio Bogor, Balitro Bogor, Balitpa Sukamandi, Balithi Jakarta, dan Depkes), Perguruan Tinggi (UPN Yogyakarta, Univ. Borobudur Jakarta, Univ. Diponegoro Semarang, Univ. Brawijaya Malang, Univ. Andalas Padang, Univ. Padjadjaran Bandung, dan IPB Bogor), dan Swasta (PT. Perkasa Sterilindo dan PT. Pfizer Indonesia).

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas enam makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior. Selanjutnya, dibahas sebanyak 51 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam empat kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Penerbitan risalah pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Penyunting,

**PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK**

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah	v
Sambutan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional	vii

MAKALAH UNDANGAN

Program Strategis BATAN dalam Aplikasi Teknik Nuklir IYOS R. SUBKY	1
Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Hidup RTM. SUTAMIHARDJA	3
1001 Aplikasi Teknik Nuklir dalam Masalah Pencemaran Lingkungan MADE SUMATRA	7
1002 Status Iradiasi Pangan Saat ini dan Arah Pengembangannya MUNSI AH MAHA	15
1003 Program Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi di PAIR-BATAN dalam Pelita VII F. SUHADI	23
1004 Teknologi dan Aplikasi Pemercepat Elektron M. NATSIR	37

MAKALAH PESERTA (KIMIA, LINGKUNGAN)

1235 Pengaruh iradiasi gamma pada zat warna basa <i>maxilon blue</i> dalam air WINARTI ANDAYANI, AGUSTIN S.M. BAGYO, ERMIN K. WINARNO, dan HENDIG WINARNO	47
1240 Pengurangan warna dan penguraian zat warna <i>direct black 22</i> dalam air dengan iradiasi gamma dan aerasi ERMIN K. WINARNO	55
1250 Karakterisasi panasbumi di daerah Sumatra dan Sulawesi Utara dengan menggunakan geotermometer T $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ ZAINAL ABIDIN, WANDOWO, R. RISTIN P.I., DJIONO, dan ALIP	65
1260 Metode ekstraksi sulfur dengan pereaksi kiba untuk penentuan isotop sulfur-34 EVARISTA RISTIN P.I., ZAINAL ABIDIN, DJIONO, dan JUNE MELLAWATI	73
1270 Estimasi laju erosi menggunakan isotop alam ^{137}Cs NITA SUHARTINI, ELLIOT, G.L., MILNE, A.T., dan WAI ZIN OO	81
1280 Penentuan parameter penyebaran polutan radioaktif di dalam air tanah P. SIDAURUK, BAROKAH A., SYAFALNI, dan WIBAGIYO	89
1290 Analisis unsur dalam contoh debu udara di Jakarta secara spektrometri pendar sinar-X YUMIARTI, M. YUSUF, JUNE MELLAWATI, YULIZON MENRY, dan SURTIPANTI, S.	95
1300 Penentuan impuritas dalam pengukuran aktivitas radionuklida dengan menggunakan detektor non diskriminasi NAZAROH dan DADONG ISKANDAR	101

Distribusi unsur pada sedimen danau Sunter Jakarta JUNE MELLAWATI, YUMIARTI, YULIZON MENRY, SURTIPANTI, S., dan TOMI HUTABARAT	107
Konsentrasi strontium-90 pada beberapa jenis sayuran di Jawa Timur EMLINARTI, TUTIK INDIYATI, dan MINARNI AFFANDI	117
Pengaruh musim panas dan musim hujan terhadap aplikasi formulasi terkendali dimetoat pada tanaman kedelai ULFA T. SYAHRIR, ALI RAHAYU, M. SULISTIYATI, SOFNIE M.Ch., DAN M. SUMATRA	123
MAKALAH PESERTA (PROSES RADIASI DAN INDUSTRI)	
Analisis termogravimetri polimer campuran akrilat-vinil eter hasil "curing" secara radiasi SUGIARTO DANU dan TAKASHI SASAKI	127
Karakterisasi hidrogel poli (vinil alkohol) (PVA) hasil polimerisasi radiasi ERIZAL dan RAHAYU C.	137
Efek radiasi terhadap matriks campuran PP/PMMA dan PP/PP-g-PMMA MARSONGKO dan YANTI S. SOEBIANTO	145
Pengaruh emulsifier pada kestabilan lateks LA-TZ iradiasi MADE SUMARTI K., MARGA UTAMA, dan TITA PUSPITASARI	153
Mempertahankan mutu makanan tradisional dodol kombinasi iradiasi dan pengemas modifikasi atmosfer RINDY P. TANHINDARTO	161
Efek monomer polifungsional pada sifat fisik bahan PVC iradiasi ISNI MARLIJANTI, ANIK SUNARNI, dan GATOT T.M.R.	169
Karakterisasi polietilen densitas rendah iradiasi KADARIJAH, ISNI MARLIJANTI, dan ANIK SUNARNI	177
Pelapisan permukaan parket kayu kelapa (<i>Cocos nucifera</i> L.) dengan teknik radiasi menggunakan resin epoksi akrilat dan poliester tak jenuh DARSONO, SUGIARTO DANU, dan ANIK SUNARNI	185
Pengaruh sterilisasi radiasi pada kandungan radikal bebas dalam bahan minuman kering NUR HIDAYATI, SUTJIPTO SUDIRO, dan MUNSIAH MAHA	191
Pelapisan permukaan kayu jeungjing (<i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen) menggunakan resin akrilat dengan teknik radiasi GATOT SUHARIYONO, SUGIARTO DANU, dan MONDJO	199
Pemantauan total alfa di udara dan paparan radiasi gamma di kawasan dan sekitar pusat pembangkit listrik tenaga uap paiton SUTARMAN dan ASEP WARSONA	211
TL dan PTTL pada kuarsa : dosimetri dosis tinggi untuk proses radiasi MUHAMMAD FATHONY	219
Penentuan lokasi rembesan pada dasar bendungan dengan teknik radioisotop di bendungan Ngancar, Wonogiri WIBAGIYO, INDROYONO, ALIP, BUNGKUS P., dan HARYONO	229

**LAPORAN PANITIA PELAKSANA
PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI X PAIR-BATAN DI JAKARTA
Tanggal 18 - 19 Februari 1998**

Yang terhormat,

Bapak Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional, para Deputi Direktur Jenderal, Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, serta para peserta Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi yang berbahagia.

Pada kesempatan ini perkenankanlah kami selaku Panitia Penyelenggara menyampaikan laporan pelaksanaan Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi ke 10 yang diselenggarakan pada tanggal 18 - 19 Februari 1998.

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, tujuan utama pertemuan ini ialah untuk menyebarluaskan hasil penelitian yang telah dicapai oleh PAIR agar dapat dimanfaatkan secara maksimal bagi yang memerlukannya. Selain itu, diharapkan melalui pertemuan ini para peneliti dalam dan luar PAIR dapat saling bertukar informasi, sehingga dimasa yang akan datang dapat melakukan penelitian yang lebih baik melalui kerja sama pada jalur formal dan informal.

Berbeda dari pertemuan-pertemuan sebelumnya, kali ini kami melaksanakannya dengan segala keterbatasan dana. Dalam keadaan krisis keuangan yang dialami oleh semua instansi dan lembaga penelitian, kami masih dapat melaksanakan pertemuan ilmiah ini. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berupaya mendanai. Dengan ini pula kami menghimbau para peserta untuk dengan penuh antusias mengikuti seluruh persidangan yang ada.

Pada pertemuan kali ini telah terdaftar 132 orang, dengan rincian 60 orang pembawa makalah dan 72 orang peserta peninjau. Makalah yang dipresentasikan terdiri dari 6 makalah undangan, dan 54 makalah biasa (sudah termasuk didalamnya 8 makalah poster).

Tata cara persidangan, persidangan dibagi atas sidang pleno dan sidang kelompok yang masing-masing dilaksanakan pada hari ini dan besok. Sidang kelompok

terdiri dari 4 kelompok, yaitu pertanian, peternakan dan biologi, kimia dan lingkungan, serta proses radiasi dan industri. Presentasi poster diadakan pada esok hari sebelum sidang kelompok, yaitu dari pukul 8.15 sampai dengan pukul 9.00. Para peserta diharapkan untuk mengikuti seluruh persidangan. Karena keterbatasan dana, makalah undangan tidak dapat dibagikan. Bagi peserta yang memerlukan supaya menghubungi panitia.

Bagi para pembawa makalah dan team pemeriksa makalah, kami sangat mengharap pengertiannya supaya menyelesaikan makalah secepat mungkin. Untuk mempermudah dan mempercepat penerbitan prosiding, penyerahan makalah lengkap beserta disket paling lambat tanggal 8 Mei 1998 harus sudah sampai ditangan panitia. Bagi peserta dari luar kota, mohon diperhatikan, bukan cap pos.

Pada akhirnya, sekali lagi panitia mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah bersusah payah mengusahakan terselenggaranya pertemuan ini. Panitia juga mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekurangan dan kesalahan baik sengaja maupun tidak dalam pelaksanaan pertemuan ini.

Demikianlah laporan kami, semoga pertemuan ilmiah APISORA X ini bermanfaat bagi kita semua.

Selamat bersidang dan bertukar informasi. Terima kasih.

Jakarta, 18 Februari 1998
Ketua Panitia
Pertemuan Ilmiah Penelitian dan
Pengembangan Aplikasi Isotop
dan Radiasi X

Dr. YANTI S. SOEBIANTO

**SAMBUTAN
DIREKTUR JENDERAL
BADAN TENAGA ATOM NASIONAL**

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Para Undangan, Peserta Pertemuan Ilmiah dan Hadirin yang saya hormati.

Alhamdulillah, pagi hari ini kita bersama-sama dapat berkumpul lagi di tempat ini untuk mengikuti acara pembukaan pertemuan ilmiah "Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi" yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN selama 2 hari, dari tanggal 18 sampai dengan 19 Februari 1998. Pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi ini sudah merupakan salah satu acara kegiatan tahunan PAIR. Pertemuan yang sebentar lagi akan resmi dibuka ini adalah merupakan pertemuan yang kesepuluh kalinya. Pada pertemuan-pertemuan yang lalu juga sudah dibahas berbagai hasil penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi diberbagai bidang. Pada pertemuan ini akan dibahas hasil-hasil penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi dalam bidang pertanian, peternakan, biologi, kimia, lingkungan, proses radiasi, dan industri.

Hadirin yang saya hormati,

Pertemuan seperti ini sangat penting artinya bagi ilmuwan sebagai ajang tukar menukar informasi, berbagai pengalaman untuk memperluas cakrawala serta wawasan masing-masing. Dengan saling membuka diri, dan mengemukakan "interest" masing-masing, memungkinkan untuk terbukanya peluang kerja sama antara satu peneliti dengan peneliti lainnya baik dalam satu instansi maupun berbeda instansi untuk mewujudkan hasil yang lebih besar dan lebih bermanfaat. BATAN melalui Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi ditugasi untuk mengembangkan aplikasi isotop dan radiasi diberbagai bidang untuk tujuan kesejahteraan umat manusia. Beberapa penelitian dan pengembangan ini sudah ada hasilnya dan bahkan sudah ada yang dapat dimasyarakatkan baik berupa paket teknologi, produk, informasi maupun metodologi. Hasil-hasil tersebut mungkin dapat Saudara ikuti melalui pemaparan di dalam sidang-sidang kelompok nantinya.

Selain dari hasil tersebut, pengetahuan, keahlian, dan pengalaman yang dimiliki oleh para peneliti serta tersedianya fasilitas penelitian yang makin bertambah baik merupakan modal yang sangat penting untuk melanjutkan kegiatan-kegiatan penelitian untuk mencapai hasil yang lebih baik dimasa mendatang.

Hadirin yang terhormat,

Beberapa bulan belakangan ini negara kita dilanda krisis moneter yang tentunya sangat berpengaruh terhadap kemampuan negara dalam menyediakan dana bagi pembangunan. Menurunnya kemampuan ini ditandai dengan adanya penjadwalan kembali beberapa proyek pembangunan dan dampaknya juga dirasakan oleh para peneliti yang menerima dana penelitian semakin mengecil akibat apresiasi nilai rupiah tersebut. Sudah saatnya para peneliti meningkatkan kegiatan kemitraan dengan pihak luar sebagai pengguna akhir hasil penelitian ataupun dengan mitra dari berbagai instansi terkait sehingga dicapai sinergisme kegiatan. Kita tidak dapat lagi bergantung kepada sumber dana tradisional, yaitu dana yang diperoleh melalui DIP/DIK.

Walaupun begitu saya yakin para peneliti akan mampu menghadapi masalah ini secara bijaksana melalui penyusunan kembali kegiatan penelitiannya berdasarkan skala prioritas masing-masing.

Hadirin yang saya hormati,

Pada kesempatan ini saya juga ingin menyampaikan penghargaan kepada semua peserta pertemuan ilmiah ini, terutama kepada peserta dari luar BATAN yang telah berpartisipasi dalam mensukseskan pertemuan ini. Selamat berseminar, semoga seminar ini berjalan lancar, sukses dan memberikan manfaat untuk kita semua.

Akhirnya dengan mengucapkan "Bismillahirrohmanirrohim" pertemuan ilmiah "Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi" ini secara resmi saya nyatakan dibuka.

Atas perhatian para hadirin saya ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Jakarta, 18 Februari 1997

DIREKTUR JENDERAL
BADAN TENAGA ATOM NASIONAL

Ir. M. IYOS R. SUBKI, M.Sc

PROGRAM STRATEGIS BATAN DALAM APLIKASI TEKNIK NUKLIR

M. Iyos R. Subki

Badan Tenaga Atom Nasional

PENDAHULUAN

Indonesia adalah suatu negara kepulauan yang berada pada posisi yang sangat strategis di daerah khatulistiwa, yaitu menghubungkan benua Australia dan Asia dan samudra Pasifik dan Hindia. Iklimnya yang menyenangkan, kekayaan alamnya yang beragam serta jumlah penduduknya yang melebihi 200 juta, menjadikan Indonesia sebagai suatu negara yang mempunyai potensi besar dalam sumber daya manusia (SDM) dan sumber daya alam (SDA) untuk berkembang menjadi negara kuat di kawasan Asia-Pasifik.

Menghadapi Era Globalisasi yang akan dimulai pada permulaan abad ke-21, yang ditandai dengan era perdagangan bebas, investasi bebas serta ketenaga kerjaan bebas, negara-negara yang kurang mampu mengembangkan dan memanfaatkan IPTEK untuk mengembangkan ekonomi nasionalnya akan menghadapi kesulitan untuk bersaing. Pengalaman menunjukkan bahwa pada zaman sulit sekarang ini industri yang menggunakan bahan baku impor tidak kompetitif dan sukar bersaing dengan industri yang menggunakan bahan baku lokal.

BATAN adalah lembaga pemerintah yang khusus menangani IPTEK nuklir, yang harus menjawab tantangan bagaimana BATAN melalui IPTEK nuklir dapat meningkatkan pengabdian untuk keselamatan, kesehatan dan kesejahteraan bangsa melalui pemanfaatan potensi yang dimilikinya. Untuk menunjang program yang kompetitif dan komparatif, mutlak diperlukan suatu rumusan VISI BATAN yang realistis berdasarkan tugas dan fungsi BATAN menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 10/1997 tentang Ketenaganukliran, yang diikuti oleh rumusan rencana strategis (Renstra) yang memuat sasaran-sasaran jangka panjang serta strategi pencapaiannya dengan tahapan-tahapan yang jelas. Renstra tersebut dijabarkan dalam bentuk program lima tahunan dan program tahunan.

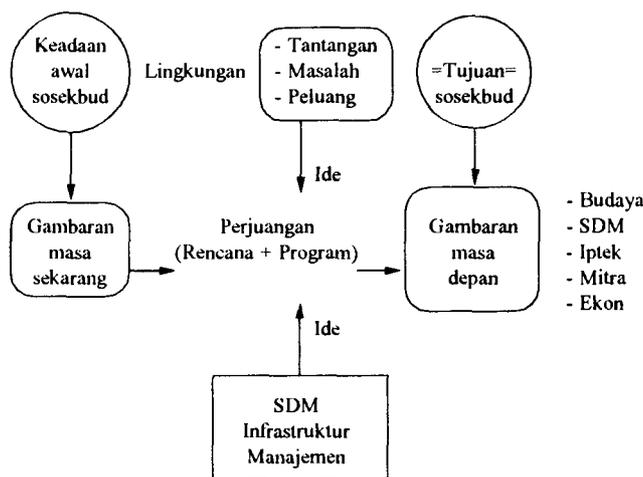
Rencana strategis Aplikasi Teknik Nuklir, haruslah dikembangkan berdasarkan skenario yang menggambarkan keadaan masa sekarang, dan keadaan yang ingin dicapai di masa depan dengan tahapan yang menjelaskan rencana jangka pendek, menengah dan panjang. Karakterisasi yang dipakai adalah : budaya, sumber daya manusia, iptek dan kesejahteraan. Dalam mencapai sasaran yang diinginkan pelaksanaan program haruslah ditunjang dengan jaringan informasi yang luas yang meliputi :

- Jaringan informasi intern Organisasi
- Jaringan informasi skala Nasional
- Jaringan informasi skala Internasional

Untuk memperjelas penjabaran program strategis BATAN dalam Aplikasi Teknik Nuklir, dibahas masalah-masalah sebagai berikut :

PENGEMBANGAN KEBIJAKSANAAN APLIKASI TEKNIK NUKLIR ABAD-21

Penjelasan mengenai kebijaksanaan Aplikasi Teknik Nuklir tersebut terlihat pada Gambar 1, yang meliputi karakter : Sosial ekonomi budaya (Sosekbud), SDM, Iptek dan Mitra kerja yang diharapkan potensial menjadi pengguna hasil. Program menetapkan kondisi yang akan dicapai yang didasarkan kepada kondisi karakter sekarang dengan memasukkan parameter yang mempengaruhi seperti Infra Struktur dan Manajemen serta jangka waktu pencapaian.



Gambar 1.

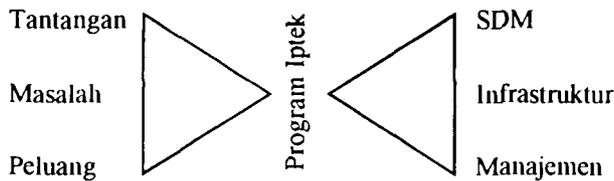
Karakterisasi

Masa depan dan kondisi sosial, ekonomi serta budaya (sosekbud) yang diharapkan dijelaskan sebagai berikut :

- Budaya : Waktu, kerja, ilmu, litbang, industri, *teamwork*
- SDM : Kreativitas litbang, inovasi industri, manajemen, integritas yang tinggi dengan intaq (iman dan taqwa)
- Iptek : Ilmu → teknologi → industri
 - produk kualitas tinggi :
 - inovasi industri → hasilguna
 - jasa kualitas tinggi
- Mitra : - industri → usaha bersama yang saling menguntungkan
 - lembaga
 - hubungan internasional
- Sosek : $\frac{\Delta I}{I} > \text{inflasi}$

Program Iptek

Rumusan program Iptek yang akan dikembangkan harus dicari dari tantangan, masalah dan peluang dengan didukung oleh SDM, infrastruktur dan manajemen seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2.

Kita ingin mengembangkan Iptek yang dapat mencapai situasi masa depan yang diharapkan, yaitu tercapainya tujuan dan sasaran yang diinginkan.

Dimensi Iptek Nuklir Abad-21

- Landasan Ilmu Dasar (Fisika, Kimia, Biologi, Informatika) yang kuat.
- Instrumentasi dan Alat yang canggih seperti : Mesin pemercepat zarah, Mesin berkas ion, Reaktor plasma.
- SDM yang unggul.

PROGRAM JANGKA PENDEK DAN JANGKA PANJANG APLIKASI TEKNIK NUKLIR ABAD-21

Program meliputi bidang-bidang sebagai berikut :

Pertanian Berkelanjutan

- Mutasi tanaman pangan, untuk jangka panjang juga dilakukan untuk tanaman industri dan hortikultura sesuai permintaan pasar. Penelitian biologi molekular mulai diaktifkan.
- *Sterile Insect Technique* (SIT) dengan radiasi. Terutama ditekankan untuk menunjang program nasional (serangga lokal).
- Peternakan, terutama untuk menunjang program nasional di bidang peternakan seperti mencari komposisi baru makanan tambahan, radiovaksin, inseminasi, dll.
- Pengawetan makanan sesuai permintaan pasar. Dikembangkan pemakaian Mesin Berkas Elektron di samping sinar gamma.

Memperbaiki Kesehatan Manusia

- Biologi radiasi terapan dan terapi radiasi untuk berbagai penyakit (kanker, efek *mutagenic*, dan *carcinogenic* dari radiasi dosis rendah dan zat kimia beracun akibat siklus radiasi, dll).
- Kedokteran nuklir untuk diagnostik (fungsi otak dan jantung, hipotiroid untuk bayi, biologi molekular, dll).
- Senyawa bertanda untuk kedokteran nuklir dan biomolekul bertanda untuk biologi molekular.
- Sterilisasi radiasi produk kesehatan dan jaringan biologi.
- Penelitian nutrisi memakai perunut.
- Penelitian lingkungan (penelitian polusi dengan teknik nuklir dan perunut).

Suplai Air Berkelanjutan

- Pendekatan model untuk penelitian : sumber, dinamik, polusi air tanah.
- Pendekatan model penelitian pengaruh air permukaan dan sedimen.
- Pendekatan model untuk intrusi air laut.
- Desalinasi air laut dengan reaktor nuklir.

Lingkungan Kelautan yang Bersih dan Aman

- Melakukan kajian dan pemantauan aspek pencemaran bahan radioaktif pada lingkungan kelautan (*cleaner marine environment*)
- Penelitian ekologi di sekitar lokasi instalasi nuklir dan instalasi pengolahan limbah radioaktif.

Jasa dan Produk dari Aplikasi Teknik Nuklir

Pertanian, industri, dan kesehatan : Jasa seperti sterilisasi, pengawetan makanan dan kosmetika dengan radiasi, NDT, gauging, dan perunut dalam industri dan geotermal, kedokteran nuklir, analisis bahan, pelapisan permukaan, *shrinkable materials*, dll.

Produk seperti : radioisotop, radiofarmaka, dan biomolekul bertanda, RIA, IRMA, mutan tanaman, radiovaksin, pakan ternak, peralatan kedokteran nuklir, lateks alam iradiasi, jaringan biologi untuk implantasi (tulang dan amnion).

Jasa konsultasi dan pendidikan.

Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Industri dan Lingkungan

- Proses radiasi untuk produksi material baru, menggunakan Mesin Berkas Elektron sesuai permintaan pasar, terutama menggunakan *indigenous materials*.
- Uji tak rusak untuk kendali mutu.
- *Nucleonic control system* untuk peningkatan efisiensi proses (*process control and optimization*).
- Perunut untuk peningkatan efisiensi proses dan diagnosis untuk kerja peralatan proses.
- Pengolahan limbah dan bahan pencemar non radioaktif (membersihkan gas buang industri dan bahan beracun lainnya dengan Mesin Berkas Elektron).
- Teknik nuklir untuk analisis polutan.
- Aplikasi isotop untuk pengembangan sumber daya alam (panas bumi dan minyak bumi, dll).

Dokumentasi Kegiatan dan Penyebarluasan Hasil yang Diperoleh

- Semua hasil penelitian harus didokumentasikan dengan baik menurut sistem terbaru.
- Penyebarluasan hasil dilaksanakan menurut sistem informasi yang canggih.

KESIMPULAN

Dari uraian Program Strategis Batan dalam Aplikasi Teknik Nuklir dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Program haruslah didasarkan pada pemecahan masalah dengan memperhatikan kondisi SDM, Infrastruktur dan dilaksanakan menurut sistem manajemen yang baik.
- Tujuan program adalah untuk kesejahteraan masyarakat, yaitu *impact* sosial-ekonomi dengan memperhatikan lingkungan dan budaya.
- Dalam menyusun dan melaksanakan program, haruslah bertumpu pada U.U. No. 10/1997 tentang Ketenaganukliran.

KEBIJAKAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

RTM. Sutamihardja

Staf Ahli Menteri Lingkungan Global, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup

Dalam Repelita I pertumbuhan ekonomi masih sangat bergantung pada penyediaan sumberdaya alam dan jasa lingkungan hidup seperti bahan galian, hasil lautan, hutan, lahan subur, keindahan alam, dan sumber daya air. Potensi sumber alam dan lingkungan tersebut masih amat sedikit yang sudah dikenali. Sementara itu, pertumbuhan ekonomi masih memerlukan lebih banyak sumber alam dan jasa lingkungan hidup. Oleh karena itu, sasaran penting dalam pembangunan lingkungan hidup adalah meningkatnya pengenalan jumlah dan mutu sumber alam serta jasa lingkungan yang tersedia di alam, pengenalan tingkat kerusakan, penggunaan, dan kemungkinan pengembangannya. Sasaran ini erat kaitannya dengan pengembangan sistem tata guna sumber alam yang lebih adil dan lebih merata. Pengenalan daya dukung lingkungan yang tepat akan membantu pencapaian sasaran penataan ruang yang lebih efisien, efektif, dan berwawasan lingkungan. Alokasi kegiatan pembangunan ke dalam ruang yang tepat berdasarkan daya dukung lingkungan akan lebih mudah dilakukan.

Berbagai sumber alam telah digunakan dalam pembangunan selama ini. Karena kurang hati-hati dalam pemanfaatannya, banyak sumberdaya alam dan lingkungan hidup yang makin menurun jumlah dan mutunya, sehingga manfaatnya makin berkurang. Sementara itu, di masa depan pembangunan akan makin beranekaragam dan memerlukan dukungan sumber alam dan lingkungan yang lebih beranekaragam pula. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan sumber alam dan lingkungan hidup yang masih utuh agar kesempatan bagi pembangunan yang lebih beranekaragam di masa depan tidak berkurang. Dalam hubungan itu, perlu disisihkan sebagian dari ekosistem alam yang masih utuh dijadikan kawasan konservasi alam, yang diperlukan sebagai penyediaan plasma nutfah guna pembudidayaannya di masa depan, misalnya dengan rekayasa genetik.

Dalam Repelita VI kurang lebih 10 persen dari ekosistem alam perlu disisihkan untuk keperluan tersebut, dalam bentuk suaka alam, suaka margasatwa, taman nasional, hutan lindung, dan sebagainya.

Di samping itu, dipelihara pula keanekaragaman hayati yang terdapat di luar kawasan konversi di daerah pedesaan dan lain-lain. Terpeliharanya kawasan konversi, hutan lindung, keanekaragaman hayati, dan ekosistem khusus. Wilayah daerah aliran sungai (DAS), terumbu karang dan hutan bakau merupakan sasaran yang penting bagi pembangunan dan perlindungan lingkungan.

Kemampuan sistem pengelolaan lingkungan hidup menentukan keberhasilan upaya pelestarian fungsi lingkungan. Sistem pengelolaan ini terdiri dari organisasi dan tata cara, mulai dari pusat sampai ke daerah. Dalam bentuk ini, juga termasuk institusi dan organisasi pemerintah, dunia usaha, dan masyarakat. Pada waktu ini

kerusakan lingkungan hidup sering kali disebabkan oleh sistem pengelolaan yang belum efektif dan efisien. Oleh karena itu, sasaran pengelolaan lingkungan hidup lainnya adalah terbentuknya sistem kelembagaan yang lebih efisien dan efektif, mulai dari tingkat pusat sampai ke daerah, baik dalam lingkungan pemerintah, dunia usaha maupun organisasi masyarakat. Sasaran ini mencakup pula terbentuknya kelembagaan dalam sistem pembiayaan lingkungan hidup, organisasi pelaksanaan dan pengawasan dan sistem informasi serta komunikasi sosialnya. Dengan sistem pengelolaan yang efektif, peran serta masyarakat dalam pembangunan lingkungan hidup akan meningkat.

Kerusakan sumber alam dan pencemaran lingkungan hidup pada umumnya disebabkan oleh kegiatan pembangunan yang kurang memperhatikan daya dukung lingkungan hidup. Limbah industri dan rumah tangga yang langsung dibuang ke dalam sungai dan sistem perairan alamiah atau ke udara menimbulkan biaya sosial yang makin besar bagi masyarakat baik dalam bentuk biaya untuk kesehatan, menurunnya produktivitas dan pendapatan karena sakit, tidak berfungsinya sungai untuk mendukung kegiatan perikanan dan penyediaan air minum, dan sebagainya. Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dibuang sembarangan ke dalam lingkungan akan mematikan kemampuan dan fungsi lingkungan hidup dalam mendukung perikehidupan. Oleh karena itu, sasaran yang penting pula adalah terkendalinya pencemaran perairan dan udara yang disebabkan oleh kegiatan pembangunan atau cara hidup masyarakat.

Diantara berbagai sektor yang menimbulkan pencemaran lingkungan, sasaran pengendalian pencemaran yang terpenting diantaranya adalah sektor perhubungan, energi, pertanahan, pertambangan, dan industri. Dari segi lokasi, sasaran pengendalian pencemaran lingkungan hidup yang terpenting adalah daerah padat penduduk dan padat pembangunan, seperti daerah Gresik - Bangkalan - Mojokerto - Surabaya - Sidoarjo - Lamongan, pantai utara Jawa, Jakarta - Bogor - Tangerang - Bekasi, Bandung Raya, Bagian Timur Kalimantan Timur, Lhok Seumawe, Medan - Belawan, Ujung Pandang, dan Bali. Sasaran lain adalah pengendalian pencemaran di 101 sungai terpenting di seluruh Indonesia yang sudah mengalami pencemaran berat.

Meskipun pantai Indonesia terhitung pantai yang terpanjang di dunia, karena kepadatan penduduk dan pemanfaatannya tidak merata, beberapa bagian pantai telah mengalami kerusakan. Sebagian besar terumbu karang dan hutan bakau di sepanjang pantai Pulau Jawa, Selat Malaka, dan Bali telah rusak. Daerah pantai ini juga merupakan daerah yang padat pembangunan, baik berupa pembangunan pemukiman, industri maupun perhubungan. Dengan demikian, mutu perairan pantai juga mengalami penurunan sehingga manfaatnya bagi kegiatan budi daya

laut, pariwisata, dan lain-lain menjadi semakin berkurang. Oleh karena itu, sasaran pembangunan lingkungan hidup dalam kaitannya dengan daerah pantai ini adalah terkendalinya kerusakan pantai dan terpeliharanya mutu dan fungsi kawasan pantai untuk berbagai keperluan pembangunan, terutama bagi keperluan peningkatan kesejahteraan penduduk miskin yang banyak terdapat di daerah pantai.

Sebagai akibat penggunaan yang berlebihan tanpa upaya pelestarian fungsinya, banyak lahan subur yang telah berubah menjadi kritis. Di daerah seperti ini lahan tidak dapat memberikan hasil yang memadai bagi penduduknya sehingga penduduk menjadi lebih miskin. Tanah kritis tersebut dapat ditingkatkan produktivitasnya dengan teknologi yang memadai. Rehabilitasi tanah kritis akan memberikan lapangan kerja dan sumber pendapatan bagi penduduk yang miskin menjadi sasaran yang penting untuk meningkatkan kesejahteraan petani dan meningkatkan fungsi lingkungan hidup. Sasaran tersebut dikaitkan dengan rehabilitasi wilayah DAS. Sekurang-kurangnya 39 DAS telah mengalami penurunan mutu dan harus dipulihkan fungsinya.

KEBIJAKSANAAN PEMBANGUNAN LINGKUNGAN HIDUP PADA REPELITA VI

Kebijaksanaan pembangunan lingkungan hidup pada Repelita VI meliputi (a) pemilihan lokasi pembangunan; (b) pengurangan produksi limbah; (c) pengelolaan limbah; (d) penetapan baku mutu lingkungan; (e) pelestarian alam dan rehabilitasi sumber daya alam dan lingkungan hidup; dan (f) pengembangan kelembagaan, peran serta masyarakat, dan kemampuan sumber daya manusia.

a. Pemilihan Lokasi Pembangunan. Bertambah lajunya pertumbuhan dan kegiatan pembangunan pada Repelita VI menuntut peningkatan efisiensi penggunaan sumberdaya alam dan lingkungan. Untuk menghindari pemborosan penggunaan sumberdaya alam dan kerusakan lingkungan, pemilihan lokasi yang tepat untuk setiap kegiatan merupakan pertimbangan utama dan pertama dalam pembangunan.

Pemilihan lokasi pembangunan didasarkan pada kemampuan atau daya dukung lingkungannya, yang meliputi kemampuan menyediakan bahan baku, menerima dampak yang terjadi dan daya dukung lingkungan tersebut. Kegiatan inventarisasi sumberdaya alam dan lingkungan merupakan kegiatan utama yang perlu dilakukan. Kegiatan ini erat kaitannya dengan penetapan kawasan lindung dan pemanfaatan kawasan budi daya serta penempatan lokasi pembangunan yang tepat dalam pola tata ruang nasional dan daerah.

b. Pengurangan Produksi Limbah. Peningkatan efisiensi produksi dalam bidang industri, pertambangan, transportasi, energi, perumahan, dan lain-lain terus ditingkatkan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi produksi limbah yang berupa B3, limbah cair, limbah padat, dan limbah gas yang langsung dibuang ke

lingkungan alam. Efisiensi produksi tersebut dapat dilakukan melalui pemilihan bahan baku, pengembangan teknologi, pemanfaatan ulang dan lain-lain sehingga limbah yang dihasilkan makin berkurang. Di samping itu, dikembangkan pula pengaturan kualitas dan kuantitas limbah yang dapat dibuang ke media lingkungan hidup.

c. Pengelolaan Limbah. Penyediaan fasilitas penampungan dan pengelolaan limbah secara terpusat dan memadai akan terus ditingkatkan untuk memberi kesempatan bagi para investor untuk mengolah limbahnya. Bagi kegiatan usaha skala kecil penyediaan fasilitas penampungan dan pengolahan limbah serta pembinaannya yang lebih efektif juga diupayakan peningkatannya.

Pengendalian pencemaran air akan dilaksanakan dengan memusatkan perhatian pada sungai dan danau yang mempunyai fungsi strategis dan atau yang telah mengalami degradasi fungsi. Selain itu, ditingkatkan pula pencegahan intrusi air laut ke dalam air bawah tanah, terutama pada kawasan padat pembangunan. Hal itu dilakukan melalui penataan ruang, pengembangan teknologi, penetapan baku mutu lingkungan dan baku mutu limbah, penerapan kebijaksanaan insentif dan disinsentif, serta peran serta masyarakat.

Sementara itu, pengendalian pencemaran udara di perkotaan dan kawasan industri dikembangkan melalui penurunan emisi polutan udara dari setiap sumber, pemilihan teknologi yang tepat, pembangunan ruang terbuka hijau, dan taman kota. Di samping itu, juga dilakukan pengembangan pengelolaan lalu lintas kota yang dapat memperlancar arus kendaraan bermotor dan pengembangan sistem angkutan kota yang efisien dan efektif. Demikian pula pemakaian sumber energi yang lebih bersih terus dikembangkan.

Pencegahan pencemaran laut dilakukan melalui pembinaan serta peningkatan pengawasan dan penegakan hukum. Khusus dalam penanggulangan pencemaran oleh minyak di laut diusahakan agar perusahaan di bidang perminyakan, pengangkutan, dan pelabuhan mampu menanggulangi dan mencegah terjadinya pencemaran oleh minyak. Pengendalian pencemaran laut ini diarahkan untuk meningkatkan kualitas perairan, terutama pada wilayah strategis, yaitu wilayah tujuan wisata, kawasan pelabuhan dan jalur padat pelayaran, wilayah penambangan lepas pantai, serta wilayah yang secara ekologis peka terhadap kerusakan lingkungan.

Dalam upaya pemeliharaan dan perlindungan lingkungan hidup terus dikembangkan dan ditingkatkan kerjasama regional dan internasional. Kerjasama ini, terutama berkaitan dengan masalah lingkungan global, meliputi masalah meningkatnya suhu bumi karena pemakaian bahan bakar fosil yang berlebihan dan kebakaran hutan, perubahan iklim, menipisnya lapisan ozon, serta pencemaran di laut lepas.

d. Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Tingkat pencemaran lingkungan suatu daerah dapat ditetapkan berdasarkan kemampuan lingkungan tersebut dalam menerima bahan pencemaran. Kemampuan lingkungan untuk menerima beban pencemaran tanpa harus menimbulkan dampak negatif yang berarti dinyatakan

dalam baku mutu lingkungan. Baku mutu ini selanjutnya dijadikan acuan untuk mengevaluasi dampak dari setiap kegiatan pembangunan terhadap lingkungan. Sesuai dengan sifat dan potensi wilayah yang berbeda-beda, baku mutu lingkungan dari setiap wilayah akan berbeda. Baku mutu lingkungan yang baik merupakan sasaran dalam pembangunan lingkungan yang ingin dicapai. Sementara itu, pencapaian baku mutu limbah merupakan strategi bertahap untuk mencapai tujuan baku mutu lingkungan melalui pengaturan sektoral dan regional. Penetapan baku mutu lingkungan dan baku mutu limbah dilanjutkan dan dituntaskan dalam Repelita VI, baik pada tingkat nasional maupun tingkat propinsi yang belum ada ketetapanannya. Penyusunan baku mutu pada tingkat nasional dan baku mutu pada tingkat wilayah atau propinsi dilakukan sedemikian rupa, sehingga baku mutu pada tingkat wilayah atau propinsi tidak lebih longgar daripada baku mutu pada tingkat nasional.

e. Rehabilitasi dan Pelestarian Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup. Dalam rangka melaksanakan pembangunan yang pada hakekatnya merupakan pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan hidup, masalah terganggunya fungsi kelestarian sumber daya alam dan lingkungan hidup tidak dapat dihindarkan. Untuk menjaga agar sumber daya alam dan lingkungan hidup tetap berfungsi sebagai penyangga kehidupan dan memberi manfaat sebesar-besarnya bagi kesejahteraan masyarakat, pelestarian, dan rehabilitasi sumber daya alam dan lingkungan hidup terus ditingkatkan.

Rehabilitasi lahan kritis dengan pendekatan pengelolaan DAS terus ditingkatkan dan dilakukan secara lebih terpadu, demikian pula halnya dengan penanganan lahan pasca tambang.

Plasma nutfah yang merupakan bahan baku penting untuk pembangunan di masa depan, terutama di bidang pangan, sandang, papan, obat-obatan dan industri, dikembangkan dan dilestarikan bersama dengan mempertahankan keanekaragaman biologinya. Pelestarian ekosistem alamiah tersebut menduduki prioritas utama dalam penyelamatan plasma nutfah dan fungsi ekosistem lainnya dalam berbagai bentuk seperti kawasan konversi, hutan lindung, dan pelestarian keanekaragaman hayati.

Pengamanan sumber daya laut dan pesisir yang berupa terumbu karang, runtu laut, dan hutan bakau dari kerusakan dan pemanfaatan yang berlebihan terus ditingkatkan untuk mencegah kerusakan sumber daya alam tersebut dan memelihara kelestariannya.

f. Pengembangan Kelembagaan, Peran Serta Masyarakat, dan Kemampuan Sumber Daya Manusia. Kemampuan kelembagaan yang menangani masalah lingkungan hidup ditingkatkan. Pengembangan kelembagaan tersebut mencakup peningkatan kemampuan manajemen aparatur, penyediaan prasarana yang memadai dalam pelaksanaan pengelolaan lingkungan hidup, dan pembentukan kelembagaan pengendalian dampak lingkungan di daerah yang pesat pembangunannya agar masalah pengendalian dampak lingkungan dapat ditangani dengan lebih baik.

Pengembangan kelembagaan juga meliputi pengembangan dan penyempurnaan perangkat hukum, peraturan perundang-undangan, prosedur, dan koordinasi antar sektor dan antar daerah dalam upaya pengelolaan sumber alam dan lingkungan hidup. Sejalan dengan pengembangan kelembagaan, dilakukan peningkatan keterpaduan penanganan masalah lingkungan kedalam setiap kegiatan pembangunan baik sektoral maupun daerah, dan kedalam proses pengambilan keputusan. Sektor prioritas yang perlu memasukkan kebijaksanaan yang berkaitan dengan perlindungan fungsi lingkungan, antara lain adalah keuangan (fiskal dan moneter); industri dan pertambangan, pertanian, dan kehutanan; transmigrasi; perhubungan dan pariwisata; pembangunan daerah; pemukiman dan perumahan, perkotaan dan pedesaan; energi; pengembangan dunia usaha; kelautan dan kedirgantaraan; kependudukan, serta ilmu pengetahuan dan teknologi.

Peran serta masyarakat merupakan salah satu syarat utama bagi keberhasilan usaha pengendalian dan pelestarian lingkungan. Oleh karena itu, akses masyarakat kepada sumber daya alam dan kemudahan memperoleh modal usaha akan ditingkatkan agar dapat memberi peluang yang lebih besar kepada masyarakat dalam pengendalian dan pelestarian lingkungan. Akses dan kemudahan ini terutama ditujukan kepada penduduk miskin baik di daerah perkotaan dan di daerah pedesaan. Di samping itu, didorong pula kerjasama antara Pemerintah dan masyarakat, Pemerintah dan dunia usaha, serta antara masyarakat dan dunia usaha di dalam pembangunan lingkungan.

Tingkat peran aktif masyarakat berkaitan erat dengan keberadaan, kemampuan dan kualitas organisasi sosial dan organisasi kemasyarakatan yang berkecimpung dalam bidang lingkungan hidup serta tingkat pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang lingkungan. Sehubungan dengan itu, akan diupayakan untuk meningkatkan keterlibatan organisasi kemasyarakatan seperti organisasi keagamaan, adat, profesi, pemuda, wanita, pramuka, dan pelajar, baik formal maupun informal yang berada di daerah pedesaan dan perkotaan, dalam pengelolaan lingkungan hidup dan membina pengetahuan serta kemampuannya, sehingga peran serta lembaga masyarakat akan lebih efektif.

Peningkatan peran serta masyarakat dalam pengelolaan lingkungan hidup diarahkan agar menjangkau lapisan yang lebih luas. Oleh karena itu, ketersediaan informal yang berkenaan dengan kelestarian sumber alam dan lingkungan hidup akan dikembangkan dan diperluas sehingga pengetahuan dan kesadaran masyarakat lebih meningkat. Hal ini dilakukan, baik melalui pelatihan, penerangan, pendidikan dalam dan luar sekolah serta pemberian penghargaan, rangsangan dan dorongan kepada masyarakat.

Secara keseluruhan kemampuan dan kualitas sumber daya manusia, baik aparatur pemerintah, masyarakat maupun dunia usaha yang berkecimpung di dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup, terus ditingkatkan.

APLIKASI TEKNIK NUKLIR DALAM MASALAH PENCEMARAN LINGKUNGAN

Made Sumatra

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000119

ABSTRAK

APLIKASI TEKNIK NUKLIR DALAM MASALAH PENCEMARAN LINGKUNGAN. Radioanalisis dan teknik perunut merupakan dua metode teknik nuklir yang dapat digunakan dalam masalah pencemaran lingkungan. Dua jenis metode radioanalisis yang sering digunakan adalah analisis aktivasi netron (AAN) dan spektrometri fluoresensi sinar-X. Kedua metode ini digunakan untuk analisis logam. Teknik perunut dengan senyawa bertanda radioaktif digunakan untuk mempelajari nasib suatu bahan pencemar dalam suatu sistem lingkungan. Validasi dari setiap metode analisis yang baru dikembangkan sangat penting mengingat masalah pencemaran lingkungan berkaitan erat dengan masalah pelaksanaan hukum.

ABSTRACT

APPLICATION OF NUCLEAR TECHNIQUES ON ENVIRONMENTAL POLLUTION PROBLEMS. Radioanalysis and tracer technique are the nuclear techniques that can be used on environmental pollution problems. Neutron activation analysis (NAA) and X-ray fluorescence (XRF) spectrometry are the two methods that are used frequently on such problems. These methods are used for metal analysis. Tracer technique with radioactive labelled compounds are used to study the fate of the pollution substances in environmental systems. It is very important to validate every new developed analysis method, due to the environmental pollution problem closely related to the low enforcement.

PENDAHULUAN

Definisi: Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.

Pasal 1, UU No 23 Th. 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (1).

Masalah pencemaran lingkungan dewasa ini sudah menjadi permasalahan global dan sudah tidak mengenal batas-batas negara. Penggunaan batubara sebagai sumber energi di Inggris dapat menimbulkan hujan asam di negara-negara Skandinavia. Kebakaran hutan di Kalimantan dan Sumatera asapnya selain mencemari udara di lokasi kebakaran, juga menimbulkan masalah di negara-negara tetangga kita di Malaysia, Singapura dan bahkan sampai ke Thailand bagian selatan. Masalah yang paling hangat dewasa ini adalah pemanasan global dan penipisan lapisan ozon di atmosfer. Pemanasan global terutama disebabkan oleh peningkatan kadar CO₂ di udara, sebagai hasil pembakaran bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi dan gas alam), yang mengakibatkan efek rumah kaca. Penipisan lapisan ozon disebabkan oleh penggunaan gas-gas yang bersifat sangat stabil secara besar-besaran dalam industri seperti penggunaan gas kloro-fluorokarbon (freon) dan metil bromida. Gas-gas ini naik ke lapisan atas atmosfer bumi sampai mencapai lapisan ozon yang akhirnya bereaksi dengan molekul ozon. Para ahli iklim dan kesehatan mengkhawatirkan, jika emisi gas CO₂ dan gas freon makin

meningkat, dikhawatirkan akan menimbulkan perubahan iklim dengan berbagai konsekuensinya dan peningkatan kejadian kanker kulit karena radiasi sinar UV yang sampai ke permukaan bumi makin meningkat. Masalah pemanasan global dan penipisan lapisan ozon merupakan isu-isu lingkungan global. Di tingkat regional dan lokal isu-isu lingkungan lainnya tidak kalah pentingnya karena secara nyata dirasakan akibatnya oleh penghuni wilayah yang bersangkutan. Berbagai aktivitas manusia di bidang industri, perdagangan, transportasi, pertanian dsb. pasti menghasilkan limbah yang pada akhirnya akan terbuang ke lingkungan dan secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi kualitas lingkungan hidup. Hal ini telah lama disadari oleh hampir semua pemerintah dan masyarakat di semua negara, baik di negara maju maupun di negara sedang berkembang. Maka di banyak negara dibentuk badan-badan atau lembaga-lembaga perlindungan lingkungan, misalnya Environmental Protection Agency di Amerika Serikat. Untuk Indonesia, Pemerintah menugasi Menteri Negara Lingkungan Hidup untuk mengelola lingkungan hidup di Indonesia. Telah banyak usaha dan kegiatan yang dilakukan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. Di bidang peraturan dan perundang-undangan telah diterbitkan Undang-undang Nomor 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Lingkungan Hidup yang kemudian diperbarui menjadi Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU No 23/1997) (1). Selain itu telah pula dikeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air (PP. No. 20/1990), Peraturan Pemerintah Nomor 51 Tahun 1993 tentang

Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (PP. No. 51/1993) dan Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor KEP-03/Men.KLH/VI/1993 tentang Baku Mutu Limbah Cair (2,3,4).

Dalam lampiran PP. No. 20/90 ditetapkan Kadar Maksimum berbagai parameter lingkungan: fisika, kimia, mikrobiologik dan radioaktivitas untuk air golongan A (air minum), golongan B (air baku air minum), golongan C (air untuk perikanan dan peternakan) dan golongan D (untuk pertanian, perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air).

Untuk melaksanakan ketentuan dalam lampiran PP. No. 20/1990 tentang kadar maksimum berbagai parameter, dibutuhkan suatu laboratorium yang mampu melaksanakan analisis parameter-parameter lingkungan yang dimaksud. Prosedur analisis yang diperlukan dapat diadopsi dari prosedur-prosedur yang telah dipakai secara baku di negara-negara maju. Namun dalam jangka panjang alangkah baiknya kalau kita dapat menetapkan metode analisis sendiri sesuai dengan kondisi di Indonesia. Setiap metode baru yang dikembangkan harus diuji validitasnya sehingga memenuhi standar internasional. Hal ini memerlukan penelitian dan studi yang dilaksanakan dengan kesungguhan hati.

Pencemaran lingkungan oleh bahan kimia, terutama bahan kimia organik, dalam perjalanannya dipengaruhi oleh berbagai pengaruh alami (udara, sinar matahari, suhu, mikroorganisme) akan berubah menjadi senyawa baru. Senyawa baru yang terbentuk boleh jadi kurang beracun atau lebih beracun dibandingkan senyawa asal/induknya. Seringkali mekanisme perubahan struktur kimia yang terjadi sangat kompleks, sehingga dari satu senyawa induk terbentuk lebih dari satu senyawa turunannya. Telah banyak studi yang dilakukan di luar negeri dan hasil-hasilnya dapat kita pelajari dari literatur. Namun perlu disadari bahwa kondisi lingkungan di luar negeri tempat studi-studi tersebut dilakukan, sangat berbeda dengan kondisi lingkungan di Indonesia. Hal ini menyebabkan perbedaan proses peruraian dan metabolisme sehingga memberikan hasil yang berbeda. Karena itu studi serupa perlu dilakukan di Indonesia. Tujuan uraian dalam makalah ini ialah untuk menjelaskan tentang potensi aplikasi teknik nuklir dalam masalah pencemaran lingkungan, sebagai teknik yang saling melengkapi (*complementary*) dengan teknik-teknik analisis konvensional.

PENCEMARAN LINGKUNGAN

Menurut Pasal 1 butir 12 dari UU. No. 23/1997, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan /atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia, sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Hampir tidak ada kegiatan manusia yang tidak menghasilkan limbah dalam berbagai bentuknya (padat, cair, gas). Apabila tidak dikelola dengan baik, sebagian besar limbah tersebut akan masuk mencemari lingkungan

yang dapat menimbulkan berbagai konsekuensi antara lain gangguan kesehatan, dan kerugian ekonomi.

Dasar acuan untuk menentukan suatu komponen lingkungan tercemar atau tidak tercemar adalah baku mutu lingkungan yang ditetapkan melalui Peraturan Pemerintah. Pada saat ini Indonesia baru memiliki baku mutu air yang ditetapkan melalui PP. No. 20/1990. Dalam PP tersebut dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya. Makhluk hidup, zat, energi dan komponen lainnya dinamakan parameter-parameter yang bila kadar maksimumnya dilampaui berarti air yang mengandungnya dinyatakan tercemar. Parameter-parameter yang dimaksud terdiri dari:

1. Parameter fisika yang meliputi: bau, jumlah zat padat terlarut, kekeruhan, rasa dan warna.
2. Parameter kimia yang meliputi: pH, logam-logam, anion anorganik, dan senyawa organik.
3. Parameter mikrobiologik yang meliputi: koliform tinja dan total koliform.
4. Parameter radioaktivitas yang meliputi: aktivitas alpha dan aktivitas beta.

Dalam Pasal 9 dari PP. No. 20/1990 disebutkan bahwa: Metode analisis untuk setiap baku mutu air dan baku mutu limbah cair ditetapkan oleh Menteri, yang dalam hal ini adalah Menteri yang ditugasi mengelola lingkungan hidup. Karena sampai saat ini metode yang dimaksud belum ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup, sedangkan kebutuhan analisis yang berkaitan dengan pelaksanaan AMDAL dan sengketa lingkungan perlu dilakukan, maka laboratorium pelaksana menggunakan metode yang disesuaikan dengan kondisi dan peralatan yang mereka miliki. Ada beberapa buku acuan (5, 6, 7) yang secara internasional dijadikan pegangan untuk analisis air dan air limbah. Metode-metode analisis dalam buku-buku tersebut semuanya merupakan metode konvensional, dalam arti tidak menggunakan teknik nuklir, kecuali untuk analisis radioaktivitas. Analisis logam dilakukan dengan spektrometri serapan atom (SSA) sedang senyawa organik dianalisis dengan teknik kromatografi gas (KG) dan kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT).

Seperti telah disebutkan dalam uraian sebelumnya bahwa, senyawa-senyawa organik dapat termetabolisme dan terurai menjadi senyawa lain karena pengaruh keadaan lingkungan. Sebagai contoh: DDT, suatu insektisida organoklorin mengalami metabolisme dan peruraian seperti pada gambar 1 (8).

Struktur kimia hasil peruraiannya ditentukan berdasarkan metode-metode spektrometri, NMR-proton dan C-13, Infra Merah (IR) Ultra Violet (UV) dan Spektrometri Massa. Pemurnian dari hasil-hasil peruraian dilakukan dengan cara-cara kromatografi.

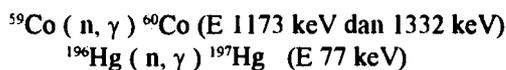
TEKNIK NUKLIR

Teknik Nuklir yang dapat diaplikasikan untuk menangani masalah lingkungan dapat dibagi menjadi dua

yaitu Teknik Radioanalisis dan Teknik Perunut (*Tracer Technique*) (9).

1. Radioanalisis didefinisikan sebagai aplikasi peristiwa-peristiwa radioaktivitas dalam kimia analitik (9). Salah satu radioanalisis yang banyak digunakan dalam analisis sampel yang berasal dari lingkungan adalah analisis aktivasi neutron (*AAN*). Pelaksanaan AAN terdiri dari dua langkah pokok yaitu pertama aktivasi sampel dengan cara penembakan berkas neutron terhadap sampel dan kedua, studi terhadap sampel yang telah menjadi radioaktif. Prinsip reaksi aktivasi dalam AAN adalah reaksi (n, γ) , inti atom unsur yang ditembak menangkap satu neutron, menjadi unsur radioaktif memancarkan sinar γ .

Misalnya:



Identifikasi unsur didasarkan pada energi sinar γ yang dipancarkan sampel. Neutron yang digunakan dalam NAA adalah neutron termal yang berasal dari reaktor atom. Neutron termal merupakan neutron yang mudah ditangkap oleh hampir semua inti atom, terutama inti atom logam-logam berat. Maka NAA terutama digunakan untuk analisis pencemaran logam-logam berat. Selain reaktor atom, neutron dapat pula dihasilkan dari generator neutron 14 MeV. Dalam hal ini neutron yang dihasilkan adalah neutron cepat. Generator neutron terutama digunakan untuk AAN radionuklida berumur pendek.

Seperti telah disebutkan di atas, langkah ke dua dalam AAN setelah sampel menjadi radioaktif adalah melakukan studi terhadap zat radioaktif tersebut. Hal ini dilakukan menggunakan analiser saluran ganda (*Multi Channel Analyzer*) dengan detektor NaI (TI) tipe lubang atau detektor Ge (Li). Detektor NaI (TI) memiliki efisiensi pencacahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan detektor Ge (Li), namun Ge (Li) memiliki resolusi yang lebih baik. Hal ini diperlihatkan dalam ilustrasi yang diberikan oleh Westermark (10) dalam pengukuran NAA sampel hati *Phocana phocana Lin.* menggunakan detektor NaI (TI) dan Ge (Li) (Gambar 2 dan 3).

Pada Gambar 2 (detektor NaI [TI]) terlihat puncak pada 70 keV yang berasal dari ^{197}Hg . Dengan menggunakan detektor Ge (Li) (Gambar 3) puncak pada 70 keV terpisah menjadi puncak 68 keV yang berasal dari sinar-X ^{197}Au dan puncak 77 keV yang berasal dari sinar γ ^{197}Hg .

Puncak 68 keV berasal dari kontaminasi unsur Au pada sampel, dan setelah ditelusuri, Westermark menyimpulkan kontaminasi tersebut berasal dari gunting yang dipakai untuk mempersiapkan sampel. Dari kasus ini dapat ditarik pelajaran betapa pentingnya kehati-hatian dan kecermatan dalam mempersiapkan sampel. Teknik sampling, alat untuk sampling dan wadah sampel dan alat-alat untuk menangani sampel perlu benar-benar bebas dari kontaminasi mengingat kepekaan

teknik AAN. Prosedur sampling perlu diikuti dengan cermat.

Kepekaan AAN setara dengan SSA untuk hampir semua unsur. Disamping itu, AAN mempunyai beberapa keunggulan yaitu (11):

- Dapat dipakai untuk menentukan secara serentak beberapa unsur dalam satu sampel.
- Aktivasi dilakukan langsung terhadap sampel tanpa perlu terlebih dahulu perlakuan dengan reaksi kimia sehingga terhindar dari kontaminasi yang disebabkan oleh pereaksi yang terkontaminasi. Hal ini berlaku untuk semua jenis matriks sampel seperti tanah, air, jaringan hewan, dan tanaman.
- Perlakuan kimia setelah aktivasi (pasca iradiasi), misalnya untuk pemisahan unsur-unsur sangat dipermudah dengan kebebasan menggunakan teknik pengemban (*carrier technique*).

Disamping keunggulan yang telah disebutkan, perlu juga dikemukakan beberapa keterbatasannya yaitu:

- Mengingat AAN berdasarkan sifat-sifat inti atom, teknik ini tidak memberikan informasi tentang struktur kimianya. Misalnya merkuri (Hg) sebagai pencemar lingkungan dapat berupa Hg^{++} , $^+\text{Hg}-\text{CH}_3$, $\text{CH}_3-\text{Hg}-\text{CH}_3$, $\text{C}_6\text{H}_5-\text{Hg}-\text{C}_6\text{H}_5$ dsb. Struktur-struktur tersebut tidak dapat diungkapkan dengan AAN. Untuk menentukan strukturnya diperlukan teknik-teknik kromatografi dan spektrometri massa.
- Makin rendah kadarnya dalam sampel, berarti makin rendah cacah yang dihasilkannya, yang mengakibatkan simpangan baku (*standard deviation*) semakin tinggi.

Indonesia memiliki tiga reaktor atom yang dapat digunakan untuk AAN, masing-masing berlokasi di Serpong, di Bandung dan di Yogyakarta.

Radioanalisis lain yang semakin banyak digunakan untuk analisis unsur adalah spektrometri fluoresensi sinar-X (*X-Ray Fluoresence, XRF*). Teknik ini tidak memerlukan reaktor atom. Sinar X yang dibutuhkan dapat berasal dari tabung sinar X atau dari sumber radioaktif seperti ^{109}Cd , ^{55}Fe dan ^{241}Am . Sampel yang dianalisis disinari dengan sinar-X, sehingga terjadi eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi akan kembali ke keadaan dasar (*ground state*) sambil memancarkan fluoresensi sinar-X. Identifikasi unsur dilakukan berdasarkan energi fluoresensi yang dipancarkan dan kadarnya (kuantitatif) diukur dengan pencacahan.

2. Teknik Perunut

Teknik perunut adalah cara untuk mengikuti perjalanan nasib (*fate*) suatu senyawa kimia bertanda radioaktif termasuk metabolit dan hasil degradasinya dalam suatu sistem/lingkungan. Dalam masalah lingkungan, teknik ini terutama digunakan untuk mempelajari tingkah laku suatu bahan kimia beracun yang digunakan untuk tujuan tertentu sehingga langsung maupun tidak langsung berakibat pada pencemaran lingkungan. Contoh yang jelas adalah aplikasi pestisida untuk mengendalikan hama tanaman, vektor penyebab penyakit dan serangan perusak bangunan. Hanya

sebagian kecil pestisida yang diaplikasikan (misalnya dengan penyemprotan atau penebaran), yang mengenai tanaman maupun hama sasaran. Sebagian akan diterbangkan angin ke tempat lain, atau masuk ke dalam air dan tanah. Bagaimana nasib selanjutnya dari pestisida tersebut? Teknik perunut dengan senyawa bertanda radioaktif merupakan satu-satunya cara untuk mempelajarinya.

Kita kembali pada contoh pestisida. Pestisida yang secara harfiah diterjemahkan sebagai zat pembunuh hama adalah senyawa kimia (sebagian besar senyawa organik) yang umumnya dibuat secara sintetis. Jenis bahan aktif pestisida yang telah terdaftar di Komisi Pestisida dan diizinkan untuk digunakan di Indonesia sangat banyak (± 300 jenis).

Semuanya pasti telah dipelajari tingkah lakunya di lingkungan yang dalam hal ini di lingkungan negara-negara produsennya yang beriklim dingin. Keadaan lingkungan di Eropa maupun di Amerika Serikat tentu sangat berbeda dengan di Indonesia. Ambil misalnya contoh daerah gambut yang dibuka untuk pertanian. Tidak satupun negara di dunia yang secara mendalam telah mempelajari sifat-sifat fisiko-kimia dan mikrobiologis daerah gambut. Pembukaan lahan pertanian pasti akan disusul dengan pemakaian pestisida. Kita ambil contoh herbisida 2,4-D, salah satu jenis herbisida yang banyak digunakan di Indonesia. Menurut literatur (12) 2,4-D terurai di lingkungan menjadi berbagai senyawa seperti terlihat pada Gambar 4.

Pertanyaannya : Bagaimana sifatnya di daerah gambut? Apakah tidak terjadi pelindian yang menyebabkan pencemaran air tanah/air sumur? Hal ini dapat dipelajari dengan teknik perunut, menggunakan 2,4-D bertanda C-14 radioaktif. Penandaan dapat dilakukan pada gugus aromatis atau gugus asamnya tergantung kebutuhan studi. Perlu juga disadari pada saat ini senyawa bertanda ini perlu diimport dari luar negeri yang harganya cukup mahal. Rata-rata harganya 10 US dolar per mikrocurie senyawa bertanda, tergantung sukar tidaknya cara sintesis yang diperlukan. Sintesis 2,4-D dilakukan menurut reaksi kimia (13) (Gambar 5).

Kalau kita inginkan 2,4-D bertanda digugus aromatiknya, maka kita menggunakan bahan 2,4 diklorofenol yang bertanda C-14 pada cincin benzena. Kalau kita ingin 2,4-D yang bertanda di gugus asamnya kita menggunakan asam kloroasetat yang bertanda C-14 pada atom karbon gugus -CH₂-
 Harga bahan dasar senyawa bertanda tentu lebih murah dari harga hasil sintesisnya.

Studi tentang 2,4-D hanya salah satu contoh dari penerapan teknik perunut dalam masalah lingkungan. Penerapan teknik ini tentu dapat dilakukan untuk senyawa-senyawa lain tergantung pada permasalahan yang hendak dipecahkan. Perlu diingat bahwa teknik perunut hanya merunut perjalanan senyawa bertanda dan hasil degradasi/metabolitnya yang masih mengandung bagian molekul yang radioaktif. Struktur

kimia hasil degradasi/metabolitnya ditentukan dengan teknik kromatografi dan teknik spektrometri.

Salah satu tugas Pusat Produksi Radioisotop (PPR) Batan di Serpong adalah mensintesis senyawa-senyawa bertanda. Pada saat ini PPR baru mensintesis sediaan radiofarmaka untuk keperluan rumah-rumah sakit kedokteran nuklir (14). Seyogianya di masa yang akan datang PPR juga dapat mensintesis senyawa-senyawa bertanda lain untuk keperluan penelitian.

KESIMPULAN

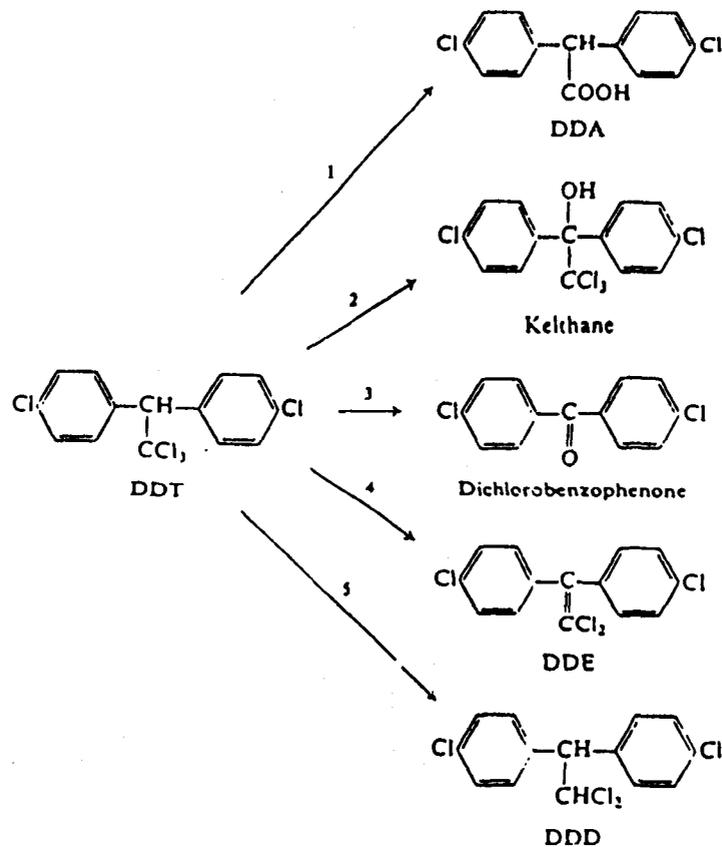
Dari uraian yang telah dilakukan dapat disampaikan kesimpulan :

1. Aplikasi teknik nuklir dalam masalah lingkungan meliputi dua bidang pokok yaitu bidang radioanalisis dan teknik perunut dengan senyawa bertanda radioaktif. Radioanalisis meliputi AAN dan XRF.
2. Penggunaan teknik nuklir bersifat saling melengkapi (*complementary*) dengan teknik-teknik konvensional seperti SSA dan teknis spektrometri.
3. Kecermatan dan ketelitian dalam mempersiapkan sampel parameter lingkungan sangat diperlukan untuk mencegah kontaminasi mengingat tingkat kepekaan teknik nuklir sangat tinggi.
4. Masalah pencemaran lingkungan berkaitan erat dengan masalah hukum. Hasil analisis yang *bias* akibat kontaminasi sampel akan membawa konsekuensi hukum.

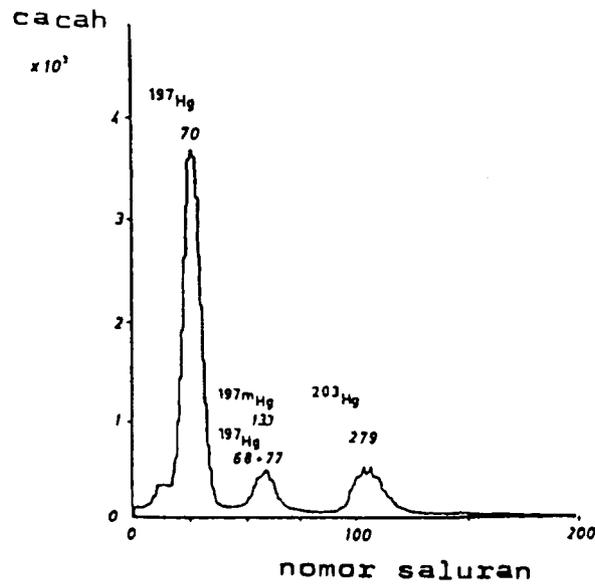
DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIMOUS :Undang-undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
2. ANONIMOUS Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran air.
3. ANONIMOUS Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 1993 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan.
4. ANONIMOUS Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor KEP-03/Men.KLH/VI/1993 tentang Baku Mutu Limbah Cair.
5. RODIER, J., Analysis of Water, John Willey & Sons, New York (1975).
6. GREENBERG, A.E., TRUSSEL, R.R., CLESCERI, L.S., eds., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 6th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington (1985).

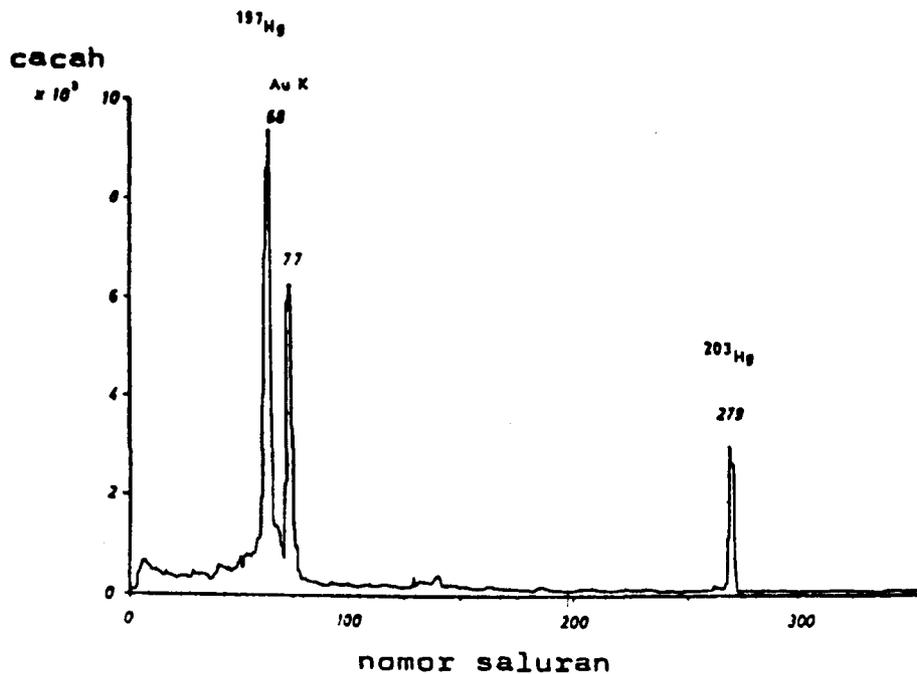
7. EATON, A.D., CLESCERI, L.S., GREENBERG, A.E., eds., *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., American Public Health Association, Washington (1995).
8. O'BRIEN, R.D., *Insecticides, Action and Metabolism*, Academic Press New York (1967). 67.
9. DAS, H.A., FAANHOF, A., VANDERSLOOT, H.A., *Environmental Radioanalysis*, Elsevier, Amsterdam (1983) 7.
10. WESTERMARK, T., **Activation Analysis of Mercury in Environmental Studies**. *Edvance in Activation Analysis* (LENIHAN, J. M., THOMSON, S. J., and GUINN, V. P. eds) Vol. 2, Academic Press, London (1972) 60.
11. SCHULZE, W., **Activation Analysis: Some Basic Principles**. *Edvance in Activation Analysis*, (LENIHAN, J. M. A., THOMSON, S. J. eds) Vol. 1, Academic Press, London (1969) 3.
12. AIZAWA, H., *Metabolic Maps of Pesticides*, Academic Press, New York (1982) 91.
13. SITTIG, M., ed., *Pesticide Manufacturing and Toxic Materials Control Encyclopedia*, Noyes Data Corporation, New Jersey (1980) 229.
14. WANGSAATMADJA, A. H. R., Peran Iptek nuklir di bidang formasi sebagai unsur pendukung pemenuhan kebutuhan dasar manusia, Pidato Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Farmasi, Pusat Produksi Radioisotop, Batan, Serpong, 30 Desember 1997.



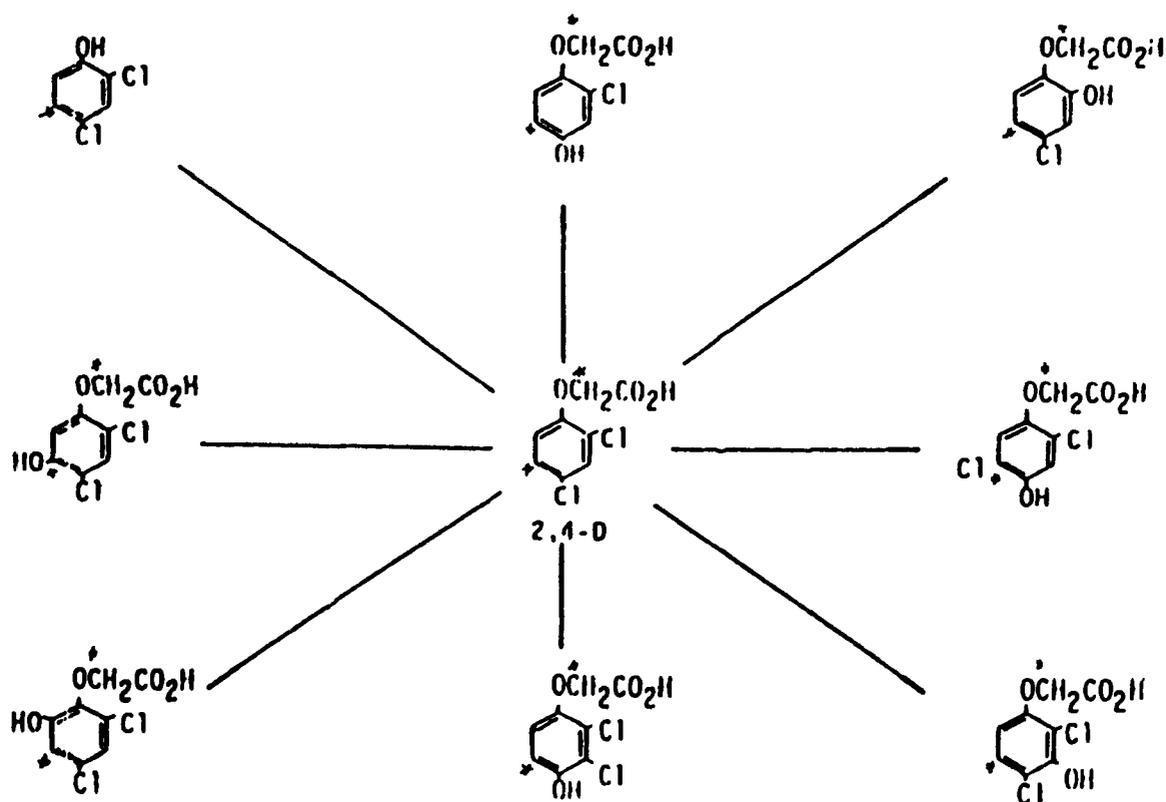
Gambar 1. Alur metabolisme DDT (8).



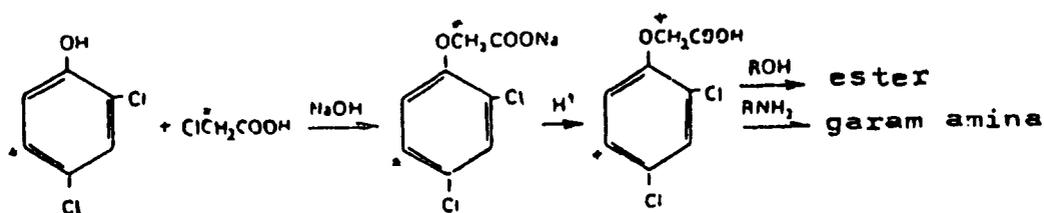
Gambar 2. Sepktrum gamma Hg dari 0,26 g hati *Phocana phocana* Lin. Iradiasi dengan fluks netron $4 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ dt}^{-1}$ selama kurang lebih 25 jam di reaktor nuklir Norwegia JEEP II. Pencacahan dilakukan dengan detektor NaI (TI) tipe lubang selama 5 menit. Cacah pada 70 keV 250000 cacah. Kadar Hg yang ditemukan dalam sampel : 1570 ng Hg per g sampel.



Gambar 3. Sampel yang sama seperti pada Gambar 2. Dicapah dengan detektor Ge (Li) selama 5 menit. Puncak 70 keV dari gambar 2 terpisah menjadi puncak 68 keV (sinar-X dari ^{197}Au) sebanyak 33000 cacah dan puncak 77 keV (^{197}Hg) sebanyak 17000 cacah. Cacah total menjadi 50000 cacah, sama dengan seperlima cacah yang diperoleh dengan detektor NaI (TI).



Gambar 4. Alur metabolisme 2,4-D.
 *. Alternatif lokasi penandaan C-14 pada mekulur 2,4-D.



Gambar 5. Reaksi sintesis 2,4-D
 *. Alternatif lokasi penandaan C-14 pada pereaksi pembuatan 2,4-D bertanda Reaksi dapat diteruskan sampai pembentukan ester atau garam amina yaitu bentuk-bentuk kimia 2,4-D yang digunakan dalam formuli.

STATUS IRADIASI PANGAN SAAT INI DAN ARAH PENGEMBANGANNYA

Munsial Maha

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000120

ABSTRAK

STATUS IRADIASI PANGAN SAAT INI DAN ARAH PENGEMBANGANNYA. Iradiasi pangan telah diteliti, diuji dan dikaji secara mendalam selama lebih dari 40 tahun, dan saat ini telah memasuki tahap tinggal landas untuk penggunaan komersial di banyak negara. Sekitar 40 negara telah melegalisasi penggunaannya untuk berbagai jenis atau kelompok pangan, dan sekitar 60 iradiator komersial telah memberikan jasa iradiasi pangan di 29 negara. Codex Alimentarius Commission telah mengeluarkan Standar Umum Pangan Iradiasi pada tahun 1983 dengan batas maksimum dosis iradiasi rata-rata yang diserap pangan 10 kGy. Pengumuman terbaru yang dikeluarkan WHO pada bulan September 1997 menyatakan bahwa batas 10 kGy tersebut seharusnya ditiadakan saja, karena bukti ilmiah menunjukkan pangan tetap aman dikonsumsi meskipun diiradiasi sampai 75 kGy, asal tidak terjadi perubahan cita rasa secara berlebihan, dan mikroba patogen sudah terbunuh. Perkembangan iradiasi pangan di negara maju terutama di Amerika telah meningkat belakangan ini, dan diharapkan hal ini akan diikuti pula oleh negara-negara lain. Di Indonesia, teknologi ini telah dilegalisasi sejak tahun 1987, dan enam jenis atau kelompok pangan sudah boleh diiradiasi untuk tujuan komersial. Teknologi iradiasi masih perlu dikembangkan dan dimasyarakatkan agar dapat dimanfaatkan secara luas, melalui harmonisasi peraturan antarnegara dan peningkatan pengetahuan masyarakat. Selain itu, teknik iradiasi untuk beberapa keperluan, baik yang menggunakan dosis rendah, sedang maupun tinggi masih perlu dimantapkan atau dikembangkan agar penerapannya lebih efektif, efisien, dan ekonomis.

ABSTRACT

PRESENT STATUS OF FOOD IRRADIATION AND TREND OF ITS DEVELOPMENT. Food irradiation has been studied, tested and evaluated intensively for more than 40 years, and at present, this technology has been taking-off for commercial use in many countries. Some 40 countries have approved its application for various food items on groups of food, and about 60 commercial irradiators have been providing irradiation services for food in 29 countries. In 1983, Codex Alimentarius Commission adopted a Codex General Standard for Irradiated Food with average irradiation dose limit not exceeding 10 kGy. The latest WHO press release on September 1997 stated that the maximum 10 kGy limit should not be there, since scientific evidences indicated that food irradiated even up to 75 kGy was safe to be consumed, as long as the sensory quality was acceptable and pathogenic organisms had been killed. The development of food irradiation in advanced countries, especially in USA is very significant lately, and hopefully this will be followed by other countries. In Indonesia, application of this technology has been approved since 1987, and six items or groups of food have been cleared for commercial irradiation. Further development and introduction of the technology are still needed to widen its application and to increase public awareness through harmonization of regulations among countries and dissemination of information. In addition, irradiation techniques for some specific purposes using either low dose, medium or high doses should be established to support effective, efficient and economical application.

PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan teknologi iradiasi pangan yang kita kenal saat ini telah mengalami perjalanan panjang selama lebih dari 40 tahun. Dalam sejarah teknologi pangan, belum ada satu pun teknologi lain yang telah melalui penelitian, pengujian, sorotan, tantangan dan perdebatan yang demikian banyak seperti iradiasi. Hal ini mengakibatkan tersedianya sejumlah besar publikasi ilmiah tentang iradiasi pangan yang meliputi aspek kimia, fisika, mikrobiologi, toksikologi, gizi, keamanan, fasilitas, teknologi, ekonomi, pengawasan, pengaturan, dan sebagainya. Bibliografi tentang iradiasi pangan terutama yang dipublikasi dalam media internasional telah diterbitkan secara berkala oleh Federal Research Centre for Nutrition, Jerman sejak tahun 1974 sampai sekarang (1). Informasi dan bukti ilmiah yang telah tersedia, selanjutnya dijadikan

bahan pertimbangan oleh para pakar dan pembuat kebijakan untuk mengesahkan dan merekomendasikan penggunaan iradiasi sebagai salah satu teknologi baru atau alternatif yang aman dan bermanfaat (2-5).

Berbagai manfaat dapat diperoleh dari penerapan iradiasi pangan, antara lain untuk mengurangi kehilangan pascapanen, meningkatkan keamanan pangan, meningkatkan perdagangan pangan, dan mengurangi polusi atau kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan kimia. Saat ini, teknologi iradiasi telah digunakan secara komersial atau telah berada pada tahap tinggal landas di banyak negara, namun volume pangan iradiasi yang diproduksi masih sangat sedikit bila dibandingkan dengan yang diproses menggunakan teknologi lain (6). Hal ini disebabkan penggunaannya belum meluas akibat masih kurangnya pengetahuan masyarakat, produsen atau industri pangan, dan juga pejabat pemerintah tentang teknologi ini, serta

hambatan perizinan. Selain itu, berbagai kendala teknis masih perlu diselesaikan agar teknologi iradiasi dapat diterapkan secara lebih efektif, efisien dan ekonomis.

Dalam makalah ini akan diuraikan secara singkat status iradiasi pangan secara global dan statusnya di Indonesia, serta arah pengembangan selanjutnya untuk menyelesaikan berbagai masalah teknis dan non-teknis yang masih ada.

STATUS IRADIASI PANGAN SECARA GLOBAL

Penggunaan Komersial

Sampai akhir tahun 1996, teknologi iradiasi pangan sudah dilegalisasi penggunaannya oleh sekitar 40 negara, namun belum semua negara tersebut memanfaatkannya, karena sebagian belum memiliki fasilitas komersial (7-9). Pembangunan fasilitas iradiasi khusus untuk pangan saja belum layak secara ekonomi, karena permintaan pengguna jasa iradiasi masih terbatas. Umumnya, fasilitas iradiasi yang digunakan untuk mengiradiasi pangan hingga saat ini, merupakan iradiator serbaguna yang digunakan pula untuk mengiradiasi produk non-pangan terutama alat-alat kesehatan untuk tujuan sterilisasi. Sampai Juli 1996, baru 29 negara yang melakukan iradiasi pangan secara komersial dengan menggunakan 59 iradiator, dan 6 iradiator baru sedang dibangun di beberapa negara. Jumlah perusahaan yang membuat iradiator gamma ada 13 buah, dan iradiator berkas elektron dan sinar X ada 15 buah (8).

Pada umumnya, fasilitas iradiasi pangan yang telah beroperasi hingga saat ini menggunakan radiasi gamma dari radionuklida Cobalt-60, dan baru beberapa buah yang menggunakan berkas elektron yaitu di Odessa (Ukrania), di Roskilde dan Glostrup (Denmark), di Vannes (Prancis), di Ames (Amerika), di Yazd (Iran), di Bergamo dan Padoa (Italia) dan Wlochy (Polandia) (7,8,10). Produk pangan yang paling banyak diiradiasi ialah : rempah, bumbu masak dan sayuran kering, produk beku (udang, paha kodok dan daging ayam), dan umbi-umbian (kentang, bawang bombay dan bawang putih). Negara yang paling banyak memberikan izin iradiasi pangan ialah Afrika Selatan yang termasuk pula sebagai salah satu negara yang banyak melakukan iradiasi pangan secara komersial.

Perkembangan di Negara Maju

Perkembangan iradiasi pangan di Eropa dalam beberapa tahun terakhir ini relatif sedikit bila, dibandingkan dengan perkembangan di beberapa negara berkembang, terutama bila dilihat dari jumlah pemberian izin iradiasi untuk berbagai produk baru. Perkembangan perizinan yang perlu dicatat terjadi di Inggris yang melegalisasi iradiasi 10 jenis produk pangan (1991), Kroasia yang melegalisasi 34 jenis produk (1994), Prancis yang menambahkan izin keju camembert (1993). Italia yang menambahkan izin rempah, bumbu dan sayuran kering (1996), dan Polandia yang menambahkan izin sayuran kering (1995). Perkembangan di negara maju yang menonjol terlihat di

Amerika dengan dioperasikannya iradiator khusus pangan pertama di Mulbery, Florida pada tahun 1992, lalu disusul dengan dikeluarkannya beberapa peraturan iradiasi pangan oleh Departemen Pertanian Amerika, serta persetujuan USFDA untuk iradiasi daging.

Pada bulan Oktober 1992, Food Safety and Inspection Service (FSIS)-USDA mengeluarkan peraturan tentang penggunaan iradiasi untuk mengurangi bakteri patogen, misalnya *Salmonella*, *Campylobacter* dan *Yersinia* pada daging ayam (11). Kemudian pada bulan Mei 1996, Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS)-USDA menerbitkan konsep peraturan penerapan iradiasi untuk kesehatan tanaman yang berkaitan dengan karantina secara luas (12). Perkembangan terbaru ialah keluarnya persetujuan dari USFDA tentang penggunaan iradiasi untuk menghilangkan patogen dalam daging (daging sapi, babi dan kambing) pada tanggal 3 Desember 1997 (13). Petisi untuk keperluan ini telah diajukan sejak tahun 1994 setelah terjadinya kasus keracunan hamburger yang tercemar bakteri *E. coli 0157:H7* pada awal 1993 yang mengakibatkan kematian empat orang anak, sekitar 200 orang harus dirawat di rumah sakit, dan lebih dari 700 orang lainnya menderita sakit.

Perkembangan di Amerika ini diperkirakan akan mempengaruhi pula status iradiasi pangan di banyak negara lain, karena selama ini nampaknya setiap negara bersifat menunggu negara lain terutama negara besar seperti Amerika untuk menjadi pelopor. Dengan diterapkannya teknologi iradiasi pangan di Amerika yang merupakan negara pengekspor beberapa jenis produk pangan penting seperti padi-padian, buah-buahan dan daging, dan selain itu Amerika juga mengimpor berbagai produk pangan dari negara lain, seperti produk perikanan, rempah-rempah dan buah tropis, maka tentu di negara lain yang terlibat diperlukan kesamaan perlakuan pada produk yang akan diekspor atau diimpor agar perdagangan pangan antarnegara dapat tetap berlangsung.

Pada bulan Mei 1996, Environmental Protection Agency Amerika (USEPA) telah mengeluarkan peraturan yang melarang penggunaan gas etilen oksida (ETO) untuk fumigasi rempah-rempah. Akan tetapi, pelaksanaan peraturan tersebut masih ditangguhkan atas permintaan Asosiasi Perdagangan Rempah Amerika. Masyarakat Eropa telah melarang penggunaan ETO sejak Januari 1991, karena ETO berbahaya bagi pekerja, dan dapat membentuk senyawa etilen klorohidrin yang berbahaya pada produk yang difumigasi. Sejak itu, penggunaan iradiasi untuk dekontaminasi mikroba pada rempah-rempah meningkat di Eropa (7).

Pengaturan Iradiasi Pangan

Seperti juga teknologi lain, penerapan iradiasi hanya akan efektif, efisien dan aman bila dilaksanakan secara tepat dan terkontrol sesuai dengan tata cara yang telah dibakukan. Standar Umum Pangan Iradiasi serta Tata Cara Pengoperasian Fasilitas Iradiasi Pangan telah disusun dan diterbitkan oleh Codex Alimentarius Commission pada tahun 1984 (14). Standar Codex tersebut direkomendasikan untuk dijadikan pedoman dalam menyusun peraturan

iradiasi pangan di semua negara anggota WHO dan FAO. Tata cara pelaksanaan iradiasi pangan untuk tujuan atau untuk produk pangan tertentu, misalnya "Pedoman Cara Iradiasi yang Baik untuk Menghambat Pertunasan pada Umbi-umbian" telah disusun oleh ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation) (15).

Untuk memudahkan pengawasan fasilitas iradiasi yang memberikan jasa pelayanan iradiasi pangan, ICGFI telah melakukan inventarisasi fasilitas iradiasi pangan yang beroperasi di berbagai negara (16). Ketentuan yang berlaku di berbagai negara yang telah memiliki peraturan iradiasi pangan ternyata sangat beragam, baik jenis pangan yang diizinkan, maupun batas dosis yang digunakan. Oleh karena itu pada tahun 1994, ICGFI mengeluarkan pedoman untuk pemberian izin iradiasi secara umum atau berdasarkan kelompok (17). Sampai saat ini pedoman tersebut ternyata belum banyak diikuti, sehingga kemudian diupayakan harmonisasi peraturan iradiasi pangan per kawasan, misalnya kawasan Asia Pasifik. Upaya ini pun belum berhasil karena banyak negara dalam satu kawasan belum memiliki peraturan atau belum siap untuk menerima teknologi ini.

Sebagai salah satu upaya untuk mendorong dan mempercepat pemanfaatan iradiasi pangan di negara-negara ASEAN, pada tanggal 7 - 10 Oktober 1997 di Jakarta diadakan ASEAN Ad-Hoc Working Group Meeting on Food Irradiation yang diawali dengan dua lokakarya yang menghasilkan konsep tentang harmonisasi peraturan, dan model protokol penggunaan iradiasi untuk perlakuan karantina buah dan sayuran segar, untuk ASEAN. Konsep tersebut akan dibahas pada pertemuan tingkat tinggi para Menteri Pertanian dan Kehutanan ASEAN (SOM-AMAF) tahun ini.

Berdasarkan ketentuan Codex yang berlaku hingga saat ini, semua jenis pangan yang diiradiasi sampai dosis 10 kGy aman dikonsumsi, dan tidak perlu dilakukan uji toksikologi lagi. Bulan September 1997 yang lalu WHO mengeluarkan *press release* yang menyatakan bahwa pangan yang diiradiasi lebih dari 10 kGy pun aman karena hasil penelitian ilmiah membuktikan pangan yang diiradiasi sampai 75 kGy pun aman, asal cita rasa makanan tidak banyak berubah, dan mikroba patogen sudah terbunuh. Dari perkembangan ini dapat diduga bahwa Codex dalam waktu dekat akan merevisi ketentuan batas dosis maksimum 10 kGy yang berlaku saat ini.

STATUS IRADIASI PANGAN DI INDONESIA

Teknologi iradiasi pangan yang telah diteliti dan dikembangkan di Indonesia sejak 1968, saat ini sudah digunakan secara komersial, karena izin penggunaannya dari pemerintah sudah ada sejak Desember 1987. Izin tersebut berupa Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 826/MENKES/PER/XII/1987 mengenai Makanan Iradiasi (18). Dalam Permenkes tersebut baru tiga kelompok pangan yang diizinkan untuk diiradiasi yaitu rempah-rempah, umbi-umbian dan biji-bijian. Kemudian pada bulan Februari 1995, keluar lagi keputusan Menteri Kesehatan RI No. 152/MENKES/SK/II/1995 tentang

perubahan atas lampiran Permenkes No. 826/1997 (19). Perubahan tersebut ialah pada jenis komoditas pangan yang diizinkan yaitu dari tiga macam menjadi lima macam. Kedua jenis komoditas baru yang diizinkan ialah udang dan paha kodok beku, serta ikan kering. Pada kelompok biji-bijian ada perubahan batas dosis maksimum yang diizinkan yaitu dari 1 kGy (untuk menghilangkan serangga) menjadi 5 kGy (termasuk untuk menghilangkan bakteri patogen).

Pada bulan November 1996, Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Depkes memberikan lagi persetujuan penambahan satu jenis pangan baru untuk diiradiasi, yaitu cabe merah segar (20). Dengan demikian, sudah ada enam jenis atau kelompok pangan yang boleh diiradiasi di Indonesia hingga saat ini. Dalam Undang-undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1996 tentang Pangan, iradiasi pangan diatur dalam Pasal 14.

Fasilitas iradiasi komersial juga sudah ada satu buah yaitu milik PT. Perkasa Sterilindo (Indogamma) yang sudah dioperasikan sejak tahun 1992 di Cibitung. Fasilitas ini sudah mengiradiasi ribuan ton produk pangan setiap tahun. Produk pangan yang diiradiasi antara lain rempah-rempah, sayuran kering, kakao bubuk, tepung pati, udang beku, paha kodok beku, dan lain-lain. Jumlah perusahaan pangan yang telah menggunakan jasa iradiasi di fasilitas ini sudah sekitar 60 buah.

ARAH PENGEMBANGAN IRADIASI PANGAN

Penelitian dan pengembangan iradiasi pangan masih terus dilakukan baik di negara maju maupun negara berkembang untuk memperluas penggunaan teknologi ini dalam upaya meningkatkan keamanan dan pengamanan pangan, serta memperlancar perdagangan global komoditas pangan. Tanpa pengembangan lebih lanjut, hasil yang telah dicapai saat ini akan sia-sia, karena belum optimal untuk mendukung proses komersial yang menguntungkan secara ekonomi.

Untuk mencapai keberhasilan seperti yang diharapkan, maka pengembangan lebih lanjut harus diarahkan pada harmonisasi peraturan antarnegara, peningkatan pengetahuan masyarakat, dan pemantapan teknik atau prosedur iradiasi untuk tujuan tertentu yang kebutuhannya sudah mendesak.

Upaya harmonisasi peraturan sudah terlihat dimana-mana, dan ICGFI sebagai suatu organisasi internasional yang bernaung dibawah FAO, WHO dan IAEA sangat besar dukungan dan peranannya dalam kegiatan ini. Upaya untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat agar teknologi iradiasi dapat dikenal dan diterima masyarakat luas juga sudah banyak dilakukan misalnya dengan penyebaran informasi melalui seminar, ceramah, TV, radio, kaset video, film, kunjungan ke perusahaan pangan, pameran dan penjualan atau pembagian secara gratis sampel pangan iradiasi. ICGFI pun sudah menerbitkan satu seri lembaran fakta tentang iradiasi pangan untuk bahan informasi kepada masyarakat (22). Hasil upaya pemasyarakatan teknologi iradiasi pangan dirasakan masih kurang karena intensitas penyebaran informasi serta wilayah yang dapat dijangkau masih sangat terbatas. Oleh karena

itu, kegiatan pemasyarakatan ini perlu lebih ditingkatkan dan diperluas wilayah jangkauannya.

Penerapan iradiasi untuk berbagai tujuan khusus yang beberapa tahun terakhir ini mulai diminati karena munculnya berbagai masalah yang belum berhasil dipecahkan dengan teknologi lain, masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk melengkapi data yang telah ada. Sebagai contoh, penerapan iradiasi untuk perlakuan karantina buah dan sayuran segar yang telah direkomendasikan oleh beberapa organisasi regional dan internasional (23). ICGFI telah merekomendasikan dosis generik 150 Gy untuk karantina lalat buah, tetapi menurut USDA-APHIS, beberapa jenis lalat buah membutuhkan dosis lebih tinggi, yaitu *Ceratitis capitata* 225 Gy, *Bactrocera dorsalis* 250 Gy, dan *B. cucurbitae* 210 Gy. Oleh karena itu USDA-APHIS mengusulkan dosis generik 250 Gy untuk lalat buah, dengan perkecualian dapat menggunakan dosis lebih rendah, asal menunjukkan data hasil penelitian yang dapat diakui oleh APHIS.

Pada penerapan iradiasi dosis sedang, penelitian dan pengembangan yang dilakukan saat ini terutama ditujukan untuk dekontaminasi mikroba patogen dalam produk pangan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kasus keracunan makanan yang menimpa banyak orang yang bersumber dari makanan yang sama yang terjadi di beberapa negara maju seperti di Amerika pada awal 1993, lalu di Jepang dan beberapa negara lain. Di Indonesia sendiri, sepanjang tahun 1997 terjadi banyak kasus keracunan makanan yang dilaporkan melalui media massa karena menimpa banyak orang pada saat dan di tempat yang sama dan sebagian ada yang meninggal dunia. Berbagai kasus tersebut ada yang terjadi di tempat pesta perkawinan, di sekolah karena program pemberian makanan tambahan, di panti asuhan, dan yang terbanyak di tempat kerja setelah karyawan menyantap jatah makanan yang disediakan perusahaan. Hal ini membuktikan bahwa makanan yang dibuat dalam jumlah besar relatif kurang aman, karena sumber kontaminasi mikroba tidak hanya berasal dari bahan baku, tetapi juga dari peralatan, pekerja, dan lingkungan yang kurang bersih. Selain itu cara pemasakan dan penyimpanan yang tidak memenuhi syarat juga menjadi penyebab keracunan makanan.

Produk daging dan hasil perikanan merupakan sumber keracunan yang utama karena secara alami produk demikian sudah tercemar berbagai jenis mikroba patogen dari pakan dan lingkungan hidupnya. Oleh karena itu banyak negara maju telah menganjurkan atau menerapkan iradiasi untuk mendekontaminasinya (9).

Penggunaan iradiasi dosis tinggi untuk mensterilkan makanan siap saji agar awet disimpan pada suhu kamar juga mulai diminati untuk dikembangkan (8, 24). Salah satu alasan ialah untuk mengurangi ketergantungan pada fasilitas ruang pendingin yang diperkirakan akan semakin mahal dengan adanya larangan penggunaan senyawa CFC (kloro fluoro karbon) yaitu bahan kimia yang digunakan pada alat-alat pendingin, karena senyawa tersebut dapat merusak lapisan ozon di stratosfer. Selain itu, makanan jadi yang serba praktis dan dapat dibawa-bawa untuk keperluan di luar rumah, misalnya untuk berlayar, naik gunung, naik haji, berkemah dan operasi tim

SAR perlu dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Makanan seperti ini sudah dikembangkan di Afrika Selatan, dan sudah ada perusahaan yang dapat menyediakannya berdasarkan pesanan, tetapi perlu ada izin khusus dari instansi terkait (24).

Di PAIR-BATAN, penelitian ke arah ini sudah dimulai dan sudah ada hasil yang menggembirakan, yaitu pepes ikan mas yang disterilkan dengan iradiasi dapat disimpan lebih setahun pada suhu kamar dengan mutu yang hampir tidak berubah selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, Bibliography on Irradiation of Foods, *Bundesforschungsanstalt fur Ernährung*, 39 (1995).
2. ANONYMOUS, Wholesomeness of Irradiated Food (Technical Report Series 604), WHO, Geneva (1977).
3. ANONYMOUS, Wholesomeness of Irradiated Food (Technical Report Series 659), WHO, Geneva (1981).
4. ICGFI, Task Force Meeting on the Use of Irradiation to Ensure Hygienic Quality of Food, 14 - 18 July 1986, Vienna, WHO, Geneva (1987).
5. ICGFI, Irradiation as a Quarantine Treatment of Fresh Fruits and Vegetables (A Report of the Working Group, Washington, D.C., 22 - 25 March 1994), ICGFI Document No. 17, Vienna (1994).
6. LOAHARANU, P., Food Irradiation in developing Countries : A practical alternative, *IAEA Bulletin* 36 1 (1994) 30.
7. LOAHARANU, P., Commercial application of and trade developments in food irradiation, ASEAN/ICGFI Seminar on Food Irradiation, Jakarta (1995).
8. ANONYMOUS, Commercial activities on food irradiation, *Food Irradiation Newsletter* 20 1 (1996).
9. ANONYMOUS, Clearance of item by country, Supplement to food Irradiation Newsletter 20 2 (1996).
10. LEEMHORST, J., "Food irradiation technology-Trends and progress in its commercial application", Harmonization of Regulations on Food Irradiation in Asia and the Pacific (IAEA-TECDOC-696), IAEA, Vienna (1993).
11. FSIS-USDA, Status of food irradiation activities April 1993, *Food Irradiation Newsletter*, 17 2 (1993) 39.

12. APHIS-USDA, The application of irradiation to phytosanitary problems, Federal Register, 16 95 (1996).
13. USFDA, Irradiation of meat products, Federal Register, 62 232 (1997).
14. CAC, Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of irradiation facilities used for the treatment of foods, CAC XV (1984).
15. ICGFI, Code of good irradiation practice for sprout inhibition of bulb and tuber crops, ICGFI Document No. 8, Vienna (1991).
16. ICGFI, International inventory of authorized food irradiation facilities, ICGFI Document No. 2, Vienna (1993).
17. ICGFI, Guidelines for the authorization of food irradiation generally or by classes of food, ICGFI Document No. 15, Vienna (1994).
18. DEPKES RI, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 826/MENKES/PER/XII/1987 Tentang Makanan Iradiasi (1987).
19. DEPKES RI, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 152/MENKES/SK/II/1995 tentang Perubahan Atas Lampiran Peraturan Menteri Kesehatan No. 826/MENKES/PER/XII/1987 Mengenai Makanan Iradiasi (1995).
20. DEPKES RI., Persetujuan makanan iradiasi No. PO. 01.02.3.03110, Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan (1996).
21. ANONIM, Undang-undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1996 tentang Pangan, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1996 Nomor 99 (1996).
22. ICGFI, Facts about Food irradiation, ICGFI Secretariat, IAEA, Vienna (1991).
23. MUNSI AH, M., Iradiasi sebagai salah satu alternatif untuk perlakuan karantina, Buletin BATAN Tahun XVIII 2 (1997) 1.
24. IAEA, Shelf-stable foods through irradiation processing, IAEA-TECDOC-843, IAEA, Vienna (1995).

DISKUSI

NAZLY HILMY

Dilihat dari sejarah makanan iradiasi, penelitian sudah dimulai sekitar 75 tahun yang lalu, tetapi pemakaian secara komersial belum banyak jika dibandingkan dengan teknologi lain. Bagaimana cara pemasaran terbaik di negara berkembang seperti Indonesia, agar teknologi ini dapat dipakai secara komersial.

MUNSIHAH MAHA

Penelitian secara intensif dan meluas baru dimulai awal tahun 50-an, jadi sekitar 50 tahun yang lalu. Agar teknologi ini dapat diterima oleh masyarakat dan diterapkan secara komersial, perlu penyebaran informasi secara meluas tentang manfaat dan keamanannya, serta untuk menghilangkan mitos yang menggambarkan bahwa semua hal yang berkaitan dengan radiasi berbahaya. Selain itu, dukungan pemerintah berupa pemberian izin yang lebih luas terutama di negara-negara maju sangat menentukan dalam mempercepat penerapan iradiasi secara komersial dan mewujudkan terlaksananya perdagangan global pangan iradiasi.

SUTJIPTO SUDIRO

Menurut pendapat saya dosis 25 kGy sudah cukup untuk membuat steril makanan. Apakah ada makanan/bahan pangan yang diiradiasi dengan dosis 75 kGy ?

MUNSIHAH MAHA

Tidak semua jenis makanan/bahan pangan dapat disterilkan dengan dosis 25 kGy. Untuk menentukan dosis sterilisasi bahan pangan digunakan dosis $12 D_{10}$ *Clostridium botulinum* dalam produk yang akan disterilkan. Besarnya D_{10} tersebut dipengaruhi banyak faktor misalnya suhu iradiasi, ada/tidak adanya O_2 , kadar air, pH dan sebagainya. Hasil penelitian di Amerika menunjukkan nilai 12 D spora *C. botulinum* dalam beberapa produk daging yang diiradiasi dalam kondisi hampa udara pada suhu $-30^\circ C$ sekitar 45 kGy. Jadi ini merupakan dosis sterilisasi minimum. Ada makanan yang dapat diiradiasi sampai 75 kGy atau bahkan lebih, asal cita rasanya masih tetap baik.

WANDOWO

Apa dasar ilmiahnya perubahan batas dosis iradiasi dari 10 kGy menjadi 75 kGy ?

MUNSIHAH MAHA

Dasar ilmiahnya ialah hasil penelitian yang menunjukkan bahwa makanan yang diiradiasi sampai 75 kGy-pun ternyata aman dikonsumsi. Sebenarnya nilai 75 kGy itu bukan batas maksimum, karena menurut kesimpulan WHO tidak perlu ada batas lagi. Yang membatasi ialah

kemungkinan terjadinya perubahan cita rasa yang tidak dapat diterima oleh konsumen bila suatu jenis makanan diiradiasi. Bila buah mangga misalnya diiradiasi 1 kGy sudah berubah warna atau teksturnya, maka dosis maksimum untuk mangga harus < 1 kGy. Sebaliknya makanan lain mungkin sampai 50 kGy pun tetap baik, maka dosis maksimumnya dapat lebih dari 50 kGy.

WIDIATI ADIL

Batas tetap aman untuk dikonsumsi ialah iradiasi sampai 75 kGy. Jenis pangan apa saja yang telah diiradiasi, dan apakah kelompok pangan tersebut termasuk yang biasa dimakan segar atau harus dimasak dulu.

MUNSIHAH MAHA

Sekali lagi, batas 75 kGy bukan batas aman tetapi sampai dosis tersebut hasil uji tentang keamanan pangan iradiasi sudah cukup tersedia. Contoh pangan yang disterilkan dengan iradiasi dosis tinggi ialah masakan dari daging sapi, ayam, babi dan ikan misalnya, ayam panggang, kari ayam, bistik, sosis dan hamburger. Makanan segar seperti buah-buahan umumnya diiradiasi dengan dosis < 1 kGy kecuali arbei dan tomat. Daging segar/beku biasanya diiradiasi dengan dosis sedang (< 10 kGy).

RIYANTI

Kriteria apa yang dimaksudkan dengan "aman" untuk pangan iradiasi ? Bagaimana caranya mendapatkan izin (legalisasi) penggunaan iradiasi pada bahan pangan di Indonesia ? Apa dilakukan uji organoleptik dll ?

MUNSIHAH MAHA

Aman artinya tidak bersifat radioaktif dan tidak mengandung senyawa berbahaya hasil radiolisis yang dapat mengganggu kesehatan. Permintaan izin dari Depkes sudah ada mekanismenya melalui Ditjen POM. Untuk keperluan tersebut tentu harus ada alasan yang jelas serta bukti/data hasil penelitian yang meyakinkan. Uji organoleptik merupakan data terpenting untuk mengiradiasi suatu produk pangan, karena langsung berkaitan dengan kemungkinan diterimanya produk tersebut oleh konsumen di pasaran.

SINGGIH SUTRISNO

Bagaimana status teknologi radiasi ikan asin dan prospek pengembangannya di Indonesia.

MUNSIHAH MAHA

Sudah diteliti, dan sudah ada izin (*Clearance*) dari Depkes sejak tahun 1995. Prospek pengembangannya cukup baik apabila ada pengusaha besar/menengah yang mau menanganinya produk ini karena potensi pasar cukup besar,

volume produksi cukup tinggi, hanya mutunya yang masih sangat beragam dan umumnya belum dikemas secara baik.

UMIYATI A.M.

1. Untuk iradiasi cabe segar, apakah sudah dikeluarkan peraturan resmi dari Ditjen POM ?
2. Di Indonesia sudah ada iradiator komersial dan sudah berton-ton produk yang dihasilkan, tetapi di pasaran saya belum pernah melihat label iradiasi pada produk pangan. Apakah belum dipasarkan di dalam negeri ? Padahal seperti cabe segar belum diekspor, demikian pula produk lain.

MUNSI AH MAHA

1. Sudah, oleh Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. P0.01.02.3.03110 tahun 1996.
2. Produk iradiasi yang dihasilkan di Indonesia jumlahnya relatif masih sedikit dan umumnya digunakan sebagai bahan baku industri pangan baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Iradiasi cabe segar, meskipun sudah ada izin tetapi baru sekali dilakukan uji coba iradiasi dalam skala besar oleh BULOG bekerjasama dengan Indogamuna. Setelah itu belum pernah dilakukan lagi karena cabe yang dihasilkan oleh petani ternyata habis terserap oleh pasar dengan harga yang cukup tinggi, sehingga tidak perlu diiradiasi.

DAVIDSON A. MUIS

1. Di Eropa perkembangan iradiasi pangan baru dimulai tahun 1990, lalu tahun 1991 Inggris telah mengeluarkan "Clearance" pangan iradiasi sebanyak 10 buah. Di Indonesia, dari tahun 1988 sampai sekarang baru ada 6 jenis/kelompok pangan yang mendapat izin. Mengapa demikian dan siapa yang berwenang mengajukan permintaan izin tersebut ?
2. Pada bulan September 1997, WHO telah mengeluarkan pengumuman bahwa pangan tetap aman dikonsumsi meskipun diiradiasi sampai 75 kGy. Kategori pangan yang bagaimana yang dapat diiradiasi sampai dosis tersebut, dan bagaimana dengan pangan yang mempunyai kadar air tinggi (> 14 %).

MUNSI AH MAHA

1. Di beberapa negara Eropa lainnya, pengembangan dan pemberian izin pangan iradiasi sudah dilakukan lebih awal daripada di Inggris. Di Indonesia baru 6 jenis/kelompok pangan yang mendapat izin karena baru sekian yang selesai diteliti lalu diajukan ke Depkes. Setiap instansi atau perusahaan yang membutuhkan dapat mengajukan permintaan izin ke Depkes melalui prosedur yang sudah ditetapkan, dengan menyertakan alasan serta informasi yang diperlukan untuk bahan pertimbangan.

2. Biasanya makanan jadi dari daging dapat disterilkan dengan dosis tinggi pada kondisi vakum dan suhu sangat rendah. Kadar air tinggi tidak masalah, karena pada suhu sangat rendah (dalam CO₂ padat) air berada dalam keadaan beku, sehingga radikal air yang terbentuk akibat radiolisis tidak dapat bergerak atau berinteraksi dengan molekul atau radikal lain.

ROSMIARTY A. WAHID

Bagaimana pendapat Ibu "forecasting" pemasaran dan pengembangan teknologi iradiasi khususnya untuk produksi tanaman pangan di Indonesia sesuai dengan perkembangan ekonomi di negara kita saat ini, kalau dikaitkan dengan kebutuhan untuk meningkatkan produksi tanaman pangan.

MUNSI AH MAHA

Kalau produksi tanaman pangan melimpah di suatu tempat, tentu diperlukan suatu teknologi pascapanen yang dapat membuat produk tersebut lebih awet atau tahan disimpan agar dapat didistribusikan ke daerah lain, diekspor atau disimpan untuk persediaan sampai musim panen berikutnya. Teknologi iradiasi dapat diterapkan untuk keperluan ini pada beberapa komoditas tertentu, namun perlu dukungan sarana dan prasarana yang memadai.

ERIZAL

Dalam kondisi krisis ekonomi seperti saat ini, beras merupakan salah satu komoditas yang sangat penting, harganya terus naik dan sulit didapat karena mungkin terjadi penimbunan. Akibat penimbunan, biasanya beras berbau tidak enak. Apakah iradiasi dapat menghilangkan bau tersebut sehingga rasa asalnya dapat kembali ?

MUNSI AH MAHA

Tidak. Iradiasi tidak dapat menyulap beras berbau apek menjadi enak kembali. Iradiasi pada beras umumnya ditujukan untuk membunuh serangga agar beras awet disimpan.

FRIDA

Berdasarkan hasil diskusi, mungkin BATAN bisa membentuk suatu badan atau organ untuk melaksanakan pemasaran hasil-hasil penelitiannya ke masyarakat luas, bukan hanya ke masyarakat ilmiah.

MUNSI AH MAHA

Terima kasih atas sarannya. Masalah yang utama saat ini ialah dana.

PROGRAM PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN BIOTEKNOLOGI DI PAIR-BATAN DALAM PELITA VII

F. Suhadi



ID0000121

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

Dalam makalah dikemukakan program penelitian bioteknologi di PAIR, khususnya menghadapi Pelita VII dalam bidang kesehatan, peternakan, dan pertanian yang diharapkan akan memberikan hasil yang bermakna bagi program pembangunan pada umumnya.

Dalam bidang kesehatan akan dikembangkan metode diagnosis berbagai penyakit infeksi berdasarkan teknik biologi molekuler, yaitu "*Polymerase Chain Reaction*" (PCR). Selain itu masalah diagnosis dini penyakit kanker payudara perlu mulai ditangani, mengingat penelitian tersebut bersifat "*top down*"; walaupun penyakit kanker payudara sampai saat ini belum diketahui dengan pasti penyebabnya.

Dalam bidang peternakan, khususnya dalam menunjang produksi dan reproduksi ternak ruminansia, perlu dilakukan penelitian yang diarahkan pada pembuatan reagen imunologik, yaitu antibodi progesteron, serta antibodi FSH dan LH khusus untuk ternak. Pengujian laboratorium dan lapangan terhadap vaksin haemonchiasis dan fascioliasis akan terus dilakukan untuk memperoleh kepastian kemanfaatannya. Studi seleksi mikroba dan protozoa rumen yang efisien secara *in vitro* juga akan terus dilanjutkan.

Dalam bidang pertanian, kultur jaringan/ sel tanaman merupakan dasar dari bioteknologi, perlu terus dilakukan, khususnya pada jenis tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Selain itu perlu mulai dikembangkan penelitian tanaman hibrid somatik, yang diawali dengan isolasi protoplas, regenerasi tanaman berasal dari protoplas, dan akhirnya fusi antarprotoplas tanaman. Penelitian identifikasi dan karakterisasi gen toleran cekaman kekeringan dan aluminium pada tanaman padi atau kedelai, dapat terus dilakukan, dengan catatan harus diingat keterbatasan yang ada di lingkungan PAIR saat ini. Kelompok tanah dan pemupukan, selain *Rhizobium* agar dirintis pula masalah Agrobakterium dan cendawan Mikoriza V.A.

PENDAHULUAN

Bioteknologi melibatkan sejumlah disiplin ilmu dan subjek yang luas. Secara umum dapat dikatakan, bahwa bioteknologi ialah suatu penerapan biosains dan teknologi, yang menyangkut aplikasi organisme hidup atau komponen subselulernya untuk menghasilkan produk dan jasa, serta pengelolaan lingkungan (1).

Mengingat kondisi perekonomian Indonesia dewasa ini, pendanaan dari pemerintah untuk program penelitian jelas sangat terbatas. Demikian pula sarana dan prasarana penelitian relatif masih belum mencukupi, serta tenaga peneliti (SDM) sangat terbatas, baik disiplin, strata, maupun jumlahnya. Oleh karena itu perlu kiranya diteliti kembali masalah program yang berkaitan dengan penelitian bioteknologi. Kajian tersebut diutamakan untuk memfokuskan judul penelitian atau bila mungkin mencari pemikiran terobosan baru yang bermanfaat untuk mendukung keberhasilan program penelitian.

Di lain pihak, peneliti dituntut untuk dapat menghasilkan produk dan jasa yang sangat berguna bagi pembangunan. Dalam Renstra Batan revisi 1997 dicantumkan, bahwa pada akhir Pelita VII, di bidang pertanian diharapkan telah dapat dilepas varietas serealida dan varietas legum dari hasil mutasi yang didukung oleh bioteknologi molekuler, sedangkan di bidang peternakan, yaitu peningkatan produksi dan reproduksi ternak, serta kesehatan ternak (vaksin). Di bidang kesehatan diharapkan telah dapat dimasyarakatkan jasa diagnosis secara biologi molekuler pada beberapa penyakit infeksi penting (2).

Demikian pula dalam makalah diuraikan masalah penyakit kanker payudara, pembuatan reagen imunologik, yaitu antibodi progesteron, FSH dan LH dalam rangka mendukung reproduksi ternak, serta pengembangan penelitian tanaman hibrid somatik.

DETEKSI MIKROORGANISME PATOGEN DENGAN PCR

Sejak diperkenalkan pertama oleh pakar Cetus Corporation, PCR telah berkembang sebagai teknik utama di dalam banyak laboratorium biologi molekuler. Teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*) ialah penemuan mutakhir biologi molekuler yang telah memberikan dampak positif dan luas pada tatacara diagnostik klinis, khususnya deteksi penyakit infeksi. PCR ialah metode *in vitro* untuk memperbanyak DNA secara enzimatik dengan menggunakan enzim DNA polimerase dan primer nukleotida yang melakukan hibridisasi bagian DNA dari dua arah yang berlawanan.

1. Bahan yang digunakan dalam reaksi PCR

- (a). DNA cetakan yang akan diperbanyak ("*template*")
- (b). Primer, yaitu rangkaian pendek oligonukleotida sintesis
- (c). Bahan DNA (Deoksiribonukleotida trifosfat)
 - dCTP : deoksicitidin trifosfat
 - dGTP : deoksiguanosin trifosfat
 - dATP : deoksiadenosin trifosfat
 - dTTP : deoksitimidin trifosfat

- (d). Enzim DNA Taq polimerase
- (e). Larutan bufer yang umumnya mengandung K-klorida, Mg -klorida, Tris HCl dan beberapa bahan kimia lain.

2. Prinsip kerja PCR

Metode PCR menggunakan siklus berulang pada primer oligonukleotida, secara langsung mensintesis DNA untuk menjalankan replikasi *in vitro* rangkaian asam nukleat target. Teknik tersebut didasarkan atas pelipatgandaan fragmen DNA melalui dua primer oligonukleotida secara enzimatik. Kedua primer tersebut berorientasi pada ujung 3'. Dengan siklus denaturasi yang berulang, penempelan primer pada rantai pasangannya, dan ekstensi primer dengan DNA polimerase akan dihasilkan pembentukan segmen yang akan ditentukan oleh ujung 5'. Berdasarkan produk ekstensi setiap primer dapat bertindak sebagai cetakan untuk primer lainnya, hingga pada setiap siklus akan terjadi kelipatan dua kali dari fragmen DNA. Dalam beberapa jam dapat diperoleh suatu akumulasi sekuens yang diinginkan sampai beberapa juta kali. Biasanya ukuran primer untuk pemeriksaan diagnosis ialah sekitar 50 - 1500 basa nukleotida.

Dengan menggunakan enzim DNA Taq polimerase yang bersifat termotabil yang diisolasi dari bakteri termofilik *Thermus aquaticus*, inaktivasi enzim polimerase pada setiap proses denaturasi dapat dicegah, sehingga tidak perlu ditambahkan enzim baru setiap kali. Berdasarkan sifat tersebut, maka dapat dikembangkan metode PCR secara otomatis, yang mengakibatkan pemakaiannya semakin meluas (3).

Dalam setiap siklus pada PCR terdiri atas tiga tahap (4), yaitu dilukiskan seperti Gambar 1.

- (a). Tahap denaturasi, dimana DNA target diinkubasi pada suhu tinggi hingga untai target terpisah dan memungkinkan terjadi hibridisasi dengan primer oligonukleotida spesifik.
- (b). Tahap penempelan, dimana campuran reaksi didinginkan, sehingga memungkinkan primer menempel pada rangkaian target pasangannya.
- (c). Reaksi ekstensi biasanya terjadi pada suhu sedang, dimana primer diperpanjang pada cetakan DNA oleh enzim DNA polimerase.

Ketiga tahap inkubasi tersebut diprogram sebagai satu siklus termal. Suatu ciri protokol PCR terdiri atas 30 - 50 siklus termal. Setiap kali siklus selesai secara teori terjadi penggandaan sekuens DNA target. Pada siklus selanjutnya produk sekuens "pendek" terakumulasi secara eksponensial (Gambar 2), dan skema PCR disajikan pada Gambar 3 (5, 6).

3. Sasaran program

Memasyarakatkan layanan diagnosis penyakit infeksi (bakteri dan virus patogen) dengan teknik PCR, yaitu bakteri *M. tuberculosis*, *Salmonella sp.*, *E. coli*, *T. pallidum*, dan virus Hepatitis B.

DIAGNOSIS DINI PENYAKIT KANKER PAYUDARA ("TOP DOWN")

1. Penyebaran kanker payudara

Kanker payudara tetap merupakan masalah penting baik di negara maju, maupun di negara berkembang. Penyebaran penyakit kanker payudara sangat luas, bersifat umum, dan kasusnya relatif tinggi (sekitar 20%) di antara semua penyakit kanker (7).

Kasus kanker payudara sangat bervariasi antardaerah (negara). Kasus kanker payudara di Eropa, Kanada, Australia, Selandia Baru, dan Amerika sekitar 5-6 kali lebih tinggi, bila dibandingkan Asia (Jepang). Di Australia kasus kanker payudara menunjukkan angka 55,6 per 100.000 wanita per tahun (8). Kasus tahunan kanker payudara di Jepang menunjukkan angka 12,1 - 16,6 per 100.000 wanita, dan di Amerika 71,7 per 100.000 wanita (9).

Di Indonesia angka kejadian kanker payudara tahunan belum dapat ditentukan. Berdasarkan data arsip yang dikumpulkan dari 13 laboratorium patologi yang tersebar di seluruh Indonesia, kanker payudara menduduki tempat nomor dua setelah kanker serviks uteri (kanker leher rahim) dengan frekuensi relatif sekitar 18,03% (10).

2. Faktor penyebab kanker payudara

Kanker payudara ialah penyakit multifaktor yang disebabkan oleh banyak faktor dalam perkembangannya. Interaksi antara agen spesifik dengan faktor di dalam tubuh dan lingkungan sekitarnya dipercaya sebagai penyebab nyata perkembangan penyakit. Faktor endogen yang diduga memegang peran dalam proses kejadian tumor, ialah faktor hormon estrogen dan progesteron. Namun bagaimana mekanisme kejadiannya belum jelas diketahui. Selain faktor endogen, kemungkinan ada pula pengaruh faktor eksogen. Untuk perkembangan kanker payudara terdapat beberapa variabel bebas, dan faktor penyebabnya cukup banyak.

Faktor tersebut antara lain (11) :

- (a). Keturunan genetik dalam keluarga
- (b). Paparan hormonal
- (c). Penumpukan lemak tubuh
- (d). Trauma dan paparan langsung lainnya atas jaringan payudara
- (e). Pola hidup yang spesifik

3. Pertumbuhan kanker payudara

Kanker payudara sebagian besar (95 %) merupakan karsinoma, yang berasal dari epitel duktal laktiferus dan duktal terminal. Pertumbuhan tumor dimulai pada duktal, kemudian meluas pada jaringan stroma yang sering disertai pembentukan jaringan ikat padat. Kemudian tumor menyebar ke arah fascia dan membuat perlengketan, sedang ke arah kulit menimbulkan kemacetan pembuluh getah bening yang lambat laun dapat terjadi ulserasi (bisul) pada kulit.

Karsinoma payudara secara klinik tumbuh laten (tersembunyi) dan bahkan ada yang mengalami regresi. Hal ini bergantung pada daya tahan tubuh penderita dan perangai tumor. Daya tahan tubuh biasanya disponsori oleh jaringan limfoid.

Karsinoma payudara biasanya menyebar secara limfogen. Distribusi penyebaran tergantung pada letak tumor. Sebagian besar tumor mengadakan metastasis pada kelenjar getah bening (KGB) melibatkan satu atau lebih kelenjar. Kadang-kadang sel tumor inencai KGB infraklavikuler ataupun supraklavikuler tanpa melibatkan KGB di aksila. Metastasis karsinoma ke organ jauh dapat terjadi secara hematogen. Organ yang sering terlibat adalah tulang, paru, hati, susunan syaraf pusat, kelenjar tiroid, dan ginjal (12).

4. Klasifikasi histopatologi kanker payudara

Identifikasi sub tipe histopatologi karsinoma/ kanker payudara penting karena ada kaitannya dengan aspek klinik, yaitu prediksi metastasis, terapi, dan prognosis (12). Karsinoma payudara dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu karsinoma noninvasif, karsinoma invasif, dan penyakit paget.

- (a). *Karsinoma noninvasif*. Massa sel tumor terdapat hanya pada intraduktal atau intralobularis. Jumlah penderita terhitung sedikit, hanya 5 % dari seluruh karsinoma payudara. Bentuk yang paling sering ialah karsinoma duktal non-invasif dan karsinoma lobularis *in situ*.
- (b). *Karsinoma invasif*. Karsinoma invasif dibagi menjadi dua subkelompok, yaitu karsinoma duktal invasif, dan karsinoma tipe spesifik. Karsinoma duktal invasif merupakan jenis terbanyak, yaitu sekitar 80 % dari karsinoma payudara. Massa sel tumor solid, bentuk dan besarnya bervariasi, tersusun berupa sarang-sarang yang dibatasi jaringan ikat. Tipe karsinoma duktal invasif ialah karsinoma papilotubularis, karsinoma solid-tubularis, dan karsinoma skirus (sekitar 45 %). Karsinoma tipe spesifik cukup banyak, dan yang sering ditemukan ialah karsinoma medularis dan karsinoma lobularis.
- (c). *Karsinoma paget*. Tumbuh pada epidermis puting susu, meluas pada duktal dibelakangnya, seolah-olah berasal dari duktal, dan jarang ditemukan.

5. Stadium karsinoma payudara

Penentuan stadium tumor merupakan pedoman untuk memilih pengobatan yang sesuai dan ikut menentukan prognosis. Stadium karsinoma payudara ditentukan berdasarkan klasifikasi International yang disusun dalam sistem TNM (Tabel 1).

- T : Menunjukkan kondisi tumor primer, antara lain diameter dan kondisi kulit yang menutupi tumor,
 N : Penilaian terhadap kemungkinan adanya metastasis pada kelenjar getah bening (KGB), dan

M : Menggambarkan metastasis pada organ lain, seperti paru, hati, tulang, dan otak.

Rincian klasifikasi sistem TNM disajikan pada Tabel 2.

6. Penemuan dini kanker payudara

Penemuan dini merupakan upaya penting dalam penanggulangan karsinoma payudara. Adanya benjolan pada payudara merupakan keluhan utama dari penderita. Pada umumnya penderita kanker payudara di Indonesia datang ke RS atau berkonsultasi pada dokter dalam kondisi tumor stadium lanjut, sehingga kemungkinan untuk disembuhkan sangat kecil.

TAMBUNAN (12) membagi tiga macam pemeriksaan dini kanker payudara :

- (a). *Pemeriksaan Payudara Sendiri (SARARI)*. Pemeriksaan diri sendiri dilakukan setiap bulan secara teratur. Apabila teraba nodul atau benjolan segera dikonsultasikan pada dokter untuk pemeriksaan lebih lanjut. Dengan melakukan pemeriksaan diri sendiri secara teratur kesempatan menemukan tumor dalam ukuran kecil lebih luas.
- (b). *Pemeriksaan payudara secara klinis (SARANIS)*. Dokter umum merupakan "ujung tombak" penanggulangan kesehatan masyarakat, mempunyai kesempatan luas menemukan tumor payudara lebih awal. Kesempatan ini mungkin terwujud, apabila pada wanita yang berusia lebih dari 40 tahun atau yang termasuk golongan risiko tinggi, walaupun datang karena penyakit lain, dilakukan pemeriksaan fisik payudara secara klinis (SARANIS) oleh dokter, bidan, atau paramedis wanita terlatih dan terampil.
- (c). *Pemeriksaan mamografi*. Mamograf ialah foto payudara dengan menggunakan peralatan khusus (radiologik). Teknik sederhana dan tidak sakit, tetapi biaya relatif mahal. Mamografi mampu mendeteksi karsinoma payudara ukuran kecil, kurang dari 2 cm bahkan pada tumor yang tidak teraba. Apabila pada SARARI atau SARANIS teraba modul, pemeriksaan dilanjutkan dengan mamografi, terutama pada wanita golongan risiko tinggi. Pada saat ini untuk deteksi karsinoma dini telah digunakan xeromamografi dengan kemampuan diagnosis lebih tajam dan akurasi lebih tinggi.

7. Sasaran Program

Program penelitian diagnosis dini kanker payudara kemungkinan dilakukan pendekatan permasalahan melalui :

- (a). Ekspresi reseptor hormonal, yaitu hormon progesteron dan estrogen.
- (b). Mencari kemungkinan adanya antigen spesifik untuk kanker payudara.
- (c). Penentuan kadar antigen karsinoembrionik (CEA) dalam darah penderita.

PEMBUATAN ANTIBODI PROGESTERON, FSH, DAN LH

1. Permasalahan

Penampilan reproduksi pada ternak ruminansia berkaitan erat dengan perubahan kadar progesteron dalam sirkulasi darah perifer, yang selama ini digunakan sebagai indikator tunggal. Sebenarnya siklus estrus merupakan suatu mekanisme kerjasama yang saling mempengaruhi antara hormon gonadotropin (FSH, LH) dengan hormon progesteron yang dikendalikan oleh susunan saraf pusat yang akan menimbulkan rangsangan umpan balik pos/neg.

FSH dan LH menstimulasi produksi progesteron sampai mencapai kadar optimal yang diperlukan untuk ovulasi, yaitu saat yang paling tepat untuk dilakukan inseminasi buatan. Kegagalan inseminasi buatan karena keliru menilai kadar progesteron tanpa diketahuinya kadar FSH dan LH pada saat itu.

Penilaian penampilan reproduksi pada ternak jarang dilakukan penetapan kadar FSH dan LH dalam serum darah perifer. Hal ini karena kit FSH dan LH hewan ternak belum dapat dibeli dipasaran, dan bila digunakan kit FSH dan LH manusia tidak dapat bereaksi silang dengan hormon ternak. Dalam usaha mengatasi kebutuhan kit RIA FSH dan LH hewan ternak, maka perlu dibuat sendiri dengan menggunakan antibodi FSH dan LH yang berasal dari domba dengan perkiraan dapat pula bereaksi silang dengan FSH dan LH sapi dan hewan ruminansia lainnya.

2. Pengertian istilah

Reagen imunologik terpenting untuk deteksi secara *in vitro* ialah antibodi atau antisera spesifik. Antibodi ialah suatu imunoglobulin yang mempunyai kemampuan spesifik untuk berikatan dengan antigen. Sedang antisera ialah serum yang mengandung antibodi. Imunoglobulin, ialah sekelompok protein serum terdiri atas lima kelas, yaitu IgG, IgM, IgA, IgD dan IgE yang terbentuk sebagai efek respon imun dan memiliki sifat umum untuk berkaitan dengan antigen spesifiknya. Sedangkan antigen ialah suatu senyawa yang mampu menginduksi pembentukan antibodi dan memberikan reaksi spesifik pada antibodi yang dihasilkan.

3. Antibodi monoklonal

Pada hakekatnya tubuh hewan mamalia termasuk manusia, bila mendapatkan infeksi benda-benda asing (antigen), misalnya : virus, bakteri, jamur, sel kanker, hormon, toksin, dan sebagainya, akan membentuk antibodi untuk menghancurkan benda asing tersebut dengan berinteraksi secara spesifik. Dalam tubuh, antibodi diproduksi oleh sel limpa, dan setiap sel menghasilkan antibodi spesifik untuk antigen tertentu sehingga dalam sistem imun banyak sekali jenis antibodi yang dapat diproduksi.

KOHLER dan MILSTEN (13) berhasil melakukan fusi antara sel pembentuk antibodi dari limpa tikus yang telah imun dengan mieloma, yaitu sel tumor yang dapat tumbuh di dalam kultur. Fusi sel menghasilkan sel hibrid

(hibridoma) yang mewarisi sifat kedua induknya, yaitu menghasilkan antibodi seperti induknya dan dapat di kultur. Meskipun sel pembentuk antibodi yang digunakan masih beragam jenisnya, sehingga hibridoma yang terbentuk menghasilkan berbagai macam antibodi, tetapi dengan teknik pemisahan dan isolasi dapat diperoleh kelompok hibridoma bersifat homogen atau monoklonal (Gambar 4) diambil dari GODING (14).

4. Sasaran program

- Menghasilkan antibodi progesteron, FSH, dan LH.
- Kit RIA progesteron, serta FSH dan LH khusus untuk ternak.
- Diharapkan produksi antibodi tersebut adalah monoklonal.

PEMULIAAN TANAMAN PADI DAN KEDELAI

1. Tujuan penelitian

- Karakterisasi secara molekuler galur mutan padi yang bersifat toleran terhadap kekeringan dan atau cekaman aluminium.
- Mengetahui mekanisme sifat toleransi terhadap kekeringan dan cekaman aluminium pada tingkat molekuler pada tanaman padi, sebagai persiapan kloning gen.
- Mengembangkan kultur jaringan tanaman padi dan kedelai yang dikombinasikan dengan iradiasi gamma, dalam usaha mendapatkan galur mutan yang bersifat toleran terhadap aluminium dan kekeringan.

2. Lingkup kegiatan

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya telah diperoleh indikasi secara *in vitro* galur mutan padi toleran terhadap kekeringan dan cekaman aluminium. Dalam mutan tersebut terjadi perubahan susunan triplet pada rangkaian DNA gen, sehingga akan terjadi perubahan pola protein dalam upaya tanaman melindungi diri terhadap keadaan ekstrem.

Studi mengenai respon keadaan ekstrem tersebut secara molekuler dapat diikuti melalui perubahan ekspresi gen, yaitu berupa pembentukan mRNA dan pola rangkaian polipeptida (protein) yang dihasilkan. Dalam penelitian, teknik yang akan digunakan antara lain analisis mRNA, analisis protein, deteksi DNA polimorfisme dengan metode RAPD, dan sintesis cDNA dari RNA dengan metode PCR.

Pengembangan kultur jaringan/sel tanaman adalah merupakan dasar dari bioteknologi, bahkan akan mendukung program (akhir), yaitu kloning gen. Dengan teknik kultur jaringan yang dikombinasikan dengan perlakuan mutagen, baik mutagen kimia maupun mutagen fisik (iradiasi), akan memberikan keragaman genetik yang bermanfaat bagi program pemuliaan.

Selain kultur jaringan tanaman, diusulkan agar dapat mulai dikembangkan pula kegiatan hibridisasi somatik, yaitu melalui fusi protoplas sel tanaman.

3. Sasaran program

Sesuai dengan Renstra Batan, yaitu pada akhir Pelita VII telah diperoleh galur mutan padi dan kedelai yang bersifat toleran kekeringan dan atau cekaman aluminium berdasarkan bioteknologi.

PENGEMBANGAN HIBRIDISASI SOMATIK SEL TANAMAN

1. Isolasi protoplas

Pada tahun 1960, COCKING (15) mengembangkan metode isolasi protoplas secara enzimatis yang efisien, dan menghasilkan sejumlah protoplas cukup untuk studi fusi. Enzim yang digunakan ialah selulase berasal dari biakan sejenis jamur, untuk menghancurkan dinding sel.

TAKEBE *et al.* (16) berhasil mengisolasi protoplas mesofil pada tanaman tembakau dengan menggunakan dua macam enzim secara bertahap. Enzim maserozim digunakan untuk memisahkan sel tunggal, kemudian dengan selulase untuk mencerna dinding sel, hingga protoplas dibebaskan. Selanjutnya diketahui bahwa kedua enzim tersebut dapat digunakan secara bersama, selain lebih cepat juga dapat mengurangi terjadinya kontaminasi oleh mikroba.

Sejak enzim secara komersial telah tersedia di pasaran, maka telah banyak laporan tentang isolasi protoplas, yaitu dari sel mesofil, jaringan akar, bintil akar pada legum, bagian ujung tunas, umbi akar, daun bunga, mikrospora muda, dan jaringan buah.

Faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup protoplas antara lain, yaitu sumber materi tanaman, perlakuan enzim, dan kondisi tekanan osmotik. Diagram isolasi protoplas mesofil disajikan pada Gambar 5.

2. Kultur protoplas

Protoplas dapat dikultur pada lempeng agar (Gambar 6), tetapi medium cair umumnya menjadi pilihan dengan alasan : (a). Protoplas beberapa spesies tidak akan membelah bila ditanam dalam medium yang mengandung agar, (b). Tekanan osmotik medium dapat dikurangi secara efektif setelah beberapa hari dalam kultur, (c). Kerapatan sel dapat dikurangi, atau sel yang menjadi perhatian khusus dapat diisolasi.

Selama 2 - 4 hari dalam kultur, protoplas kehilangan bentuk karakteristiknya, dan menunjukkan indikasi pembentukan dinding baru, yang dapat dibuktikan secara langsung dengan pewarnaan, atau dengan teknik mikroskop elektron. Pembentukan dinding baru oleh protoplas dimulai segera setelah enzim dicuci, dan materi dinding sel sekitar protoplas mesofil terlihat setelah 8-24 jam. Dalam beberapa kasus, protoplas tanpa dinding terlihat lebih dari seminggu, bahkan sampai bulanan.

Faktor yang mempengaruhi pembelahan protoplas dalam kultur antara lain yaitu : nutrisi yang diperlukan, kondisi tekanan osmotik nilai kerapatan protoplas dalam kultur, kondisi penyimpanan, dan materi tanaman.

3. Fusi protoplas

Fusi protoplas pada dasarnya digunakan untuk menghasilkan hibrid somatik atau variasi somaklonal. Pentahapan penting dalam pembentukan tanaman hibrid somatik, yaitu : isolasi protoplas, fusi protoplas, regenerasi dinding sel, fusi inti, seleksi sel hibrid, regenerasi tanaman yang lengkap, dan karakterisasi tanaman hibrid.

Selama degradasi dinding sel, beberapa protoplas yang berdekatan dapat mengadakan fusi bersama membentuk homokarion (fusi spontan). Hasil fusi secara spontan tidak mempunyai nilai agronomis penting, tetapi yang diperlukan ialah fusi protoplas antara sumber yang berbeda.

Mekanisme fusi protoplas diawali dengan perlekatan antara membran protoplas yang bersentuhan. Dengan larutnya membran pada titik pertemuan, kemudian bagian-bagian penyusun sitoplas bercampur. Akhirnya kedua protoplas sel mengumpul dalam bentuk bulatan yang mengandung inti dari kedua sel induk (dikarion). Inti dalam dikarion mungkin berfusi sebelum, selama, atau setelah mitosis hingga terbentuk sel hibrid berinti satu (Gambar 7).

Hasil fusi menunjukkan bahwa populasi protoplas terdiri atas campuran berbagai macam tipe induknya, yaitu homokarion, heterokarion, dan berbagai kombinasi inti dan sitoplas. Heterokarion sebagai sumber hibrid yang potensial dimasa mendatang, hanya menunjukkan sebagian kecil dari campuran hasil fusi tersebut. Seleksi sel hibrid somatik dilakukan dengan cara menggunakan perbedaan alami yang bersifat komplementer, misalnya sifat kepekaan kedua induk terhadap komponen bahan media, temperatur dan sebagainya.

4. Sasaran program

Menguasai teknik isolasi protoplas, regenerasi protoplas, fusi antar protoplas, regenerasi tanaman hasil fusi protoplas, dan karakterisasi tanaman hibrid.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada akhir Pelita VII diharapkan telah dapat dihasilkan :

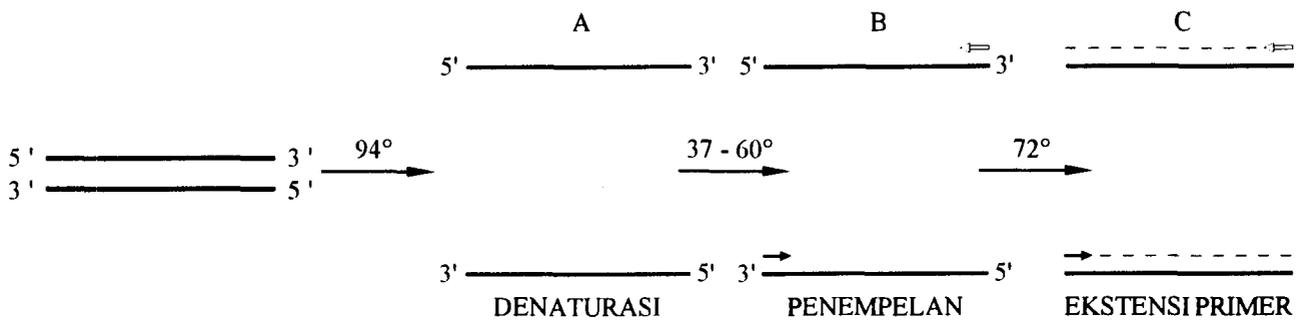
1. Layanan terhadap masyarakat, yaitu diagnosis klinik pada beberapa penyakit infeksi penting dengan PCR.
2. Diperoleh informasi tentang antigen penyebab kanker payudara. Selain itu juga paparan hormonal, yaitu kandungan progesteron dan estrogen penderita kanker payudara.
3. Kit RIA hormon FSH dan LH untuk ternak, serta kit RIA hormon progesteron.
4. Galur mutan tanaman padi dan kedelai yang toleran terhadap kekeringan dan cekaman aluminium secara bioteknologi.
5. Sesuai Renstra Batan, hasil uji laboratorium dan lapangan vaksin haemonchiasis dan fascioliasis harus telah selesai.

Saran

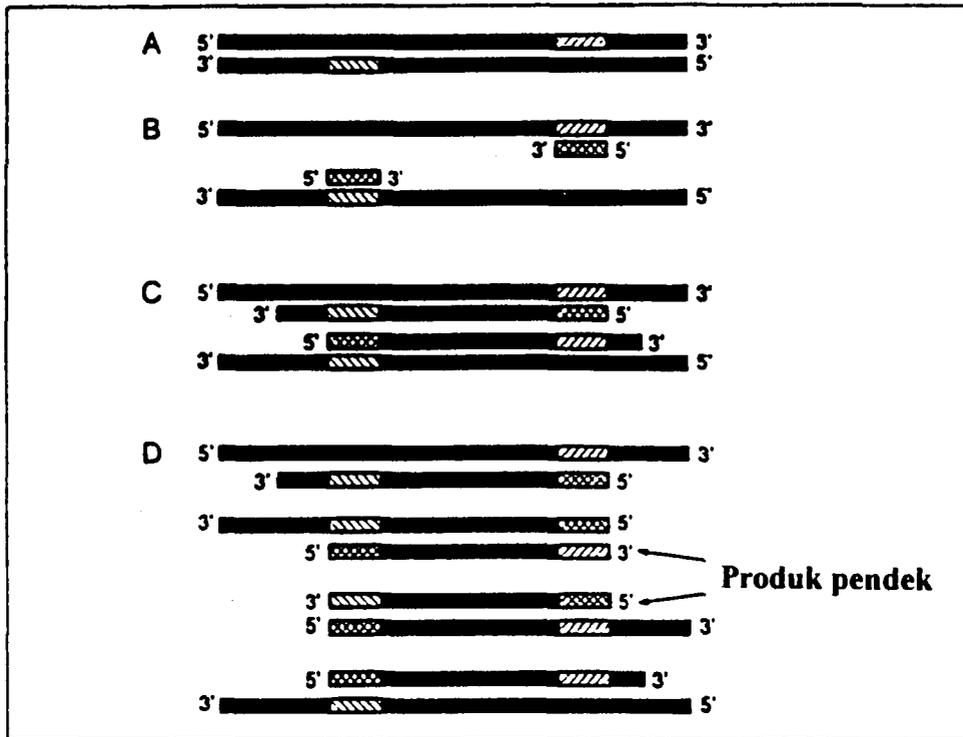
1. Dalam pengembangan diagnosis penyakit infeksi agar dilakukan pula deteksi virus patogen penting dengan PCR.
2. Program penelitian diagnosis dini kanker payudara diusulkan untuk dibentuk suatu tim dari PSPKR, PAIR, Lab. Patologi UI, dan RS. Darmas.
3. Khusus kit RIA hormon progesteron agar diproduksi dengan antibodi monoklonal
4. Studi transfer mikroflora dan protozoa rumen agar terus dilanjutkan. Seleksi jenis mikroflora dan protozoa yang efisien perlu dilakukan secara *in vitro*, yaitu isolasi dalam bentuk biakan murni, kemudian dibuat/disusun komposisi campuran sesuai dengan kondisi keadaan rumen.
5. Diharapkan agar mulai dirintis pengembangan fusi protoplas tanaman, yang diawali isolasi dan kultur protoplas, regenerasi protoplas, dan fusi protoplas.
6. Kelompok mikrobiologi lingkungan agar mulai berusaha untuk mendapatkan galur bakteri yang mampu melakukan dekomposisi limbah dan detoksifikasi senyawa beracun, serta sistem mikrobiologi untuk pengelolaan lingkungan.
7. Dalam kelompok tanah dan pemupukan agar mulai dirintis pengembangan rekayasa genetik bakteri *Rhizobium* (penambat nitrogen) pada tanaman budidaya (padi-padian), dan bakteri *Agrobacterium* (mengandung plasmid Ti) yang berfungsi sebagai vektor untuk memasukkan gen asing (baru) yang fungsional pada tanaman, serta cendawan *Mikoriza V.A.*, yang mampu membantu tumbuhan menyerap fosfat dari tanah, dan unsur mikro lainnya seperti seng dan tembaga.

DAFTAR PUSTAKA

1. SMITH, J.E., Prinsip Bioteknologi, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta (1990).
2. BATAN, Konsep Renstra Batan revisi 1997, BPKST, Batan (1997).
3. SAIKI, R.K., D.H. GELFAND, S. STOFFEL, S.J. SCHARF, R. HIGUCHI, G.T. HORN, K.B. MULLIS, and H.A. ERLICH, Primer directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase, *Science* 239 (1998) 487.
4. KUMAR, R., The technique of polymerase chain reaction, *Journal of methods in cell and molecular biology* 1 (1989) 133-152.
5. PERSING, D.H., *In vitro* nucleic acid amplification techniques, *In* : Diagnostic molecular microbiology, Persing D.H. *et al* (eds.), ASM, Washington D.C. (1993) 51-88.
6. SWAMINATHAN, B. and G.M. MATAR, Molecular typing methods, *In* : Diagnostic molecular microbiology, Persing D.H. *et al* (eds), ASM, Washington D.C. (1993) 26-51.
7. GOMPEL, C. and VAN KERKEM, C. The breast. *In* : Principles and practice of surgical pathology, Silverberg S.G. (ed.), New York, John Wiley & Sons (1983) 245-295.
8. LEONG A.S.Y., and W.A. RAYMOND. Prognostic parameter in breast cancer. *Pathology* 21 (1989) 169-175.
9. WATERHOUSE J. A.H., C.S. MUIR, K. SHANMUGARATNAM, and J. POWELL. Cancer incidence in five continents. Lyon, IARC Scientific Publications No. 42 (1982).
10. CORNAIN S., R. MANGUNKUSUMO, I.M. NAZAR, and J. PRIHARTONO. Ten most frequent cancers in Indonesia. Pathology based cancer registry data of 1988-1989. *In* : Cancer registry in Indonesia. National registry center, Jakarta Coordinating board (1990).
11. PRIHARTONO, J., Y. OHNO, S. BUDININGSIH, S. SUZUKI, S. CORNAIN, N. KUBO, D. TJIDARBUMI, S. WATANABE, G. TJAHJADI, G. SAKAMOTO, I. DARWIS, E. SOETRISNO, and E. SRI ROOSTINI. Breast cancer case control study. *Med. J. Indonesia* 4 (1995) 143-147.
12. TAMBUNAN G.W. Sepuluh jenis kanker terbanyak di Indonesia, (ed.) M. Handojo, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta (1991).
13. KOHLER, G. and C. MILSTEIN. Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity. *Nature* 256 (1975) 495-497.
14. GODING J.W. Monoclonal antibodies : Principles and practice, 2nd. ed. Acad. Press, London (1988).
15. COCKING E.C. A method for the isolation of plant protoplasts and vacuoles. *Nature* 187 (1960) 927-929.
16. TAKEBE, I., Y. OTSUKI, and S. AOKI. Isolation of tobacco mesophyll cells in intact and active state. *Plant Cell Physiol.* 9 (1968) 115-124.
17. BHOJWANI S.S. and M.K. RAZDAN. Plant tissue culture. Theory and Practice, first ed. Elsevier, New York (1983).



Gambar 1. Satu siklus pada PCR terdiri atas tiga tahap (dikutip dari R. KUMAR, 1989).

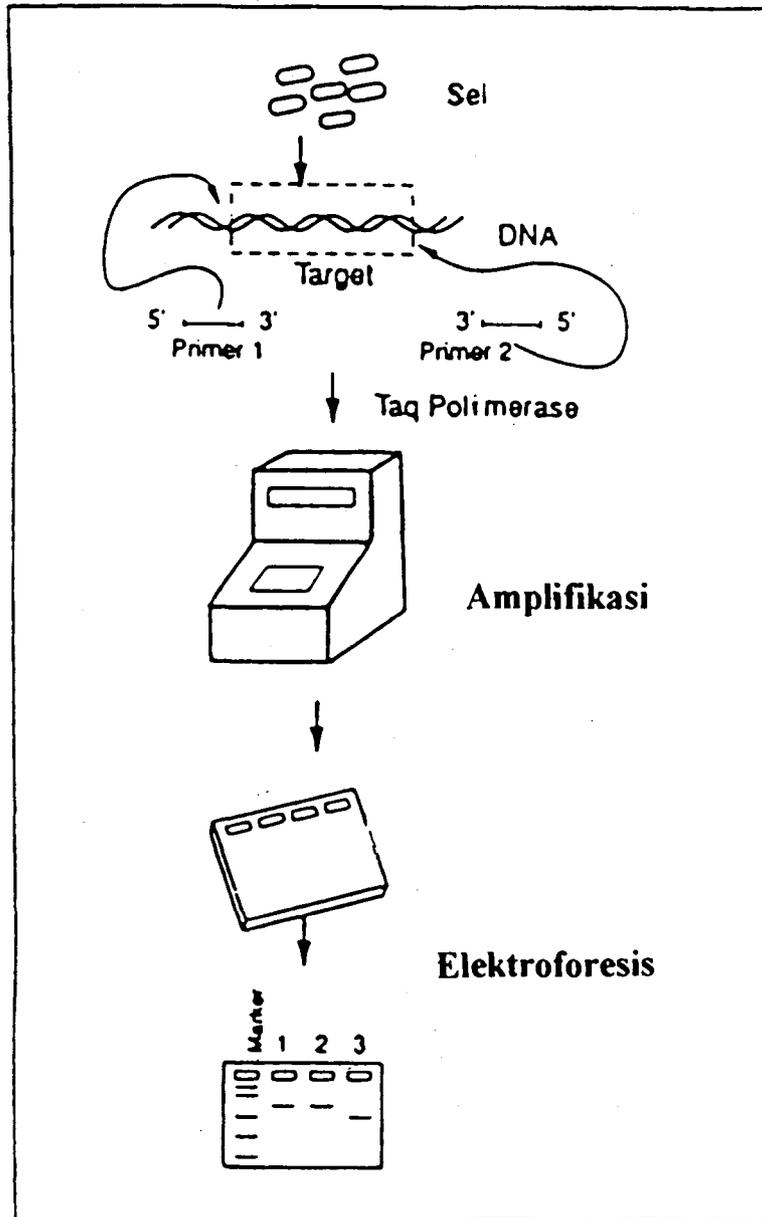


Gambar 2. Pembentukan produk sekuens "pendek" pada siklus berikutnya (dikutip dari D.H. PERSING, 1993).

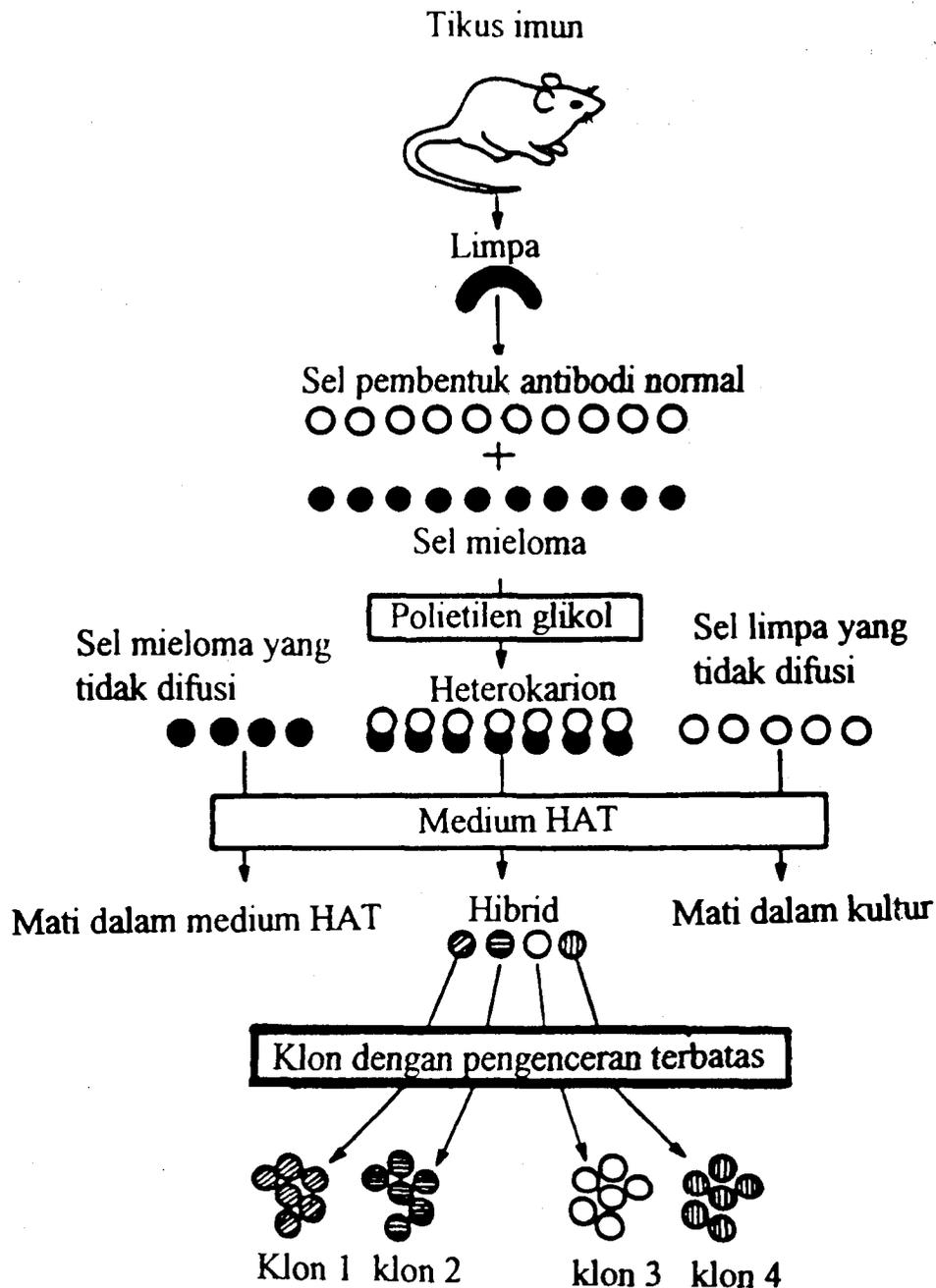
Keterangan :

- A : Dalam siklus pertama, rangkai ganda DNA sekuens target digunakan sebagai cetakan, dengan tempat penempelan primer.
- B : Kedua rangkaian terpisah oleh denaturasi panas, dan dua primer oligonukleotida sintetik menempel pada sekuens yang dikenalnya masing-masing dalam orientasi 5' -3'
- C : Catatan, bahwa ujung 3' pada setiap primer adalah saling berhadapan. Taq polimerase DNA merintis sintesis pada ujung 3' pada setiap primer.
- D : Ekstensi primer melalui sintesis DNA menghasilkan tempat pengikatan primer baru. Hasil setelah satu putaran sintesis adalah dua kopi asli molekul DNA target. Dalam siklus kedua, masing-masing pada empat rangkaian DNA (terlihat pada C) menempel pada primer untuk merintis suatu putaran baru pada sintesis DNA.

Di antara delapan produk rangkaian tunggal, dua yang panjangnya ditentukan oleh jarak antara dan termasuk tempat penempelan primer; produk pendek tersebut terakumulasi secara eksponensial dalam siklus berikutnya.



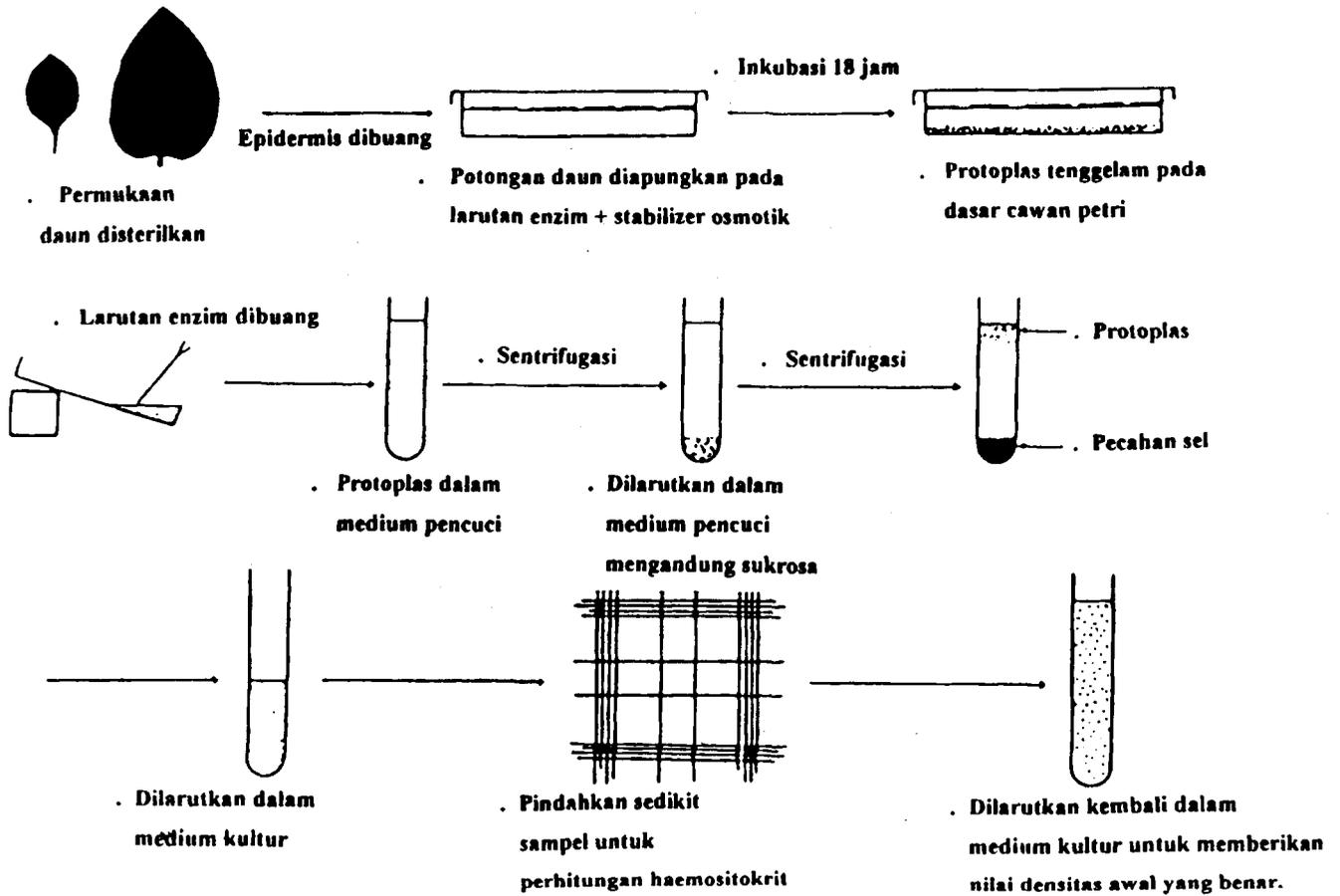
Gambar 3. Skema PCR (dikutip dari D.H. PERSING, 1993).



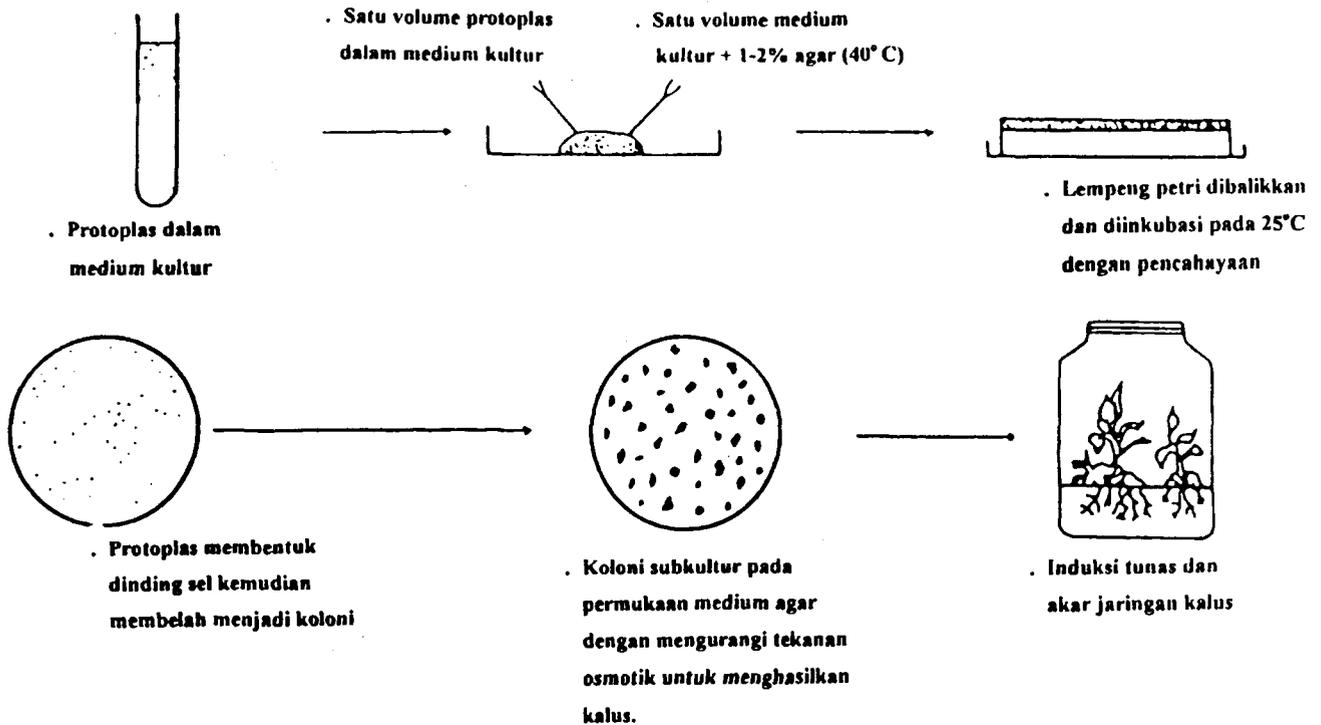
Gambar 4. Produksi antibodi monoklonal (dikutip dari J.W. GODING, 1986).

Sel limpa dari tikus imun difusikan dengan sel mieloma (HGPRT-) menggunakan polietilen glikol (PEG). Produk fusi berinti dua diketahui sebagai heterokarion. Pada pembelahan berikutnya, fusi menghasilkan sel hibrid tumbuh dalam medium HAT. Sel mieloma tanpa fusi mati dalam medium HAT, dan sel limpa tanpa fusi dapat hidup hanya beberapa hari dalam kultur. Hibrid diuji untuk produksi antibodi pada spesifitas yang diinginkan, dan diklon dengan pengenceran terbatas.

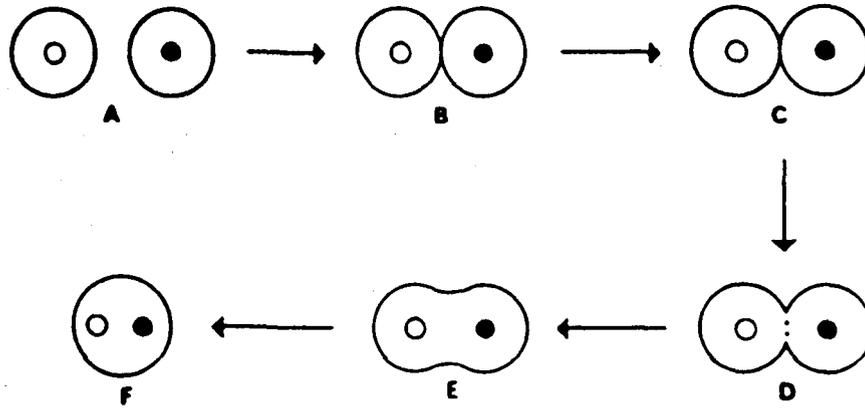
HGPRT : Hipoxantin guanidin posforibosil transferase - (enzim)
 HAT : Hipoxantin, aminopterin, dan timidin - (medium)



Gambar 5. Diagram alir isolasi protoplas mesofilik (dikutip dari S.S. BHOJWANI dan M.K. RAZDAN, 1983).



Gambar 6. Diagram alir kultur protoplas (dikutip dari S.S. BHOJWANI dan M.K. RAZDANI, 1983).



Gambar 7. Diagram alir urutan keadaan fusi protoplas (dikutip dari S.S. BHOJWANI dan M.K. RAZDAN, 1983).

- A : Dua protoplas terpisah
- B : Perpaduan pada dua protoplas
- CD : Fusi membran pada tempat perekatan
- DF : Pembentukan heterokarion

Tabel 1. Klasifikasi stadium kanker payudara (sistem Manchester)

Stadium I	T_{1a}	N_0	M_0
	T_{2a}	N_0	M_0
Stadium II	T_0	N_1	M_0
	T_{1a}	N_1	
	T_{2a}	N_1	
Stadium III	T_3	$N_{0,1,2}$	M_0
	$T_{0,1,2}$	N_2	
	T_{1b}, T_{2b}	$N_{0,1,2}$	
	T_4	$N_{0,1,2}$	
Stadium IV	T	N_3	M_1

Tabel 2. Klasifikasi TNM kanker payudara (dikutip dari G.W. TAMBUNAN, 1991)

TNM	Interpretasi
T	• Tumor primer
T ₀	• Tidak dapat ditunjukkan adanya tumor
T ₁ a b	• Ukuran tumor kurang dari 2 cm • Tanpa fiksasi • Dengan fiksasi
T ₂ a b	• Ukuran tumor antara 2-5 cm • Tanpa fiksasi • Dengan fiksasi
T ₃ a b	• Tumor berukuran lebih dari 5 cm • Tanpa fiksasi • Dengan fiksasi
T ₄ a b	• Tumor telah menunjukkan perluasan ke dalam dinding toraks atau kulit • Dengan fiksasi terhadap dinding toraks • Disertai edema, ulserasi atau adanya tumor satelit
N	• Metastasis pada kelenjar getah bening (KGB)
N ₀	• Kelenjar getah bening tidak membengkak
N ₁ a b	• Teraba KGB di ketiak homolateral dan mudah digerakan • Diduga pembengkakan KGB bukan karena metastasis • Diduga pembengkakan karena metastasis
N ₂	• Teraba pembesaran KGB di ketiak homolateral, namun melekat satu sama lain ataupun dengan jaringan sekitarnya
N ₃	• Teraba pembesaran KGB intra atau supraklaviler atau edema lengan homolateral
M	• Metastasis ke organ jauh
M ₀	• Tidak ada metastasis pada organ jauh
M ₁	• Terdapat metastasis pada organ jauh

DISKUSI

VERLIE

Bagaimana batas keamanan/Safety pemakaian radio isotop di bidang kesehatan, apakah sudah ada penelitian mengenai dosis radio isotop yang aman yang masih boleh diterima tubuh manusia ? Apakah ada efek samping dari pemakai/pasien ?

F. SUHADI

1. Filosofi proteksi radiasi selain paparan terhadap pekerja radiasi dan penduduk/populasi, juga paparan medik. Pemakaian radio isotop di bidang kesehatan medik dilakukan sesuai rekomendasi dari ICRP Tingkat dosis radiasi yang ditetapkan IRCP masih dibawah tingkat dosis yang tidak ada risiko kesehatan manusia. Paparan medik adalah paparan yang diterima oleh seseorang waktu menjalani diagnosis atau terapi, dan pada seseorang secara sukarela yang membantu pasien yang sedang menjalani paparan. Pembeneran bagi suatu kegiatan yang menimbulkan paparan radiasi (medik) hanya dapat dibenarkan bila memberikan manfaat kepada orang atau masyarakat terpapar lebih besar dari pada kerugian yang berkaitan dengan sumber radiasi yang digunakan, yaitu besarnya dosis perorangan, jumlah orang yang diradiasi, dan peluang terkena paparan hendaknya dijaga serendah mungkin. Optimisasi proteksi dimulai dari desain, penggunaan peralatan dan prosedur kerja yang benar. Nilai batas dosis acuan untuk paparan pekerja radiasi ialah 50 mSv/wB pertahun untuk stokastik dan 500 mSv/100 Cm² pertahun untuk nonstokastik. Sedang pada paparan medik keselamatan radiasi diperoleh dengan menerapkan azas manfaat (*justification*) dan azas optimisasi untuk paparan penduduk/populasi besarnya NBD = 10 % NBD paparan pada pekerja radiasi.
2. Walaupun jelas banyak manfaatnya bagi kesehatan manusia, potensi bahaya radiasi tidak dapat diabaikan. Apabila dosis berlebihan dampak negatif radiasi terhadap kesehatan mungkin dapat berupa efek somatik akut, misalnya luka bakar, anemia, kemandulan, katarak, kanker, dan leukemia, serta efek genetik.

SRI MURNI ARDININGSIH

1. Apakah KIT RIA pada hormon FSH, LH, dan progesteron sudah tersedia di PAIR-BATAN ?
2. Seberapa jauh penelitian yang dilakukan dengan menggunakan KIT RIA yang dihasilkan ?
3. Apakah ada kemungkinan dilakukan kerjasama penelitian untuk penerapan KIT RIA tersebut diatas ?

F. SUHADI

1. KIT RIA hormon FSH, LH dan progesteron khusus untuk ternak baru diprogramkan pada Pelita VII. Dulu pernah dihasilkan untuk hormon T3 dan T4 dan telah diserahkan produksinya pada Pusat Produksi Radioisotop BATAN Serpong.

2. Dengan membeli KIT RIA yang ada di pasaran, pada saat ini sudah bersifat rutin, yaitu menerima sampel dari lab klinis berbagai pemeriksaan hormon untuk manusia, pemeriksaan hormon yang banyak dilakukan antara lain fungsi tiroid (T3 dan T4), hormon reproduksi steroid (testosteron, progesteron, estradiol, estriol, HPL), gonadotropin (FSH, LH, prolaktin), dan "tumor marker" (CEA, AFP, dan PAP).
3. Dapat saja dilakukan kerja sama penelitian yang saling menguntungkan.

ENTIN DANINGSIH

Sekalipun belum diungkapkan dalam presentasi namun saya tertarik dengan pernyataan terakhir dari abstrak mengenai identifikasi dan karakterisasi gen toleran cekaman kekeringan dan aluminium pada padi.

1. Sampai sejauh manakah identifikasi dan karakterisasi gen toleran ini, khususnya pada padi yang telah dilakukan di PAIR ?
2. Apakah hanya Al ? mengapa tidak juga Fe ? Karena permasalahan pada lahan kering juga dihadapkan pada Fe-toxicity ?

F. SUHADI

1. Di lapangan telah ditemukan galur mutan harapan toleran kekeringan pada padi biasa menjadi padi ketan. Analisis molekuler galur mutan tersebut telah dilakukan, yaitu mendeteksi DNA polimorfisme dengan metode RAPD dan sintesis cDNA dari RNA dengan metode PCR.
2. Dalam percobaan yang dilakukan hanya cekaman aluminium, karena permasalahan untuk lahan masam adalah aluminium.

SUHARYONO

1. Bioteknologi dikaitkan dengan beberapa bidng, yaitu kesehatan manusia, peternakan dan pertanian, namun kesehatan yang banyak dibahas dalam presentasi. Bagaimana tentang peternakan, khususnya untuk nutrisi ternak. Apakah dalam paper lengkap juga dibahas, bila tidak dibahas saya menyarankan agar judul diganti saja, cukup dengan pengembangan bioteknologi dalam bidang kesehatan hewan.
2. Berapa biaya untuk deteksi dini pada beberapa penyakit bila menggunakan metode PCR ?

F. SUHADI

1. Tidak semua judul dibahas dalam makalah, namun tentang peternakan khususnya untuk nutrisi ternak telah disinggung baik dalam ringkasan, maupun saran-saran. Tujuan utama pogram peternakan adalah peningkatan produksi dan reproduksi ternak.
2. Pada waktu harga dolar Rp. 4.000,- per \$ 1-, perhitungan harga per sampel ialah Rp. 150.000,-. Bergantung pada nilai kurs dolar terhadap rupiah.

TEKNOLOGI DAN APLIKASI PEMERCEPAT ELEKTRON

M. Natsir

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000122

ABSTRAK

TEKNOLOGI DAN APLIKASI PEMERCEPAT ELEKTRON. Teknologi akselerator elektron (pemercepat elektron) berkembang sangat cepat di beberapa negara maju. Yang diaplikasikan untuk penelitian dan pengembangan (*R&D*) dan berbagai jenis industri secara komersil. Aplikasi akselerator elektron dalam industri tersebut mencakup bidang industri polimer, sterilisasi peralatan kedokteran, modifikasi permukaan bahan dan pengelolaan lingkungan. Proses radiasi dengan berkas elektron adalah proses ionisasi radiasi. Dalam rangka penelitian dan pengembangan teknologi proses radiasi untuk demonstrasi ke industri di Indonesia, dua fasilitas akselerator elektron skala pilot telah dibangun di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - BATAN Jakarta. Akselerator yang pertama mempunyai spesifikasi energi elektron rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300, yang kedua energi menengah 2 MeV, 10 mA model dinamitron tipe GJ-2 dengan kemampuan penetrasi elektron masing-masing 0,6 mm dan 12 mm untuk iradiasi dua sisi dalam bahan yang kerapatannya 1 g/cm^3 . Penampang berkas elektron berukuran panjangnya 120 cm dan lebarnya 10 cm disajikan di atmosfer untuk keperluan iradiasi sampel atau produk industri. Dosis radiasi pada sampel dapat diatur dengan tepat dengan mengatur arus berkas elektron dan kecepatan konveyor. Kedua fasilitas ini menghasilkan kapasitas produksi (output) cukup tinggi dan telah digunakan untuk penelitian dan pengembangan dosimetri, pelapisan permukaan papan kayu, crosslinking polimer, heatshrinkable tube, grafting polimer, degradasi plastik, pengawetan, sterilisasi, dan lain-lain. Faktor-faktor *engineering* desain proses iradiasi dan tinjauan umum berbagai potensi aplikasi dalam berbagai bidang penelitian dan pengembangan ke industri di Indonesia akan diuraikan secara ringkas.

ABSTRACT

TECHNOLOGY AND APPLICATIONS OF ELECTRON ACCELERATOR. Technology of electron accelerator have been developed so fast in the advanced countries. It was applied in the research and development (*R&D*) and commercially in various industries. The industries applying electron accelerator includes polymer industry, sterilization of medical tools, material surface modification, and environmental management. The radiation process using electron beam is an ionization radiation process. Two facilities of electron accelerator have been established in pilot scale at the Center for the Application of Isotope and Radiation CAIR-BATAN, Jakarta, for the *R&D* of radiation process technology and in demonstrating the electron accelerator application in industry in Indonesia. The first has low energy specification of 300 keV, 50 mA, EPS-300 type and the second has medium energy specification of 2 MeV, 10 mA dynamitron model of GJ-2 type. Both the electron accelerators have an electron penetration depth capability of 0.6 and 12 mm, respectively, for the double side irradiation in the materials with density of 1 g/cm^3 . They also highly capacity production and the electron beam cross-section of 120 cm length and 10 cm width. The beam will go through the atmosphere for irradiation samples or industrial products. The radiation dose can be selected precisely by adjusting the electron beam current and conveyor speed. Both of these facilities were applied in many aspects *R&D*, for examples dosimetry, wood surface coating, cross-linking of polymer, heatshrinkable tube, polimer grafting, plastic degradation, food preservation, sterilization and so on. Engineering factors of radiation design process and general observation of electron accelerator application in *R&D* for various industries in Indonesia are briefly discussed.

PENDAHULUAN

Teknologi akselerator elektron di beberapa negara maju seperti Jepang, USA, Rusia dan Europe telah diaplikasikan dalam berbagai bidang baik untuk penelitian dan pengembangan (*R&D*) dan komersial dalam industri. Secara umum aplikasi tersebut dapat dikelompokkan dalam tiga bidang. Yang pertama digunakan dalam dunia industri misalnya industri polimer dan sterilisasi peralatan kedokteran, dan yang kedua untuk modifikasi bahan serta yang terakhir untuk pengelolaan lingkungan. Teknologi akselerator elektron mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan teknik konvensional baik proses thermal atau kimia, keunggulan tersebut antara lain adalah menghasilkan produk unggul, hemat energi, proses

berlangsung pada suhu kamar, ramah lingkungan (tidak menimbulkan polusi pada lingkungan), proses mudah dikontrol, teknologi aman, output cukup tinggi dan kompetitif baik kuantitas maupun kualitas (proses cepat, mutunya baik) serta biaya produksi lebih murah untuk produksi massal [1].

Dalam pembangunan jangka panjang kedua dan era globalisasi akan tumbuh banyak industri di Indonesia. Terobosan teknologi akselerator dalam sektor industri tersebut sangat penting artinya karena dapat menghasilkan produk yang berkualitas unggul, aman dan kompetitif sehingga dapat bersaing di pasar global yang pada gilirannya nanti dapat meningkatkan ekonomi nasional. Teknologi akselerator merupakan IPTEK nuklir yang basisnya adalah Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN). Pusat Aplikasi

Isotop dan Radiasi - BATAN sedang mengoperasikan dua buah fasilitas akselerator elektron yaitu akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 dengan daya maksimum 15 kW buatan Jepang dibangun pada tahun 1985, dan akselerator elektron energi menengah 2 MeV, 10 mA tipe dynamitron model GJ-2 dengan daya maksimum 20 kW buatan China dibangun pada akhir tahun 1993 [2].

Kedua akselerator elektron tersebut diatas dioperasikan untuk penelitian dan pengembangan serta introduksi ke industri, yang dimanfaatkan oleh lembaga penelitian pemerintah baik Batan maupun luar Batan, universitas, IAEA dan UNDP serta JAERI melalui kerja sama bilateral dan Industri (swasta) dalam berbagai bidang yaitu dosimetri, polimerisasi, sterilisasi, modifikasi permukaan bahan (logam, kayu, keramik, porselin), penelitian limbah industri, dll. Diharapkan mampu menghasilkan produk-produk baru yang berkualitas misalnya melalui industri polimer yaitu proses ikatan silang (crosslinking) yang terdiri dari kabel tahan panas dan tahan tegangan tinggi, film atau pipa tabung plastik yang dapat mengkerut atau mengempes ukurannya bila dipanaskan (heat shrinkable tubes and films), plastik busa, vulkanisasi karet alam, pelapisan permukaan papan kayu, serta grafting polimer, dll. Aplikasi komersial juga dapat dilakukan pada fasilitas tersebut misalnya untuk pelapisan permukaan bahan (kayu lapis, logam, keramik, porselin, marmer, dll.) dan isolasi kabel.

Beberapa aplikasi yang cukup potensial dilakukan pada kedua akselerator tersebut, misalnya dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO_x dan SO_x skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), disinfeksi sludge dan sewage, dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dll. dan dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan dan buah-buahan, dan dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian sel terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain masih perlu dikaji, yaitu efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran dan lain-lain yang tidak disebutkan contohnya satu-persatu dalam paper ini.

PAIR-BATAN saat ini menerima kerjasama dengan pihak SWASTA/BUMN untuk alih teknologi polimerisasi radiasi berkas elektron khususnya untuk pelapisan permukaan papan kayu dan pembuatan isolasi kabel yang tahan panas dan tegangan tinggi [1]. Dalam kertas kerja ini akan diuraikan deskripsi akselerator elektron, faktor-faktor *engineering* desain proses iradiasi dan status aplikasi akselerator elektron baik dalam maupun luar negeri serta tinjauan secara umum berbagai potensi aplikasi dalam bidang penelitian dan industri di Indonesia.

DESKRIPSI AKSELERATOR ELEKTRON

Komponen-komponen utama akselerator elektron secara umum adalah sumber elektron, sistem vakum, sumber tegangan tinggi, sistem pemokus, tabung pemercepat

elektron, tabung scanning, sistem pengeluaran elektron dari ruang vakum ke atmosfer serta sistem konveyor. Gambar konstruksi dari akselerator elektron 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 diberikan pada gambar 1. Tabung pemercepat dan scanner dibuat dari stainless steel divakumkan hingga mencapai $< 10^{-7}$ Torr dengan menggunakan sistem pompa vakum bertingkat, biasanya pompa rotary, pompa cryo-pump, pompa turbomeleuler dan pompa ion. Elektron dipancarkan dari filamen tungsten yang dipanaskan dengan aliran listrik AC, diekstrak dengan tegangan ekstraktor yang dipasang pada celah antara anoda dan katoda dan difokuskan serta diarahkan kedalam celah atau kanal yang menghasilkan arus berkas elektron dalam range mili Ampere. Kemudian elektron-elektron tersebut difokuskan dan dipercepat dalam tabung akselerator oleh tegangan pemercepat yang dipasang secara gradient potential pada tabung pemercepat, dan elektron-elektron discan (ditayarkan) dengan menggunakan pengaruh medan listrik dan magnet yang dipasang pada leher tabung *scanning horn* serta diarahkan pada target titanium window foil dengan ukuran penampang berkas elektron tertentu. Untuk keperluan industri berkas elektron dalam tabung vakum disajikan ke atmosfer udara luar melalui target titanium window foil tipis 17,5 mikron. Ukuran penampang berkas elektron tersebut umumnya 120 cm x 10 cm dan dapat diatur, yang disesuaikan dengan kebutuhan produk industri atau sampel yang akan diiradiasi. Sampel iradiasi atau produk industri yang diproses diangkut dengan menggunakan sistem konveyor kedalam ruang iradiasi, dosis radiasi yang diterima sampel dapat diberikan dengan tepat dengan mengatur kecepatan konveyor, energi dan arus berkas elektron [2].

FAKTOR-FAKTOR ENGINEERING DESAIN PROSES PRODUKSI [3]

Sebelum proses iradiasi dengan berkas elektron dilakukan, kita perlu mengevaluasi 4 faktor desain *engineering* proses yaitu dosis iradiasi dan kecepatan dosis (laju dosis) yang dibutuhkan, penetrasi berkas elektron (range elektron) dalam bahan, ukuran dan bentuk bahan yang diiradiasi, dan kapasitas produksi yang diperlukan.

1. Range elektron (penetrasi berkas elektron)

Range elektron atau daya tembus elektron dalam bahan merupakan suatu faktor penting dan menentukan kemampuan aplikasi akselerator tersebut. Semakin besar range elektron dalam bahan semakin luas bidang aplikasi akselerator elektron dapat dimanfaatkan. Ketika elektron berinteraksi dengan suatu bahan yang diiradiasi, elektron akan kehilangan energi kinetiknya, terutama oleh interaksi listrik dengan elektron atomik. Kemudian elektron tersebut naik keadaan eksitasi, atau lebih sering terlepas dari atom induknya sehingga terbentuknya molekul-molekul tereksitasi dan sebagian besar elektron yang terlepas memiliki energi cukup untuk mengionisasi atom yang berada pada lintasannya, sehingga terbentuknya ion-ion selanjutnya molekul yang tereksitasi akan terurai menjadi radikal-radikal yang sangat reaktif.

Elektron cepat yang datang dari tabung vakum mempunyai energi mula-mula E_0 , pertamakali berinteraksi dengan titanium *window foil* dan menembus *window foil* akan kehilangan energinya dE_w , kemudian melewati celah udara ruang iradiasi, akan kehilangan energinya dE_{air} , yang akhirnya berinteraksi dengan bahan dengan energinya E . Dari uraian diatas energi elektron yang mula-mula E_0 dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (1) :

$$E_0 = dE_w + dE_{air} + E \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- E_0 adalah energi mula-mula yang sesuai dengan tegangan tinggi pemercepat elektron (MeV)
- dE_w adalah energi hilang dalam titanium window foil (MeV)
- dE_{air} adalah energi hilang dalam udara ruang iradiasi diantara permukaan titanium foil dan permukaan konveyor (MeV).

Dalam prakteknya energi hilang dalam titanium window foil dan energi dicelah udara biasanya diabaikan, karena $E_0 \gg dE_w + dE_{air}$. Interaksi berkas elektron dengan bahan yang diiradiasi, lambat laun elektron mengalami perlambatan sampai akhirnya elektron itu berhenti (stop) dalam bahan yang disebut dengan range elektron (jangkauan elektron atau kedalaman penetrasi).

Elektron berenergi mula-mula E_0 memiliki range dalam bahan tertentu, yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\int_0^{E_0} E dE / dX \dots\dots\dots (2)$$

- dimana : R range elektron dalam bahan (cm)
- dE/dX stopping power elektron atau kehilangan energi (MeV/cm²).

Secara empiris, range elektron atau tebal bahan yang efisien digunakan dalam pemrosesan iradiasi dua sisi dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = \frac{0.8 (\text{gram/cm}^2 \cdot \text{MeV}) \cdot E (\text{MeV})}{\rho (\text{gram/cm}^3)} \dots\dots (3)$$

- dimana : ρ kerapatan bahan (gram/cm³) dan E energi elektron (MeV).

2. Dosis dan Laju Dosis

Satuan dosis dalam proses radiasi adalah Gray (Gy), yaitu energi 1 Joule (Watt.sec) terserap dalam 1 kg bahan. Jika suatu dosis dengan nilai 10 kGy (1 Mrad) berhubungan dengan serapan dari 10 kW.sec/kg. Jadi 1 kWatt berkas elektron terserap sempurna pada bahan yang diiradiasi, setara dengan 1 kg/kGy.sec yaitu 3600 kg/kGy.hr. Ini berarti bahwa 1 kWatt berkas elektron dapat meradiasi 360 kg bahan pada dosis 10 kGy dalam 1 jam. Perhitungan

secara teoritis ini diperlukan untuk mengetahui faktor koreksi dan efisiensi proses radiasi. Pengukuran dosis serap biasanya dilakukan dengan menggunakan dosimeter berbentuk film, seperti Celulosa triasetat, radiochromic yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.

Untuk satuan kecepatan dosis (laju dosis) sering digambarkan dalam kGy/sec atau kGy/min. Secara teori total dosis yang diserap dalam bahan yang diiradiasi adalah perkalian laju dosis (D_r) dengan waktu (t), diberikan berdasarkan persamaan berikut :

$$D = D_r \times t \dots\dots\dots (3)$$

dimana D total dosis radiasi (kGy), D_r laju dosis (kGy/min) dan t waktu iradiasi (min). Waktu Iradiasi biasanya ditentukan dengan mengatur kecepatan konveyor dalam ruang iradiasi. Dalam aplikasi teknologi akselerator untuk industri, laju dosis pada suatu energi elektron tertentu bergantung pada arus berkas elektron dan luas permukaan bahan yang diiradiasi (rapat arus berkas elektron) serta jarak pemisah antara celah window titanium foil dengan permukaan bahan yang diiradiasi, secara matematik dapat dituliskan [4] :

$$D_r = K \times \frac{I}{B \times S} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- D_r laju dosis (kGy/min)
- I arus berkas elektron (mA)
- B ukuran lebar berkas elektron (m), pada bahan yang diiradiasi
- S ukuran panjang berkas elektron (m), pada bahan yang diiradiasi
- K stopping power elektron terhadap bahan (MeV/gram.cm²).

“Stopping power” K bergantung pada perhitungan energi elektron mula-mula (E_0) dan kerapatan bahan (ρ) yang diiradiasi dapat diperoleh dari tabel dalam referensi. Secara praktis pada umumnya laju dosis meningkat sesuai dengan meningkatnya energi elektron dan arus berkas elektron, serta berkurangnya laju dosis apabila jarak antara celah window dan bahan yang diiradiasi bertambah jauh.

3. Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi bahan yang dapat diproses dengan menggunakan akselerator elektron energi rendah berkaitan erat dengan parameter berikut yaitu efisiensi radiasi (h), dosis radiasi (D) dan arus berkas elektron. Secara kasar kapaitas produksi dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$I = h \times S \times D \dots\dots\dots (5)$$

dimana S kapasitas produksi m²/min. Untuk akselerator energi sedang, kapasitas produksi dapat diperkirakan jumlahnya berdasarkan persamaan berikut :

$$S = 360 \frac{P}{D} \times \frac{h}{100} \dots\dots\dots (6)$$

dimana S kapasitas produksi yang dinyatakan dalam (km/ min) dan P daya berkas elektron (kWatt).

STATUS APLIKASI AKSELERATOR ELEKTRON DI INDONESIA

Aplikasi akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 (15 kW).

Fasilitas skala pilot plant untuk proses pengeringan lapisan permukaan (curing of coating) dengan radiasi berkas elektron yang terdiri dari sebuah akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA, seperangkat peralatan pelapisan permukaan papan kayu, serta mesin pengerjaan kayu dibangun di PAIR-BATAN pada tahun 1985. Energi dan arus berkas elektron pada akselerator ini dapat divariasikan masing-masing mulai dari energi 150 keV hingga sampai dengan 300 keV dan arus berkas elektron dapat divariasikan mulai dari 10 mA hingga sampai dengan 50 mA. Dengan adanya kemampuan variasi energi elektron, maka tebal lapisan cairan (polimer-monomer) pada permukaan papan kayu dalam range 60 - 100 µ dapat dikeringkan, karena elektron dapat menembus tebal lapisan tersebut. Akselerator elektron energi rendah ini telah diaplikasikan untuk pelapisan permukaan papan kayu, permukaan logam, list profile, marmer, teraso dan penelitian pengolahan cairan limbah pestisida dan vulkanisasi latek alam [5].

Aplikasi teknologi pelapisan permukaan papan kayu dengan radiasi berkas elektron secara komersial masih ada beberapa faktor penghambat, hal ini disebabkan oleh karena belum dapat dioperasikan secara masal (pihak industri masih mencoba-coba), sehingga menimbulkan kesan biaya operasi tinggi, dan mutu bahan baku panel kayu kurang memenuhi syarat untuk diproses, serta sarana dan prasarana penunjang untuk penanganan kayu masih konvensional. PAIR-BATAN menerima kerja sama dengan pihak swasta/BUMN untuk alih teknologi pelapisan permukaan kayu baik dalam skala besar maupun kecil.

Penggunaan akselerator elektron tipe ini untuk penelitian vulkanisasi latek alam yang dicampur dengan monomer (stirena metil atau metil meta acrylat) telah menghasilkan produk baru yaitu lem sol sepatu dan lem kayu lapis pada dosis radiasi berkas elektron masing-masing 5 kGy (metil meta acrylat) dan 45 kGy (stirena). Lem kayu lapis ataupun sol sepatu hasil radiasi berkas elektron mempunyai keunggulan jika dibandingkan dengan teknik konvensional. Keunggulan yang disebut-sebutkan adalah tidak mengandung gas trimoline (gas beracun terhadap kesehatan manusia) dan lem mempunyai kestabilan yang lama waktu simpannya. Menurut Marga Utama sebuah perusahaan swasta yaitu P.T. Koja Terramarin telah menarik perhatian tentang hasil penelitian pembuatan lem kayu atau lem sepatu tersebut dan berminat untuk membangun fasilitas iradiator untuk pembuatan lem kayu, kemungkinan kerja sama antara P.T. Koja Terramarin dan BATAN untuk

mendirikan pabrik lem kayu atau sepatu dalam skala industri dengan teknik iradiasi berkas elektron. [6].

Aplikasi akselerator elektron energi menengah 2 MeV, 10 mA (20 kW).

Akselerator elektron tipe ini banyak digunakan untuk penelitian dan pengembangan polimerisasi ikatan silang (crosslinking). Produk-produk yang dihasilkan melalui industri polimer yaitu proses ikatan silang polimer untuk bahan isolasi kabel yang terdiri dari kabel tahan panas dan tahan tegangan tinggi, film atau pipa tabung plastik yang dapat mengkerut atau mengempes ukurannya apabila dipanaskan (heat shrinkable tubes and films), plastik busa, vulkanisasi karet, serta grafting polimer. Dosis radiasi yang diperlukan Untuk membentuk ikatan silang isolasi kabel dengan bahan LDPE biasanya diperlukan dosis radiasi 100 - 250 kGy. [5]. Penelitian pengelolaan lingkungan melalui kontrol gas buang industri NOx dan SOx, pemrosesan sewage dan sludge, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain) dapat dilakukan dengan fasilitas ini. Minat para peneliti untuk menggunakan akselerator jenis ini cukup banyak, tetapi kadang-kadang macet pengoperasiannya karena performance mesinnya masih perlu ditingkatkan dan sparepart untuk perawatan belum dapat disediakan dengan optimal. Status pemakaian akselerator ini disajikan dalam tabel 1.

Kerja sama penelitian tentang isolasi kabel antara PAIR-BATAN dengan industri kabel telah dilakukan, tetapi aplikasi secara komersial sedang disiapkan dan saat ini belum berhasil dilaksanakan. Hal ini disebabkan oleh peralatan penunjang yang digunakan untuk teknik iradiasi kabel misalnya alat pengangkut konveyor kabel belum dapat memenuhi sesuai dengan kebutuhan industri (diameter kabel tertentu tidak dapat divariasikan) dan dosimetri berkas elektron untuk industri kabel dari segi teknisnya masih perlu dikembangkan.

PROSPEK APLIKASI AKSELERATOR ELEKTRON DI INDONESIA

Aplikasi akselerator elektron dalam industri di beberapa negara maju berkembang dengan sangat cepat misalnya di Jepang mulai dimanfaatkan akhir tahun 1950 an, yaitu untuk proses ikatan silang (crosslinking) PE isolasi kabel (kawat). Proses tersebut menggunakan akselerator elektron yang mempunyai daya 10 - 100 kW dengan energi berkas elektron bervariasi dari 0,2 - 3 MeV. Sebagai gambaran beberapa pemakaian akselerator elektron dalam berbagai bidang di negara maju diberikan pada tabel 2 [4]. Semua pengembangan aplikasi tersebut telah mencapai tahap yang kompetitif jika dibandingkan dengan teknik lain misalnya katalis, panas. Keunggulan aplikasi teknologi ini dibandingkan dengan metode konvensional yaitu kecepatan produksi, kepraktisan, dan kontrol proses mudah dan aman, dapat memperbaiki sifat fisika bahan, proses tidak menggunakan pelarut organik, energi bersih tidak menghasilkan NOx dan SOx, lebih ekonomis untuk produksi secara kontinyu. Juga kompetitif dibandingkan dengan

teknologi proses radiasi gamma, dimana teknologi radiasi berkas elektron lebih unggul dalam beberapa hal yaitu laju dosis radiasi sangat tinggi yang menyebabkan kapasitas produksi tinggi (output besar), proses iradiasi dapat dihentikan operasinya (lebih aman) serta penetrasi elektron rendah (proses khusus hanya untuk permukaan).

Indonesia sebagai negara yang paling banyak sumber daya alam dan negara agraris, banyak menghasilkan bahan pangan, bahan mentah yang berasal dari pertanian, perikanan, peternakan maupun perkebunan. Fasilitas akselerator elektron yang ada di PAIR-BATAN cukup mempunyai potensi untuk digunakan dalam memecahkan problem nasional berbagai bidang tersebut, baik untuk penelitian dan pengembangan ke industri dimasa akan datang. Aplikasi yang potensial antara lain meliputi :

- Ikatan silang untuk isolasi kabel dan wayer
- Ikatan silang lapisan plastik, busa dan selang
- Modifikasi tekstil
- Grafting polimerisasi lapisan tipis, film dan kertas
- Vulkanisasi latek dan karet alam
- Sterilisasi peralatan dan produk medis (kedokteran)
- Sterilisasi permukaan dan pasteurisasi
- Pengawetan makanan
- Perlakuan sampel padat dan cair, serta pemerosesan sludge dan sewage
- Pengelolaan lingkungan atau kontrol gas buang industri
- Pelapisan permukaan

Aplikasi yang cukup potensial dalam sektor industri untuk pengelolaan lingkungan dan ilmu bahan juga memegang peranan penting dimasa datang, karena dapat menghasilkan produk yang berkualitas unggul, aman dan kompetitif sehingga dapat bersaing di pasar global internasional. Contoh aplikasi dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO_x dan SO_x skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), disinfeksi sludge dan sewage. Dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dan lain-lain dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan, buah-buahan. Dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain yang masih perlu dikaji tentang efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran dan lain-lain.

Industri-industri yang dapat memanfaatkan teknologi akselerator di Indonesia meliputi industri kabel melalui proses ikatan silang polyvinil chlorida (PVC), polyetilene (PE), dan bahan elastomers, industri alat kesehatan, bahan baku obat, sediaan farmasi, kosmetika, makanan dan pengemas melalui proses sterilisasi atau pasteurisasi. Industri kayu, marmer, plastik, kertas dan logam melalui proses pelapisan permukaan. Industri yang membuat ban radial dan karet melalui proses vulkanisasi radiasi berkas elektron. Salah satu industri besar ban mobil nasional akan menggunakan teknologi dan aplikasi

akselerator elektron untuk membuat ban radial. Pabrik ban mobil P.T. Gajah Tunggal sedang melaksanakan pembangunan sebuah fasilitas akselerator elektron dengan luas gedungnya sekitar 100 m² dengan spesifikasi energi menengah 500 keV dan arus berkas elektron maksimum 150 mA tipe Cockroft Walton, yang dimulai pada bulan Maret 1998. Akselerator tipe ini akan diaplikasikan untuk vulkanisasi karet dengan teknik radiasi berkas elektron yang dapat memproduksi ban radial yang mempunyai keunggulan antara lain ikatan silangnya sangat kuat, output (produksi) ban radial dapat mencapai 14.000 ban/hari dan stabilitas terhadap panas cukup baik serta mempunyai ketahanan gesekan yang kuat. Teknologi pembuatan ban radial pada prinsipnya cukup praktis yaitu lembaran karet (berbentuk sheet) yang bakal dibuat ban ditempel dengan benang nilon, kemudian diiradiasi dengan berkas elektron, akan menghasilkan ikatan silang antara nilon dan lembaran karet sangat kuat. Lembaran karet yang telah tertempel benang nilon tersebut dipakai untuk membuat ban radial untuk automobil.

PENUTUP

Elektron berkecepatan tinggi terserap pada bahan, energi ditransfer untuk mengikat elektron dari atom dan molekul bahan, menaikkan kekeadaan eksitasi yang lebih tinggi menghasilkan ion dan radikal. Ion-ion dan radikal yang terbentuk itu memulai membentuk reaksi-reaksi kimia dalam bahan yang tereksitasi, dan melalui reaksi-reaksi kimia tersebut sifat fisika dan struktur bahan bisa berubah.

Dua fasilitas pemercepat elektron (akselerator elektron) energi rendah 300 keV, 540 mA, dan energi menengah 2 MeV, 10 mA sedang dioperasikan di kawasan pusat penelitian tenaga atom Pasar Jumat Pair-Batan, telah dimanfaatkan untuk penelitian dan pengembangan ke industri oleh lembaga penelitian pemerintah baik Batan maupun luar Batan, universitas, industri (swasta), IAEA dan UNDP serta JAERI melalui kerja sama bilateral diharapkan mampu memadukan riset, pendidikan, dan industri melalui teknologi akselerator elektron.

Industri yang dapat memanfaatkan teknologi akselerator elektron secara komersil antara lain industri kayu, keramik, marmer, plastik, kertas dan metal melalui proses pelapisan permukaan ataupun modifikasi bahan industri kabel melalui proses ikatan silang yaitu "heat shrinkable tube", dan isolasi kabel.

Aplikasi yang cukup potensial untuk dilakukan pada kedua fasilitas akselerator tersebut, misalnya dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO_x dan SO_x skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), *disinfeksi sludge* dan *sewage*, dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dll. dan dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan, buah-buahan, dan dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian sel terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain masih perlu

dikaji, yaitu efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. LEALET, “ Instalasi Mesin Berkas Elektron “ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN

2. NATSIR, M, “ Perangkat Mesin Berkas Elektron untuk Industri “ Seminar Instrumentasi Nuklir, 11-12 September 1996. SPIN 96 (Prosiding SPIN 96), 1996.

3. INDO-USSR SEMINAR ON INDUSTRIAL APPLICATIONS OF ACCELERATORS, Vol. II, November 1-3, 1988.

4. ABRAMYAN, E.A, “Industrial Electron Accelerators and Application “ Institute for High Temperature USSR Academy of Sciences, 1988.

5. LAPORAN TAHUNAN Kelompok MBE, INSTALASI IRADIASI, 1994 s/d 1996 (Tidak dipublikasikan).

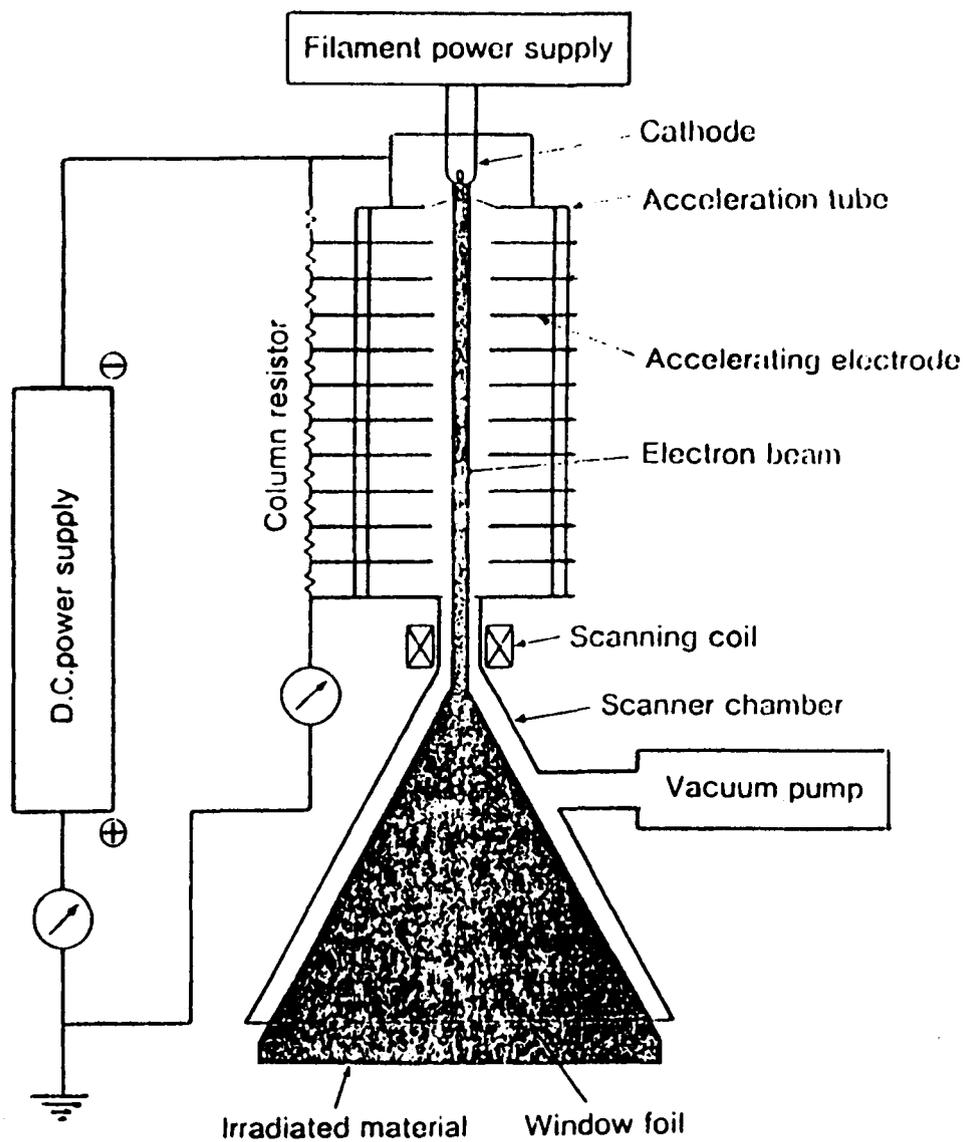
6. MARGA UTAMA, (komunikasi pribadi), Januari 1998.

Tabel 1. Status pemakaian akselerator elektron 2 MeV, 10 mA

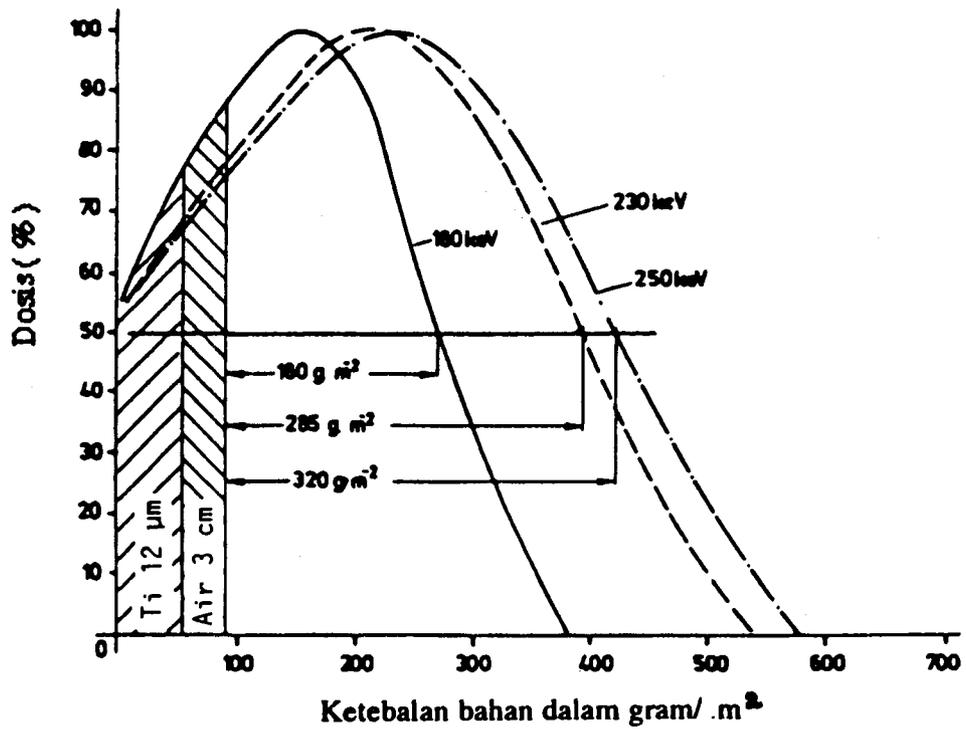
Tahun	Jumlah Waktu Operasi (Jam)	Prosentase %	Kondisi Akselerator	Aplikasi Untuk peneliti
1993	39,5	2,5	Mesin sering macet	Komissioning, dosimetri, polimerisasi, pengikatan silang (crosslinking), heat shrinkable tube, grafting, sterilisasi, pasteurisasi, pengolahan limbah, kondisioning, dan lain-lain.
1994	296	18,5	Mesin kadang-kadang macet	
1995	307	19,5	Mesin kadang-kadang macet	
1996	954	59,6	Mesin aktif setelah semi over Haul	
1997	78	5	Pompa vakum “Turbo molekuLer” rusak	

Tabel 2. Aplikasi Teknik Pemercepat Berkas Elektron di Jepang (Japan Atomic Industrial Forum, July, 1980)

Penggunaan	Produk/Hasil	Perusahaan atau Laboratorium	Kapasitas Total (kW)
	Isolasi kabel (wayer)	Sumitomo, Hitachi Furukawa, Fujikura, Showa Dainich, Yazaki, Taisho, Tokai, Hirakawa, Oki	800
Ikatan silang plastik	Tabung yang dapat mengkerut atau bungkus	Pabrik kabel, Nitto	60
	Busa polietilen	Sekisui, Toray	140
	Lapisan tipis, lembaran	Nitto, Ashokaei, etc.	250
Pengeringan cat	Lembaran logam, panel kayu	Shin-Nippon Iron & Steel, Mitsubishi Rayon, Nippon yushi	220
	Bagian peralatan mobil	Suzuki	
Ikatan silang	Ban mobil (Ban radial)	Tidak diperlihatkan	150
Sterilisasi, Pengawetan makanan	Sterilisasi, Pengawetan makanan	Research Laboratories on Foods (Ministry of Agriculture and Forestry) Hirakawa, Oki	0.6
Untuk penelitian		JAERI, dan lain-lain	200
TOTAL			1820.6



Gambar 1. Kontruksi dan blok diagram mesin berkas elektron 300 keV tipe EPS-300 (7).



Gambar 2. Prosentase dosis serap dalam bahan (Dosimeter CTA) pada 3 variasi energi 180 keV, 230 keV dan 250 keV.

PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA ZAT WARNA BASA MAXILON BLUE DALAM AIR

ID0000123

Winarti Andayani, Agustin S.M. Bagyo, Ermin K. Winarno, dan Hendig Winarno

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000123

ABSTRAK

PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA ZAT WARNA BASA MAXILON BLUE DALAM AIR.

Telah dipelajari penguraian larutan zat warna basa dengan iradiasi gamma. Iradiasi dilakukan dengan variasi pH (3, 5, 7, 9, dan 12) dengan dosis 0 sampai dengan 4 kGy dan laju dosis 5 kGy/jam. Pada pH 5, iradiasi larutan zat warna dilakukan pada berbagai konsentrasi awal yaitu 10; 25; 50,8; 78,2 dan 106 ppm. Pengaliran udara dilakukan selama iradiasi larutan zat warna. Parameter yang dianalisis ialah perubahan serapan larutan hasil iradiasi dengan spektrofotometer uv-vis, penurunan pH dengan pH meter, dan produk asam-asam organik dengan cara KCKT. Hasilnya menunjukkan bahwa persentasi penguraian pada pH asam lebih tinggi daripada pH netral dan basa. Nilai G(penguraian) zat warna = 0,876 pada pH 5 dengan laju dosis 5 kGy/jam. Persentasi penghilangan warna larutan dengan konsentrasi awal 10 dan 25 ppm mencapai > 90% pada dosis 0,5 kGy, sedangkan larutan zat warna dengan konsentrasi awal antara 50 sampai dengan 100 ppm mencapai > 90 % pada dosis 2 kGy. Persamaan kecepatan penguraian zat warna adalah $V = - d[\text{zat warna}]/dt = 1,4 \times 10^{-2} [\text{zat warna}]^{1,1107}$ ppm/menit. Penguraian zat warna mempunyai orde reaksi pseudo orde satu dengan konstanta kecepatan reaksi $1,4 \times 10^{-2}$ menit⁻¹. Salah satu senyawa organik hasil penguraian molekul zat warna maxilon blue adalah asam oksalat.

ABSTRACT

EFFECT OF GAMMA-IRRADIATION ON BASIC DYE MAXILON BLUE IN AQUEOUS SOLUTION.

The effects of radiation of basic dye maxilon blue have been studied. Irradiation was done at various pH (3, 5, 7, 9, and 12) with doses of 0 - 4 kGy and dose rate of 5 kGy/h. at pH 5 irradiation of dye solution with variation of concentration i.e 10; 25; 50.8; 78.2 and 106 ppm were done. Bubbling of air were done during irradiation of dye solution. Parameters examined were the change of the spectrum by spectrofotometer, the decrease of pH by pH meter and degradation products such as organic acids by HPLC. The results showed that the percentage of degradation at acid pH is higher than that basic and neutral pH. G value (degradation) of the dye at pH 5 was 0.876 with a dose rate of 5 kGy/h. Percentage of decoloration of dye solution at initial concentration 10 and 25 ppm were higher than 90% at dose of 0.5 kGy, dye solution at initial concentration between 50 to 106 ppm were higher than 90% at 2 kGy. The equation of degradation rate of the dye was $V = - d[\text{dye}]/dt = 1.4 \times 10^{-2} [\text{dye}]^{1,1107}$ ppm/min. Degradation of the dye has first order pseudo with the rate constant of 1.4×10^{-2} min⁻¹. Degradation products that could be detected was oxalic acid.

PENDAHULUAN

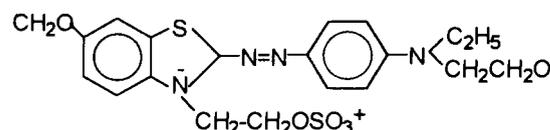
Pada umumnya limbah yang berasal dari industri tekstil banyak mengandung senyawa yang bersifat karsinogenik dan *non-biodegradable* yang sulit diuraikan dengan cara konvensional seperti fisika, kimia dan biologi. Penelitian tentang penguraian zat warna dispers, reaktif dan basa dengan tehnik iradiasi telah dilakukan sebelumnya (1-4). Hasilnya menunjukkan bahwa hasil penguraian senyawa tersebut ialah asam organik seperti asam oksalat, asam formiat, asam suksinat.

Penelitian ini bertujuan mempelajari penguraian zat warna basa standar larut dalam air, dengan harapan zat warna akan terurai menjadi senyawa yang berkurang sifat racunnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah zat warna basa *maxilon blue* GRL 300% yang

diperoleh dari PT. Ciba Geigy dengan struktur molekul yang dapat dilihat pada Gambar 1. Zat warna ini digunakan tanpa pemurnian sebelumnya. Bahan kimia yang lain adalah akuades, H₂SO₄, NaOH, asam oksalat, asam maleat, asam suksinat, asam formiat, asam asetat, asam fosfat, dan metanol. Bahan tersebut berkualitas p.a. kecuali metanol yang berkualitas HPLC grade.



Gambar 1. Struktur molekul zat warna *maxilon blue*

Peralatan. Peralatan yang digunakan antara lain iradiator Irapasena sumber Cobalt-60 (44 kCi), tabung gelas (tinggi 22 cm, diameter 5,5 cm), pompa udara, *rotary evaporator*, pH meter, spektrofotometer UV-VIS 160 merk Shimadzu, kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT) merk

Shimadzu LC-9A yang dilengkapi dengan detektor UV, chromatopac CR-4, kolom organik shodex KC-811, dan peralatan gelas.

Cara Iradiasi. Larutan zat warna *maxilon blue* dengan konsentrasi 25 ppm, diatur pH nya pada pH 3, 5, 7, 9, dan 12 dengan penambahan H₂SO₄ atau NaOH. Larutan zat warna sebanyak 250 ml yang telah ditepatkan pH nya ditempatkan dalam tabung gelas dan diiradiasi dengan sinar gamma pada suhu ruang (35°C). Laju dosis 5 kGy/jam ditentukan dengan dosimeter Fricke (G(Fe³⁺) = 15,6 ; dosis iradiasi 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 4,0 kGy. Larutan zat warna dengan konsentrasi 10, 25, 51, 78, dan 106 ppm diiradiasi pada pH larutan optimum (pH 5). Selama iradiasi terhadap larutan zat warna dilakukan aerasi.

Analisis Larutan Setelah Iradiasi. Larutan sebelum dan sesudah diiradiasi dianalisis dengan spektrofotometer uv-vis, untuk mengetahui penurunan serapan larutan. Serapan larutan sebanding dengan konsentrasi zat warna dalam larutan. pH larutan sebelum dan sesudah diiradiasi diukur dengan alat pH meter, untuk mengetahui perubahan pH larutan. Untuk mengetahui senyawa hasil penguraian zat warna oleh iradiasi gamma, maka larutan setelah diiradiasi dan dianalisis dengan KCKT yang dihubungkan dengan detektor UV pada λ 210 nm, menggunakan kolom asam organik shodex KC-811, eluen H₃PO₄ 0,1%, dengan kecepatan alir eluen 1 ml/min.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Iradiasi pada Serapan Larutan Zat Warna. Larutan zat warna *maxilon blue* sebelum diiradiasi mempunyai puncak serapan pada λ 303 nm pada daerah uv dan λ 608 nm pada daerah tampak (Gambar 2, kurva 1). Iradiasi pada larutan zat warna menyebabkan, serapan pada λ 608 nm menurun dengan tajam dengan bertambahnya dosis iradiasi. Pada dosis 1 kGy (kurva 3), serapan pada daerah tampak tidak terlihat lagi. Hal ini karena gugus azo (N=N) yang terikat pada cincin aromatis putus sehingga warna dalam larutan hilang.

Pada daerah uv yaitu λ 303 nm, serapan menurun sangat lambat dengan bertambahnya dosis. Serapan pada daerah uv hampir tidak terlihat pada dosis 2 kGy (kurva 4). Puncak serapan pada λ 303 nm, merupakan serapan dari cincin aromatis. Untuk merusak cincin aromatis yang terdapat dalam molekul zat warna diperlukan dosis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan memutus ikatan azo. Hal ini karena C-N mempunyai energi ikatan yang lebih rendah (291,6 kJ/mol) daripada C=C 607 kJ/mol (5). Hal ini berarti untuk memutus cincin aromatis diperlukan energi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan gugus azo dalam molekul zat warna. Jadi pada dosis rendah gugus azo akan terputus sehingga di dalam larutan masih tersisa senyawa aromatis. Selanjutnya pada dosis yang lebih tinggi cincin aromatis akan pecah dan terurai.

Pengaruh pH pada Iradiasi larutan Zat Warna Maxilon blue. Spektrum serapan larutan zat warna pada berbagai pH sebelum diiradiasi dapat dilihat pada Gambar 3. Larutan zat warna mempunyai puncak serapan yang sama pada λ 303 nm dan 606 nm pada pH 3, 5 dan 7. Hal ini

menunjukkan penambahan H₂SO₄ atau NaOH ke dalam larutan tidak mempengaruhi struktur molekul.. Pada pH basa (9) penambahan NaOH ke dalam larutan menyebabkan efek hipokromik, karena intensitas serapan pada λ 608 nm menurun. Larutan dengan pH 12 di samping terjadi efek hipokromik juga terjadi pergeseran hipsokromik, karena pergeseran panjang gelombang ke arah yang lebih pendek yaitu dari 608 nm menjadi 425 nm (6). Hal ini menunjukkan telah terjadi adanya perubahan struktur molekul.

Tingkat penguraian warna, A didefinisikan sebagai,

$$A = (a_0 - a) / a_0 \dots\dots\dots (1)$$

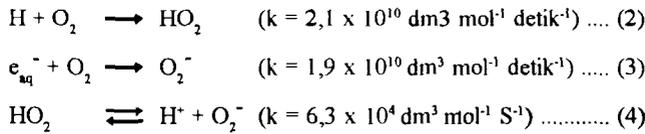
dimana a₀ adalah intensitas serapan dari larutan sebelum diiradiasi pada λ 303 nm, sedangkan a adalah intensitas serapan larutan setelah diiradiasi. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara A terhadap dosis iradiasi pada berbagai macam pH.

Kemiringan awal dari setiap kurva pada Gambar 4 merupakan nilai G(penguraian) dari zat warna. Nilai G(penguraian) zat warna menunjukkan banyaknya molekul zat warna yang terurai atau mengalami perubahan kimia setiap 100 ev energi yang diserap. Nilai G (-penguraian) awal larutan zat warna pada berbagai pH disajikan pada Tabel 1.

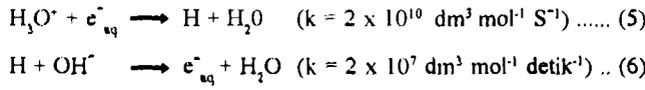
Tabel 1. Nilai G (penguraian) zat warna

pH larutan	G (penguraian) awal
3	0,544
5	0,876
7	0,430
9	0,444
12	0,382

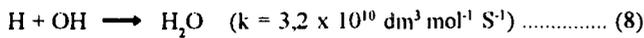
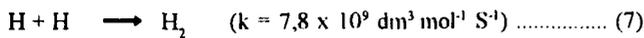
Nilai G (penguraian) optimum (0,876) dicapai pada pH 5, meskipun pada pH 3 sampai dengan 7 zat warna tidak mengalami perubahan struktur yang mengakibatkan kemungkinan berkurangnya degradasi (Gambar 3). Hal ini mungkin dapat dijelaskan dengan memakai data konstanta kecepatan reaksi spesies reaktif air dengan molekul O₂ pada pH yang berbeda. Pada pH netral reaksi spesi radikal (H, OH) dengan molekul O₂ adalah sebagai berikut (7):



Pada pH asam dan basa, akan terjadi reaksi 5 dan 6 sebagai berikut:

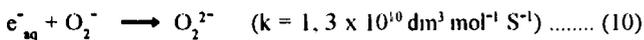
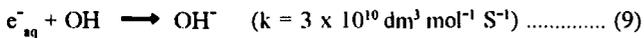


Dalam suasana asam radikal H dominan sehingga akan bereaksi dengan H membentuk molekul hidrogen dan bereaksi dengan radikal OH membentuk H₂O.



Pada reaksi 2 nilai konstanta kecepatan reaksinya lebih rendah bila dibandingkan pada reaksi 8. Hal ini berarti dalam suasana asam HO2 dalam larutan lebih sedikit sehingga oksidasi lebih kecil.

Pada pH yang lebih tinggi terjadi reaksi sebagai berikut,



Terjadinya reaksi 9 dan 10, menyebabkan terjadinya deaktivasi e^-_{aq} dan OH.

Disamping itu pada pH basa telah terjadi efek hipokromik dan pergeseran hipsokromik, karena pergeseran panjang gelombang ke arah yang lebih pendek yaitu dari 608 nm menjadi 425 nm (Gambar 3). Hal ini berarti pada pH 12 molekul zat warna mempunyai energi yang lebih tinggi, sehingga untuk merusak molekul zat warna diperlukan energi yang lebih tinggi.

Pengurangan warna pada Iradiasi Zat Warna Maksilon blue. Larutan zat warna mempunyai puncak serapan yang kuat pada λ 608 nm (Gambar 2). Pengurangan warna akibat iradiasi diamati dengan mengukur serapan larutan pada λ 608 nm. Persentasi pengurangan warna untuk larutan zat warna dengan konsentrasi awal antara 10 sampai dengan 106 ppm sebagai fungsi dari dosis iradiasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Secara umum kenaikan dosis iradiasi dari dosis 0 sampai dengan 4 kGy, menyebabkan persentasi pengurangan warna dalam larutan meningkat. Larutan zat warna dengan konsentrasi awal 10 dan 25 ppm, setelah diiradiasi dengan dosis 0,5 kGy warnanya telah hilang lebih besar dari 90%. Larutan zat warna dengan konsentrasi awal antara 50 sampai dengan 100,6 ppm, warna larutan hilang lebih besar dari 90% setelah diiradiasi dengan dosis 2 kGy.

Penentuan Orde Reaksi dan Konstanta Kecepatan Reaksi. Penentuan orde reaksi dan konstanta kecepatan reaksi zat warna yang diiradiasi dengan metode kecepatan awal, dilakukan dengan membuat plot antara (dC/dt) terhadap konsentrasi awal (C_0) (Gambar 6).

Dari persamaan dengan nilai $r^2 = 0,995$, maka diperoleh persamaan kecepatan penguraian zat warna :

$$V = -d[\text{zat warna}]/dt = 1,4 \times 10^{-2} [\text{zat warna}]^{1,107} \text{ ppm/menit} \quad (11)$$

Persamaan kecepatan penguraian yang diperoleh dengan metode kecepatan, menunjukkan bahwa penguraian zat warna mempunyai orde reaksi pseudo orde satu dengan konstanta kecepatan reaksi $1,4 \times 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$.

Analisis Senyawa Hasil Penguraian. pH larutan zat warna maksilon blue setelah diiradiasi secara umum menunjukkan adanya penurunan (Gambar 7). Larutan dengan pH awal 3,3; 5,0; 7,0; 9,0; dan 12,0 setelah diiradiasi dengan dosis 4 kGy, menunjukkan penurunan pH larutan masing- masing menjadi 3,0; 3,8; 3,7; 8,5 dan 10,4. Penurunan ini terjadi karena senyawa maksilon blue

telah terurai menjadi produk yang bersifat asam yaitu asam-asam organik. Asam-asam organik yang terbentuk diduga sebagai asam oksalat, suksinat, formiat, asetat, dan propionat. Identifikasi larutan dilakukan dengan alat KCKT untuk mengetahui adanya senyawa-senyawa tersebut. Gambar 8a adalah kromatogram larutan standar asam oksalat, suksinat, formiat, asetat dan propionat masing-masing dengan waktu retensi 4,8; 8,583; 9,642; 10,475 dan 12,467 menit. Gambar 8b adalah kromatogram larutan sampel hasil penguraian. Pada Gambar 8b terlihat bahwa sampel hasil iradiasi hanya mempunyai satu puncak dengan waktu retensi 4,82 menit.

Pendekatan waktu retensi dari senyawa hasil penguraian dengan waktu retensi senyawa standar asam organik, dapat diasumsikan bahwa puncak dengan waktu retensi 4,82 menit adalah asam oksalat. Hasil perhitungan secara kuantitatif dari asam oksalat yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 2. Terlihat bahwa makin tinggi dosis iradiasi, konsentrasi asam oksalat makin besar.

Tabel 2. Konsentrasi asam oksalat dalam larutan hasil iradiasi, laju dosis 5 kGy/jam, Zwo = 25 ppm

Dosis (kGy)	Asam oksalat (ppm)
0	0
0,5	0,58
1,0	0,92
1,5	1,03
2,0	1,38

KESIMPULAN

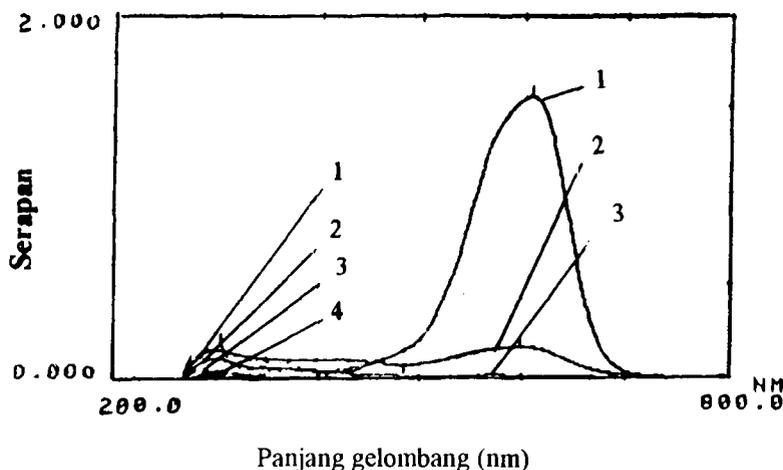
Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa zat warna basa maksilon blue dapat diuraikan dengan iradiasi gamma pada dosis rendah. Penguraian lebih efektif pada pH asam dari pada pH netral dan basa. Nilai G penguraian) zat warna pada pH 5 = 0,876 dengan laju dosis 5 kGy/jam. Persentasi penghilangan warna larutan dengan konsentrasi awal larutan zat warna 10 dan 25 ppm mencapai > 90% pada dosis 0,5 kGy, sedangkan larutan dengan konsentrasi awal 50 sampai dengan 106 ppm persentasi penghilangan warna mencapai > 90% pada dosis 2 kGy. Persamaan kecepatan penguraian zat warna adalah $V = -d[\text{zat warna}]/dt = 1,4 \times 10^{-2} [\text{zat warna}]^{1,107} \text{ ppm/menit}$. Penguraian zat warna mempunyai orde reaksi pseudo orde satu dengan konstanta kecepatan reaksi $1,4 \times 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$. Senyawa hasil penguraian molekul zat warna maksilon blue adalah asam oksalat.

UCAPAN TERIMAKASIH

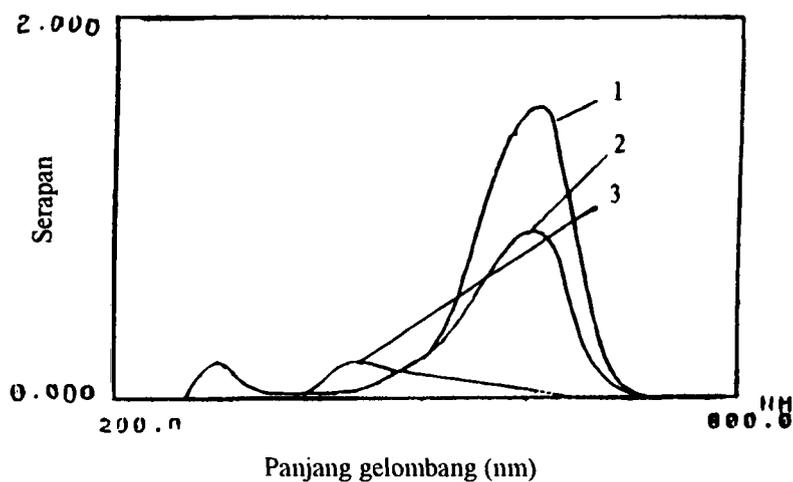
Penulis mengucapkan terima kasih pada saudara Syurhabel, Christina T. S, Armanu dan staf irradiator yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

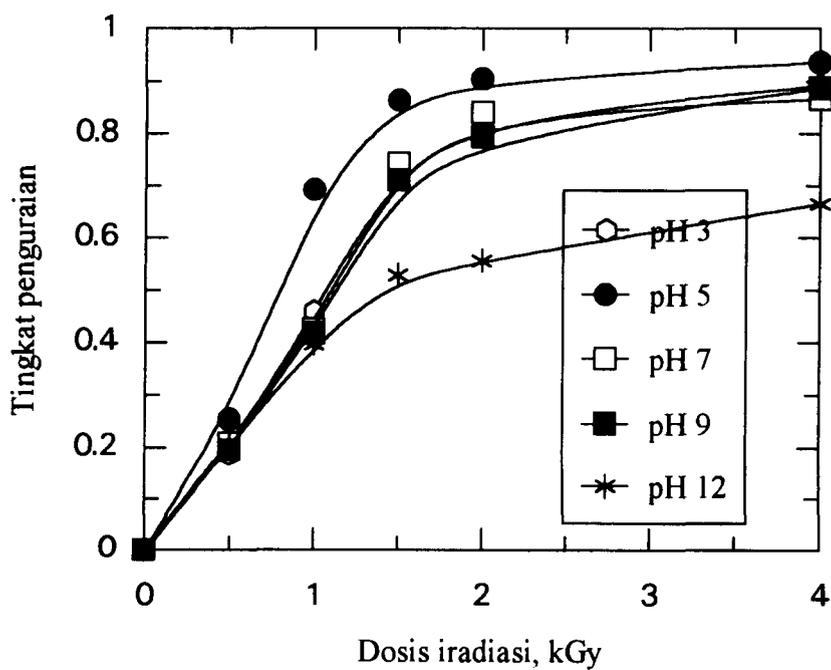
1. BAGYO, N.M.A., ANDAYANI, W and SADJIRUN, S., Radiation-Induced Degradation and Decoloration of Disperse Dyes in Water., presented at Pacific Chemistry, Haway, December, 1995 (in press).
2. BAGYO, N.M.A., LINDU, W.A. WINARNO, H., WINARNO, E.K, WIDAYAT, E. and SOEBIANTO, Y.S., Radiolysis of Reactive Azo Dyes in Aqueous Solution., presented at ISEE'97 (International Symposium on Environmental and Engineering) in Korea, September, 1997.
3. ANDAYANI, W, SUMARTONO, A, ARMANU dan WIYUNIATI, S., Pengaruh Iradiasi Gamma pada Zat Warna Reaktif Violet 2R., dipresentasikan pada Lokakarya Sehari JNK-PPTM Bandung, 11 Mei, 1996.
4. ERMIN, K.W., BAGYO, N.M.A., ANDAYANI, W, WINARNO, H dan WIDAYAT, E., Penguraian Zat Warna Direct Red 80 dalam Air dengan Iradiasi Gamma, Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengelolaan Limbah 1, Serpong, 10-11 Desember, 1997.
5. YUKIO TAKEDA, Wastewater treatment by ultraviolet light irradiation, UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on Application of Radiation Processing for Decontamination of Liquid Wastes, TRCRE, JAERI, Japan , 10-21 july (1995).
6. SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G.C and MARRILL, T.C, Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley & Sons, Inc, New York (1974).
7. GETOFF, N., Radiation -induced degradation of water pollutants-state of the art, Radiat. Phys. Chem 4, 47 (1996) 581
8. EL-ASSY, N.B., EL-WAKEEL, E.I and FATTAH, A., The Degradation of Triazo Dye Chlorantine Fast Green BLL in Aqueous Solution by Gamma Radiation-III, Appl. Radiat. Isot., 42 (1991)89.



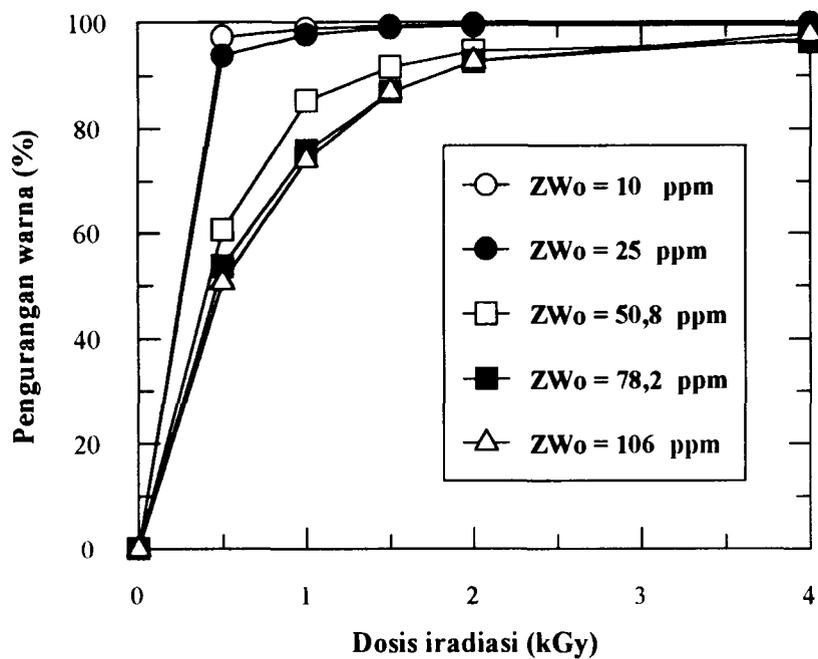
Gambar 2. Serapan larutan zat warna maxilon blue yang tidak diiradiasi dan diiradiasi dengan adanya udara, kons. awal= 25 ppm, laju dosis 5 kGy/j, pH 5 (1= 0 kGy; 2 = 0,5 kGy; 3 = 1,5 kGy, 4 = 2 kGy, 5 = 4).



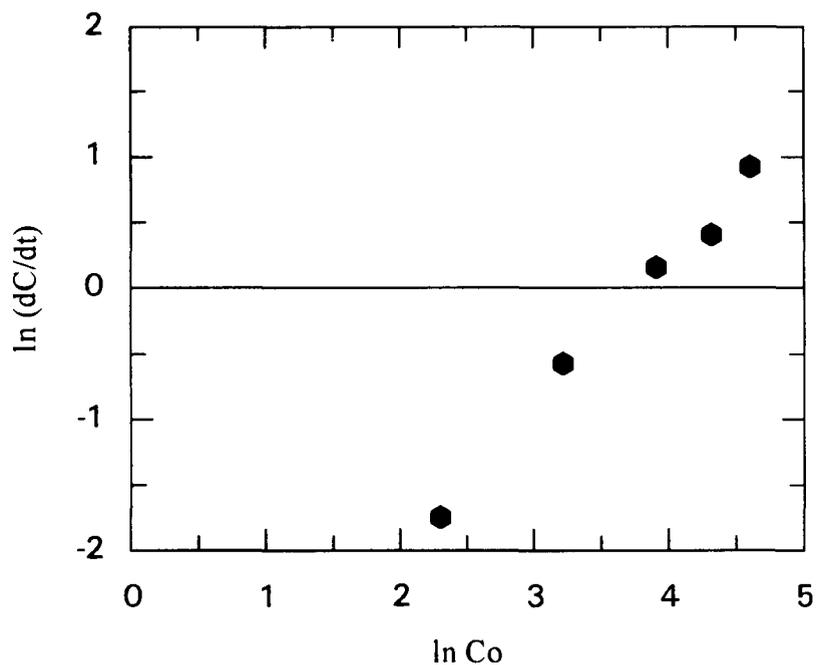
Gambar 3. Spektrum serapan larutan zat warna sebelum diiradiasi, kons. 25 ppm (kurva 1= pH 3, 5 dan 7; kurva 2 = pH 9; kurva 3 = pH 12)



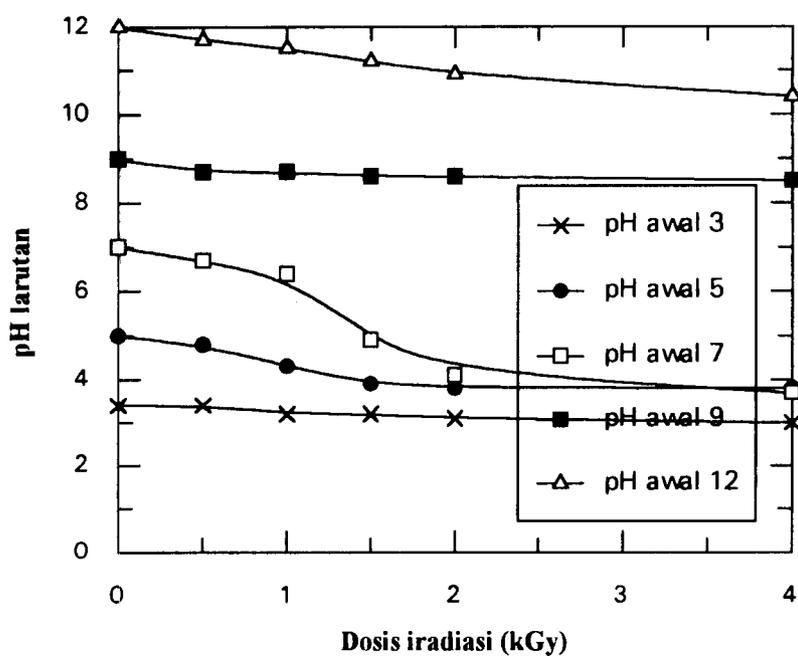
Gambar 4. Hubungan antara tingkat penguraian larutan zat warna dengan dosis iradiasi, kon. awal= 25 ppm, laju dosis 5 kGy/j, diukur pada λ 303 nm



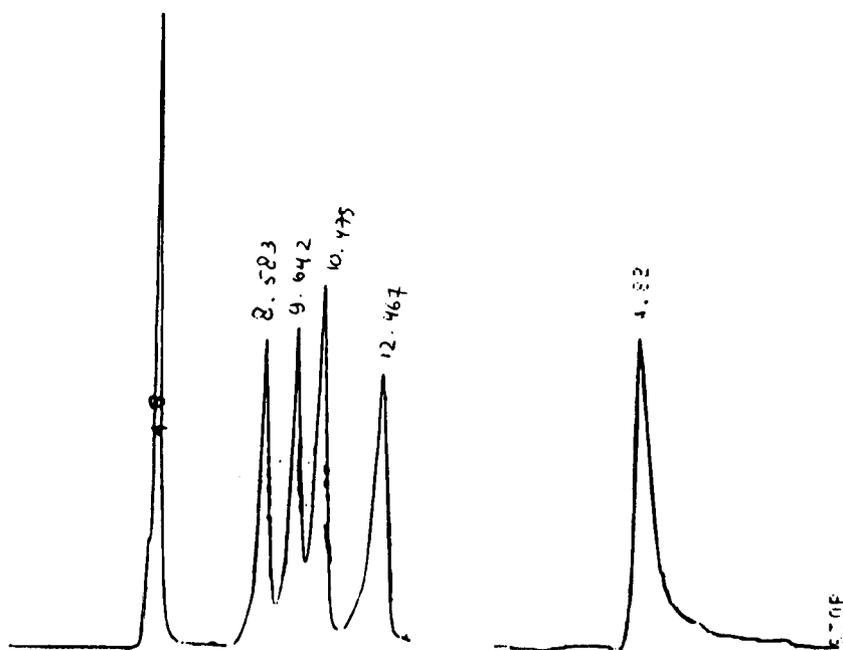
Gambar 5. Pengurangan warna larutan pada iradiasi larutan zat warna maksilon blue, pH 5, laju dosis 5 kGy/jam, diukur pada λ 608 nm.



Gambar 6. Hubungan kecepatan awal dan konsentrasi awal, penguraian zat warna sebagai ppm, diukur pada λ 303, laju dosis 5 kGy/jam, pH 5



Gambar 7. Perubahan pH larutan pada iradiasi larutan zat warna maksilon biru, $Z_{wo} = 25$ ppm, laju dosis 5 kGy/jam.



Gambar 8. a. Kromatogram larutan standar (asam oksalat = 4,8 menit; asam suksinat = 8,583 menit; asam formiat = 9,642 menit; asam asetat = 10,475 menit; dan asam propionat = 12,467 menit).
 b. Kromatogram larutan sampel hasil penguraian

DISKUSI

SUWIRMA S.

Pada variasi pH dengan pengaruh radiasi pH, pH yang mana ?

WINARTI A.

Pada semua pH, yaitu pH awal larutan 3, 5, 7, 9 dan 12 setelah diiradiasi pHnya menurun.

ZAINAL A.

Apakah dalam penelitian ini tidak dibuat suatu blanko/standar lain dengan penyinaran alam (matahari). Agar memudahkan diproses.

WINARTI A.

Saat ini sedang dikembangkan penguraian dengan cara iradiasi uv dengan bantuan katalisator TiO₂.

ULFA T. SYAHRIR

Apakah konsentrasi yang Anda buat ada yang mendekati konsentrasi dari limbah yang terdapat di pabrik tekstil ?

WINARTI A.

Ada, karena konsentrasi zat warna yang berasal dari industri tekstil antara 100 sampai dengan 200 ppm, beberapa penelitian kami melakukan konsentrasi larutan standar zat warna sampai 200 ppm.

PENGURANGAN WARNA DAN PENGURAIAN ZAT WARNA *DIRECT BLACK 22* DALAM AIR DENGAN IRADIASI GAMMA DAN AERASI

Ermin K. Winarno

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta



ID0000124

ABSTRAK

PENGURANGAN WARNA DAN PENGURAIAN ZAT WARNA *DIRECT BLACK 22* DALAM AIR DENGAN IRADIASI GAMMA DAN AERASI. Pengaruh iradiasi gamma pada penguraian zat warna *Direct Black 22* dalam air yang diaerasi telah dipelajari. Iradiasi zat warna *Direct Black 22* dilakukan pada variasi dosis serap 4 - 20 kGy (laju dosis 5 kGy/jam), variasi pH awal antara 3 - 11, dan variasi konsentrasi larutan antara 0,05 - 0,20 g/L. Konsentrasi zat warna diukur secara spektrofotometri. Kondisi optimum penguraian zat warna adalah iradiasi dengan aerasi pada dosis 20 kGy dan pH awal 7. Pada kondisi ini zat warna dengan konsentrasi 0,05 g/L telah terurai 99% dan pH larutan mengalami penurunan sampai pH 5. Penurunan pH menunjukkan bahwa molekul zat warna telah terurai menjadi senyawa yang mempunyai berat molekul rendah seperti asam-asam organik. Penguraian zat warna tersebut merupakan reaksi tingkat pertama dengan konstanta kecepatan reaksi sebesar $6,66 \times 10^{-3}$ /menit koefisien efisiensi radiolisis (k^*) sebesar $1,09 \times 10^{-5}$ g/L/Gy.

ABSTRACT

DECOLORATION AND DEGRADATION OF *DIRECT BLACK 22* DYE IN AERATED AQUEOUS SOLUTION USING GAMMA IRRADIATION. The effect of radiation degradation of *Direct Black 22* dye in aerated aqueous solution has been studied. Irradiation on direct dye was carried out at total absorbed doses 4 - 20 kGy (dose rate 5 kGy/hour), the initial pH were 3 - 11, and dye concentration were 0.05 - 0.20 g/L. The concentration of remained dye solution were measured using spectrophotometric method. The optimum condition of degradation was obtained at 20 kGy in aerated solution and initial pH 7. At this condition, dye concentration of 0.05 g/L has been degraded 99% and pH of solution decreased up to 5. The decrease upon irradiation indicated the formation of low molecular weight compounds, such as organics acids. The degradation of the dye indicated the first-order reaction with the reaction speed constant (k) was $6,66 \times 10^{-3}$ /menit and the coefficient efficiency of radiolysis (k^*) was 1.09×10^{-5} g/L/Gy.

PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah yang mengandung zat warna (limbah yang berasal dari industri tekstil) biasanya melalui flokulasi dengan tawas, adsorpsi karbon aktif, dan cara biologi. Pengolahan menggunakan tawas dan karbon aktif relatif mahal, sementara dengan cara biologi zat warna sintesis sulit diuraikan oleh mikroorganisme. Cara-cara tersebut ternyata masih kurang efisien, sehingga perlu dikembangkan teknologi pengolahan yang lebih efektif untuk menghilangkan zat warna dari air limbah (1). Radiasi pengion akan lebih efektif untuk pengolahan air limbah tersebut (2). Pengaruh iradiasi gamma pada pengurangan zat warna dan penguraian beberapa macam zat warna seperti zat warna asam, basa, reaktif, dan disperse dalam air telah dipelajari oleh WINARTI dkk (3,4). Mereka melaporkan bahwa adanya pengaliran udara selama iradiasi akan meningkatkan pengurangan warna dan penguraian molekul zat warna.

Pada penelitian ini dipelajari zat warna azo jenis lain yaitu *Direct Black 22*. Zat warna direk biasanya digunakan untuk mewarnai serat selulosa dan dapat pula mewarnai serat proteina dan poliamida (5). Iradiasi dilakukan pada dosis dan pH awal larutan bervariasi serta

penambahan udara. Variasi pH awal larutan untuk mendapatkan penguraian zat warna optimum dan variasi konsentrasi zat warna untuk mempelajari kinetika penguraiannya. Struktur molekul zat warna *Direct Black 22* (berat molekul 1083,99) ditunjukkan pada Gambar 1.

BAHAN DAN METODE

Bahan Kimia. Zat warna *Direct Black 22* dengan nama dagang *Solophenyl Red 3 BL* yang diperoleh dari PT. Ciba Geigy Co. dipakai sebagai sampel penelitian tanpa pemurnian lebih lanjut. Bahan kimia lain yang digunakan dalam penelitian ini antara lain H_2SO_4 dan NaOH.

Pembuatan Larutan. Larutan zat warna dibuat dengan melarutkan *Direct Black 22* dalam akuades dengan konsentrasi zat warna 1 g/L. Selanjutnya larutan tersebut diencerkan untuk memperoleh larutan dengan variasi konsentrasi 0,05; 0,10; 0,15; dan 0,20 g/L. Untuk mempelajari pengaruh pH awal larutan, digunakan larutan zat warna konsentrasi 0,05 g/L dengan variasi pH awal 3, 5, 7, 9, dan 11. Larutan zat warna pH asam dibuat dengan menambahkan larutan H_2SO_4 3 M, pH basa dibuat dengan menambahkan larutan NaOH 1 M, sedangkan larutan pH

11 dibuat dengan menambahkan larutan NaOH 30 %. Setiap perlakuan sampel dibuat duplo dengan 3 kali ulangan.

Iradiasi. Larutan sebanyak 250 ml dimasukkan ke dalam tabung gelas (tinggi = 22 cm dan diameter = 5,5 cm) diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber cobalt-60 di Iradiator Panorama Serba Guna pada temperatur ruang sekitar 35°C dengan variasi dosis 4, 8, 12, 16, dan 20 kGy. Laju dosis 5 kGy/jam ditentukan dengan dosimeter Fricke (6). Selama iradiasi, larutan diaerasi melalui pori-pori pada dasar tabung. Aktivitas sumber cobalt-60 adalah 32,3 kCi (pada bulan Agustus 1997).

Analisis. Serapan larutan zat warna ditentukan dengan spektrofotometer UV-160 Shimadzu. pH larutan diukur dengan Metrohm pH-meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengurangan Warna Larutan Direct Black 22 pada λ 497 dan 653 nm. Pada Gambar 2 ditunjukkan spektrum serapan larutan zat warna *Direct Black 22* dalam air (kurva 1). Spektrum zat warna tersebut mempunyai 3 puncak serapan, yaitu di daerah uv (λ 269 nm) dan di daerah tampak (λ 497 nm dan 656 nm). Puncak-puncak serapan ini dianggap karena adanya gugus aromatis tersubstitusi (benzil dan naftil), gugus azo dan efek auksokromik (7). Ketiga puncak tersebut menurun secara bersamaan dan bertahap dengan meningkatnya dosis iradiasi (4 - 20 kGy; laju dosis 5 kGy/jam). Penurunan puncak serapan berhubungan dengan pengurangan warna dan penguraian zat warna yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Pada Gambar 3 ditunjukkan penurunan serapan (%) pada ketiga puncak serapan tidak jauh berbeda satu sama lain, terlihat ketiga kurva saling berimpitan. Salah satu gugus yang memberikan efek warna adalah gugus azo, meskipun gugus ini sebenarnya paling mudah putus, namun karena jumlahnya ada 4 buah, maka diperlukan energi yang besar (dosis tinggi) untuk memecahkannya.

Kenaikan dosis iradiasi menyebabkan penurunan serapan dan warna larutan. Pada dosis 16 kGy yang ditunjukkan oleh kurva 5 pada Gambar 3, terlihat bahwa pita serapan telah menghilang disertai perubahan warna menjadi bening. Penghilangan pita serapan pada λ 497 dan 656 nm diduga akibat pecahnya kromofor yang bertanggung jawab pada karakteristik warna dari zat warna azo *Direct Black 22* karena reaksi substitusi oleh radikal OH. Studi terdahulu yang dilakukan oleh SPADARO *et al.* menunjukkan bahwa iradiasi zat warna *Acid Orange 7* dengan uv menggunakan katalis $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ menyebabkan ikatan azo dengan atom C putus dan membentuk fenil diazen tersulfonasi dan naftakuinon (1).

Penurunan serapan pada λ 497 nm dan 656 nm disebabkan oleh putusnya ikatan C-N (a) yang paling lemah pada zat warna *Direct Black 22* disebabkan energi radiasi yang diserap oleh zat warna (Gambar 6). Selanjutnya pada dosis lebih tinggi (> 8 kGy) ikatan azo dengan atom C putus membentuk senyawa yang masih mengandung sistem konjugasi (diduga benzil diazen tersubstitusi dan naftil tersubstitusi). Hal ini terlihat pada warna larutan yang masih kehitaman. Bila semua ikatan azo putus maka terlihat pita

serapan pada daerah tampak menghilang (kurva 5). Pita serapan pada panjang gelombang 460 - 490 nm mengalami penurunan disebabkan karena reaksi antara zat warna dengan e^-_{aq} menghasilkan senyawa tak berwarna (7).

Penurunan Serapan pada λ 269 nm. Gambar 3 menunjukkan penurunan serapan pada λ 269 nm akibat iradiasi dan aerasi terhadap larutan zat warna *Direct Black 22*. Pada dosis 20 kGy persentase penguraian zat warna mencapai 99%.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa puncak serapan pada λ 269 nm dianggap karena adanya cincin aromatis. Pengurangan serapan pada kondisi larutan jenuh dengan oksigen menyebabkan peningkatan jumlah radikal OH yang tersubstitusi ke cincin aromatis. Ikatan -C-C- pada aromatis akan putus dengan adanya oksidasi oleh oksigen. Terlihat bahwa oksigen sangat efektif untuk meningkatkan penguraian zat warna *Direct Black 22*. Menurut HASONO *et al.* bahwa iradiasi tanpa oksigen menyebabkan penguraian zat warna azo *Acid Red 265* dalam air sangat kecil, karena 'OH akan mengalami dimerisasi atau abstraksi atom H dari molekul lain dari zat warna tersebut (8).

Pengaruh pH Awal Larutan pada Radiolisis Zat Warna Direct Black 22. Puncak serapan berhubungan dengan menghilangnya warna hitam akibat iradiasi, hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi penguraian molekul zat warna. Pengaruh pH awal larutan pada pengurangan zat warna (konsentrasi awal 0.05 g/L) dengan iradiasi gamma dan aerasi dipelajari pada pH 3, 5, 7, 9, dan 11.

Hasil perhitungan koefisien ekstingsi molar larutan zat warna *Direct Black 22* pada pH awal 3 sampai 11 dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai ϵ tidak jauh berbeda pada berbagai pH. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan pH awal larutan dari asam sampai basa tidak menyebabkan perubahan atau pergeseran panjang gelombang maksimum dari ketiga puncak serapan.

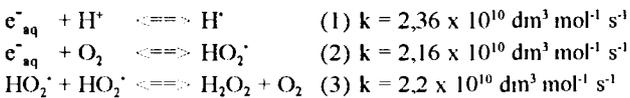
Perbandingan kecepatan penguraian relatif pada pH bervariasi ditunjukkan Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada pH awal 7 dan 11 iradiasi gamma dengan aerasi lebih efisien untuk menguraikan zat warna. Berdasarkan perhitungan aljabar radiolisis zat warna merupakan reaksi tingkat pertama. Nilai konstanta kecepatan reaksi penguraian *Direct Black 22* (k) dengan konsentrasi 0,05 g/L pada berbagai pH awal ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai k terbesar adalah $19,63 \times 10^{-3}$ / menit ($= 2,36 \times 10^{-4}$ / Gy) pada pH awal 11, lalu menyusul larutan pH awal 7 dengan nilai k = $18,98 \times 10^{-3}$ /menit ($= 2,28 \times 10^{-4}$ /Gy). Pada dosis di bawah 16 kGy warna larutan masih terlihat kehitaman, pada dosis 16 kGy warna larutan menjadi bening. Pada dosis ini zat warna telah terurai 95%. Sedangkan pada larutan dengan pH awal 11, pada dosis 16 kGy zat warna terurai 90%. Kenaikan dosis sampai 12 kGy, nilai k paling tinggi adalah larutan dengan pH awal 11, namun pada dosis lebih tinggi lagi persentase penguraian tidak mengalami kenaikan. Sedangkan pada pH 7 persen penguraian mengalami kenaikan dengan meningkatnya dosis iradiasi.

Pada aplikasinya, kondisi larutan pH 11 untuk larutan zat warna tidak dapat diterapkan, mengingat perlunya penambahan basa. Oleh karena itu pH awal 7 lebih

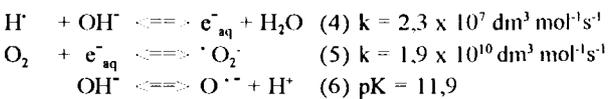
baik, walaupun konstanta kecepatan reaksi penguraiannya lebih kecil.

Sebelumnya telah dibias bahwa penambahan H₂SO₄ dan NaOH sebelum iradiasi tidak mempengaruhi serapan dan panjang gelombang larutan zat warna. Penguraian larutan zat warna lebih tinggi pada pH awal 7 dan 11. Sedangkan pada pH asam dan pH 9 tingkat penguraian masih rendah, hal ini kemungkinan disebabkan oleh keberadaan spesies reaktif yang terbentuk akibat radiolisis air berkurang.

Pada pH asam dan pH 9 kecepatan penguraian lebih lambat dimana nilai konstanta kecepatan reaksi tingkat pertama berkisar antara 6 sampai 9 x 10⁻³ / menit. Pada media asam dengan aerasi, terjadi reaksi sebagai berikut :



Pada pH basa dengan aerasi terjadi reaksi sebagai berikut :



Oksigen yang seharusnya digunakan untuk mengoksidasi zat warna, jadi berkurang reaktivitasnya disebabkan O₂ bereaksi dengan membentuk $O_2^{\cdot -}$ (reaksi (2) dan (5)). Sedangkan pada media asam diperkirakan penguraian zat warna lebih tinggi dari pada suasana basa dan netral, tetapi hasil percobaan menunjukkan hal sebaliknya. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya reaksi kombinasi (reaksi (3)). Pada suasana basa, oksigen akan bereaksi dengan e_{aq}⁻ membentuk $O_2^{\cdot -}$ yang kurang reaktif menyerang molekul zat warna daripada radikal HO₂. Selanjutnya pada pH sangat basa radikal OH akan terdissosiasi menjadi O⁻ dan H⁺ (9).

Perubahan pH. Pada Gambar 5 terlihat bahwa pH larutan yang teraerasi mengalami penurunan. Pada larutan dengan pH awal 11 penurunan pH mencapai 9 pada dosis 20 kGy. Telah diketahui sebelumnya bahwa konstanta kecepatan reaksi penguraian zat warna *Direct Black 22* pada pH awal 11 paling tinggi, namun dalam aplikasinya hal ini akan menambah biaya karena masih dibutuhkan asam untuk menetralkan pH basa tersebut.

Pada larutan dengan pH awal 7 pada dosis 4 kGy pH larutan mencapai 3,5 dan pada dosis > 4 kGy pH perlahan-lahan meningkat mencapai netral kembali (pH 6,3). Penurunan pH larutan diduga disebabkan oleh penguraian molekul zat warna menjadi senyawa sederhana dengan berat molekul lebih rendah, seperti aldehid dan asam-asam organik (10). Peningkatan pH kemungkinan disebabkan oleh senyawa rantai lurus hasil penguraian zat warna akan terurai lebih lanjut membentuk CO₂ dan H₂O (11). Setelah iradiasi pH larutan zat warna bersifat netral, hal ini memenuhi syarat baku mutu air limbah, sehingga aman untuk dibuang.

Mekanisme Penguraian Zat Warna *Direct Black 22*. Pada dosis 4 kGy diperkirakan ikatan C-N (a) akan putus lebih dahulu disebabkan energi sinar gamma yang diterima oleh zat warna *Direct Black 22*. Akibat pemutusan ikatan

tersebut dihasilkan senyawa yang masih mengandung sistem konjugasi, terlihat pada warna larutan yang masih berwarna hitam. Pada dosis yang lebih tinggi lagi sampai 12 kGy, sistem konjugasi mulai rusak, artinya ikatan C-N antara lain b, c, atau d mengalami pemutusan (Gambar 6). Kemungkinan juga senyawa aromatis hasil penguraian akan terurai lebih lanjut menjadi asam organik atau terbentuk H₂SO₄, ditunjukkan oleh penurunan pH larutan menjadi asam. Akhirnya pada dosis 16 kGy gugus azo rusak sehingga terlihat larutan menjadi bening. Iradiasi larutan zat warna *Direct Black 22* dengan adanya oksigen diperkirakan menghasilkan senyawa-senyawa intermediet I, II, III, IV, V, dan VI ditunjukkan pada Gambar 7. Selanjutnya senyawa aromatis tersebut (benzil dan fenil) akan diserang oleh radikal OH dan membebaskan N₂. Serangan radikal OH berikutnya dengan adanya oksigen menyebabkan terputusnya ikatan C-C, cincin akan membuka sehingga terbentuk senyawa asam organik. Secara umum mekanisme penguraian benzen menurut SPADARO (1) dapat digambarkan pada Skema 1.

Kinetika Penguraian Zat Warna *Direct Black*

22. Kinetika penguraian zat warna *Direct Black 22* dipelajari pada berbagai konsentrasi awal zat warna antara 0,05 sampai 0,20 g/L dengan menggunakan metode aljabar. Konsentrasi zat warna setelah iradiasi sebanding dengan serapan larutan yang diukur. Reaksi penguraian zat warna *Direct Black 22* dapat digambarkan sebagai berikut :



dimana D adalah zat warna *Direct Black 22* dan P adalah senyawa sederhana hasil penguraian D. Kecepatan penguraian zat warna *Direct Black 22* mengikuti persamaan berikut :

$$r_D = -k C_D^\alpha C_O^\beta$$

- dimana : r_D = kecepatan penguraian zat warna (g L⁻¹ menit⁻¹)
- k = konstanta kecepatan reaksi (menit⁻¹)
- C_D = konsentrasi zat warna (g L⁻¹)
- C_O = konsentrasi oksigen (g L⁻¹)
- α dan β = orde reaksi masing-masing untuk komponen zat warna *Direct Black 22* dan oksigen

Larutan diaerasi selama diiradiasi, oksigen yang berdifusi ke dalam larutan dapat dianggap konstan, sehingga persamaan disederhanakan menjadi : r_D = -k C_D^α
 Persamaan tersebut diintegrasikan menjadi :

$$\ln (-r_D) = \ln k + \alpha \ln C_D$$

$$\ln (dC/dt) = \alpha \ln C_D + \ln k$$

Berdasarkan hasil konsentrasi yang diperoleh setelah iradiasi, selanjutnya dibuat grafik antara ln (C₀/C) dengan dosis (kGy). garis yang diperoleh merupakan garis lurus ditunjukkan pada Gambar 8. Dengan demikian reaksi penguraian zat warna *Direct Black 22* merupakan reaksi

tingkat pertama untuk setiap konsentrasi berbeda. Nilai konstanta kecepatan reaksi berkisar antara $0,772 - 2,445 \times 10^{-4}/\text{Gy}$.

Tingkat (orde) dan konstanta kecepatan reaksi ditentukan dengan metode kecepatan awal yaitu dengan membuat diferensiasi persamaan konsentrasi sisa zat warna *Direct Black 22* terhadap waktu, dC/dt . Grafik antara $\ln(dC/dt)$ vs $\ln C_0$ ditunjukkan pada Gambar 9, diperoleh garis lurus dengan persamaan, $y = 1,0193x - 5,0120$ ($r = 0,9999$). Dengan demikian persamaan kecepatan reaksi dengan metode kecepatan awal penguraian zat warna *Direct Black 22* dengan iradiasi gamma dan aerasi merupakan reaksi tingkat pertama dengan k rata-rata $0,799 \times 10^{-4}/\text{Gy}$ ($= 6,66 \times 10^{-3}/\text{menit}$), dimana nilai ini masuk dalam interval metode aljabar.

PICCININI dan FERRERO memperoleh hubungan antara k dengan konsentrasi awal dan dinyatakan sebagai :

$$k = k^* / C_0$$

Bila nilai k dari masing-masing konsentrasi ini diplot dengan $1/C_0$, maka diperoleh harga k^* (koefisien efisiensi radiolisis) zat warna *Direct Black 22* sebesar $1,09 \times 10^{-5} \text{ g/L/Gy}$ (Gambar 10). Bila dibandingkan dengan nilai k^* *Direct Red 80* hasil penelitian serupa yaitu sebesar $5,64 \times 10^{-5} \text{ g/L/Gy}$ (12), nilai k^* *Direct Black 22* terlihat jauh lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penguraian zat warna *Direct Black 22* lebih sulit dibandingkan dengan *Direct Red 80*, sehingga agar penguraian *Direct Black 22* sempurna dibutuhkan energi iradiasi yang lebih besar.

KESIMPULAN

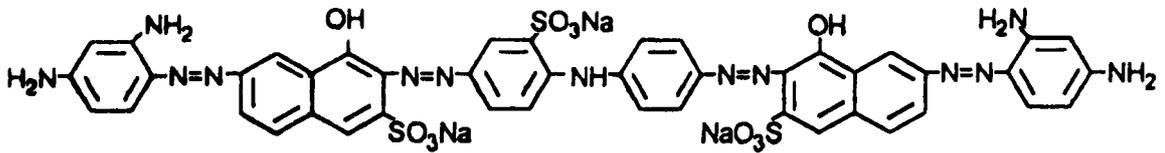
Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa iradiasi gamma dengan aerasi mampu menguraikan larutan zat warna tetra azo *Direk Black 22* dalam air. Penguraian *Direk Black 22* ($0,05 \text{ g/L}$) dengan iradiasi paling efisien dilakukan pada pH awal larutan 7 pada dosis 20 kGy dan laju dosis 5 kgy/jam yaitu sebesar 99%. Reaksi penguraian zat warna dengan iradiasi gamma merupakan reaksi tingkat pertama dengan nilai konstanta kecepatan reaksi $7,99 \times 10^{-5}/\text{Gy}$ ($6,66 \times 10^{-3}/\text{menit}$). Nilai koefisien efisiensi radiolisis diperoleh sebesar $1,09 \times 10^{-5} \text{ g/L/Gy}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

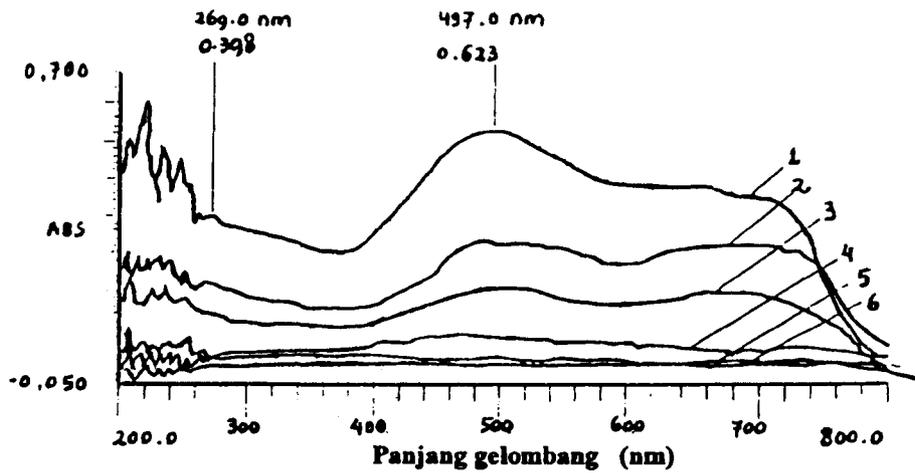
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdri. Christina Tri Suharni, Sdr. Firdaus, dan seluruh staf Kelompok Iradiator Panorama Serba Guna yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

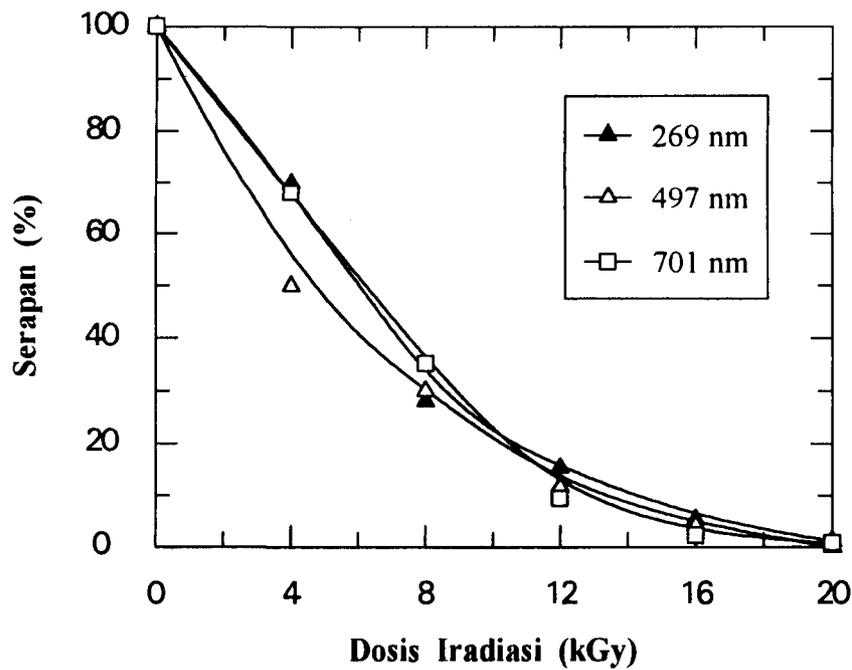
- SPADARO, J.T., ISABELLE, L. and RENGANATHAN, V., Hydroxyl radical mediated degradation of azo dyes : Evidence for benzene generation, *Environ. Sci. Technol.*, **28**, (1994) 1389.
- HASHIMOTO, S., MIYATA, T., SUZUKI, N., Decoloration and degradation of an anthraquinone dye aqueous solution in flow system using an electron accelerator, *Radiat. Phys. Chem.*, **13**, (1979), 107.
- WINARTI, A., AGUSTIN, S., ARMANU, dan SURTIPANTI, S., "Pengaruh iradiasi gamma pada zat warna azo (Terasil Navi) dalam air", *Ris. Pertemuan Ilmiah APISORA dalam Bidang Industri dan Hidrologi*, Jakarta, (1993) 447.
- WINARTI, A., AGUSTIN, S., ARMANU, dan WIYUNIATI, S., "Pengaruh iradiasi gamma pada zat warna reaktif cibacron violet 2R dalam air", (Dipresentasikan pada Lokakarya Sehari Jurnal Nusantara Kimia - PPTM, Bandung, 11 Mei 1996). (Risalah dalam proses penerbitan).
- DJUFRI, R., KASOENARNO, G.A., SALIHIMA, A., LUBIS, A., Teknologi Pengelantangan, Pencelupan dan Pencapan, Institut Teknologi Tekstil, Bandung, (1976) 91.
- SEHESTED, K., "The Fricke Dosimeter", *Manual on radiation Dosimetry* (HOLM, N.W. and BERRY, R.J., Eds.), Merceel Dekker, New York (1970) 313.
- SUZUKI, N., NAGAI, T., HOTTA, H., dan WASHINO, M., The radiation-induced decoloration of azo dye in aqueous solutions, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **48**, (1975) 2158.
- HASONO, M., ARAI, H., AIZAWA, M., YAMAMOTO, I., SHIMIZU, K., and SUGIYAMA, M., Decoloration and degradation of azo dye in aqueous solution supersaturated with oxygen by irradiation of high-energy electron beams, *Appl. Radiat. Isot.*, **44**, (1993) 1199.
- EL-ASSY, N.B., EL-WAKEEL, E.I., and FATTAH, A.A.A., The degradation of triazo dye chlorantine fast green BLL in aqueous solution by gamma irradiation - III, *Appl. Radiat. Isot.*, **42**, (1991) 89.
- GETOFF, N., Radiation-induced degradation of water pollutants : State of art, *Radiat. Phys. Chem.*, **47** (1996) 581.
- SPINKS, J.W.T., and WOODS, R.J., *An Introduction to Radiation Chemistry*, New York, John Wiley & Sons (1976) 256.
- WINARNO, E.K., BAGYO, A.N.M., WINARTI, A., WINARNO, H., dan WIDAYAT, E., Penguraian zat warna *Direct Red 80* dalam air dengan iradiasi gamma, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengelolaan Limbah I, PTPLR - BATAN, Serpong* (1997).



Gambar 1. Struktur molekul zat warna *Direct Black 22*.



Gambar 2. Spektrum serapan larutan zat warna *Direct Black 22* sebelum dan setelah diiradiasi. (Kons. 0,05 g/L ; pH awal 7).
 Kurva 1 = 0 kGy; 2 = 4 kGy; 3 = 8 kGy; 4 = 12 kGy; 5 = 16 kGy; dan 6 = 20 kGy



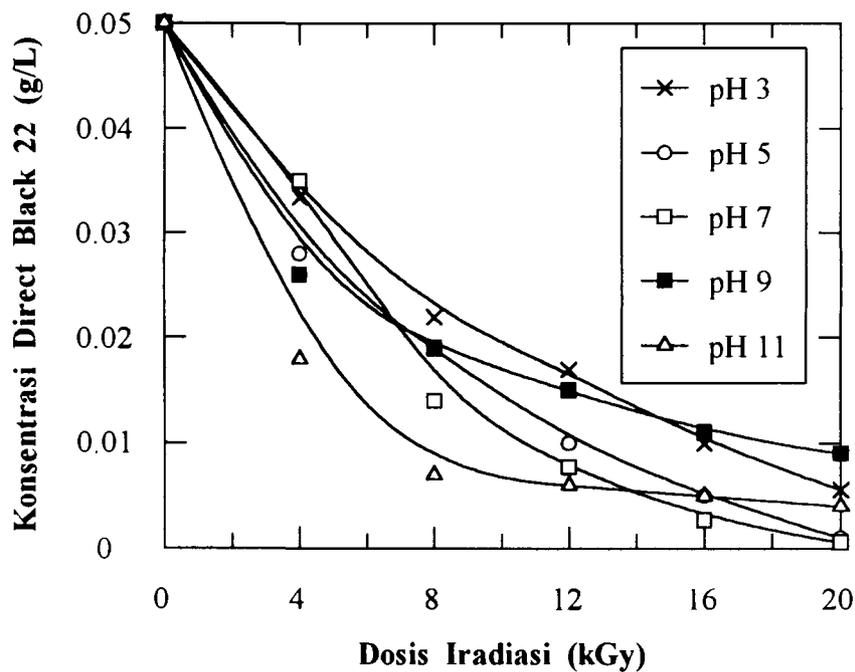
Gambar 3. Pengaruh iradiasi terhadap penurunan serapan zat warna *Direct Black 22* pada tiga panjang gelombang

Tabel 1. Nilai koefisien ekstingsi molar (ϵ) larutan zat warna *Direct Black 22* pada berbagai pH awal larutan

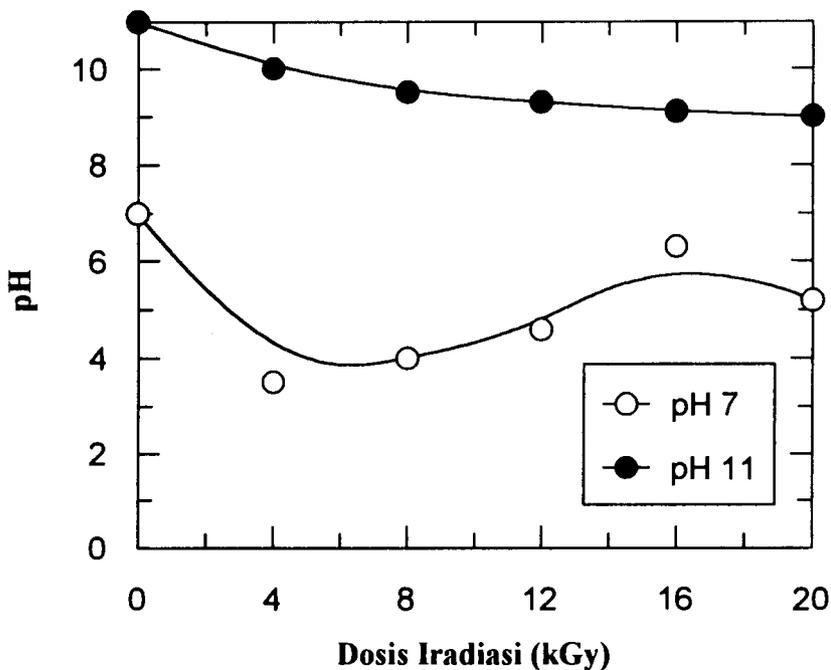
pH awal	λ maks (nm)	ϵ maks $l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$	λ maks (nm)	ϵ maks $l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$	λ maks (nm)	ϵ maks $l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
3	266	8.676	496	13.709	652	10.629
5	269	8.872	497	13.558	653	10.846
7	269	8.872	497	13.536	656	10.304
9	269	9.067	494	12.798	656	10.456
11	269	9.327	495	11.497	656	10.217

Tabel 2. Konstanta kecepatan reaksi (k) larutan zat warna *Direct Black 22* pada pH awal berbeda (serapan diukur pada λ 269 nm ; laju dosis 5 kGy/jam)

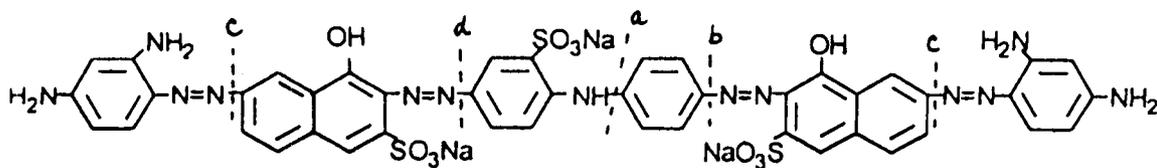
pH awal	k (x 103) / menit
3	8,75
5	7,78
7	18,98
9	6,0
11	19,63



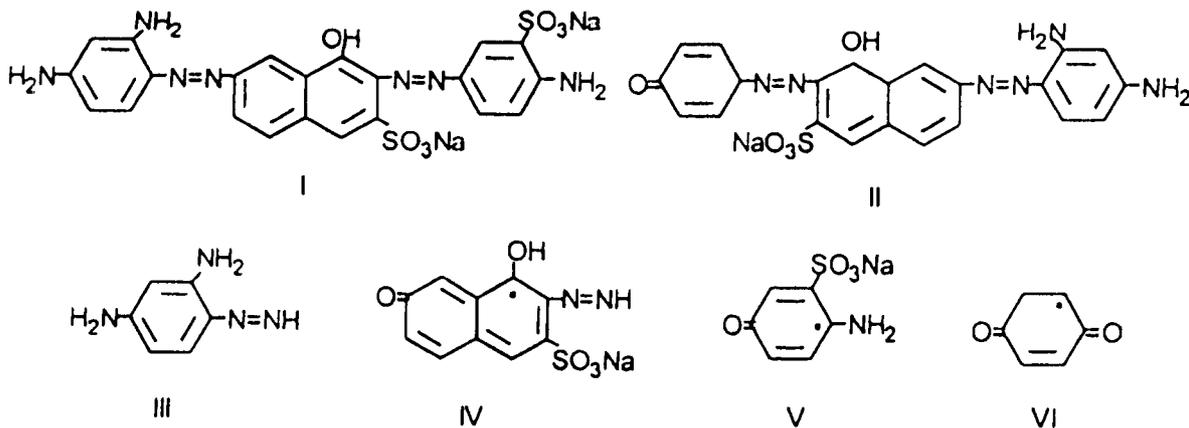
Gambar 4. Pengaruh iradiasi gamma dan aerasi terhadap penguraian zat warna *Direct Black 22* (0,05 g/L) pada berbagai pH awal larutan : Laju dosis 5 kGy/jam (serapan diukur pada λ 269 nm)



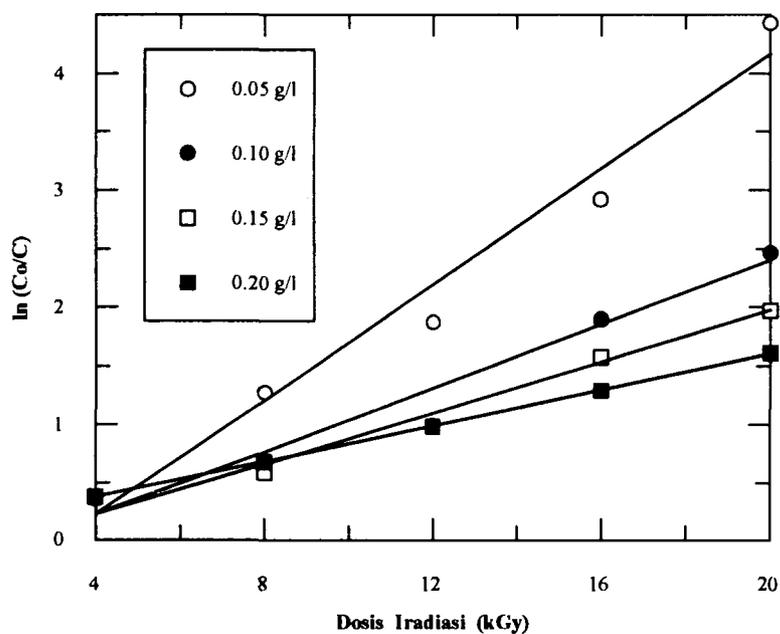
Gambar 5. Perubahan pH larutan zat warna *Direct Black 22* dalam air akibat iradiasi gamma dan aerasi (Kons. awal 0,05 g/L; Laju dosis 5 kGy/jam)



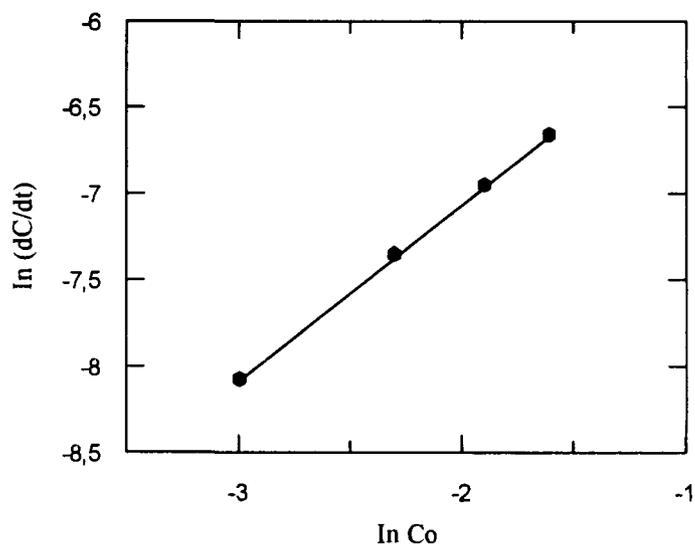
Gambar 6. Perkiraan pemutusan ikatan pada zat warna poli azo *Direct Black 22*.



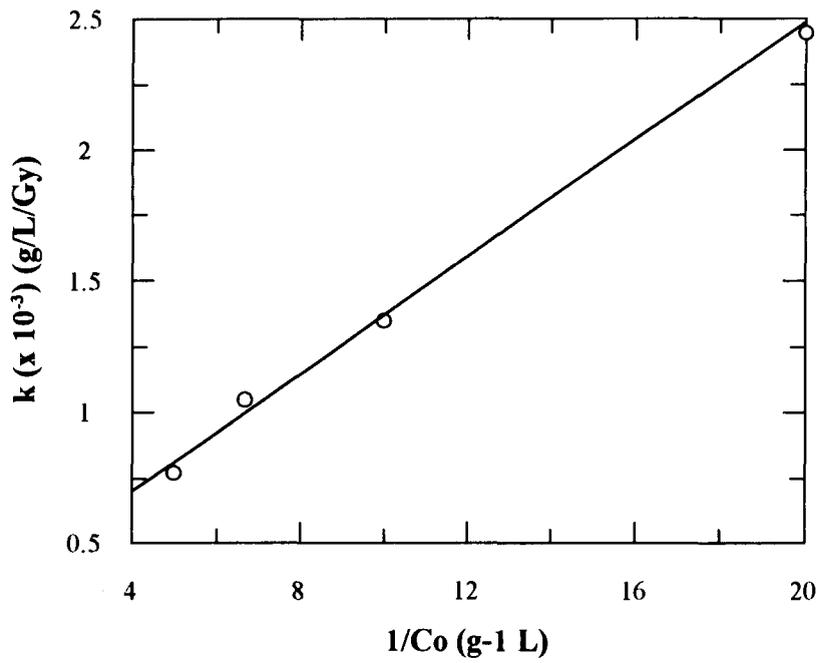
Gambar 7. Perkiraan senyawa-senyawa intermediet hasil penguraian zat warna *Direct Black 22*.



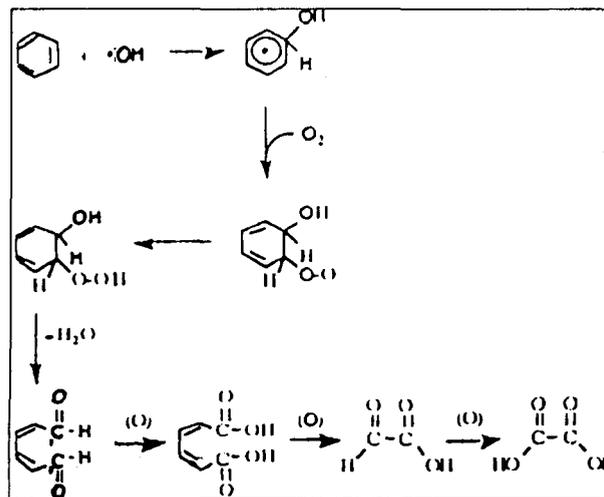
Gambar 8. Hubungan ln (Co/C) vs dosis iradiasi (kGy) (serapan diukur pada λ 269 nm)



Gambar 9. Hubungan antara ln (dC/dt) vs ln Co



Gambar 10. Hubungan antara k dan 1/Co pada λ 269 nm



Skema 1. Perkiraan mekanisme penguraian benzen

DISKUSI

M.M. MITROSUHARDJO

Bagaimana aplikasinya ? Apakah industri tekstil membawa limbahnya ke PAIR untuk diiradiasi ?

ERMIN K. WINARNO

Bila limbah di bawa ke PAIR transportasinya sulit dan tidak efektif. Keinginan kami kelak di areal industri tersebut dibangun fasilitas iradiator sendiri.

EVARISTA RISTIN P.I.

Mengapa larutan diaerasi ?

ERMIN K. WINARNO

Penguraian larutan zat warna dalam air dengan iradiasi dan aerasi lebih baik dibandingkan tanpa aerasi. Karena O_2 diperlukan untuk oksidasi zat warna tersebut, proses/mekanisme penguraiannya dapat dilihat pada Skema 1.

ERIZAL

1. Perubahan pH setelah iradiasi larutan (pH awal 7) turun lalu naik lagi, kenapa ?
2. Spektrum larutan zat warna menunjukkan 3 puncak, padahal seharusnya 1 peak saja. Mohon penjelasan ?
3. Analisisnya hanya menggunakan spektrofotometer, rasanya masih belum cukup mewakili. Mengapa ?

ERMIN K. WINARNO

1. Pada dosis 4 kGy pH larutan turun, pada dosis > 8 kGy naik lagi dan pada dosis 20 kGy turun jadi pH 5. Penurunan pH menunjukkan adanya produk penguraian zat warna yang bersifat asam. Perkiraan terbentuk asam-asam organik dan H_2SO_4 . Kenaikan pH disebabkan

produk asam organik teroksidasi lebih lanjut menjadi CO_2 & H_2O .

2. Spektrum menunjukkan 3 puncak serapan, masing-masing menunjukkan :
269 nm \rightarrow anomatis
497 dan 701 nm \rightarrow gugus-gugus azo bersama dengan sistem konjugasi pada struktur molekul zat warna tersebut. Jadi tidak mungkin spektrumnya 1 puncak.
3. Analisis juga dilakukan menggunakan pH meter untuk mengamati perubahan pH larutan akibat iradiasi. Asam-asam organik belum sempat dianalisis, karena kolom HPLC rusak.

SUHARNI SADI

Apakah larutan yang sudah bening aman untuk diminum ? Sudahkah toksisitasnya diuji ? Karena uji toksisitas sangat penting.

ERMIN K. WINARNO

Sementara larutan aman untuk dibuang, bila digunakan untuk air minum, diperlukan uji toksisitas. Hal ini belum kami lakukan. Terima kasih atas sarannya. Diwaktu mendatang akan kami uji toksisitasnya. Mudah-mudahan kita dapat bekerja sama.

ARYANTI

Mekanisme reaksi, kenapa ikatan putus C-N bukan N=N ?

ERMIN K. WINARNO

Energi ikatan C-N = 291,6 kJ/mol dan N=N mempunyai energi ikatan jauh lebih tinggi lagi, karena ikatan rangkap. Jadi energi ikatan C-N lebih kecil, sehingga lebih mudah putus bila diserang radikal OH.

KARAKTERISASI PANASBUMI DI DAERAH SUMATRA DAN SULAWESI UTARA DENGAN MENGGUNAKAN GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}

Zainal Abidin, Wandowo, E. Ristin P.I., Djiono, dan Alip

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



ID0000125

ABSTRAK

KARAKTERISASI PANASBUMI DI DAERAH SUMATRA DAN SULAWESI UTARA DENGAN MENGGUNAKAN GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}. Penentuan suhu reservoir panasbumi dari manifestasi permukaan di daerah Sumatra dan Kotamobagu - Sulawesi Utara telah dilakukan dengan menggunakan geotermometer isotop T¹⁸O_{SO4-H2O}. Suhu sumur SBY-3 juga ditentukan sebagai pembanding. Metode geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} dilakukan dengan menganalisis isotop ¹⁸O dari H₂O dan ³⁴S dari ion sulfat (SO₄) yang terlarut dalam fluida panas. Nilai suhu ditentukan dengan formulasi Mizutani Rafter. Hasil penentuan suhu mata air panas mendidih di Sumatra (Tambang Sawah, Waipanas, Rantau Dadap dan Sarula) menunjukkan suhu di atas 200°C dengan karakteristik fluida kesetimbangan dalam. Sedangkan suhu mata air panas tak mendidih menunjukkan suhu lebih rendah (150°C) dengan karakteristik fluida percampuran.

ABSTRACT

GEOHERMAL CHARACTERIZATION IN SUMATRA AND NORTH SULAWESI USING GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}. Determination of geothermal reservoir temperature of surface manifestation in Sumatra and Kotamobagu - North Sulawesi has been done using geotermometer isotope T¹⁸O_{SO4-H2O}. SBY-3 (Sibayak) well temperature has also been determined as reference. Geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} method is performed by analyzing isotope ¹⁸O of H₂O and ³⁴S of sulfat ion (SO₄) dissolved in the hot fluid. The value of temperature is determined using Mizutani Rafter formulation. The temperature determination result of the boiling spring in Sumatra (Tambang Sawah, Waipanas, Rantau Dadap and Sarula) indicates that the temperature is above 200°C with the deep equilibrium fluid characteristic, whereas the temperature of the non boiling spring indicates lower temperature (150°C) and the fluid characteristic is mixing.

PENDAHULUAN

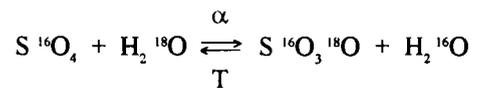
Pengembangan energi panasbumi menjadi energi listrik di Indonesia kini mengalami kemajuan pesat seiring dengan kebutuhan akan energi dan tersedianya sumber daya alam. Penelitian eksplorasi untuk mengetahui potensi sumber panasbumi merupakan tahapan yang sangat menentukan dalam rangka tindak lanjut eksploitasi. Perkiraan suhu reservoir menggunakan geotermometer isotop dan kimia dari manifestasi permukaan seperti mata air panas dan fumarole dapat dipakai untuk mengetahui potensi dan daerah "up flow" sumber panasbumi.

Disamping geotermometer kimia, isotop ¹⁸O dalam kesetimbangan SO₄ - H₂O dalam fluida sangat dapat dipercaya untuk digunakan sebagai geotermometer pada daerah panasbumi yang bersifat "water dominated system". Selain itu hubungan antara ¹⁸O dan ³⁴S dalam senyawa sulfat dapat mengungkapkan berbagai proses geokimia seperti kesetimbangan fluida, percampuran dan asal-usul fluida (1).

Aplikasi geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} telah dilakukan pada berbagai manifestasi permukaan daerah panasbumi di Sumatera dan Kotamobagu - Sulawesi Utara. Sebagai acuan penentuan suhu dengan geotermometer ini, dilakukan juga pengukuran pada sumur lapangan panasbumi Sibayak karena pada daerah ini telah diketahui suhunya secara pasti dengan menggunakan peralatan custer.

Teori Geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O}

Teknik geotermometer isotop T¹⁸O_{SO4-H2O} didasarkan atas pengukuran isotop ¹⁸O yang terdistribusi (fraksinasi) diantara senyawa H₂O dan SO₄ yang berada pada kesetimbangan kimia dalam fluida panasbumi. Hubungan faktor fraksinasi isotop ¹⁸O (α₁₈) terhadap suhu digambarkan dalam reaksi kesetimbangan dibawah ini.



Dalam reaksi tersebut faktor fraksinasi (α₁₈) merupakan fungsi dari suhu : α = f(T).

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh MIZUTANI dan RAFTER 1969 terhadap hubungan α vs T telah di peroleh hubungan matematis antara α terhadap suhu seperti persamaan dibawah ini (2, 3).

$$1000 \ln \alpha = \frac{2,88 \times 10^6}{T^2} - 4,1$$

$$\text{Dimana } \alpha = \frac{1000 - \delta^{18}O_{SO4}}{1000 - \delta^{18}O_{H2O}}$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ adalah rasio relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dalam senyawa SO_4 yang diukur dengan spektrometer massa.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ adalah rasio relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dalam H_2O .

Penentuan suhu dengan geotermometer ini sangat baik untuk suhu antara 100 dan 300°C. Kesetimbangan kimia T $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ pada kondisi reservoir suhu 300°C tercapai dalam waktu 2 tahun, sedangkan pada suhu 200°C dan 100°C kesetimbangan kimia tercapai masing-masing selama 18 tahun dan 500 tahun.

BAHAN DAN METODE

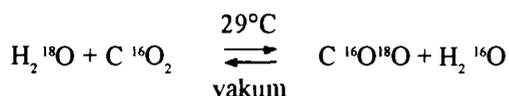
Bahan. Bahan yang digunakan ialah AgNO_3 , 0,1 N, HgCl_2 , nitrogen cair, aseton, CO_2 padat, Cu_2O , grafit serta contoh fluida dari lapangan panasbumi daerah Sulawesi Utara (Kotamobagu – KTB, Lobong – LB, Kapondohan – KM) dan dari Sumatra (Tambang Sawah – TSA, Rantau Dadap – RDD, Sarula – SRL, Sibayak – SBY)

Alat. Alat yang digunakan ialah spektrometer massa “Sira 9 ISOGAS” dan “Delta S Finnigan”, “sulphate preparation line dan sulphide preparation line SCIENTIFIC SOLUTION Ltd”. isoprep-18, spektrometer serapan atom, pH meter, termometer digital dan alat timbang.

Metode Sampling. Pengambilan contoh manifestasi permukaan dilakukan dengan cara memasukkan 20 ml contoh fluida panasbumi kedalam vial kedap udara untuk dianalisis kadar ^{18}O dalam H_2O . Untuk analisis kadar ^{18}O dalam sulfat, contoh fluida panasbumi sebanyak 1-2 liter tergantung kandungan sulfat yang ada dimasukkan kedalam vial plastik, kemudian di tambahkan $\pm 0,1$ gram HgCl_2 untuk pengawetan guna menjaga reduksi bakteri terhadap sulfur (4).

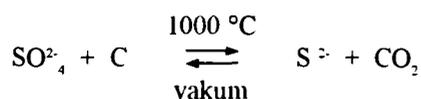
Metode Analisis Contoh

- Analisis ^{18}O dalam H_2O dilakukan dengan metode Epstein Mayeda yaitu 2 ml contoh direaksikan dengan gas CO_2 pada kondisi vakum pada alat isoprep-18 seperti reaksi dibawah ini.



CO_2 hasil reaksi dimasukkan kedalam spektrometer massa untuk pengukuran rasio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.

- Analisis ^{18}O dalam ion sulfat dilakukan dengan cara terlebih dahulu mengendapkan ion sulfat dalam fluida menjadi endapan BaSO_4 . Sebanyak 25 mg endapan BaSO_4 direaksikan dengan 50 mg grafit pada lempeng platina dalam kondisi vakum dan suhu 1000 °C pada alat “sulphate preparation line” dengan reaksi sebagai berikut :



Gas CO_2 yang terbentuk diukur ^{18}O -nya dengan spektrometer massa. Nilai ^{18}O dari gas CO_2 ini menunjukkan nilai ^{18}O dari SO_4 .

- Ion S^{2-} yang terbentuk diatas direaksikan dengan AgNO_3 menjadi Ag_2S dan kemudian direaksikan dengan Cu_2O pada kondisi vakum dan suhu 1000 °C pada alat “sulphide preparation line” untuk memperoleh gas SO_2 . Gas SO_2 ini dialirkan ke spektrometer massa “Delta S” untuk analisis isotop ^{34}S .
- Analisis kation
Contoh fluida panasbumi disaring dengan kertas saring milipore kemudian dialirkan ke alat Spektrometer Serapan Atom untuk analisis kadar kationnya.
- Pengukuran suhu contoh fluida dilakukan di lapangan dengan menggunakan digital termometer sedangkan pengukuran tingkat keasaman (pH) dilakukan dengan menggunakan pH-meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil analisis isotop ^{18}O dalam H_2O dan sulfat serta isotop ^{34}S tertera pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat kandungan isotop ^{18}O dalam sulfat pada mata air panas mendidih (boiling spring) mempunyai nilai -1 sampai +1,5 ‰ SMOW, sedangkan kandungan ^{34}S sulfatnya mempunyai nilai lebih besar dari 14 ‰ CDT. Nilai tersebut menunjukkan bahwa fluida mata air panas berasal dari reservoir dalam keadaan kesetimbangan (deep equilibrium), kecuali pada mata air panas mendidih KM3 (Kopondohan – Kotamabagu) menunjukkan nilai ^{18}O sulfat sangat tinggi yaitu +8,23 ‰. Nilai tersebut mencerminkan kemungkinan mata air panas tersebut berasal dari reservoir dangkal (shallow equilibrium). Tingginya nilai ^{18}O sulfat kemungkinan disebabkan oleh pengaruh oksidasi permukaan (5).

Kandungan isotop ^{18}O sulfat untuk fumarole relatif besar dan isotop ^{34}S relatif kecil. Hal ini jelas menunjukkan adanya proses oksidasi H_2O menjadi sulfat di permukaan bukan pada reservoir dalam. Adanya O_2 udara luar dan terbentuknya ion SO_4 yang relatif besar mempengaruhi nilai isotop ^{18}O dan ^{34}S dalam sulfat tersebut. Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara isotop ^{18}O dan ^{34}S dalam ion sulfat. Gambar tersebut dengan jelas dapat menginformasikan proses asal-usul fluida dan proses “mixing” dalam sistem panasbumi. Terlihat bahwa mata air panas mendidih yaitu Tambang Sawah (TSA), Rantau Dadap (RDD 5 & 6) dan Sarula pada gambar tersebut terletak pada daerah “deep equilibrium”. Sedangkan mata air panas Lobong (LB) Kotamabogu dan Rantau Dadap (RDD 8) terletak pada daerah “mixing” antara “deep equilibrium” dan fumarole (6).

Geotermometer. Tabel 3 dan 4 memperlihatkan hasil perhitungan dan evaluasi suhu reservoir dari berbagai mata air panas di daerah Sumatera dan Sulawesi Utara. Untuk mata air panas mendidih TSA, RDD5 dan 6, SRL dan KM3 terlihat bahwa suhu yang dihitung menggunakan geotermometer isotop T $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ dan geotermometer kimia menunjukkan nilai yang relatif sama. Suhu reservoir di

daerah Tambang Sawah yang diukur dengan geotermometer isotop menunjukkan nilai 255 °C, sedangkan dengan geotermometer kimia (T_{Na-K} , $T_{Na-K-Ca}$ dan T_{K-Mg}) menunjukkan suhu antara 236 dan 262 °C. Demikian pula untuk daerah Rantau Dadap dan Sarula nilai suhu reservoir berdasarkan geotermometer isotop menunjukkan nilai masing-masing 250 °C dan 266 °C. Untuk mata air panas permukaan seperti Lobong (LB), suhu hasil perhitungan berdasarkan isotop $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ menunjukkan nilai relatif lebih rendah daripada hasil perhitungan dengan geotermometer T_{Na-K} .

Untuk gambaran yang lebih jelas, pada Tabel 4 diperlihatkan hasil pengukuran suhu berdasarkan geotermometer isotop $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ dan hasil pengukuran langsung dengan custer (suhu aktual) pada sumur panasbumi Sibayak (SBY-3 dan 4). Suhu hasil pengukuran langsung dengan custer pada sumur panasbumi setelah pemanasan sumur selang 90 hari menunjukkan suhu 260 °C (SBY 3 dan 4), sedangkan hasil pengukuran dengan geotermometer isotop pada sumur SBY-3 menunjukkan nilai 251 °C, atau relatif lebih rendah 9 °C, tetapi pada sumur SBY-4 pengukuran dengan geotermometer isotop menunjukkan nilai lebih besar 15 °C.

KESIMPULAN

1. Mata air panas mendidih Tambang Sawah, Rantau Dadap (5 dan 6) dan Sarula di daerah Sumatra berasal dari daerah "deep equilibrium", sedangkan mata air panas Lobong-Kotamobagu-Sulawesi Utara dan Rantau Dadap 8 berasal dari proses pencampuran antara fumarole dan "shallow equilibrium".
2. Terdapat kesamaan suhu yang dihitung dengan menggunakan geotermometer $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ dan kimia pada mata air panas Tambang Sawah (255°C), Rantau Dadap

5 dan 6 (250 °C), Sarula (266°C) sedangkan $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ Kotamobagu lebih rendah daripada T_{kimia} .

DAFTAR PUSTAKA

1. ABIDIN, Z., WANDOWO, INDROJONO, ALIP, DIJONO, dan E. RISTIN. PI., Kamojang overview and geotermometer study, Compilation of Presentation Materials, "Advisory Group Meeting on Isotope Application in Geothermal Energy Development", Vienna, 29 May – 1 June (1995).
2. MIZUTANI, Y., and RAFTER, TA. Oxygen isotope composition of Sulfates – Part 3, Oxygen isotopic fractionation in bisulphate and water system, N.Z.J. Sci, 12 (1969) 54.
3. MIZUTANI, Y., Isotopic composition and underground temperature of the otake geothermal water Kyushu Japan, Geochem J, 6 (1972) 67.
4. GIGENBACH, W.F., Isotope Geothermometers, IAEA, Vienna (1980).
5. MARINER, R.H., PRESSER, T.S., and EVANS, W.C., Geothermometry and water-rock interaction in selected thermal system in the cascade range and Modoc Plateau Western United States, Geothermics, 22, 1 (1993) 1.
6. D'AMORE, F., GIOVANNI GRANELLI, and EGIZIO CORAZZA, The geothermal area of El Pilar-Casandy State of Sucre Venezuela geochemical exploration and model, Geothermics, 29, 3 (1994) 283.

Tabel 1. Data isotop ^{18}O dan ^{34}S mata air panas, fumarol dan "heated pool" daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

No	Kode sampel	T_s ($^{\circ}\text{C}$)	PH (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$
1.	TSA	96,2	7,0	-6,9	-0,72	14,2
2.	RDD-5	95	7,0	-6,9	-0,65	26,3
3.	RDD-6	90	7,0	-6,8	-0,3	21,65
4.	RDD-7	98	<1	-2,3	3,8	-0,15
5.	RDD-8	85	7,0	-8,6	4,0	12,5
6.	SBY-3 (well)	-	-	-9,4	-3,07	18,2
7.	SBY-4 (well)	-	-	-8,9	-3,77	16,8
8.	LB-1	70	6,5	-5,7	6,32	17,2
9.	LB-2	65	6,5	-3,9	5,49	4,5
10.	LB-4	64	6,5	-6,3	7,2	8,7
11.	LB-6	78	7,0	-4,4	3,29	7,4
12.	KM-3	93	6,0	-6,1	8,23	16,3
13.	KTB-3	101	1,0	-2,9	9,92	-0,85
14.	BK-1	88	7,0	-6,7	5,77	14,5
15.	TP-2	86	<4	-4,0	-3,1	2,1
16.	TP-3	97	<4	-3,0	-7,2	4,7
17.	TP-4	70	<4	-2,3	-2,0	4,7
18.	SRL	90	7,0	-4,3	1,5	30,3

Tabel-2. Data kation mata air panas, fumarol dan "heated pool" daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

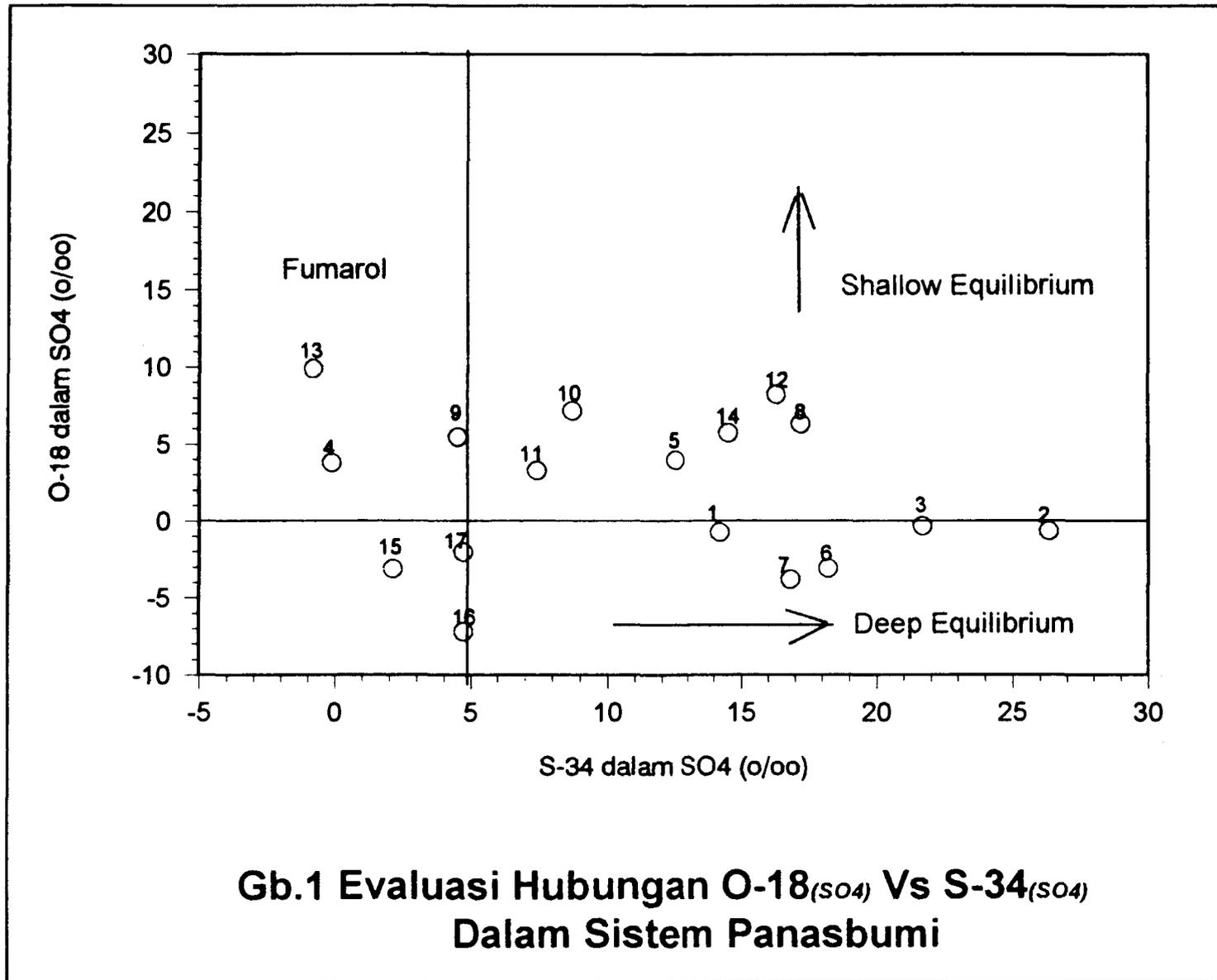
No	Kode sampel	Jenis	Na^+ (ppm)	K^+ (ppm)	Ca^{2+} (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	Li^+ (ppm)
1.	TSA	MP	1559	242	97	0,1	5,4
2.	RDD-5	MP	966	121,5	49	0,05	6,1
3.	RDD-6	MP	1096	121,5	50	0,13	6,1
4.	RDD-7	FUM	43	2,1	0,1	0,3	0,01
5.	RDD-8	MP	316,6	34,6	0,6	0,56	1,9
8.	LB-1	MP	371	77	89	5,8	2,3
9.	LB-2	MP	631	114	196	7,7	0,9
10.	LB-4	MP	127	54	31	4,8	1,6
11.	LB-6	MP	417	114	38	5,0	3,5
12.	KM-3	MP	305,4	11,4	89,3	0,14	0,31
13.	KTB-3	FUM	81	3	6	49,6	0,1
14.	BK-1	MP	200	21	107	2,1	1,4
15.	TP-2	HP	291,2	12,3	0,02	0,01	0,91
16.	TP-3	HP	272,2	14,2	0,28	0,02	0,66
17.	TP-4	HP	306,6	12,26	0,06	0,02	0,5
18.	SRL	MP	445	76,1	0,17	0,01	4,6

Tabel-3. Evaluasi hasil perhitungan geotermometer isotop dan kimia pada mata air daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

No	Kode sampel	T_{Na-K} ($^{\circ}C$)	$T_{Na-K-Ca}$ ($^{\circ}C$)	T_{K-Mg} ($^{\circ}C$)	$T^{18}O_{SO4-H2O}$ ($^{\circ}C$)
1.	TSA	257	236	262	255
2.	RDD-5	237	-	244	253
3.	RDD-6	226	-	220	247
5.	RDD-8	224	-	140	141
8.	LB-1	288	226	128	180
9.	LB-2	273	220	136	189
10.	LB-4	382	263	120	131
12.	KM-3	145	131	126	123
14.	BK-1	222	172	164	143
18.	SRL	267	-	262	266

Tabel-4. Perbandingan hasil perhitungan suhu secara geotermometer dan pengukuran custer (deep well) pada sumur SBY-3 dan SBY-4.

No	Kode sampel	T_{aktual} ($^{\circ}C$)	$T^{18}O_{SO4-H2O}$ ($^{\circ}C$)
6.	SBY-3	~260	251
7.	SBY-4	~260	275



DISKUSI

NAZAROH

Apakah metode yang Anda gunakan dapat digunakan untuk menentukan kuantitas panas bumi dalam riser voir tersebut ?

ZAINAL ABIDIN

Metode ini secara langsung tidak dapat digunakan untuk menghitung kuantitas panas bumi. Tetapi apabila kita juga menganalisis ^{18}O dalam batuan selain ^{18}O dalam H_2O , maka berdasarkan teori ^{18}O hingga antara H_2O -mineral besaran permeabilitas reservoirs dapat diperkirakan. Dengan mengetahui nilai permeabilitas maka kuantitas sumber panas bumi dapat dilakukan.

WIBAGYO

1. Apakah metode ini bisa berlaku pada semua lapang panas bumi ?
2. Mengapa pembanding untuk pengukuran Caster hanya 2 titik di Sibayah. Bagaimana dibanding di lapang yang lain ?

ZAINAL ABIDIN

1. Metode ini berlaku untuk sistem panas bumi yang di dominasi oleh air (water dominated) berarti untuk lapangan dengan sistem tersebut dapat dilakukan.
2. Kebetulan lapangan yang siap untuk water dominated di Indonesia baru lapangan Sibayak.

SUWIRMA

Kenapa untuk pengukur sulfida tidak langsung dari BaS, dan reaksi pengendapan AgS bagaimana ?

ZAINAL ABIDIN

Karena yang ingin diukur adalah isotop ^{34}S yang ada dalam senyawa sulfat, tetapi bukan yang ada di dalam senyawa H_2S dan Sulfida lainnya. $\text{S} = + \text{Ag} + \text{pH}3-4 \text{ Ag}_2\text{S}$.

MUNSIHAH MAHA

1. Tujuan penelitian ini apakah hanya untuk validasi metode atau untuk melakukan pengukuran sesungguhnya karakteristik panas bumi di suatu tempat (Sulawesi utara).
2. Bagaimana ketelitian metode ini misalnya untuk pengukuran suhu bila dibandingkan dengan metode pengukuran lain (dalam kesimpulan tidak terlihat).

ZAINAL ABIDIN

1. Tujuan penelitian dapat dilakukan sekaligus antara validasi pengukuran dari aplikasi dalam lapangan panas bumi.
2. Untuk fluida yang mendidih (bacling spring) yaitu kondisi full equilibrium ketelitian metode kimia isotop relatif tinggi. Metode isotop lebih realible dari kimia karena mempunyai waktu equilibrium yang lama pada perubahan suhu pada saat fluida naik ke permukaan.

METODE EKSTRAKSI SULFUR DENGAN PEREAKSI KIBA UNTUK PENENTUAN ISOTOP SULFUR-34

Evarista Ristin P.I, Zainal Abidin, Djiono, dan June Melawati



ID0000126

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi

ID0000126

ABSTRAK

METODE EKSTRAKSI SULFUR DENGAN PEREAKSI KIBA UNTUK PENENTUAN ISOTOP SULFUR-34. Pereaksi KIBA (Sn^{2+} dalam H_3PO_4 pekat) merupakan pereduksi kuat terhadap sulfat untuk menghasilkan gas H_2S . Metode ini dapat digunakan untuk analisis kuantitatif sulfur dan studi isotop sulfur-34 dari materi yang mengandung sulfur baik organik maupun anorganik. Pada penelitian ini, sampel batuan sulfida sebagai *pyrit* dan *pyrrhotite* diambil dari Kalimantan Barat, batuan sulfat sebagai allunite diambil dari Cugung Rajabasa-Lampung dan batuan *gypsum* (tak diketahui asal lokasinya), dan sulfur elemental diambil dari Papandayan-Jawa Barat dan Cugung Rajabasa-Lampung. Dengan acuan metode spektrometer pendar sinar X (XRF - X Ray Fluorescence) untuk penentuan konsentrasi sulfur dan pengamatan suhu awal pelepasan gas H_2S , maka diketahui bahwa pereaksi Kiba paling efektif dan cepat untuk mengekstraksi sulfur dalam batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite* daripada batuan sulfat, dan sulfur elemental pada urutan terakhir. Nilai $\delta^{34}\text{S}$ *pyrit* adalah -4,619 ‰ CDT dan *pyrrhotite* adalah 8,165 ‰ CDT. Nilai $\delta^{34}\text{S}$ allunite adalah 3,7 ‰ CDT, dan *gypsum* adalah 8,898 ‰ CDT, sedangkan sulfur elemental Papandayan adalah -0,745 ‰ CDT dan sulfur elemental Cugung Rajabasa adalah -2,945 ‰ CDT.

ABSTRACT

SULPHUR EXTRACTION METHOD USING KIBA REAGENT FOR DETERMINATION OF SULPHUR-34 ISOTOPE. Sn^{2+} in strong H_3PO_4 (to be called KIBA reagent) is a powerful reducing reagent of sulphate to hydrogen sulphide. This method can be applied for quantitative analysis and to determine sulphur-34 isotope from sulphur-bearing materials, either organic or anorganic. In this experiment, sulphide rocks as *pyrit* and *pyrrhotite* were taken from West Kalimantan, sulphate rock as allunite was taken from Cugung Rajabasa-Lampung, and gypsum from unknown location, whereas elemental sulphur was taken from Cugung Rajabasa-Lampung and Papandayan-West Java. From sulfur concentration data as a reference analyzed by X ray fluorescence spectrometer and data of first temperature which H_2S gas evolved show that Kiba reagent is most effective and fastest for sulphur extraction from sulfide rocks *pyrit* and *pyrrhotite* if compared with sulfate rocks and elemental sulfur rocks. The $\delta^{34}\text{S}$ value for *pyrit* and *pyrrhotite* were found to be -4.619 ‰ CDT and 8.165 ‰ CDT, respectively. Allunite had $\delta^{34}\text{S}$ value of 3.7 ‰ CDT, and gypsum had $\delta^{34}\text{S}$ value 8.898 ‰ CDT. Elemental sulphur from Papandayan had $\delta^{34}\text{S}$ value of -0.745 ‰ CDT, and elemental sulphur from Cugung Rajabasa had $\delta^{34}\text{S}$ value of -2.945 ‰ CDT.

PENDAHULUAN

Sulfur di alam dapat bersenyawa dengan unsur lain membentuk senyawa sulfat, sulfida maupun sulfur elemental dan dapat berupa gas, cair, maupun padat. Sulfur ($Z=16$) mempunyai 4 isotop stabil : ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , dan ^{36}S dengan kelimpahan berturut-turut : 95,02%; 0,75%; 4,21%; dan 0,02% (1).

Sulfat dalam air tanah dapat berasal dari beberapa sumber, umumnya berasal dari pelarutan mineral sulfat evaporit seperti *gypsum* atau anhidrit dalam suatu akuifer. Sebagian kecil sulfat dalam air tanah diturunkan dari oksidasi mineral sulfida atau pengendapan di atmosfer, misalnya dari aerosol laut, debu mineral sulfat yang tertiuap angin, dan dari pelarutan gas-gas oksida sulfur baik dari gunung berapi ataupun dari sumber sumber sulfat yang dibuat oleh manusia seperti buangan industri dan pembakaran bahan bakar fosil. Sulfida dalam air tanah ditemukan sebagai H_2S atau HS^- , tetapi konsentrasinya sangat rendah karena kelarutan mineral sulfida kecil. Sulfida dalam air tanah dapat juga berasal dari proses reduksi mineral sulfat (2).

Dalam studi variasi isotop sulfur di alam, maka teknik analisis yang akurat dengan jumlah sampel yang sesedikit mungkin lebih diinginkan. Beberapa studi telah dilakukan untuk menentukan komposisi isotop sulfur dari contoh senyawa sulfur. RAFTER (3) telah mereduksi BaSO_4 menjadi gas H_2S dengan grafit pada suhu 1000°C , sedangkan THODE (4) dengan menggunakan larutan pereduksi berupa campuran $\text{HI}-\text{H}_3\text{PO}_2-\text{HCl}$. Gas H_2S yang terbentuk diendapkan sebagai Ag_2S kemudian dioksidasi menjadi gas SO_2 untuk analisis isotop ^{34}S . THODE *et al.* (3) menggunakan O_2 dan ROBINSON-KUSAKABE (5) menggunakan Cu_2O sebagai pengoksidasi. Dalam studi isotop sulfur, gabungan dua metode reduksi BaSO_4 dan oksidasi Ag_2S untuk memperoleh gas SO_2 , memerlukan jumlah contoh yang relatif banyak dan contoh harus lebih dahulu diubah menjadi BaSO_4 . Metode ini umumnya digunakan bila contoh berupa air atau gas. Apabila contoh senyawa sulfur berupa padatan dapat digunakan pereaksi KIBA.

Pereaksi KIBA ($\text{Sn}^{2+} - \text{H}_3\text{PO}_4$ pekat) yang pertama kali diperkenalkan oleh KIBA (6) merupakan pereduksi kuat terhadap sulfat untuk membentuk gas H_2S . Metode ini dapat

diterapkan untuk analisis kuantitatif pada contoh sulfur organik maupun anorganik, antara lain pada batuan beku (7). Pereaksi ini juga berguna dalam studi isotop sulfur sebagai sidik jari (*finger print*) dari bermacam-macam bahan alam yang mengandung sulfur dengan prosedur yang sangat sederhana. Rasio isotop stabil suatu unsur dalam suatu senyawa yang bereaksi umumnya berbeda bergantung pada tingkat fraksinasi isotopnya. Studi isotopik batuan sulfur dapat memberikan informasi yang berharga tentang petrogenesis seperti dicontohkan dalam studi sulfur granitoid oleh SASAKI dan ISHIHARA (6). Rasio isotop $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dalam sistem air tanah dapat memberikan informasi tentang asal-usul (sumber) senyawa, dan (atau) proses geokimia dan lingkungan yang mempengaruhinya.

Penelitian ini bertujuan menentukan nilai rasio isotop $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ bermacam-macam batuan sulfur baik batuan sulfat, sulfida maupun batuan sulfur elemental dan mengamati perilaku ekstraksi batuan tersebut dengan metode KIBA. Contoh batuan sulfida sebagai *pyrit* dan *pyrrhotite* diambil dari Kalimantan Barat, sampel batuan sulfat sebagai alunite dari Cugung Rajabasa Lampung dan *gypsum* (tak diketahui asalnya), sedangkan sulfur elemental dari Cugung Rajabasa Lampung dan Papandayan Jawa Barat. Metode yang digunakan ialah batuan direduksi langsung dengan pereaksi KIBA kemudian dilanjutkan dengan oksidasi Ag_2S dengan metode ROBINSON-KUSAKABE. Gas SO_2 yang dihasilkan dianalisis nilai isotop ^{34}S -nya dengan spektrometer massa "Delta S". Sebagai acuan, batuan tersebut juga diuji tak merusak dengan spektrometer pendar sinar X (XRF - X Ray Fluorescence) untuk menentukan konsentrasi sulfur.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat. Bahan yang digunakan ialah : AgNO_3 , 0,1 N; I_2 , 0,01 N; Cu_2O ; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 0,1 N; $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, gas nitrogen, H_3PO_4 pekat nitrogen cair.

Alat yang digunakan ialah : rangkaian alat gelas untuk preparasi pereaksi KIBA (Gambar 1), rangkaian alat gelas untuk ekstraksi sulfur (Gambar 2), alat "Sulphide Preparation Line" (Gambar 3), spektrometer massa "Delta S", mantel pemanas dilengkapi termostat, pompa hisap dan spektrometer pendar sinar X (XRF) ORTEC dilengkapi detektor Si(Li) - pencacah salur ganda (MCA) MAESTRO - program software AXIL, dan alat pembuat pelet.

Preparasi Pereaksi KIBA. Bagan alat untuk pembuatan pereaksi KIBA seperti tertera pada Gambar 1. Sebanyak 300 ml asam ortofosfat ekstra murni ($d=7$) ditempatkan dalam labu gelas 500 ml dan dikeringkan dengan pemanasan hingga 250°C selama 1 jam. Uap yang dilepaskan harus segera dihisap melalui pompa hisap. Penggunaan mantel pemanas dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan pelepasan asam yang berbahaya.

Setelah dingin hingga 150°C , ditambahkan 30-40 g Sn (II) $2\text{H}_2\text{O}$ kemudian dipanaskan hingga 280°C selama 1 jam sambil dialirkan gas nitrogen melalui A hingga B. Hidrogen klorida yang dilepaskan dalam reaksi ini akan dibuang bersama-sama dengan aliran gas nitrogen. Semua

pengotor dalam bentuk senyawa sulfur yang mungkin terkandung dalam bahan kimia akan dilepaskan dalam bentuk hidrogen sulfida kemudian dibuang bersama dengan aliran gas nitrogen. Aliran gas nitrogen dilanjutkan hingga pereaksi dingin sampai suhu 150°C .

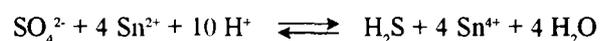
Ekstraksi Gas H_2S . Bagan alat ekstraksi sulfur seperti tertera pada Gambar 2. Alat ini terdiri atas labu reaksi, labu penjebak klorida berisi air, dan labu pengendap gas H_2S berisi AgNO_3 . Sebanyak 1 g batuan sulfur dan 10 ml pereaksi KIBA ditempatkan dalam labu reaksi, kemudian dihubungkan dengan labu penjebak. Gas nitrogen dialirkan melalui rangkaian ini pada kecepatan 200 gelembung per menit. Labu reaksi dipanaskan hingga 280°C dengan kecepatan aliran gas nitrogen yang sama. Endapan hitam Ag_2S yang terbentuk disaring dan didiamkan pada suhu kamar.

Ekstraksi Gas SO_2 . Bagan alat ekstraksi gas SO_2 seperti tertera pada Gambar 3. Dalam alat ini dapat langsung dianalisis 6 contoh secara bergantian. Campuran 10 mg Ag_2S dan 30 mg Cu_2O ditempatkan pada lempeng platina. Alat divakumkan hingga 0 Pa kemudian semua contoh dipanaskan pada suhu 100°C selama 5 menit. Uap air dan gas pengotor akan diendapkan pada penjebak I yang berisi nitrogen cair pada suhu -80°C . Contoh dipanaskan pada suhu 1000°C selama 10 menit. Gas SO_2 yang dihasilkan akan diendapkan pada penjebak II berisi nitrogen cair pada suhu -135°C kemudian dialirkan pada botol contoh. Ke 6 gas SO_2 dialirkan ke spektrometer massa "Delta S" untuk pengukuran rasio $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$.

Analisis Konsentrasi Sulfur Dengan Metode XRF. Batuan digerus halus kemudian ditimbang sejumlah 1 g untuk dibuat pelet dengan diameter 3 cm kemudian dicacah dengan XRF.

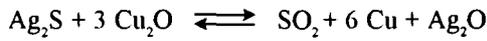
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini sampel batuan dari lapangan langsung dianalisis tanpa pemurnian lebih dahulu. Pada Tabel 1, 2, dan 3 terlihat bahwa pereaksi KIBA dapat mengekstraksi sulfur baik dari batuan sulfida, sulfat maupun elemental sulfur secara kuantitatif. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Senyawa sulfida akan bereaksi dengan H_3PO_4 sedangkan senyawa sulfat akan direduksi oleh SnCl_2 menghasilkan gas H_2S . Gas H_2S diendapkan dalam bentuk Ag_2S dengan adanya penjebak AgNO_3 . HCl yang terbentuk dialirkan bersama dengan gas nitrogen untuk dilarutkan dalam air.

Untuk pengukuran nilai $\delta^{34}\text{S}$ dalam alat spektrometer massa, sampel harus diubah menjadi bentuk gas SO_2 . Di dalam alat sulphide preparation line sampel Ag_2S dioksidasi dengan Cu_2O untuk membentuk gas SO_2 . Reaksi yang terjadi adalah :



Parameter yang digunakan dalam pengukuran isotop sulfur ialah perbandingan konsentrasi isotop ³⁴S terhadap ³²S yang dinyatakan sebagai δ ³⁴S. Nilai δ ³⁴S suatu sampel senyawa sulfur adalah relatif terhadap standar *troilite* (FeS) *Canon Diablo* (CDT) dalam satuan permill (‰). Variasi komposisi isotop S di alam disebabkan oleh 2 proses :

1. Reduksi ion sulfat menjadi hidrogen sulfida dengan adanya bakteri anaerob tertentu (misal : *Desulfibrio desulfuricant*) yang menyebabkan pengkayaan H₂S dalam ³²S.
2. Beberapa reaksi pertukaran isotop antar-ion, molekul, padatan yang menyebabkan ³⁴S terkonsentrasi dalam senyawa yang mempunyai tingkat oksidasi sulfur tertinggi atau mempunyai ikatan ion paling kuat.

Untuk menghitung kadar sulfur sebagai Ag₂S dari suatu sampel digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar S (\%)} = \frac{\text{BM S / BM Ag}_2\text{S} \times \text{berat Ag}_2\text{S}}{\text{berat sampel}} \times 100 \%$$

Tabel 1 memperlihatkan konsentrasi sulfur sebagai Ag₂S dan nilai δ ³⁴S sampel sulfur elemental Papandayan dan Cugung Rajabasa. Dengan metode KIBA dan XRF menunjukkan bahwa kadar sulfur dalam batuan sulfur elemental Cugung Rajabasa lebih besar daripada batuan sulfur elemental Papandayan. Nilai δ ³⁴S sulfur elemental Cugung Rajabasa -2,945 ‰ lebih miskin (*depleted*) daripada sulfur elemental Papandayan -0,745 ‰. Rata-rata efisiensi ekstraksi batuan sulfur elemental dengan metode KIBA terhadap metode XRF untuk penentuan konsentrasi sulfur adalah 4,65 %.

Tabel 1. Konsentrasi sulfur dan nilai δ ³⁴S sampel batuan sulfur elemental

Lokasi	Berat sampel (g)	Berat Ag ₂ S (g)	Konsentrasi S (%)		ef. eks.* (%)	δ ³⁴ S _{CDT} (‰)
			KIBA	XRF		
Papandayan	0,654	0,117	2,31			- 0,565
	0,711	0,125	2,27			- 0,793
	0,804	0,139	2,24			- 0,877
		Rerata	2,273 ± 0,028	61,0 ± 4,10	3,73	
Cugung Rajabasa	0,708	0,196	3,58			- 3,201
	0,746	0,208	3,61			- 2,973
	0,852	0,238	3,61			- 2,656
		Rerata	3,6 ± 0,014	64,6 ± 2,97	5,57	

Keterangan : * adalah efisiensi ekstraksi

Tabel 2 memperlihatkan konsentrasi sulfur dan nilai δ ³⁴S batuan sulfat *gypsum* dan *alunite*. Nilai δ ³⁴S batuan *alunite* Cugung Rajabasa 3,7 ‰ lebih kaya (*enrich*)

akan ³⁴S dibandingkan dengan sulfur elementalnya -2,945 ‰. Hal ini disebabkan oleh bakteri yang mereduksi ion sulfat menjadi hidrogen sulfida, sehingga ion sulfat akan kehilangan isotop ³²S atau kaya isotop ³⁴S.

Reaksi pertukaran isotop antara sulfat dan sulfida sebagai berikut :



Reaksi ini terjadi pada suhu relatif tinggi (> 250°C).

Tabel 2. Konsentrasi sulfur dan nilai δ³⁴S sampel batuan sulfat

Lokasi/ Sampel	Berat sampel (g)	Berat Ag ₂ S (g)	Konsentrasi S (%)		ef. eks.* (%)	δ ³⁴ S _{CDT} (‰)
			KIBA	XRF		
Alunite	0,614	0,101	2,12			3,290
K ₂ Al ₆ (SO ₄) ₄ (OH) ₁₂	0,675	0,111	2,13			3,819
	1,002	0,165	2,13			3,990
Cugung Rajabasa		Rerata	2,127 ± 0,005	16,82 ± 5,30	12,65	3,7 ± 0,3
Gypsum / - CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,719	0,097	1,75			8,635
	0,764	0,103	1,74			8,317
	0,845	0,114	1,74			9,744
		Rerata	1,743 ± 0,005	21,68 ± 2,78	8,04	

Keterangan : * adalah efisiensi ekstraksi

Tabel 3 memperlihatkan kadar sulfur dan nilai δ ³⁴S batuan sulfida *pyrite* dan *pyrrhotite* Kalimantan Barat. Batuan *pyrite* dan *pyrrhotite* tersebut kemungkinan mengandung sulfida-sulfida lain seperti galena, sphalerite dan chalcopyrite, akan tetapi pereaksi KIBA tidak dapat mengekstraksi sulfida-sulfida tersebut secara terpisah.

Tabel 3. Kadar sulfur dan nilai δ ³⁴S dari sampel batuan sulfida

Lokasi/ Sampel	Berat sampel (g)	Berat Ag ₂ S (g)	Konsentrasi S (%)		ef. eks.* (%)	δ ³⁴ S _{CDT} (‰)
			Kiba	XRF		
Pyrit FeS ₂ / Kalimantan Barat	0,557	1,221	28,36			-4,292
	0,615	1,352	28,44			-5,146
	1,003	2,206	28,46			-4,420
		Rerata	28,42 ± 0,043	28,8 ± 1,43	98,68	-4,619 ± 0,376
Pyrrhotite FeS / Kalimantan Barat	0,513	1,250	31,52			7,666
Kalimantan Barat	0,514	1,251	31,49			8,349
	0,536	1,307	31,55			8,481
		Rerata	31,52 ± 0,024	34,20 ± 2,58	92,16	8,165 ± 0,357

Keterangan * adalah efisiensi ekstraksi

Nilai $\delta^{34}\text{S}$ *pyrite* dan *pyrrhotite* Kalimantan Barat berturut-turut adalah -4,619 ‰ CDT dan 8,165 ‰ CDT. Untuk lebih jelasnya variasi kadar sulfur terhadap nilai $\delta^{34}\text{S}$ masing-masing batuan tersebut digambarkan pada Gambar 4.

Dari Tabel 1, 2, 3 terlihat bahwa urutan efisiensi ekstraksi sulfur dengan metode pereaksi KIBA terhadap metode spektrometer pendar sinar-X (XRF) adalah sebagai berikut : batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite* > batuan sulfat > batuan sulfur elemental. Hal ini berarti pereaksi KIBA dapat mengekstraksi sulfur dalam batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite* lebih sempurna dibandingkan batuan sulfat maupun batuan sulfur elemental. Kenyataan ini juga dipertegas pada Tabel 4. Terlihat bahwa pelepasan gas H_2S pada batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite* dimulai pada suhu 180 °C, batuan sulfat pada suhu ± 200 °C dan batuan sulfur elemental pada suhu 220 °C. Hal ini berarti bahwa pereaksi KIBA dapat mengekstraksi sulfur dalam batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite* paling cepat dan mudah dibandingkan dalam batuan sulfat maupun batuan sulfur elemental. Karena *pyrit* merupakan pembawa sulfur yang umum terdapat pada beberapa batuan, maka pereaksi KIBA dapat diterapkan secara rutin.

Tabel 4. Suhu awal pelepasan gas H_2S pada ekstraksi batuan sulfat, sulfur elemental dan sulfida

Sampel / Lokasi	Suhu awal H_2S (°C)
Elemental sulfur / Papandayan	220
Elemental sulfur / Cugung Rajabasa	220
<i>Gypsum</i>	200
<i>Alunite</i> / Cugung Rajabasa	205
<i>Pyrrhotite</i> / Kalimantan Barat	180
<i>Pyrite</i> / Kalimantan Barat	180

Tabel 5. Konsentrasi sulfur yang hilang dalam ekstraksi batuan sulfat, sulfida dan sulfur elemental dengan metode KIBA

Sampel / Lokasi	Konsentrasi H_2S (M)
Elemental sulfur / Papandayan	0,1062
Elementaal sulfur / Cugung Rajabasa	0,1173
<i>Gypsum</i>	0,1018
<i>Alunite</i> / Cugung Rajabasa	0,1182
<i>Pyrrhotite</i> / Kalimantan Barat	0,1098
<i>Pyrite</i> / Kalimantan Barat	0,1331

Seperti diketahui bahwa gas H_2S terlarut dalam air hingga 0,1 M. Untuk mengetahui kehilangan gas H_2S dalam pengujian pereaksi KIBA ini, maka sampel dalam penjabak

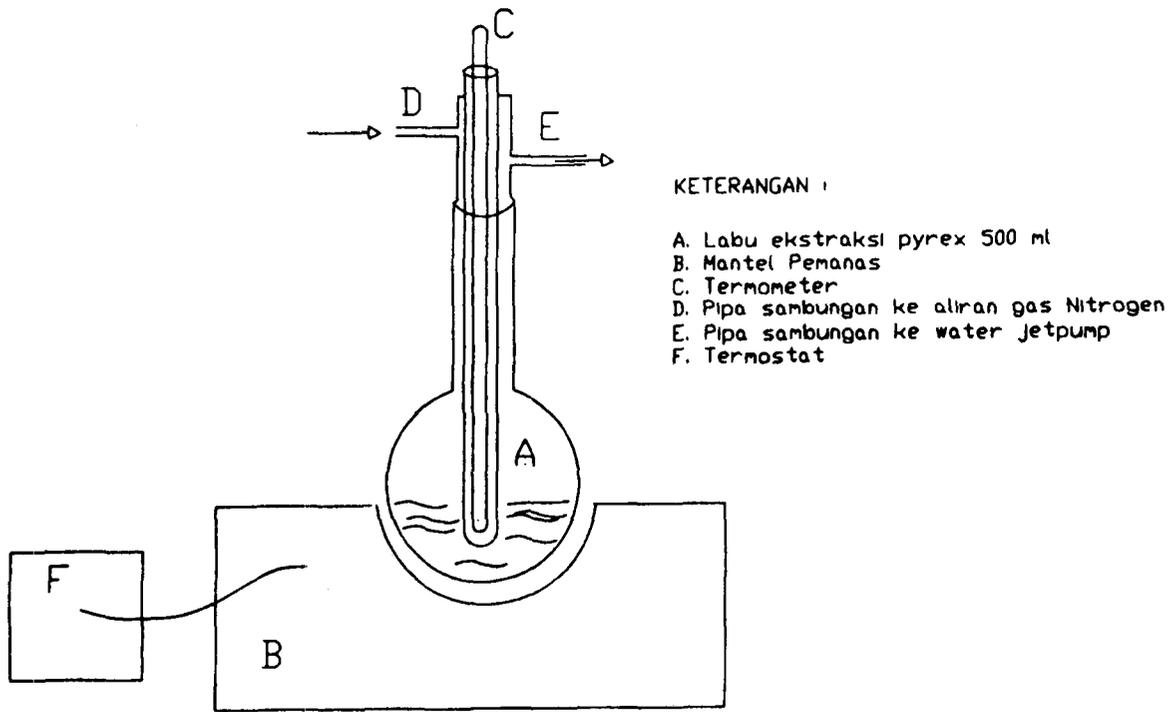
berisi air dianalisis secara Iodometri. Tabel 5 memperlihatkan bahwa pada ekstraksi batuan sulfat, sulfida, dan sulfur elemental dengan metode KIBA rata-rata kehilangan sulfur sebagai gas H_2S adalah 0,1 M atau 0,388 %.

KESIMPULAN

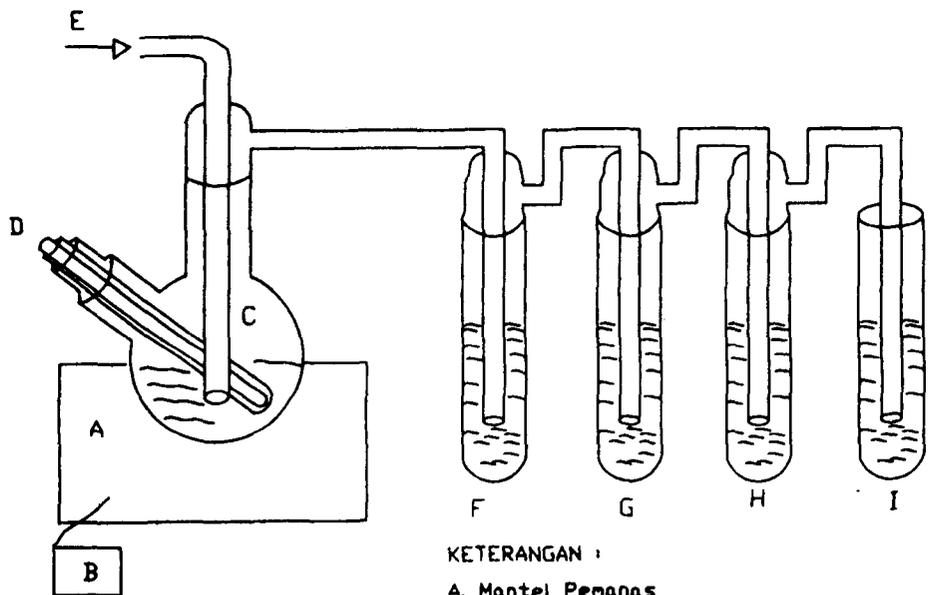
Batuan sulfida berupa *pyrit* dan *pyrrhotite*, batuan sulfat berupa *gypsum* dan *allunite*, dan sulfur elemental dapat diekstraksi dengan pereaksi KIBA (Sn^{2+} dalam H_3PO_4) untuk penentuan nilai $\delta^{34}\text{S}$ -nya. Dari pengamatan spektrometer pendar sinar-X (XRF - X Ray Fluorescence) untuk menentukan konsentrasi sulfur dan pengamatan suhu awal pelepasan gas H_2S , maka urutan kesempurnaan dan kecepatan ekstraksi sulfur dengan pereaksi KIBA adalah sebagai berikut : batuan sulfida *pyrit* dan *pyrrhotite*, batuan sulfat dan batuan sulfur elemental. Nilai $\delta^{34}\text{S}$ *pyrit* dan *pyrrhotite* Kalimantan Barat berturut-turut adalah -4,619 ‰ CDT dan 8,165 ‰ CDT, *allunite* dari Cugung Rajabasa Lampung mempunyai nilai $\delta^{34}\text{S}$ 3,7 ‰ CDT dan *gypsum* 8,898 ‰ CDT, sedangkan sulfur elemental dari Cugung Rajabasa Lampung dan Papandayan Jawa Barat mempunyai nilai $\delta^{34}\text{S}$ berturut -turut -2,945 ‰ CDT dan -0,745 ‰ CDT.

DAFTAR PUSTAKA

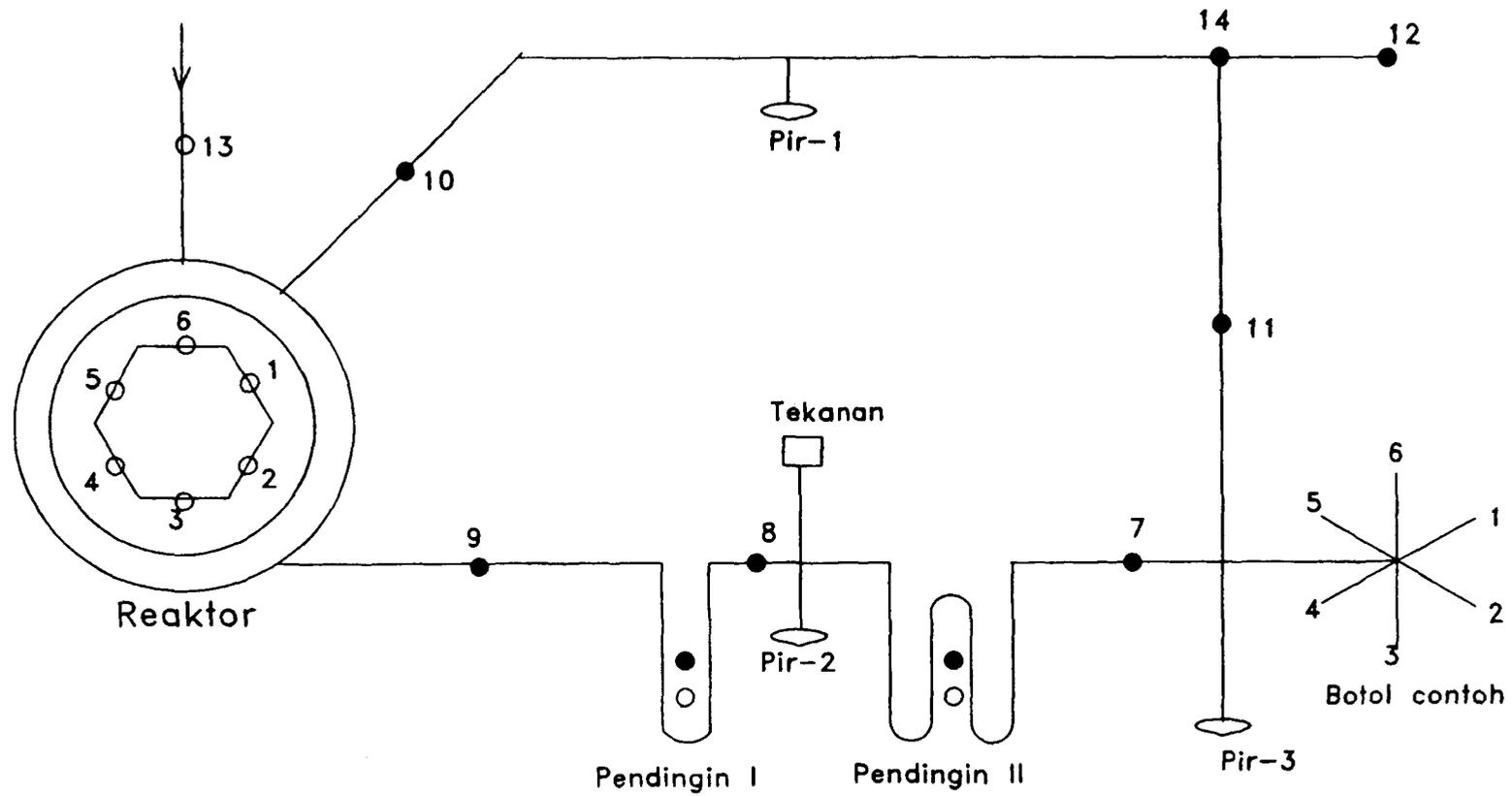
1. HOEFS, Stable Isotope Geochemistry, 2nd edition, New York (1980).
2. FRITZS, P., and FONTES, Ch., Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Amsterdam, 1 (1980).
3. RAFTER, T.A., "Method for the extraction of oxygen and its quantitative conversion of carbon dioxide for isotope radiation measurements", N.Z.J. of Science, 10 (1967) 493.
4. THODE, H.G., MONSTER, J., and DUNFORD, H.B., "Sulphur isotope geochemistry", Geochem, Cosmochem Acta., 25 (1961) 159.
5. ROBINSON, B.W., and MINORU, M., "Quantitative preparation of sulfur dioxide for $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ analyes from sulfides by combustion with cuprous oxide", Analytical Chemistry, 17 7 June (1975).
6. SASAKI, A., ARIKAWA, Y., and FOLINSBEE, R.E., "KIBA reagent method of sulphur extraction applied to isotopic work", Bull. Geol. Surv., Japan, 30 (1979) 241.
7. SASAKI, A., ARIKAWA, Y., and FOLINSBEE, R.E., Application of tin II-strong phosphoric acid (KIBA reagent) to study of sulfur isotope in rocks, (abs.), N.Z.J. of Science (1976) 58.



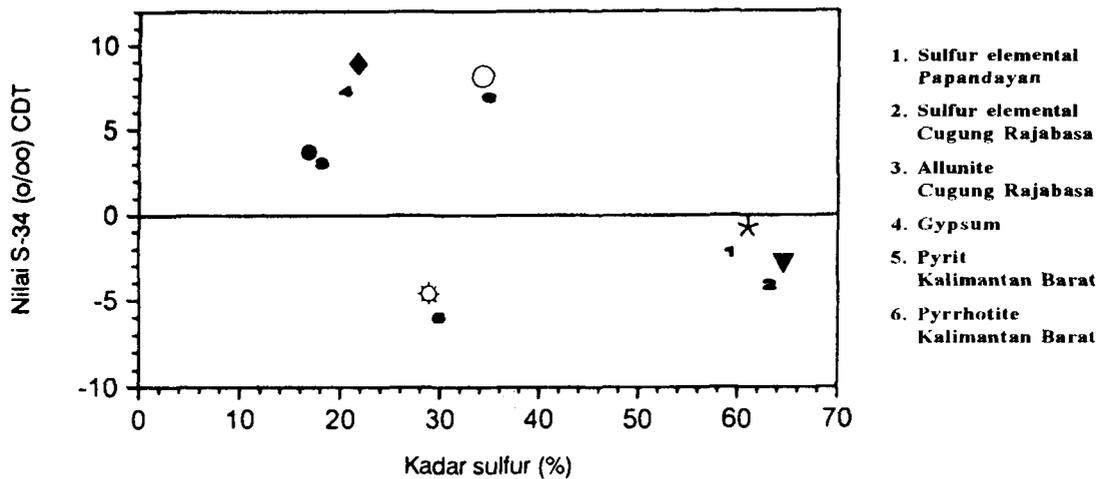
Gambar 1. Reaktor pembuatan pereaksi KIBA.



Gambar 2. Rangkaian alat ekstraksi sulfur.



Gambar 3. Bagan pengestraksi gas SO₂ "Sulhide preparation line".



Gambar 4. Kadar sulfur (%) dan nilai ³⁴S (‰) CDT dari berbagai batuan sulfur.

DISKUSI

NAZAROH

1. Apakah keunggulan dan kekurangan metode tersebut ?
2. Bagaimana jika metode pemisahan tersebut dibandingkan dengan metode lain dalam menentukan kandungan S tersebut. Misalnya dengan cara kimia lain seperti kromatografi. Mana yang lebih baik ?

EVARISTA R.

1. Keunggulan metode KIBA adalah dapat mengekstraksi total sulfur bila dalam contoh mengandung sulfat, sulfida maupun sulfur elemental, waktu reaksi yang lebih singkat (30-40 menit), dapat mengekstraksi pyrit dengan mudah. Kekurangan, tidak dapat memisahkan sulfida, sulfat, sulfur elemental secara terpisah, sulit untuk mengekstraksi sulfur dari sulfur elemental dan sulfida yang mengandung logam Cu (tembaga) seperti arsenopyrit dan molybdenit.
2. Untuk menentukan kandungan sulfur dapat digunakan metode tak merusak XRF (X-Ray Fluorescence). Tetapi dalam hal ini ingin diambil sulfur-nya (uji merusak), sehingga dipakai pereaksi KIBA untuk menghasilkan gas H₂S dan dioksidasi lagi menjadi gas Cu₂O untuk menghasilkan gas SO₂ untuk penentuan S-34. Cara kromatografi tidak dapat untuk mengekstraksi sulfur dari contoh padatan, tetapi dapat digunakan bila contoh berupa air.

HENDYG W.

1. Dikatakan bahwa pereaksi KIBA paling efektif dan cepat untuk mengekstraksi sulfur dalam batuan sulfida pyrit dan pyrrhotite daripada batuan sulfat dan sulfur elemental. Bagaimana dengan metode/pereaksi lainnya ?
2. Apa yang dimaksud dengan harga S dengan nilai besaran ‰ CDT ?

EVARISTA R.

1. Untuk mengekstraksi sulfur dari contoh padatan, pereaksi yang digunakan tergantung dari senyawanya. Bila contoh berupa BaSO₄, murni, dapat digunakan grafit sebagai reduktor untuk menghasilkan BaS. Sedangkan bila contoh terdapat kontaminan dapat digunakan reaksi THODE (HI - HCl - H₃PO₂) dan pereaksi KIBA (Sn²⁺ - H₃PO₄). Kekurangan pereaksi THODE; tak dapat mengekstraksi sulfur dalam sulfida dan waktu ekstraksi yang relatif lama (± 10 jam). Pereaksi KIBA dapat mengatasi kekurangan pereaksi THODE.
2. Nilai δ ³⁴S menunjukkan perbandingan konsentrasi isotop sulfur-34 terhadap konsentrasi isotop sulfur-32. Dimana besaran ini sangat spesifik untuk setiap senyawa di alam, tergantung pada temperatur geologi pembentukannya dan lingkungan yang mempengaruhinya sehingga dapat digunakan sebagai finger print (sidik jari). Nilai ini dihitung relatif terhadap standar internasional yang disebut CDT dari batuan meteorite (Troilite Canon Dioblo).

ESTIMASI LAJU EROSI MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM ^{137}Cs

Nita Suhartini*, Elliot, G.L.**, Milne, A.T.***, and Wai Zin Oo****



ID0000127

* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

** Australian Nuclear Science and Technology Organization, AUSTRALIA

*** University of New South Wales, Departement of Geography, AUSTRALIA

**** Myanma Scientific and Technological Research Departement, Myanmar

ABSTRAK

ESTIMASI LAJU EROSI MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM ^{137}Cs . Telah dilakukan suatu penelitian untuk estimasi laju erosi menggunakan isotop alam ^{137}Cs di lokasi perbukitan di daerah GOULBURN-NSW-AUSTRALIA. Keberadaan ^{137}Cs di alam merupakan hasil dari percobaan senjata nuklir yang dimulai pada pertengahan tahun 1950-an. Input ^{137}Cs yang berasal dari fallout, setelah menyentuh bumi akan teradsorpsi dengan sangat cepat pada permukaan tanah. ^{137}Cs terikat sangat kuat pada tanah, sehingga dapat digunakan sebagai tracer pada studi pergerakan tanah. Sampel tanah diambil dengan menggunakan alat coring (di = 10 cm, h = 20 cm), dan dibawa ke laboratorium untuk dipreparasi dan dianalisis. Preparasi sampel terdiri dari pengeringan, penimbangan, pengerusan dan pengayakan. Sampel halus yang telah lolos ayakan 1 mm, kemudian dianalisis kandungan ^{137}Cs menggunakan alat spektrometer-gamma. Laju erosi total dihitung dengan memplotkan hasil analisis ^{137}Cs sampel ke peta topografi studi area. Hasil penelitian menunjukkan bahwa erosi sangat kecil, dan total laju erosi adalah 130 kg/ha.thn.

ABSTRACT

ESTIMATION OF EROSION RATE USING NATURAL ISOTOP ^{137}Cs . The investigation of erosion rate using natural isotop ^{137}Cs had been done in hilliness area at GOULBURN-NSW-AUSTRALIA. The presentation of ^{137}Cs in natural was as a result of nuclear weapon testing in the middle of 1950's. Fallout of ^{137}Cs input, when it reached the ground, it rapidly adsorbed at the soil. ^{137}Cs binds very strong at the fine soil, so it can be used as tracer in the study of soil movement. Soil samples were taken using coring device (di = 10 cm, h = 20 cm), and were brought to laboratorium for preparation and analysis. The preparation are drying, weighing, crushing and sieving. The ^{137}Cs content of fine samples that pass the 1 mm sieve were analyzed using gamma-spectrometer. The total erosion rate was calculate by plotting the ^{137}Cs values in the topography map of study area. The result showed that erosion was very low, and total erosion rate is 130 kg/ha.y.

PENDAHULUAN

Erosi adalah suatu gejala alam yang sulit untuk diatasi. Erosi ini terjadi karena adanya penggundulan permukaan tanah, sehingga air hujan dapat menghanyutkan butiran-butiran tanah. Laju erosi tanah dapat ditentukan dengan cara sampling, dan membawa sampel ke laboratorium untuk dianalisis. Metode konvensional ini cukup rumit dan membutuhkan waktu yang lama. Selain itu sampel tidak dapat digunakan jika telah dianalisis. Cara lain untuk menentukan laju erosi adalah dengan menggunakan metode teknik nuklir.

Metode teknik nuklir untuk estimasi laju erosi adalah suatu metode yang memanfaatkan isotop alam untuk menentukan laju erosi tanah. Isotop alam yang dimanfaatkan adalah ^{137}Cs .

Keberadaan ^{137}Cs di alam, merupakan produk dari (1):

1. Percobaan senjata nuklir yang dilakukan antara pertengahan thn. 1950-an - 1980
2. Kecelakaan instalansi nuklir Chernobyl pada 26 April 1986

Ketika menyentuh permukaan bumi ^{137}Cs akan terserap kedalam partikel-partikel tanah dengan sangat cepat,

sehingga dapat digunakan sebagai perunut pada studi pergerakan tanah.

^{137}Cs banyak terdapat pada jenis tanah lempung (*Clay*), karena ^{137}Cs terikat sangat kuat pada partikel-partikel tanah lempung (2). Sehingga pada tempat yang mengandung tanah lempung tinggi akan memiliki kadar ^{137}Cs yang tinggi pula. Proses dari keberadaan ^{137}Cs pada tanah dapat dilihat pada Gambar (1).

Metode teknik nuklir ini memiliki beberapa kelebihan dari metode konvensional, tapi membutuhkan biaya operasional yang cukup tinggi. Selain itu harga peralatan yang digunakan juga mahal. Beberapa kelebihan dari metode ^{137}Cs adalah :

1. Pengambilan sampel hanya dilakukan sekali
2. Sampel dapat dianalisis lebih dari satu kali, jika diperlukan
3. Dapat diketahui apakah pada lokasi tersebut terjadi erosi atau deposit
4. Dapat digunakan untuk menentukan laju erosi dan pola distribusi tanah pada lokasi yang luas.

Karena adanya kesulitan pada mahalnya biaya operasional, maka jumlah sampel yang akan dianalisis sebaiknya dibatasi (biasanya kurang dari 200 sampel). Agar

sampel-sampel yang diambil dapat mewakili seluruh lokasi penelitian, maka sebelum sampling ke studi area, perlu diperhatikan beberapa faktor.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah : sudut kemiringan, arah aliran air (*Channel link*), tumbuh-tumbuhan penutup, peta ketinggian dan jenis tanah. Karena faktor-faktor tersebut sangat mempengaruhi proses terjadinya erosi.

Untuk mengestimasi laju erosi tanah menggunakan ¹³⁷Cs terlebih dahulu harus dipilih suatu tempat di lokasi penelitian yang mengalami erosi sekecil mungkin dan tidak pernah diolah sejak tahun 1950. Tempat ini akan dijadikan sebagai lokasi pembanding ("*reference site*").

Berkurangnya nilai aktivitas ¹³⁷Cs pada *reference-site* hanya disebabkan karena peluruhan radioaktif (waktu paruh ¹³⁷Cs = 30,2 thn).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari penggunaan dari ¹³⁷Cs dalam memperkirakan laju erosi pada suatu lokasi dimana erosi pernah terjadi.

Lokasi penelitian ini terletak di GOULBURN-New South Wales Australia. Kira-kira 200 km barat daya Sydney. Tepatnya pada lokasi 34°39' S dan 149°33' T (lihat Gambar 2).

TEORI

Aktivitas ¹³⁷Cs pada sampel tanah ditentukan dengan menggunakan alat multi channel analyzer (MCA). Total aktivitas ¹³⁷Cs persatuan luas A (Bq/m²) pada setiap tempat dihitung dengan persamaan (4) :

$$A = c \cdot m \cdot a^{-1} \quad (i)$$

dimana :

c = aktivitas ¹³⁷Cs yang telah dikoreksi (Bq/g)

m = massa total dari sampel kering < 2 mm (g)

a⁻¹ = luas permukaan alat sampling (Coring) (m²)

Nilai total aktivitas ¹³⁷Cs dari masing-masing tempat ini kemudian dibandingkan dengan nilai total aktivitas ¹³⁷Cs dari *reference-site*. Hasil perbandingan tersebut adalah persen kehilangan ¹³⁷Cs (% CSL). Nilai negatif (-) menunjukkan bahwa pada titik tersebut terjadi erosi, sedangkan nilai positif (+) menunjukkan terjadi deposit.

Persamaan untuk menghitung kehilangan ¹³⁷Cs adalah sebagai berikut : (1)

$$CSL = ((CPI - CRI) * 100) / CRI \quad (ii)$$

dimana :

CPI = nilai total aktivitas ¹³⁷Cs pada titik penelitian

CRI = nilai total aktivitas ¹³⁷Cs pada *reference site*

Melalui nilai persen kehilangan ini, maka laju erosi (*soil loss*) dapat dihitung. Dalam menghitung laju erosi pada penelitian ini diasumsikan bahwa pada lokasi penelitian sudah lama tidak pernah digunakan sebagai daerah pertanian (*uncultivated area*).

Persamaan menghitung soil loss untuk daerah *uncultivated* ini adalah (4) :

$$Y = 17,49 * (1,0821)^X \quad (iii)$$

dimana :

Y = laju erosi untuk *uncultivated area* (kg.ha⁻¹.y⁻¹)

X = persen kehilangan ¹³⁷Cs (%)

BAHAN

1. Nitrogen cair
2. Standar tanah dari IAEA (Soil-6- IAEA)
3. Standar ¹³⁷Cs dan ⁶⁰Co untuk kalibrasi alat MCA

PERALATAN

1. Alat pengambil sampel (coring)
2. Linggis
3. Spektrometer-gamma (MCA)
4. Marinelli
5. Kantong-kantong plastik
6. Alat penggerus
7. 1 set ayakan
8. Palu
9. Kompresor udara
10. Kuas pembersih
11. Oven
12. Wadah untuk mengeringkan sampel

METODE

Pengambilan sampel. Pola pengambilan sampel ada dua cara, yaitu : Horizontal pada permukaan tanah ("*perpendicular profile*") dan vertikal (Gambar 3) (1). Pada tampang horizontal luas permukaan sampel (HSA) adalah sama dengan luas permukaan alat (CSA), sedangkan pada tampang vertikal luas permukaan sampel (HSA) harus dikoreksi terhadap sudut kemiringan, dengan persamaan :

$$HSA = CSA * \cos \theta \quad (iv)$$

dimana : θ = Sudut kemiringan tanah

Pada percobaan ini digunakan cara tampang horizontal, sehingga luas permukaan sampel sama dengan luas permukaan alat. Pengambilan sampel menggunakan alat yang disebut "*Coring*" yang terbuat dari besi dengan ukuran di (diameter dalam) = 10 cm, t (tinggi) = 20 cm. *Coring* didorong ke dalam tanah menggunakan palu secara manual. Pengambilan *coring* dilakukan secara hati-hati menggunakan linggis, sehingga sampel tanah yang terdapat didalam *coring* tidak terkontaminasi dengan tanah di luar *coring*. Sampel di dalam *coring* dikeluarkan secara manual dan dimasukkan ke dalam kantong plastik. Sampel-sampel tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi dan pengukuran.

Preparasi sampel. Di laboratorium, sampel-sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama satu malam. Sampel yang telah kering kemudian ditimbang (W), dan dihancurkan menggunakan mesin penggiling tanah hingga lolos ayakan 2 mm. Setelah

menggerus 1 sampel, penggerus kemudian dibersihkan menggunakan kuas dan udara tekan, sehingga sampel-sampel tersebut tidak terkontaminasi satu dengan yang lain.

Pengukuran Sampel. Standar yang digunakan adalah standar tanah dengan aktivitas $^{137}\text{Cs} = 53,65/20$ mBq/g pada tanggal 30 Januari 1983. Sebanyak 400 g standar dimasukkan ke dalam marinelli, dan diukur aktivitasnya menggunakan detektor HPGe yang dihubungkan ke ARTEC Spectrum Master dan Multi-Channel Analyzer. Pengukuran dilakukan selama 24 jam. Setelah selesai pengukuran, standar dimasukkan kembali ke tempatnya, dan disimpan sehingga dapat digunakan kembali untuk kalibrasi yang sama.

Untuk sampel tanah, sebanyak 800 - 1000 g sampel kering ditimbang (W) dan dimasukkan ke dalam marinelli. Pengukuran sampel dilakukan selama minimum 8 jam. Setelah selesai pengukuran, sampel dimasukkan kembali ke kantongnya dan disimpan. Jika diperlukan dapat dilakukan pengukuran kembali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi pembanding (*reference site*) diambil pada lokasi yang terletak 6 km timur laut Goulburn dengan curah hujan rata-rata pertahun adalah 750 mm. Lokasi ini adalah suatu lokasi yang sedikit sekali bahkan hampir tidak pernah mengalami erosi. Nilai aktivitas ^{137}Cs dari lokasi pembanding adalah 760 ± 50 Bq/m². Hasil perhitungan aktivitas sampel kemudian dibandingkan dengan nilai lokasi pembanding, dan didapat % CSL. Dengan menggunakan persamaan (I) s/d (iii) maka dapat dihitung nilai kandungan ^{137}Cs dan perpindahan tanah per titik percobaan, hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada percobaan ini setiap transek mewakili satu kemiringan, dan setiap transek terdiri dari 6 - 10 titik pengambilan sampel. Melalui tabel 1, dapat dilihat bahwa kandungan ^{137}Cs setiap titik tidak menunjukkan adanya erosi yang berarti.

Melalui data-data yang terdapat pada tabel 1, maka dapat dihitung besarnya laju erosi pertahun pada lokasi seluas ± 10 ha. Nilai aktivitas ^{137}Cs setiap titik yang terdapat pada tabel 1, kemudian di plot ke peta lokasi. Titik-titik percobaan dengan nilai aktivitas ^{137}Cs yang memiliki selisih 100 - 200 Bq/m², kemudian di masukkan dalam satu kelompok. Setiap kelompok kemudian dihitung luasnya menggunakan alat planimeter. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Melalui hasil perhitungan dapat diketahui bahwa laju erosi rata-rata pertahun adalah 130 kg/ha.thn. Jumlah ini tidak berarti jika ditinjau dari luas daerah yang luas ini. Kecilnya erosi yang terjadi, disebabkan karena lokasi penelitian sebagian besar tanahnya berupa batuan (*Rocky*) dan masih ditutupi oleh rumput yang masih digunakan untuk menggembalakan biri-biri. Sebagai pembanding dari hasil perhitungan ini adalah hasil penelitian dilakukan secara manual oleh J. Armstrong pada periode 1988 - 1995 yaitu 100 kg/ha.th.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan metode ^{137}Cs dapat digunakan untuk mengestimasi laju erosi dengan metode konvensional sebagai pembanding. Melalui penelitian dapat diketahui bahwa pada lokasi penelitian sudah lama tidak terjadi erosi/erosi terjadi sangat kecil sekali yaitu 130 kg/ha.th untuk luas lokasi ± 10 ha. Penentuan secara konvensional diperoleh sebesar 100 kg/ha.th untuk periode 1988 - 1995.

DAFTAR PUSTAKA

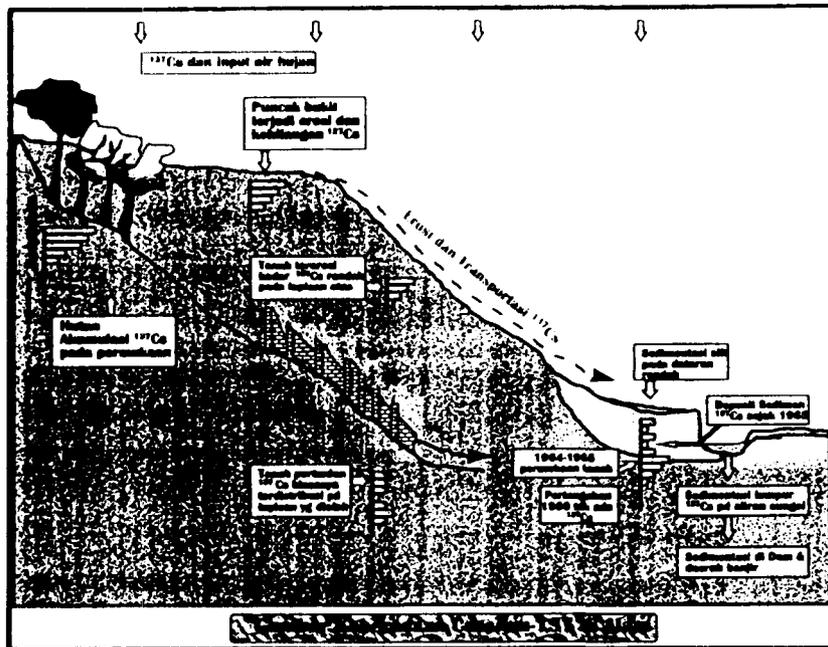
1. WALLING, D.E., and QUINE, T.A., "Use of Caesium-137 to investigate patterns and rates of soil erosion on arable fields", In Soil Erosion on Agricultural Land, (J. Boardman, I.D.L. Foster, and J.A. Dearing, Eds), John Wiley and Sons Ltd, (1990), 33 - 53.
2. RITHIE., J.C., Mc HENRY, J.R., and GILL, A.C., "Fallout ^{137}Cs in the soils and sediments of three small watersheds", Ecology (1974a) 55, 887 - 890.
3. CAMPBELL, B.L., LOUGHRAN, R.J., and ELLIOT, G.L., "Caesium-137 as an indicator of geomorphic processes in a drainage basin system", Australian Geographical Studies 20, (1982), 49 - 53.
4. ELLIOT, G.L., LOUGHRAN, R.J., PROVE, B., and CAMPBELL, B.L., "Recalibration and test of Caesium-137 based models for the estimation of net soil erosion rates on cultivated and uncultivated land", Applied Radiation and Isotop, International Journal of Radiation and Applied Instrumentation, Part A 41, (1990).

Tabel 1. Hasil perhitungan aktivitas ¹³⁷Cs tanah dan laju erosi pada setiap titik percobaan

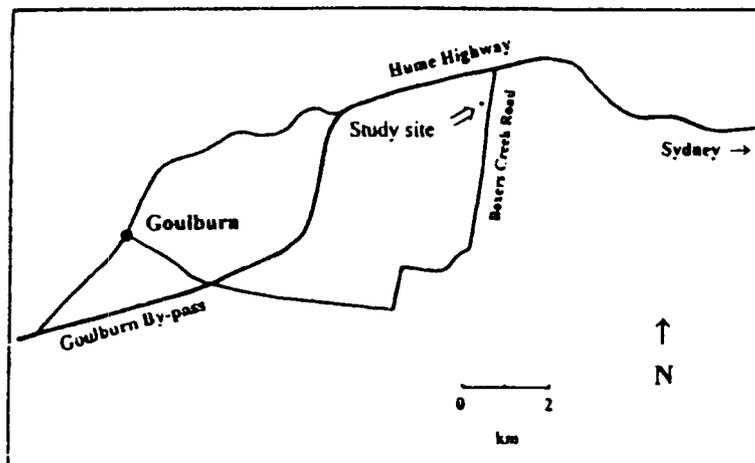
SAMPEL	A ¹³⁷ Cs (Bq/m ²)	CSL (%)	SL (kg/ha.y)	SAMPEL	A ¹³⁷ Cs (Bq/m ²)	CSL (%)	SL (kg/ha.y)
WC0106	780	2,63	22	WC0740	480	36,84	320
WC0110	690	9,21	36	WC0760	570	25,00	126
WC0120	820	7,89	33	WC0780	740	2,63	22
WC0130	610	19,74	83	WC07100	910	19,74	83
WC0140	650	14,47	55	WC08-40	350	53,94	1230
WC0150	750	1,32	19	WC08-20	530	30,26	190
WC0160	690	9,21	36	WC0800	340	55,26	1370
WC0200	750	1,32	19	WC0820	670	11,84	45
WC0210	670	11,84	45	WC0840	920	21,05	92
WC0220	1080	42,11	485	WC0860	510	32,89	230
WC0230	180	76,32	7200	WC0880	590	22,37	102
WC0240	960	26,32	140	WC08100	470	38,16	355
WC0250	520	31,58	211	WC09000	440	42,11	485
WC0300	390	48,68	814	WC09020	640	15,79	61
WC0310	350	53,95	1234	WC09040	420	44,74	600
WC0320	540	28,95	172	WC09060	310	59,21	1870
WC0330	590	22,37	102	WC09080	580	23,68	110
WC0340	500	34,21	260	WC09100	670	11,84	45
WC0350	780	2,63	22	WC09120	340	55,26	1370
WC0360	630	17,11	67	WC09140	460	39,47	390
WC0370	520	31,58	211	WC09160	1480	94,74	30802
WC0403	3	99,61	45200	WC10000	560	26,32	140
WC0410	5	99,34	44300	WC10020	650	14,47	55
WC0420	4	99,47	44800	WC10040	760	0,00	18
WC0430	30	96,05	34200	WC10060	470	38,16	355
WC0440	670	11,84	45	WC10080	600	21,05	92
WC0450	670	11,84	45	WC10100	550	27,63	155
WC0460	740	2,63	22	WC11000	590	22,37	100
WC0470	600	21,05	92	WC11020	580	23,68	113
WC0500	790	3,95	24	WC11040	550	27,63	155
WC0540	680	10,53	40	WC11060	340	55,26	1370
WC0580	870	14,47	55	WC11080	570	25,00	126
WC05120	700	7,89	33	WC11100	590	22,37	100
WC0600	930	22,37	102	WC11120	490	35,53	290
WC0610	820	7,89	33	WC11140	520	31,58	210
WC0620	530	30,26	190				
WC0630	770	1,32	20				
WC0640	670	11,84	45				
WC0650	920	21,05	92				
WC0660	740	2,63	22				
WC0700	470	38,16	360				
WC0720	660	13,16	50				

Tabel 2. Laju erosi total pertahun di daerah pertanian Whiteheads Creek GOULBURN - NSW - Australia

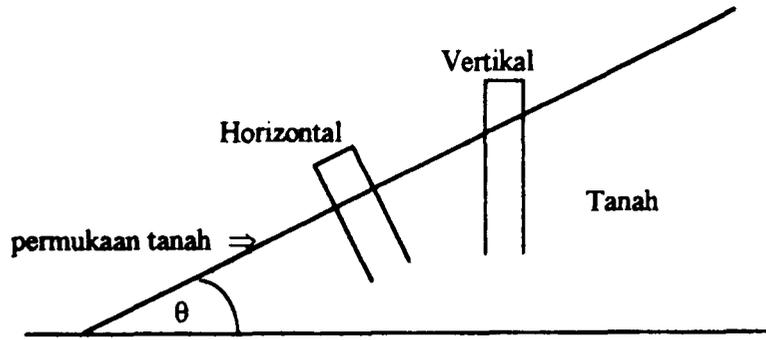
No.	Range A ^{137}Cs (Bq/m ²)	Range CSL (%)	Range Erosi (kg/ha.th)	rata-rata Geometri erosi	luas area (ha)	Total erosi (kg/ha.thn)
1.	760 – 960	0 – -26	0 – -140	12 ± 1	0,9	-10 ± 1
2.	532 – 760	0 – 30	0 – 190	14 ± 1	7,7	110 ± 10
3.	418 – 524	31 – 45	200 – 610	350 ± 40	0,9	320 ± 40
4.	357 – 410	46 – 53	660 – 1150	870 ± 90	0,07	60 ± 6
5.	296 – 350	54 – 61	1240 – 2150	1630 ± 160	0,22	360 ± 40
6.	175 – 228	70 – 77	4380 – 7610	5770 ± 580	0,07	400 ± 40
Total						1280 ± 140



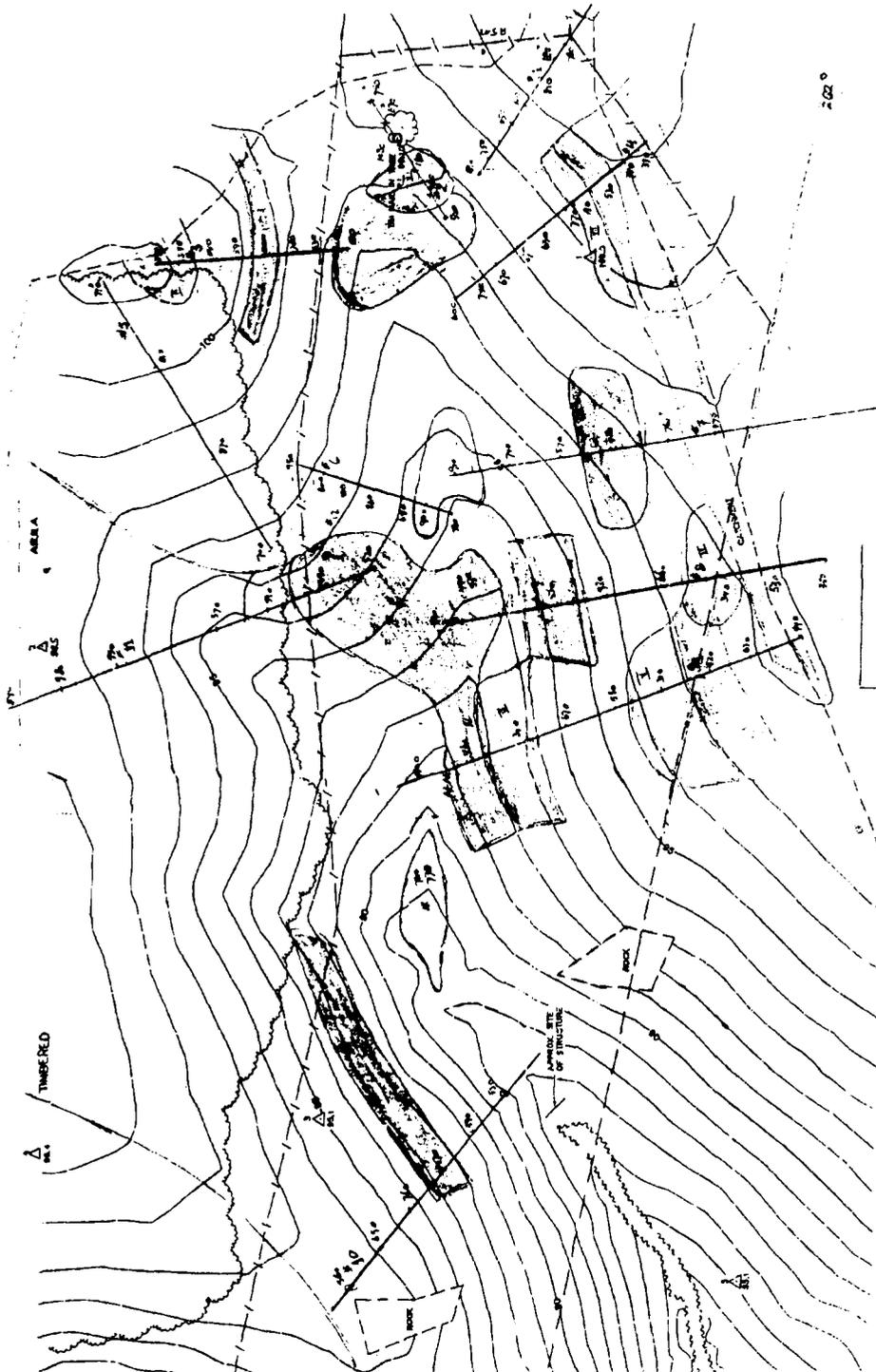
Gambar 1. Proses keberadaan ^{137}Cs di alam



Gambar 2. Peta lokasi penelitian



Gambar 3. Pola pengambilan sampel untuk analisis ^{137}Cs alam



Gambar 4. Peta topografi lokasi penelitian

DISKUSI

NAZAROH

1. Bagaimana Anda tahu bahwa pada daerah tersebut terjadi erosi ?
2. Apakah dengan adanya percobaan nuklir, kandungan ^{137}Cs ditempat tersebut tidak bertambah, sehingga mungkin sulit untuk menentukan bahwa daerah tersebut menjadi erosi/tidak ?

NITA S.

1. Dengan cara membandingkan nilai aktivitas total ^{137}Cs pada titik percobaan dengan aktivitas total ^{137}Cs reference-site nilai (-) menunjukkan bahwa terjadi erosi dan nilai (+) menunjukkan bahwa terjadi deposit.
2. Karena letak lokasi dari Ref-Site dan Studi area berdekatan, maka jika terjadi fallout baru dari percobaan nuklir, maka seluruh lokasi akan mengalami penambahan aktivitas ^{137}Cs yang sama, sehingga tidak akan mempengaruhi hasil perhitungan % CSL, dalam menentukan proses erosi/deposit.

SUWIRNA S.

1. Kenapa pengambilan contoh hanya 1 kali dianggap sebagai keunggulan metode ini (keutamaan) ?
2. Bagaimana mengambil kesimpulan bahwa terjadi erosi, tolong dijelaskan dengan metode tersebut ?

NITA S.

1. Kelebihan/keuntungan dari metode ini dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu pengambilan sampel ke lokasi penelitian hanya dilakukan satu kali, artinya setelah kita mengambil sampel ke lokasi penelitian, tidak perlu mengambil sampel lagi. Karena sampel tersebut dapat digunakan berulang-ulang.
2. Dengan melihat nilai % CSLnya. Dimana nilai tersebut merupakan hasil perbandingan aktivitas total ^{137}Cs pada titik percobaan dengan total aktivitas ^{137}Cs pada ref-site. Jika nilai (-) menunjukkan bahwa terjadi erosi dan nilai (+) menunjukkan terjadi deposit.

WIBAGYO

Bagaimana untuk mengetahui pasti bahwa suatu daerah belum mengalami erosi ?

NITA S.

Dengan meninjau lokasi, kita dapat memperkirakan bahwa tempat tersebut belum pernah disentuh dan diolah. Selain itu, kita juga mencari informasi ke departemen yang bersangkutan, (Departemen Kehutanan), daerah-daerah yang tidak pernah disentuh/diolah sejak tahun 1950.

PENENTUAN PARAMETER PENYEBARAN POLUTAN RADIOAKTIF DI DALAM AIR TANAH

P. Sidauruk, Barokah A., Syafalni, dan Wibagiyo

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000128

ABSTRAK

PENENTUAN PARAMETER PENYEBARAN POLUTAN RADIOAKTIF DIDALAM AIR TANAH.

Penentuan lokasi dari sumber radioaktif dan parameter parameter terkait dalam kawasan air tanah yang tercemar adalah sangat penting. Untuk dapat memperkirakan penyebaran dari zat polutan tersebut maka lokasi dari sumber dan parameter parameter terkait perlu diketahui. Dalam penelitian ini, sebuah model yang baru telah dikembangkan. Model ini didasarkan pada suatu fakta bahwa hubungan antara logaritma konsentrasi dengan koordinat kwadrat untuk kebanyakan masalah kontaminasi adalah linear. Dengan demikian, parameter parameter maupun lokasi dari sumber akan ditentukan dari fakta bahwa hubungan antara logaritma konsentrasi dengan koordinat kwadrat membentuk suatu garis lurus. Atau dengan kata lain, parameter parameter maupun lokasi dari sumber akan ditentukan sedemikian rupa sehingga koefisien korelasi linear antara logaritma konsentrasi dengan koordinat kwadrat menjadi optimal. Model ini telah dicoba dengan data sintetik dan hasilnya sangat memuaskan. Data sintetik yang digunakan dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menyerupai keadaan lapangan yang sebenarnya. Data sintetik dipakai karena kesulitan mendapatkan data lapangan.

ABSTRACT

PARAMETER DETERMINATION IN A GROUNDWATER FIELD POLLUTED BY RADIOACTIVE POLLUTANT.

The determination of source location and the corresponding parameters in a contaminated groundwater is very important. To be able to predict the distribution of radioactive contaminant in a contaminated field, the knowledge about the source location and the corresponding parameters is a necessity. The model developed in this paper is based on the fact that the relation between the logarithm of the concentration of the radio active contaminant with the squared coordinate is linear. The contaminant transport parameters as well as the source location is determined from the fact that the logarithm of the concentration and the squared coordinate makes a straight line. In other words, the parameters and the source location are determined in a such way that the linear correlation coefficient between the logarithm of the concentration of the radio active contaminant with the squared coordinate is optimized. The developed model is tested with a synthetic data with a satisfactory results. The syntethic data is generated such that can represent the real field. The synthetic data are generated because the real field data is not available.

PENDAHULUAN

Pada umumnya masalah masalah yang berhubungan dengan penyebaran suatu polutan dalam air tanah dapat dibagi dua yaitu masalah *forward* (*forward problems*) dan masalah *inverse* (*inverse problems*). Masalah *forward* adalah masalah yang menyangkut perhitungan atau perkiraan penyebaran polutan tersebut jika parameter parameter yang terkait telah diketahui. Sebaliknya, masalah *inverse* adalah masalah yang berhubungan dengan perhitungan parameter parameter yang dibutuhkan jika data observasi penyebaran dari polutan pada suatu lokasi diberikan. Sehingga jelaslah bahwa kedua jenis masalah ini harus diselesaikan secara bersama sama untuk dapat menentukan atau memperkirakan penyebaran suatu polutan dalam air tanah. Perkembangan masalah *inverse* jauh tertinggal dibelakang masalah *forward*. Hal ini disebabkan oleh kesulitan-kesulitan perhitungan yang didapat dalam masalah *inverse*, seperti; masalahnya menjadi terlalu lebar sehingga tidak dapat diselesaikan secara praktis atau harus dibutuhkan perlakuan perlakuan khusus untuk dapat menyelesaikan masalahnya.

Sebagai konsekuensi dari sulitnya masalah *inverse* ini, selama berpuluh-puluh tahun para ilmuwan di bidang hidrologi telah mempercayakan penentuan parameter parameter hidrologi yang dibutuhkan secara *trial and error* atau dari percobaan laboratorium. Akan tetapi *trial and error* adalah cara yang sangat tergantung pada pelaku dan juga sangat bertele-tele (*e.g.*, Keidser and Rosbjerg, 1991) disamping itu beberapa peneliti menunjukkan bahwa parameter parameter yang didapat dari hasil percobaan di laboratorium adalah berbeda dengan hasil yang sebenarnya.

Perkembangan masalah *inverse* baru terlihat secara menyolok beberapa tahun terakhir ini. Publikasi publikasi yang berhubungan dengan masalah ini berkembang dengan pesat. Publikasi tersebut telah mencakup model dua-dimensi (*i.e.*, Gorelick *et al.*, 1983 dan Gorelick, 1982) hingga model tiga-dimensi (*i.e.*, Garabedian, *et al.*, 1991, LeBlanc, *et al.*, 1991).

Makalah ini membahas masalah *inverse* dalam suatu air tanah yang tercemar dari sumber zat radio aktif yang terinjeksi secara sesaat. Lebih lanjut, studi ini memakai solusi analitik dari suatu sumber yang diinjeksikan secara

sesaat dalam air tanah. Masalah yang dibahas ini adalah masalah dua-dimensi secara lateral.

Untuk dapat mensimulasikan penyebaran suatu polutan radio aktif dalam air tanah, maka pertanyaan berikut ini harus dijawab lebih dahulu "dimana letak sumber?". Gorelick *et al.* (1983) mencoba menjawab pertanyaan ini dengan menggunakan regresi kwadrat terkecil (*least squares regression*) dan untuk memperkirakan besar dari sumber yang diinjeksikan. Makalah ini mencoba menjawab pertanyaan di atas dengan pertolongan suatu fakta hubungan antara log *c* dengan kwadrat ordinat dan antara log *c* dengan kwadrat absis adalah linear, dimana *c* adalah konsentrasi dari polutan radio aktif yang bersangkutan. Karena hubungan antara log *c* dengan kwadrat absis secara matematis adalah linear dengan gradien negatif, lokasi dari sumber dalam model ini didapat dengan cara meminimalkan koefisien korelasi antara kedua hubungan di atas. Parameter parameter yang lain ditentukan dari kemiringan dan perpotongan dari kedua garis tersebut di atas.

Walaupun model ini dapat dikembangkan ke data yang dikumpulkan secara acak, akan tetapi dalam makalah ini, data konsentrasi diambil sepanjang sumbu *x* dan sepanjang sumbu *y*. Dengan cara ini, formula akhir yang didapat adalah eksplisit dan eksak. Harus juga dijelaskan disini bahwa pengambilan data konsentrasi sepanjang ordinat dan absis harus dilakukan paling sedikit dua kali dalam waktu yang berbeda.

Untuk menguji keandalan model ini maka satu set data buatan telah dibuat. Hal ini dilakukan karena kesulitan mendapatkan data dari lapangan yang sesuai dengan desain model ini. Akan tetapi pembuatan data tersebut telah diusahakan agar bisa menggambarkan data lapangan yang sebenarnya seperti dengan cara menambahkan random noise kepada konsentrasi konsentrasi yang dibuat tersebut. Parameter parameter yang dapat ditentukan adalah massa dari zat radio aktif yang diinjeksikan *M*, koefisien dispersi *D_L* dan *D_T*, kecepatan air tanah *v*, waktu kapan zat radio aktif tersebut di injeksikan *t_o*, serta lokasi dari sumber tersebut *x_o* and *y_o*. }

TINJAUAN TEORI

Sumber Dua-dimensi dengan injeksi sesaat.

Solusi analitik untuk sumber radio aktif dengan injeksi sesaat dalam dua-dimensi dapat dilihat dalam banyak buku text (i.e., Bear, 1979).

$$c(x, y, t) = \frac{M}{4\pi\rho\sqrt{D_L D_T (t-t_o)}} \exp\left\{-\frac{(x-x_o-v(t-t_o))^2}{4D_L(t-t_o)} - \frac{(y-y_o)^2}{4D_T(t-t_o)} - \lambda(t-t_o)\right\} \quad (1)$$

Dalam rumus di atas, *c* adalah konsentrasi tanpa satuan, *M* adalah massa polutan yang diinjeksikan per satuan kedalaman dari reservoir air tanah, *D_L* dan *D_T* adalah longitudinal dan transversal koefisien dispersi, *x* dan *y*

adalah absis dan ordinat dari data konsentrasi relatif terhadap referensi tertentu, *x_o* dan *y_o* adalah absis dan ordinat dari lokasi sumber, *v* kecepatan rata rata dari air tanah. Selanjutnya absis dianggap sejajar dengan absis *x*, *t_o* adalah waktu injeksi, dan adalah koefisien peluruhan dari polutan radio aktif tersebut.

Jika logaritma dari persamaan 1 diambil untuk konstan absis (*y=0*) dan ordinat (*x=0*) maka persamaan akhir untuk *t=0* dapat ditulis sebagai berikut:

untuk *y=0*,

$$\ln c_i = m_x (x - x_m)^2 + n_x \quad (2)$$

dan untuk *x=0*,

$$\ln c_i = m_y (y - y_o)^2 + n_y \quad (3)$$

di mana:

1. $n_x = \ln \frac{-M\sqrt{m_x m_y}}{\pi\rho} + m_y y_o^2 + \lambda t_o$
2. $n_y = \ln \frac{-M\sqrt{m_x m_y}}{\pi\rho} + m_x x_m^2 + \lambda t_o$
3. $m_x = \frac{1}{4D_L t_o}$
4. $m_y = \frac{1}{4D_T t_o}$
5. $x_m = x_o - vt_o$

Tingkat kelinearan dari ln *c* dengan (*x-x_m*)² atau dengan (*y-y_o*)² dalam persamaan 2 dan 3 adalah tergantung pada *x_m* dan *y_o*. Sehingga dengan mengoptimasi koefisien korelasi linear *r(x_m, y_o)* antara ln *c* dengan (*x-x_m*)² dan dengan (*y-y_o*)² relatif terhadap *x_m* dan terhadap *y_o*, maka akan diperoleh hubungan berikut:

$$x_m = \frac{b_x d_x - 2a_x e_x}{b_x e_x - 2d_x c_x} \quad (4)$$

$$y_o = \frac{b_y d_y - 2a_y e_y}{b_y e_y - 2d_y c_y} \quad (5)$$

Dimana parameter parameter *a_x*, *b_x*, *c_x*, *d_x* dan *e_x* didefinisikan di bawah ini:

$$\left. \begin{aligned}
 a_x &= \sum_{i=1}^N x_i^4 - \frac{1}{N_x} \left(\sum_{i=1}^{N_x} x_i^2 \right)^2 \\
 b_x &= 4 \sum_{i=1}^N x_i^3 - \frac{4}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} x_i \sum_{i=1}^{N_x} x_i^2 \\
 c_x &= 4 \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{4}{N_x} \left(\sum_{i=1}^{N_x} x_i \right)^2 \\
 d_x &= \sum_{i=1}^N x_i^2 \ln c_i - \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} \ln c_i \sum_{i=1}^{N_x} x_i^2 \\
 e_x &= 2 \sum_{i=1}^N x_i \ln c_i - \frac{2}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} \ln c_i \sum_{i=1}^{N_x} x_i
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 n_{x1} &= \ln \frac{-M \sqrt{m_x m_y}}{\pi \rho} + m_{y1} y_o^2 + \lambda (\Delta t + t_o) \\
 n_{y1} &= \ln \frac{-M \sqrt{m_x m_y}}{\pi \rho} + m_{x1} x_{m1}^2 + \lambda (\Delta t + t_o) \\
 m_{x1} &= \frac{1}{4 D_L (\Delta t + t_o)} \\
 m_{y1} &= \frac{1}{4 D_T (\Delta t + t_o)} \\
 x_{m1} &= x_o - v (\Delta t + t_o)
 \end{aligned}$$

dimana N_x adalah jumlah data sepanjang sumbu x dan N_y adalah jumlah data sepanjang sumbu y . Dengan cara yang sama $a_y, b_y, c_y, d_y,$ dan e_y dapat didefinisikan seperti di atas dengan menggantikan variabel x dengan variabel y . Seperti disinggung sebelumnya bahwa parameter parameter yang lain dapat ditentukan melalui kemiringan (m_x dan m_y) dan perpotongan (n_x dan n_y) dari garis garis regresi yang terbentuk dengan tata cara pengambilan contoh air sebagai berikut:

1. Tentukan arah dari aliran airtanah.
2. Pilih sumbu- x paralel dengan arah aliran airtanah dan sumbu- y tegak lurus dengan aliran airtanah tersebut.
3. Kumpulkan ssampel air tanah sepanjang sumbu- x dan sepanjang sumbu- y .
4. Ulangi langkah 3 di atas untuk waktu yang berbeda.

Jika tata cara pengambilan sampel air tanah seperti diuraikan di atas telah dipenuhi maka parameter-parameter akan ditentukan sebagai berikut :

Dari sampel 1 ($t = 0$) akan diperoleh :

$$\begin{aligned}
 n_x &= \ln \frac{-M \sqrt{m_x m_y}}{\pi \rho} + m_{y1} y_o^2 + \lambda t_o \\
 n_y &= \ln \frac{-M \sqrt{m_x m_y}}{\pi \rho} + m_{x1} x_m^2 + \lambda t_o \\
 m_x &= \frac{1}{4 D_L t_o} \\
 m_y &= \frac{1}{4 D_T t_o} \\
 x_m &= x_o - v t_o
 \end{aligned}$$

Dari sampel 2 ($t = \Delta t$) akan diperoleh :

Dengan demikian dari analisis kedua set data akan diperoleh seluruh parameter-parameter yang dicari.

CONTOH APLIKASI

Untuk menguji keandalan model ini, satu set data telah dibuat secara simulasi melalui persamaan 1 dan dengan parameter parameter berikut: $x_o = -10.00 \text{ m}$; $y_o = 3.00 \text{ m}$; koefisien dispersi longitudinal $D_L = 1.0 \text{ m}^2/\text{hari}$; koefisien dispersi transversal $D_T = 0.1 \text{ m}^2/\text{hari}$; kecepatan rata rata air tanah $v = 1.0 \text{ m}/\text{hari}$; massa polutan yang diinjeksi $M = 50.0 \text{ kg}/\text{m}$, waktu setelah penginjeksian $t_o = -10.0$ hari, koefisien peluruhan untuk contoh aplikasi ini diasumsikan sama dengan nol ($\lambda = 0$). Dua set data dikumpulkan yaitu pada saat ($t = 0$) dan ($t = 5$ hari). Perlu juga ditambahkan bahwa data data yang diperoleh dari hasil simulasi ditambah dengan suatu bilangan acak. Hal ini dilakukan supaya data yang diperoleh dapat mewakili proses yang terjadi di alam. Model yang dikembangkan dalam makalah ini kemudian digunakan untuk mencari dari parameter parameter yang terkait berdasarkan data data yang diperoleh.

Perbandingan parameter parameter yang didapat dari model dan input yang dipakai dalam simulasi dapat dilihat dalam Tabel 1. Gambar 1 dan 2 menunjukkan perbandingan antara data hasil simulasi dengan parameter input dan hasil simulasi dengan model baru ini sepanjang sumbu- x dan y .

Perlu juga ditambahkan di sini, walaupun dalam contoh ini telah dipakai $\lambda = 0$ (koefisien peluruhan dianggap nol) namun perhitungan perhitungan dengan harga harga λ lain dapat dilakukan dengan model ini dengan tidak menambah tingkat kesulitan.

KESIMPULAN

Untuk dapat mempergunakan model ini, pengambilan sampel air tanah yang tercemar harus mengikuti syarat khusus seperti: sampel harus diambil sepanjang sumbu x dan sepanjang sumbu y untuk dua kali pengulangan dalam waktu yang berbeda.

Telah ditunjukkan melalui contoh aplikasi di atas bahwa model ini dapat dipakai untuk menentukan lokasi

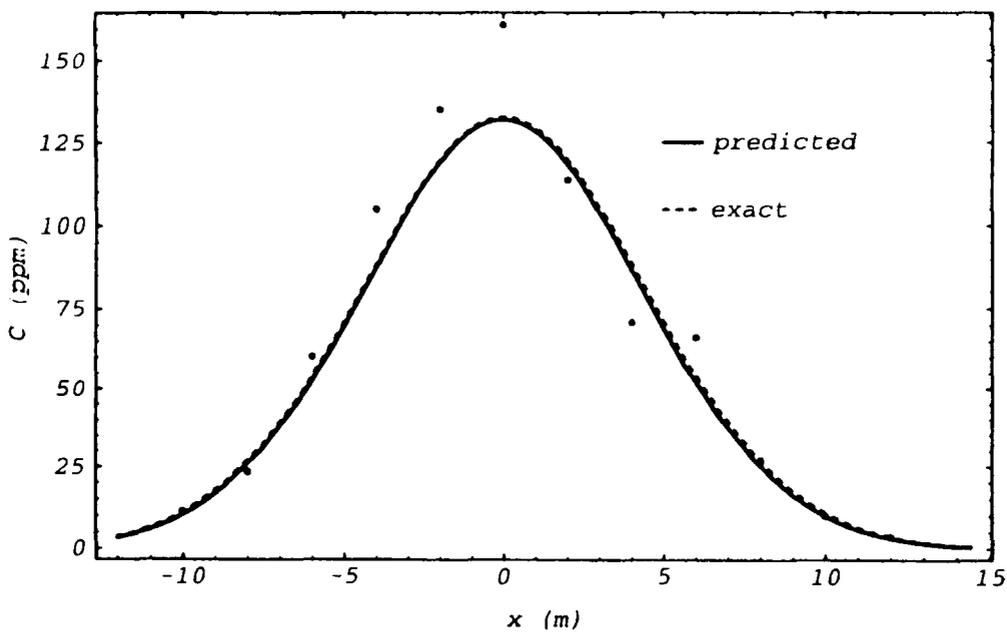
suatu sumber polutan air tanah maupun parameter parameter terkait seperti koefisien dispersi dengan mudah dan efisien. Dengan tidak dibutuhkannya suatu iterasi dalam model ini, model ini adalah sangat cocok dipakai bagi para hydrologist untuk menentukan parameter parameter dengan secara dini di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

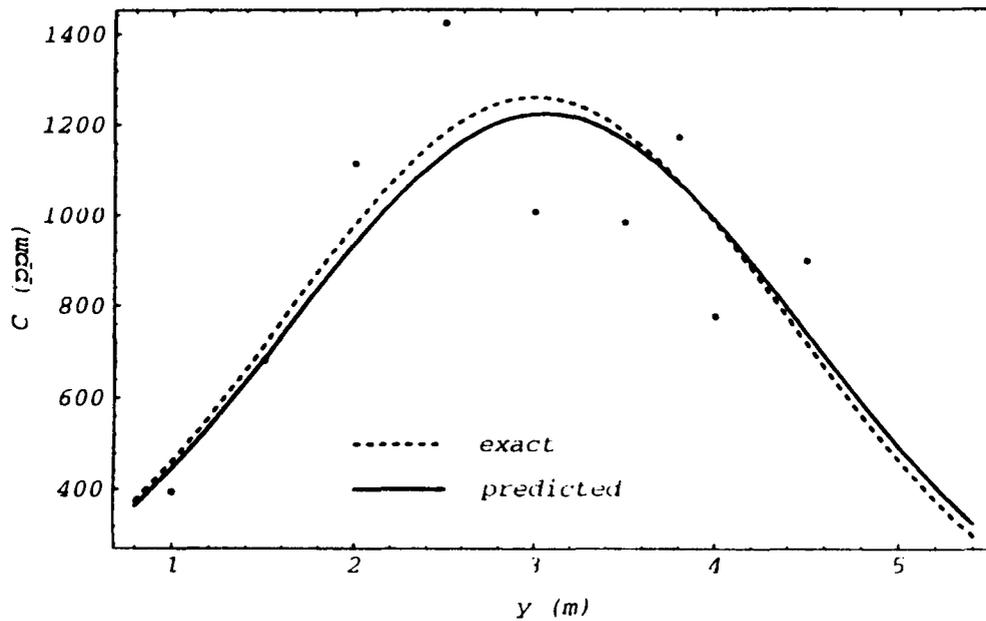
1. BEAR, J., *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill, Inc., New York. (1979).
2. GORELICK, S.M., A model for managing sources of groundwater pollution, *Water Resources Research* 18(4), (1982) 773.
3. GARABEDIAN, S. P., LEBLANC, D. R., GELHAR, L. W., and CELIA, M. A., Large Scale natural gradient tracer test in sand and gravel, Cape Cod, Massachusetts: Analysis of spatial moments for a non-reactive tracer, *Resources Research* 27(5), (1991) 911.
4. GORELICK, S. M., EVANS, B., and REMSON, I., Identifying sources of groundwater pollution: An optimization approach, *Water Resources Research* 19(3), (1983) 779.
5. KEIDSER, A. and ROSBJERG, D., A comparison of four inverse approaches to groundwater flow and transport parameter identification, *Water Resources Research* 27(9), (1983) 2219.
6. LEBLANC, D. R., GARABEDIAN, S. P., HESS, K. M., GELHAR, L. W., QUADRI, R. D., STOLLENWERK, K. G., and WOOD, W. W., Large Scale natural gradient tracer test in sand and gravel, Cape Cod, Massachusetts: xperimental design and observed tracer movement, *Water Resources Research* 27(5), (1991) 895.

Tabel 1. Perbandingan antara parameter input dan yang diperoleh dari model

	M (kg/m)	v (m/h)	D_L (m ² /h)	D_T (m ² /h)	T_0 (h)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Input	50.0	1.00	1.00	0.10	-10.0	-10.0	3.0
Model	49.0	0.98	0.95	0.10	-10.4	-10.2	3.1



Gambar 1. Perbandingan simulasi konsentrasi (predicted=model, exact= input) sepanjang sumbu x untuk t=0



Gambar 2. Perbandingan simulasi konsentrasi (predicted=model, exact= input) sepanjang sumbu y untuk $t=0$

DISKUSI

TOMMY H.

Dalam abstrak dijelaskan bahwa koefisien korelasi linear antara logaritma konsentrasi dengan kordinat kuadrat menjadi optimal. Apakah optimal yang dimaksud merupakan suatu nilai koefisien korelasi yang terbaik, diantara model-model lainnya yang masih dapat dikembangkan ? mohon penjelasan.

PASTON S.

Ya, Tapi karena hubungan antara logaritma konsentrasi dengan kordinat kwadrat mempunyai slope negatif, maka optimal disini akan berarti meminimalkan.

HENDING W.

Persamaan yang diajukan adalah persamaan linear, sedangkan kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa aliran air tanah tidak akan pernah linear. Bagaimana pengaruh ini terhadap persamaan linear yang Anda ajukan?

PASTON S.

Memang dalam paper ini kami telah mengasumsikan beberapa asumsi seperti : isotropik,

homogen, dan linear velocity (Dury law). Jika asumsi-asumsi ini tidak dapat dipenuhi, maka ini dapat dipakai sebagai alat pertama untuk mengetahui gambaran penyebaran polutan secara dini minimal orde besarnya sebelum model lain yang biasanya jauh lebih kompleks.

SUWIRMA S.

Bagaimana kaitannya model yang dibuat dengan kesimpulan no 2 ?

PASTON S.

Kesimpulan no:2 "Model ini dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan parameter terkait dengan mudah dan efisien". "Mudah dan efisien" maksudnya adalah dalam model ini kita tidak perlu menggunakan iterasi sebagaimana dalam kebanyakan model numerik yang lain. Dan telah didemonstrasikan di dalam paper kemampuan model ini untuk menentukan lokasi dan parameter terkait seperti berat dan waktu injeksi.

ANALISIS UNSUR DALAM CONTOH DEBU UDARA DI JAKARTA SECARA SPEKTROMETRI PENDAR SINAR-X

Yumiarti*, M. Yusuf **, June Mellawati*, Yulizon Menry*, dan Surtipanti S.*

ID0000129

* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
** Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan DKI Jakarta



ID0000129

ABSTRAK

ANALISIS UNSUR DALAM CONTOH DEBU UDARA DI JAKARTA SECARA SPEKTROMETRI PENDAR SINAR-X. Telah dilakukan penentuan kandungan unsur dalam contoh debu udara di kawasan industri Pulo Gadung dan juga kawasan pemukiman, perkantoran, dan rekreasi sebagai pembanding. Pengambilan contoh dilakukan secara berkala pada bulan Agustus - Desember 1996. Analisis dilakukan dengan metode spektrometri pendar sinar -x, dengan sumber pengekstasi ¹⁰⁹Cd dan ⁵⁵Fe. Untuk analisis kualitatif dan kuantitatif digunakan paket program QXAS- AXIL (Quantitative X-ray Analysis System of X-ray by Iterative Least- squares fitting) yang dilengkapi dengan program QAES (Quantitative Analysis of Environmental Samples). Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan unsur-unsur logam berat dalam debu udara di semua kawasan yang diteliti masih di bawah batas maksimum yang diizinkan.

ABSTRACT

ELEMENTAL ANALYSIS OF AIR PARTICULATE SAMPLES IN JAKARTA AREA BY X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY. Determination of elements in air particulate samples collected from Jakarta, especially from industrial area Pulo Gadung, also from residence, office, and recreation sites had been carried out. The samples collected periodically from August through December 1996. The elements were analyzed by X-ray fluorescence spectrometry method. Quantitative and qualitative analyses were done using QXAS AXIL (Quantitative X-ray Analysis System of x-ray Spectra by Iterative Least squares fitting) and QAES (Quantitative Analyses of Environmental Samples) package program. Results of the analyses showed that the content of heavy metal elements in air particulate samples from all areas studied were still below the maximum permissible concentration.

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan di berbagai sektor di Jakarta khususnya di bidang industri dan transportasi berjalan sangat pesat. Dampak positifnya ialah peningkatan kesejahteraan masyarakat, sedang dampak negatifnya ialah peningkatan pencemaran lingkungan apabila pengelolannya kurang baik (1).

Salah satu parameter lingkungan yang biasa dijadikan objek penelitian ialah debu udara. Beberapa sumber pencemar antara lain ; limbah gas hasil pembakaran bahan bakar baik kendaraan bermotor maupun industri, dan kegiatan rumah tangga. Limbah gas bercampur debu yang dilepas ke udara diantaranya mengandung beberapa unsur logam berat yang dapat mengganggu kesehatan karena sifatnya yang toksis (2,3,4).

Dalam usaha mengurangi pencemaran lingkungan perlu dilakukan pemantauan kualitas udara secara terus menerus. Untuk maksud tersebut perlu dipilih metode analisis kandungan logam berat yang cepat, mudah, serta dapat mengukur kadar unsur kimia di udara yang kadarnya relatif rendah. Pada penelitian ini digunakan metode spektrometri pendar sinar-x, karena metode tersebut mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan metode yang lain. Dalam dua dasawarsa terakhir ini, metode tersebut sering digunakan untuk analisis aerosol atau debu udara (5,6,7).

Dasar metode spektrometer pendar sinar-x ialah pencacahan sinar-x yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti, oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Pengisian kembali elektron pada orbital K akan menghasilkan sinar-x deret K, deret L dan seterusnya. Setiap unsur akan memancarkan sinar-x dengan energi yang karakteristik. Sifat tersebut digunakan sebagai dasar analisis kualitatif. Analisis kuantitatif didasarkan pada perhitungan luas spektra yang dihasilkan oleh pulsa listrik akibat terdeteksinya sinar -x oleh detektor yang diperkuat dengan penguat awal dan akhir. Dalam percobaan, untuk analisis kualitatif dan kuantitatif digunakan paket program perangkat lunak AXIL (Analysis of X-Ray Spektra by Iterative Least - Squares Fitting) dan QAES (Quantitative Analysis of Environmental Samples), keduanya dari IAEA (7,8).

Berdasarkan alasan tersebut maka dilakukan pemeriksaan kandungan unsur khususnya logam berat dalam contoh debu udara di wilayah Jakarta. Pengambilan contoh udara dilakukan di berbagai lokasi yang mewakili daerah pemukiman, industri, rekreasi, dan daerah padat lalu lintas.

Tujuan penelitian ialah untuk mengetahui kandungan unsur khususnya logam berat yang terdapat dalam contoh debu udara kawasan industri Pulo Gadung dan debu udara di wilayah Jakarta lainnya sebagai pembanding.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Pada penelitian ini digunakan contoh debu udara yang di sampling secara berkala pada bulan September hingga Desember 1996, masing-masing dilakukan 2 minggu sekali untuk daerah industri Pulau Gadung, sedang untuk lokasi lain yaitu Tebet, Cilincing, Istiqlal dan Dufan (Ancol) hanya dilakukan 3 kali sampling. Sampling dilakukan dengan kertas saring *fiber glass* berukuran 18 x 23 cm. Sebagai standar digunakan logam murni Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Ti, dan Sn serta standar acuan dari IAEA yaitu Soil -7.

Peralatan. Alat yang digunakan untuk menyedot debu ialah *High-volume air sampler*, seperangkat XRF sistem sumber buatan ORTEC yang terdiri dari detektor Pop-Top semikonduktor Si(Li), tegangan tinggi -500 volt, penguat awal (pre amplifier), penguat akhir (amplifier), pencacah salur ganda (MCA) MAESTRO, dan perangkat lunak QXAS-AXIL yang dilengkapi dengan program analisis kuantitatif QAES (Quantitative Analysis of Environmental Samples). Sumber pegeksitasi yang digunakan ialah ^{109}Cd dan ^{55}Fe dengan aktivitas masing-masing 20 mCi pada tanggal 30 - 8 - 1995. Peralatan lain ialah : pinset, cawan petri, timbangan analitik, dan desikator.

Sampling dan Analisis. Sampling dilakukan di dwilayah DKI, lokasi dipilih berdasarkan peruntukannya, yaitu P.T Jiep, Pulau Gadung mewakili daerah industri ; Tebet mewakili daerah pemukiman; taman rekreasi Dufan Ancol mewakili daerah rekreasi ; dan Istiqlal mewakili kawasan perkantoran. Pengambilan contoh udara dilakukan selama 24 jam, *flow rate* 0,9 m³/menit, volume udara 1224 m³, dan ketinggian 3 m dari permukaan tanah untuk semua daerah. Analisis unsur dilakukan secara spektrometri pendar sinar-x, dengan cara meletakkan contoh debu yang telah terdeposit pada kertas saring di atas permukaan detektor, lalu setiap contoh dicacah selama 30 menit.

Teknik Pencacahan. Sebelum digunakan untuk pencacahan contoh, alat XRF lebih dahulu dikalibrasi menggunakan logam murni Cu, Fe, Ni, Pb, dan Zn dengan sumber pegeksitasi ^{109}Cd , sedang untuk unsur Si, S, Cl, K, Ca, dan Sc menggunakan oksidanya dan sumber radiasi yang digunakan sebagai sumber pegeksitasi ialah ^{55}Fe masing-masing mempunyai aktivitas 20 mCi (30 Agustus 1995). Energi sinar-x dari unsur- unsur yang diukur terlihat pada Tabel 1 untuk unsur Si, S, Cl, K, Ca, dan Sc, sedang untuk unsur yang lain dapat dilihat di Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian kandungan unsur dalam contoh debu udara dari beberapa lokasi pengambilan di Jakarta terlihat pada Tabel 3.

Hasil analisis kualitatif contoh debu udara di daerah DKI menunjukkan bahwa semua unsur yang dianalisis terdapat pada semua contoh. Dari Tabel 3 terlihat bahwa kandungan unsur tertinggi ialah Si, diikuti oleh Ca, Fe, K, S, Cl, Pb, Ti, Cu, dan Zn. Menurut HIEN dan RASHID (2.9). unsur Si, Ca, Fe, S, Sc dan Ti berasal dari tanah atau

kegiatan metalurgi, unsur Cu, Zn, dan K berasal dari pembakaran, Hg dan Ni berasal dari kegiatan industri, sedang Pb berasal dari buangan pembakaran kendaraan bermotor dan pabrik. Jumlah unsur-unsur tersebut dalam contoh debu udara masih dibawah batas yang diizinkan (Tabel 4). Kandungan Pb ambien yang ditetapkan oleh SK Gubernur KDKI Jakarta No 587 Tahun 1980 adalah 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk unsur Pb. Data terakhir yang diperoleh ialah batasan yang sangat kecil seperti yang terlihat di Tabel 5, batasan tersebut hanya berlaku untuk debu udara dengan ukuran partikel < 10 mikron yang dikenal dengan sebutan PM 10. Mereka berpendapat bahwa udara dengan ukuran partikel tersebut sangat berbahaya karena dengan mudah dapat masuk melalui pernafasan, sedang untuk ukuran yang lebih besar akan ditolak oleh sistem pernafasan kita. Kandungan Pb yang tinggi dalam udara menggambarkan bahwa di daerah tersebut kadang-kadang terjadi polusi yang tinggi. Seperti diketahui bahwa Pb dapat dihasilkan dari sisa pembakaran dari kendaraan bermotor dan pabrik. Tingginya kandungan Pb di daerah tersebut dapat disebabkan selain karena merupakan daerah industri, Pulo Gadung juga merupakan terminal bus yang terpadat di Jakarta terutama bus antar-kota. Selain faktor tersebut, tingginya Pb yang tersedot juga dipengaruhi faktor angin, sehingga kalau arah penyedotan berlawanan dengan arah sumber polutan, maka hasilnya akan berbeda jauh dengan penyedotan yang arahnya sama (10).

Di berbagai negara, Pb sangat diperhatikan dalam pembahasan polutan di udara, karena Pb merupakan unsur beracun yang sangat membahayakan kesehatan lingkungan. Peningkatan polusi unsur tersebut menyebabkan tekanan darah tinggi bagi orang dewasa dan sangat mempengaruhi sistem otak dan syaraf pada anak-anak (3). Sumber utama pencemaran Pb dalam udara di kota-kota di Asia ialah emisi kendaraan, karena Pb tetra etil dan alkil merupakan senyawa tambahan yang murah guna menaikkan jumlah oktan bahan bakar (2,11). Selain kawasan Pulo Gadung, sebagai pembanding pengambilan contoh udara dilakukan di daerah perkantoran, pergudangan, pertokoan, dan rekreasi. Tabel 6 menunjukkan konsentrasi rata-rata unsur dalam udara dari kawasan lain di DKI, yaitu Cilincing, Tebet, Istiqlal dan Dufan Ancol.

Hasil analisis unsur di kawasan lain masih dalam kisaran kandungan unsur di daerah Pulo Gadung, kecuali unsur Cl dari daerah Cilincing dan Dufan Ancol yang lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan kedua kawasan tersebut berada dekat pantai sehingga unsur Cl-nya lebih tinggi. Menurut RASHID, dkk.(9), unsur Cl berasal dari garam laut. Kandungan Pb dalam contoh yang disampling di daerah Cilincing, Istiqlal, dan Dufan ternyata lebih rendah daripada di Pulo Gadung. Hal tersebut disebabkan Pulo Gadung merupakan daerah padat lalu lintas (terminal bus) dan juga kawasan industri.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dalam debu udara di DKI Jakarta terkandung unsur-unsur; Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Sc, Fe, Cu, Zn, dan Pb. Unsur Ni

dalam debu udara sekitar Istiqlal, dan Hg dalam debu udara di kawasan Dufan Ancol tidak terdeteksi. Kandungan unsur-unsur tersebut dalam debu udara di kawasan Pulo Gadung mempunyai kisaran yang lebar dan kandungan unsur dalam debu udara di kawasan lain umumnya masih dalam kisaran tersebut. Kandungan logam berat dalam debu udara di seluruh kawasan DKI Jakarta Raya masih berada dalam batas konsentrasi yang diperbolehkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ibu Ir. Rina Suryani dari KPPL DKI, dan Saudara Surtipanti yang telah membantu pengambilan contoh dan preparasi contoh.

DAFTAR PUSTAKA

1. RAFDJON, Kualitas udara di wilayah DKI Jakarta 1994/1995, Pengelolaan Lingkungan Hidup, Himpunan Karangannya Ilmiah di Bidang Perkotaan dan Lingkungan . II (1995/1996) 11.
2. HIEN, P.D., Air pollution in Asian cities. Presented at the UNDP/RCA/IAEA Workshop on Nuclear Analytical Techniques in Environmental Research and Monitoring, Singapore 3-7 July 1995.
3. HERNBERG, S., " General aspect of the prevention of metal poisoning ", Handbook on Toxicology of Metals, Elsevier, Amsterdam (1979) 179.
4. TOLGYEYSSY JURAJ, and KELHR, E.H., Nuclear Environmental Chemical Analysis, Ellis Horwood Limited, New York (1987).
5. SLAMET RYADI, A.L., Pencemaran Udara, Departemen Kesehatan RI, Surabaya, Indonesia (1982).
6. MENRY, Y., JUNE MELLAWATI, YUMIARTI, dan SURTIPANTI, Metode analisis unsur dalam contoh debu udara, Aplikasi Spektrometri Pendar Sinar-X, Diseminarkan di PPTN Bandung, 19-20 Maret (1997).
7. BERTIN, E.P., Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 2nd edition, Plenum Press, New York, (1975).
8. KUMP, P., Quantitative Analysis of Environmental Samples (QAES), Instruction Manual, Josef Stefan Institute, Slovenia, (1993).
9. RASHID, M., RAHMALAN, A., and KHALIK, A. H. W., Elemental of inhalable particulate in an industrialized area of Pasir Gudang, Workshop on Utilization of Research Reactor, Jakarta Indonesia (1996).
10. SHOW, S. N., and OWENS, J., The Smoke Problem of Great Cities, Constable & Company LTD, London (1995).
11. PALAR HERYANDO, Pencemaran & Toksikologi Logam Berat, PT Rineka Cipta, Jakarta (1994).

Tabel 1. Spesifikasi sinar-x unsur-unsur yang dieksitasi dengan sumber ⁵⁵Fe

Unsur	Energi (keV)	Kulit inti
Si	1,74	Kα
S	2,308	Kα
Cl	2,621	Kα
K	3,313	Kα
Ca	3,691	Kα
Sc	4,088	Kα
Ti	4,504	Kα

Tabel 2. Spesifikasi sinar-X unsur-unsur yang dieksitasi dengan ¹⁰⁹Cd

Unsur	Energi (keV)	Kulit inti
Fe	6,403	Kα
Ni	7,477	Kα
Cu	8,047	Kα
Zn	8,638	Kα
Hg	9,987	Lα
Pb	10,549	Lα

Tabel 3. Konsentrasi (rata-rata, standar deviasi (σ dan kisaran) unsur-unsur dalam contoh debu udara Pulau Gadung (μg/m³)

Unsur	Rata - rata	σ	Kisaran
Si	110,46	13,42	82,25 - 132,12
S	2,02	0,84	1,15 - 3,26
Cl	1,15	0,24	0,84 - 1,52
K	4,79	0,80	3,12 - 5,64
Ca	16,81	4,77	12,34 - 21,78
Ti	0,31	0,12	0,16 - 0,52
Sc	0,21	0,05	0,14 - 0,33
Fe	4,40	2,75	1,06 - 8,66
Ni	0,29	0,25	0,09 - 0,58
Cu	0,27	0,12	0,13 - 0,50
Zn	0,47	0,15	0,33 - 0,63
Hg	0,19	0,14	0,07 - 0,31
Pb	0,91	0,62	0,62 - 2,06

Tabel 4. Batasan kandungan unsur yang diperbolehkan dalam udara

Unsur	Konsentrasi (μg/m ³)
Ti	15000
Ni (logam)	1000
Ni (karbonil)	7
Cu (gas)	100
Cu (debu)	1000
Zn (gas klorida)	1000
Zn (gas oksida)	5000
Hg	100
Hg (organoalkil)	10
Pb (arsenat)	150
Pb (tetrametil)	75
Pb (senyawa organik)	200
Fe (gas oksida)	10000

* Federal Register 36 No.157 (1971)

Tabel 5. Batasan kandungan Pb di udara pada beberapa negara

Instansi	μg/m ³
WHO (Eropa)	0,5 - 1,0
USEPA(Amerika)	1,5
NHMCR(Australia)	1,5

Tabel 6. Konsentrasi rata-rata kandungan unsur dalam udara di DKI (μg/m³)

Unsur	P. Gadung	Cilincing	Tebet	Istiqlal	Dufan
Si	110,46	98,79	71,94	80,22	78,72
S	2,02	2,82	1,74	1,20	0,98
Cl	1,15	2,50	1,85	1,63	2,31
K	4,79	3,71	2,84	3,14	2,75
Ca	16,81	20,71	13,16	11,42	11,27
Ti	0,31	0,38	0,51	0,26	0,21
Sc	0,21	0,24	0,18	0,22	0,34
Fe	4,40	6,15	2,94	3,05	3,16
Ni	0,29	0,31	0,11	tt	0,24
Cu	0,27	0,38	0,51	0,26	0,21
Zn	0,47	0,41	0,48	0,45	0,29
Hg	0,19	0,09	0,14	0,19	tt
Pb	0,91	0,62	0,92	0,82	0,39

DISKUSI

ERMIN

Apa kelebihan dan keuntungan XRF, NAA, dan AAS, masing-masing? Mohon penjelasan?

YUMIARTI

Kelebihan XRF, lebih cepat, secara serentak beberapa unsur yang ada langsung teranalisis, lebih mudah dari NAA, dapat analisis Pb.

Kelebihan NAA, lebih peka, secara serentak, karena PAIR tidak punya reaktor jadi mahal.

Kelebihan AAS, lebih peka kekurangan, tiap unsur harus punya lampu katode masing-masing (tidak serentak).

HENDIG WINARNO

Bagaimana cara mengumpulkan contoh (*sample collection*) sampai contoh siap dianalisis?

YUMIARTI

Contoh dikoleksi menggunakan, High volume air sampler, yang dioperasikan selama 24 jam dengan kecepatan sedang (*Flow rate*) 0,9 m³/menit. Kertas saring yang digunakan ialah *Fiber glass* kertas, dengan ukuran 18 x 23 cm. Dari Kertas telah terdeposit udara dipotong sesuai dengan detektor, dan langsung diukur dengan cara menaruh di atas detektor Si.Li.

EVARISTA RISTIN P.I.

1. Sebenarnya penelitian ini dapat diperdalam dengan menentukan sumber/asal-usul pencemaran udara, untuk itu diperlukan koleksi sampel minimal 1 gr (debu udara) bagaiman caranya ?
2. Mengapa tidak diambil sampel di puncak (daerah pegunungan yang relatif tidak tercemar) sebagai pembanding ?

YUMIARTI

1. Sampai saat ini kalau kita bekerja sendiri memang terlalu sulit karena fasilitas (sarana) yang diperlukan terlalu mahal, Sebaiknya kita bekerja sama dengan KP2L DKI.
2. Sebenarnya sudah ada rencana hanya terlambat dana.

ANONIM

1. Dari data-data yang diperoleh kandungan Si dan Ca dalam debu konsentrasinya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan unsur-unsur lain. Menurut Anda unsur ini sumbernya dari mana. Berapa batasan Si dan Ca dalam udara yang diperbolehkan.
2. Bagaimana dengan kandungan SO_x dan NO_x kenapa tidak dilakukan pengukuran ?

YUMIARTI

1. Unsur Si dan Ca adalah bukan unsur racun batasan maksimum yang diinginkan belum ada.
2. Pengukuran SO_x, NO_x sudah dilakukan KP2L DKI

PENENTUAN IMPURITAS DALAM PENGUKURAN AKTIVITAS RADIONUKLIDA DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR NON DISKRIMINASI

Nazaroh dan Dadong Iskandar

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN



ID0000130

ABSTRAK

PENENTUAN IMPURITAS DALAM PENGUKURAN AKTIVITAS RADIONUKLIDA DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR NON DISKRIMINASI. Dalam pengukuran aktivitas radionuklida sering diganggu oleh keberadaan impuritas dalam sampel. Pada makalah ini akan diuraikan suatu metode yang dapat menganalisis kontribusi impuritas ^{124}I dalam data sampel ^{123}I dan impuritas ^{126}I dalam data sampel ^{125}I yang diukur dengan menggunakan detektor non diskriminasi seperti: detektor kamar pengion dan dose-calibrator.

ABSTRACT

DETERMINATION OF RADIOACTIVE IMPURITIES IN ACTIVITY MEASUREMENTS WITH NON DISCRIMINATING DETECTORS. Activity measurements are often disturbed by radionuclide impurities in the sample. This paper describes a method for analysing the contribution of the impurities admixtures of ^{124}I in ^{123}I and ^{126}I in ^{125}I in measured data samples from non discriminating detectors such as: 4π Ionization chamber and dose-calibrator.

PENDAHULUAN

Radionuklida khusus yang sering digunakan dalam kedokteran nuklir untuk tujuan diagnosa maupun terapi di antaranya: $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{59}Fe , ^{123}I , ^{125}I , ^{51}Cr dan lain-lain [1]. Radionuklida tersebut diberikan ke pasien melalui oral, injeksi, inhalasi dan lain-lain. Sebelum diberikan ke pasien, radionuklida tersebut harus ditentukan aktivitasnya terlebih dahulu dengan menggunakan detektor non diskriminasi seperti : detektor kamar pengion Merlin Gerin, detektor kamar pengion Vinten, dose-calibrator Victoreen ataupun Capintec. Detektor non diskriminasi adalah detektor yang reponnya tidak dapat membedakan energi dari radionuklida yang diukur sehingga bila ada impuritas di dalam radionuklida tersebut yang terukur adalah arus pengion atau aktivitas totalnya.

Dalam prakteknya, seringkali pengukuran tersebut diganggu oleh adanya radionuklida (zat radioaktif) yang tidak diinginkan (impuritas) [2,3]. Misalnya $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sering diikuti dengan impuritas ^{99}Mo , ^{123}I diikuti dengan impuritas ^{124}I dan ^{125}I diikuti dengan impuritas ^{126}I . Sebagai contoh, jika kamar pengion atau dose calibrator dikalibrasi dengan ^{57}Co yang mengandung 0,1 % ^{56}Co dan tidak dikoreksi dengan impuritas tersebut maka akan menyebabkan kesalahan pengukuran sebesar 1,4 % [9]. Dengan demikian pengukuran aktivitasnya menjadi tidak tepat bila tidak dikoreksi oleh adanya kontribusi radionuklida impuritas tersebut.

Untuk mengatasi kasus impuritas yang memancarkan foton, maka diperlukan alat bantu detektor lain seperti detektor Germanium (Ge) beserta perlengkapannya yang tentu saja cukup mahal harganya atau detektor Germanium dengan keurnian tinggi (HPGe) dan

sumber kalibrasi yang sesuai, yang berguna pada laboratorium tersebut. Sumber kalibrasi (sumber standar impuritas) yang sesuai ini diperlukan untuk menentukan efisiensi detektor non diskriminasi terhadap radionuklida impuritas.

Untuk mengatasi kasus pemancar beta murni, seperti ^{32}P yang bercampur ^{33}P , metode yang canggih perlu digunakan seperti nisbah detektor atau metode nisbah diskriminator [4].

Pada makalah ini akan disajikan metode **Walz** [5,6] yang dapat dipakai untuk pengukuran zat radioaktif dengan menggunakan detektor non diskriminasi. Metode ini telah digunakan Walz dalam pengukuran radionuklida yang mempunyai satu atau dua impuritas seperti: ^{123}I dengan impuritas ^{124}I dan ^{125}I dengan impuritas ^{126}I . Akan dibahas metode tersebut bila digunakan untuk menentukan impuritas, i , dengan $i = 1,2, \dots, n$.

METODE

Hubungan antara aktivitas radionuklida- n (A_n), efisiensi detektor terhadap radionuklida- n (ϵ_n) dan nilai pengukuran, $R_n(t)$ (arus pengion atau laju cacah pada waktu- t), oleh **Walz** [5] dapat disajikan dalam persamaan berikut:

$$R_n(t) = \epsilon_n \cdot A_n(t) \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1), akan digunakan untuk menjelaskan kasus yang mudah dari pengukuran radionuklida- n dengan hanya satu impuritas- i sehingga persamaan (1) menjadi :

$$R(t) = \epsilon_n \cdot A_n(t_0) \exp [-\lambda_n(t-t_0)] + \epsilon_i \cdot A_i(t_0) \exp [-\lambda_i(t-t_0)] \quad (2)$$

λ_n, λ_i : konstanta peluruhan radionuklida-n dan impuritas
 t_0 : waktu acuan (dapat berubah-ubah, tetapi harus ditetapkan).

ϵ_i : efisiensi detektor non diskriminasi terhadap impuritas

$A_i(t_0)$: aktivitas impuritas pada saat t_0

Bila persamaan (2) dikalikan dengan $\exp [\lambda_n(t-t_0)]$ menjadi:

$$R(t) \exp [\lambda_n(t-t_0)] = \epsilon_n A_n(t_0) + \epsilon_i A_i(t_0) \exp [(\lambda_n - \lambda_i)(t-t_0)] \quad (3)$$

Persamaan (3) dapat diubah dalam bentuk :

$$Y = Y_0 + mX \quad (4a)$$

$$= Y_0 [1 + (m/Y_0) X] \quad (4b)$$

dimana: $Y = R(t) \exp [\lambda_n(t-t_0)] \quad (5a)$

$$Y_0 = \epsilon_n A_n(t_0) \quad (5b)$$

$$m = \epsilon_i A_i(t_0) \quad (5c)$$

$$X = \exp [(\lambda_n - \lambda_i)(t-t_0)] \quad (5d)$$

Sedangkan nisbah aktivitas, r pada waktu acuan diturunkan dari persamaan (5b) dan (5c)

$$r = (A_i/A_n) = (\epsilon_i/\epsilon_n)(m/Y_0) \quad (6)$$

Pada prinsipnya, masalah Y_0 dan m yang tidak diketahui dapat ditentukan minimal dari dua pengukuran pada waktu yang berbeda, tetapi cara yang lebih baik tentu saja dari berbagai data pengukuran dengan interval waktu yang sesuai dengan waktu paro dari radionuklida yang diukur dan mengevaluasinya dengan analisis regresi linier. Y adalah pengukuran $R(t)$ dikonversikan pada waktu acuan dengan konstanta peluruhan dari radionuklida-n. Y_0 adalah nilai Y pada $X=0$, yang menghubungkan ekstrapolasi $(\lambda_n - \lambda_i) (t-t_0)$ mendekati $-\infty$, pada fungsi eksponensial. Sedangkan gradien (slope) m , dapat dihitung pada $X=1$, pada tanggal acuan $t=t_0$.

Metode yang diuraikan oleh Walz masih dapat diperluas untuk digunakan lebih dari satu impuritas tetapi konstanta peluruhan dari impuritas harus cukup berbeda dan diketahui dengan pasti dan efisiensi detektor terhadap impuritas diketahui. Dengan demikian persamaan (4a) menjadi:

$$Y = Y_0 + m_i X_i \quad (7)$$

dengan:

$$Y = Rn(t) \exp [\lambda_n(t-t_0)] \quad (8)$$

$$m_i X_i(t) = \epsilon_i A_i(t_0) \exp [(\lambda_n - \lambda_i)(t-t_0)] \quad (9)$$

dimana: $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$t_i = t_1, t_2, \dots, t_n$$

Masalah Y_0 dan m_i dapat diselesaikan dengan prosedur iterasi.

PENGUJIAN METODE

Untuk membuktikan kehandalan dan kepraktisan metode Walz dicoba untuk digunakan pada pengukuran ^{123}I . ^{123}I yang diproduksi oleh siklotron biasanya terkontaminasi dengan ^{124}I . Waktu paro ^{123}I adalah 0,55 hari dan ^{124}I : 4,18 hari [7]. Biasanya radionuklida yang digunakan di

rumah sakit ini diukur aktivitasnya menggunakan dose-calibrator yang menggunakan detektor kamar pengion sebagai detektor radiasinya. Pada Tabel 1 disajikan data pengukuran rutin dari ^{123}I . $R(t)$ adalah bacaan dose-calibrator dengan satuan MBq (μCi), yang dioperasikan pada setting yang sesuai dengan ^{123}I .

Metode Walz juga digunakan untuk menentukan impuritas ^{126}I di dalam ^{125}I . ^{125}I adalah radionuklida yang diproduksi di reaktor dengan reaksi: $^{124}\text{Xe} (n,\gamma) ^{125}\text{Xe} (T_{1/2}: 17 \text{ jam}) \rightarrow ^{125}\text{I}$ atau dapat juga dibuat dengan reaksi $^{125}\text{Te} (d,2n) ^{125}\text{I}$. Isotop ^{125}I memancarkan foton, dengan energi yang dipancarkan sekitar 35,5 keV, dengan intensitas pancaran 100 %. Kamar pengion $4\pi\gamma$ bertekanan sering digunakan untuk pengukuran aktivitas di laboratorium standar nasional. Biasanya detektor tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk berbagai sumber standar pemancar gamma. Hal ini diperlukan ketepatan kurva efisiensi pada energi rendah (daerah cut-off). Respon detektor kamar pengion terhadap ^{125}I terletak pada daerah yang kritis (response cut-off) dan biasanya radionuklida tersebut terkontaminasi dengan ^{126}I , yang memancarkan foton dengan energi dari 389 sampai dengan 1420 keV. Waktu paro ^{125}I adalah 59,3 hari dan ^{126}I 12,96 hari. Pada percobaan ini sampel berisi 2 gram radioaktif ^{125}I dicacah dengan menggunakan detektor kamar pengion, dengan aktivitas spesifik 20 MBq/gram pada permulaan pengukuran. Pengukuran dilakukan selama 2 bulan. Besaran $R(t)$ di sini adalah arus pengion dari sampel relatif terhadap ^{226}Ra sebagai sumber acuan. Masa $^{226}\text{Ra} = 300 \mu\text{g}$. Satuan efisiensi detektor kamar pengion terhadap ^{226}Ra adalah $[\text{kBq}]^{-1}$. Pada Gambar 3 disajikan data pengukuran ^{125}I .

PEMBAHASAN

Bila data pengukuran ^{123}I pada Tabel 1 diplot pada Gambar 2 maka hasil analisis regresi linier diperoleh :

- Bila t_0 ditentukan pada hari pertama, pengukuran ke-1 ($t_0 = 0$ jam)
 $Y_0 = (409,63 \pm 0,5) \mu\text{Ci}$ dan
 $(m/Y_0) = [\epsilon_i/\epsilon_n][A_i(t_0)/A_n(t_0)] = 0,122 \pm 0,002$
- Bila t_0 ditentukan pada hari ke 2, pengukuran ke-4 ($t_0 = 23$ jam).
 $Y_0 = (122,4 \pm 0,5) \mu\text{Ci}$ dan
 $(m/Y_0) = [\epsilon_i/\epsilon_n][A_i(t_0)/A_n(t_0)] = 0,347 \pm 0,002$
- Jika hanya menggunakan 3 titik data, selama 8 jam peluruhan (data pada hari ke 2) diperoleh hasil sebagai berikut:
 $Y_0 = (121,5 \pm 0,7) \mu\text{Ci}$ dan
 $(m/Y_0) = [\epsilon_i/\epsilon_n][A_i(t_0)/A_n(t_0)] = 0,367 \pm 0,007$
- Bila t_0 ditentukan pada hari ke 4, pengukuran ke-8 ($t_0 = 67,25$ jam).
 $Y_0 = (11,988 \pm 0,5) \mu\text{Ci}$ dan
 $(m/Y_0) = [\epsilon_i/\epsilon_n][A_i(t_0)/A_n(t_0)] = 2,611 \pm 0,002$

$(m/Y_0) = [\epsilon_i / \epsilon_n] [A_i(t_0) / A_n(t_0)]$ dapat diartikan juga sebagai kadar impuritas. Untuk pengukuran ^{123}I yang mengandung impuritas ^{124}I terlihat bahwa dengan semakin lama waktu pengukuran dan waktu acuan pengukuran terlihat bahwa kadar impuritas ^{124}I semakin besar dan kadar nuklida ^{123}I semakin kecil karena waktu paro nuklida lebih pendek dari waktu paro impuritas.

Dari kurva efisiensi detektor terhadap energi, dapat diperoleh efisiensi detektor terhadap ^{123}I dan ^{124}I . Dengan demikian aktivitas radionuklida ^{123}I dan aktivitas impuritas ^{124}I dapat ditentukan pada saat $t=t_0$.

Bila evaluasi data hanya dilakukan pada beberapa titik data seperti pada hari ke 2 pengukuran ($t=8$ jam) dengan waktu acuan yang sama maka diperoleh perbedaan 1% untuk Y_0 dan 6% untuk (m/Y_0) . Hal ini masih diperbolehkan di dalam aplikasi kedokteran nuklir.

Pada pengukuran impuritas ^{126}I yang terkandung dalam nuklida ^{125}I , data pengukuran diplot pada Gambar 3, sehingga diperoleh hasil analisis regresi linier sebagai berikut:

$$Y_0 = (0,0185 \pm 0,0007) \mu\text{gRa dan}$$

$$(m/Y_0) = [\epsilon_i / A_i(t_0)] / [\epsilon_n / A_n(t_0)]$$

$$= 8,70 \pm 0,05$$

Nilai (m/Y_0) terlalu besar, hal ini berarti bahwa kontribusi impuritas ^{126}I sangat besar, cukup mendominasi dalam pengukuran radionuklida ^{125}I . Dari Kurva efisiensi fungsi energi kamar pengion diperoleh efisiensi detektor kamar pengion terhadap ^{125}I dan ^{126}I yaitu: $\epsilon_n (^{125}\text{I}) = (1,08 \pm 0,05) \cdot 10^{-6} \mu\text{g Ra kBq}^{-1}$ dan $\epsilon_i (^{126}\text{I}) = 0,795 \cdot 10^{-2} \mu\text{g Ra kBq}^{-1}$. Jadi aktivitas radionuklida ^{125}I dapat ditentukan yaitu: 17,1 MBq/g dan impuritasnya, ^{126}I : 20,245 kBq, pada tanggal acuan. Dari nilai Y_0 , m , $\epsilon_n (^{125}\text{I})$ dan $\epsilon_i (^{126}\text{I})$ maka diperoleh nilai $r(^{126}\text{I}/^{125}\text{I}) = 0,12 \%$. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan detektor Germanium diperoleh perbedaan 0,14 %. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini cukup dapat dipercaya.

Dari studi literatur ini dapat diambil kesimpulan bahwa metode Walz masih dapat dikembangkan untuk sejumlah impuritas i dengan $i = 1,2,3,\dots,n$. Metode ini mempunyai kelebihan dan kekurangannya.

Kelebihan metode non diskriminasi adalah sebagai berikut:

1. Kestabilannya sangat baik untuk pengukuran aktivitas tinggi seperti yang digunakan di rumah sakit [8].
2. Praktis, langsung dapat diukur tanpa preparasi.
3. Cepat, hanya dengan satu kali pemrograman perhitungan impuritas dapat dilakukan.
4. Sangat tepat digunakan untuk radionuklida yang mengandung impuritas dengan waktu paro singkat.
5. Kadar impuritas dapat diekstrapolasikan dari waktu ke waktu.

Kelemahan metode non diskriminasi:

1. Masih menggantungkan hasil pengukuran detektor diskriminasi dalam menentukan jenis impuritas.
2. Memerlukan data pengukuran yang berulang-ulang pada waktu yang berbeda, bergantung pada jenis nuklida dan impuritasnya.
3. Kesalahan cukup besar untuk pengukuran aktivitas

rendah dan jenis radionuklida yang berenergi kurang dari 100 keV.

KESIMPULAN

Telah dibuktikan bahwa kontribusi impuritas terhadap aktivitas radionuklida yang diukur, melalui pengukuran arus pengion atau laju cacah dapat dianalisis dengan metode yang telah diuraikan di atas. Jika semua impuritas yang ada tidak dipertimbangkan, maka analisis menunjukkan ketidaklinieran.

Efisiensi detektor non diskriminasi terhadap radionuklida diperlukan untuk menghitung aktivitas radionuklida yang diukur; dengan perkataan lain bahwa detektor tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu terhadap sumber standar pemancar gamma.

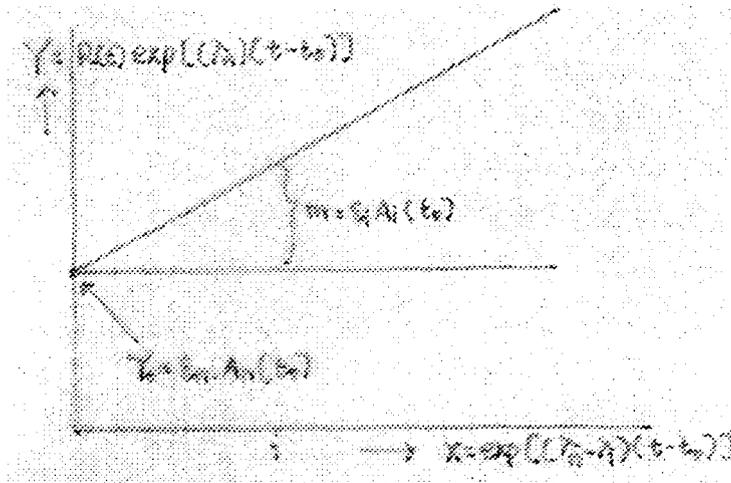
Jika semua parameter radionuklida yang diukur diketahui dengan pasti, maka hanya dengan satu kali prosedur rutin ditetapkan maka aktivitas radionuklida dan impuritasnya dapat ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

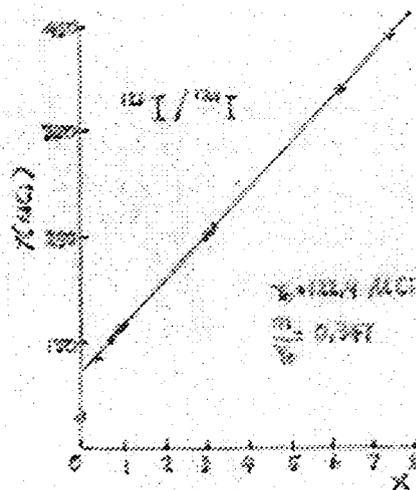
1. KOWALSKY,RJ and RANDOLPH PERRY, J; Radiopharmaceuticals in Nuclear Medicine Practice, p.8-11, Prantice-Hall, USA, 1987.
2. JEDLOVSZKY R., Radionuclidic Impurity Testing, Report OMH-7905, ICRM-S-4 (Budapest, September 1979).
3. GRINGORTEN J.L..., Int.J.Appl.Radiat.Isot.34, 1267, (1983).
4. WALZ, K.F, PTB Annual Report, p. 180, Braunschweig, FRG, 1977.
5. SCHRADER H. & WALZ K.F, Determination of Radioactive Impurities in Activity Measurements With Non Discriminating Detectors, Appl. Radiat. Isotope, vol. 37, No:2, pp. 115-120, Int. J. Radiat. Appl. Instr.Part. A, Great Britain, 1986.
6. SCHRADER H., and WEIS H.M., Inter.J.Nuclear. Med.Biol. 10, 121 (1983).
7. LEGRAND, J; PEROLAT,J,P; LAGOUTINE,F.; and LE GALLIC,Y.,Table de Radionuclides, vol. I, hal. 4, France, 1974.
8. SCHRADER, H., Measurement of Small Current Using A modified Townsend Method, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A312, 34-38, (1992).
9. JEDLOVSKY, R. and SZORENNYI,A., Detection of Radionuclide impurities, International J. Nucl. Med. Biol.Vol. 10, no.2/3, pp. 65-68, Great Britain, 1983.

Tabel 1. Data kalibrator radionuklida untuk ^{123}I [3].

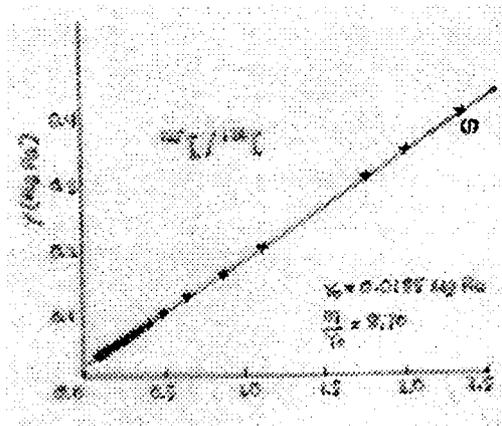
Hari ke-	1	2	2	2	3	3	4	4
Waktu	17.00	8.00	13.00	16.00	16.15	17.15	8.15	12.15
R(t) μCi	454	232	188	166	70	68	47	43.3



Gambar 1. Penyajian skematik fungsi $Y = Y_0 + mX$



Gambar 2. Data pengukuran radionuklida ^{123}I dan impuritas ^{124}I dalam penyajian $Y = f(X)$. Nilai Y_0 dan m/Y_0 diperoleh dari analisis regresi linier [5].



Gambar 3. Data pengukuran sumber ^{125}I dan impuritas ^{126}I . Data pengukuran awal ditandai dengan angka 1. Nilai Y_0 dan m/Y_0 diperoleh dari analisis regresi linier [5].

DISKUSI

WINARTI

Detektor apa yang digunakan oleh rumah sakit di Indonesia untuk mengukur impuritas ^{124}I dalam data sampel ^{123}I ?

NAZAROH

Rumah sakit di Indonesia umumnya tidak melakukan koreksi adanya impuritas. Bila ada impuritas di dalam sampel dianggap masih dalam toleransi. Detektor yang digunakan adalah Dose-Calibrator atau detektor kamar pengion Victoreen. Yang sudah komputerisasi adalah RS Fatmawati.

SUWIRMA SYAMSU

Dalam kesimpulan dikatakan, kestabilan baik, kesalahan cukup besar. Apakah maksud dari kesimpulan tersebut bila dikaitkan dengan penerapan metode ini nantinya ?

NAZAROH

Kestabilan detektor kamar pengion dapat diuji dengan menggunakan ^{226}Ra dan ^{137}Cs (radionuklida yang mempunyai waktu paro panjang). Biasanya untuk pengukuran aktivitas tinggi cukup baik kedapat ulangnya (teliti), sedangkan untuk pengukuran aktivitas dan energi rendah, cukup besar kesalahannya. Dalam penerapannya dengan metode ini ternyata masih cukup akurat dalam

menentukan impuritas bila dibandingkan dengan metode spektrometer gamma.

ERMIN

Berapa lama waktu meluruh impuritas ^{124}I dan ^{126}I . Apakah hal ini membahayakan pasien, sinar apa yang dipancarkan ?

NAZAROH

^{124}I dan ^{126}I adalah radionuklida yang memancarkan partikel β , sinar γ dan sinar-X dengan energi yang dipancarkan lebih tinggi dari radionuklida utamanya sehingga bila kadar impuritasnya cukup besar maka pengukuran aktivitasnya akan "over estimate" dan membahayakan pasien.

Waktu paro ^{124}I adalah : 4,18 hari dan ^{126}I : 12,96 hari.

HENDIG WINARNO

Apakah detektor non diskriminasi ini merupakan detektor yang sudah estabalized dilakukan di luar negeri atau merupakan hasil penelitian Anda di PSPKR ?

NAZAROH

Detektor non diskriminasi sudah biasa digunakan untuk pengukuran aktivitas di rumah sakit baik di luar negeri dan di dalam negeri (Indonesia). Metode ini telah di terapkan di Jerman (PTB), dan dicoba untuk menyelesaikan data sampel di PSPKR.

DISTRIBUSI UNSUR PADA SEDIMEN DANAU SUNTER JAKARTA

June Mellawati, Yumiarti, Yulizon Menry,
Surtipanti, S., dan Tomi Hutabarat



ID0000131

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

DISTRIBUSI UNSUR PADA SEDIMEN DANAU SUNTER JAKARTA. Telah dilakukan pemeriksaan polutan logam berat dalam contoh sedimen danau, dan perhatian diutamakan pada logam berat beracun disetiap lapisan sedimen. Tujuan studi untuk memperkirakan keberadaan bahan pencemar logam berat, serta mempelajari karakteristik distribusi logam berat dalam sedimen suatu danau. Pengambilan contoh dilakukan dengan *metode Coring* menggunakan *Piston Sampler*, sedang penentuan logam berat secara *spektrometri pendar sinar-x (XRFS)* menggunakan ^{109}Cd dan ^{55}Fe sebagai pengekstisasi. Penentuan kuantitas logam dengan cara relatif menggunakan beberapa standar acuan sedimen dari IAEA yaitu *SL-1*, *Soil-7*, dan *Soil-3*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah ditemukan unsur K, Ca, Ti, La, Mn, Fe, Co, Cu, Sr, Zn, Pb, Rb, Y, Nb, Mo, dan masing-masing terdistribusi hampir merata pada setiap lapisan.

ABSTRACT

DISTRIBUTION OF ELEMENTS ON LAKES SEDIMENT OF SUNTER JAKARTA. The investigation of heavy metal pollutants in lake sediment samples has been carried out, and the main attention on toxic heavy metals. The objective of study is to estimate the quality of the heavy metals pollutant and study the characteristic of heavy metals distribution on lake sediment. Sampling was done by *Coring method*, therefor heavy metals were determined by *x-ray Fluorescence Spectrometry (XRFS)* using ^{109}Cd and ^{55}Fe as excitation sources. The quantity of metals were determined by relative method using Standard References of sediment from IAEA, such as: *SL-1*, *Soil-7*, and *Soil-3*. The result of research showed that there were heavy metals such as K, Ca, Ti, La, Mn, Fe, Co, Cu, Sr, Zn, Pb, Rb, Y, Nb, Mo and almost distributed on the each layer.

PENDAHULUAN

Monitoring kandungan logam berat di lingkungan secara berkala merupakan aktivitas penting guna mengetahui adanya pencemaran lingkungan, dan hal tersebut dilakukan karena logam berat merupakan salah satu polutan yang tidak dapat terdekomposisi (1).

Limbah cair (*sewage*) yang berasal dari kegiatan pemukiman, perkantoran, perhotelan, rumah sakit, industri dan kegiatan manusia lainnya bersama limpasan air hujan akan mengalir melalui selokan atau got menuju sungai, danau yang akhirnya akan ke laut. Proses tersebut berlangsung secara kontinyu sehingga menyebabkan pendangkalan badan air (sungai atau danau) oleh sedimen, sehingga terjadi juga peningkatan kandungan unsur hara, bahan organik, bakteri patogen, bahan beracun (logam berat dan pestisida) pada sedimen tersebut (2). Terjadi pengkayaan unsur hara, bahan organik, dan logam berat di suatu perairan menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem khususnya kehidupan beberapa vegetasi maupun biota perairan.

Seperti diketahui bahwa sedimen yang terdapat pada badan air mempunyai ukuran relatif kecil yaitu antara 2 dan 60 μm (4). Pada sedimen tersebut terjadi proses bioakumulasi dengan mekanisme secara fisik, dan kimia, yaitu melalui proses penyerapan, pengendapan, dan pertukaran ion (3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa

kandungan logam berat dalam sedimen yang terdapat pada badan air (sungai maupun danau) dapat digunakan untuk memperkirakan adanya sumber-sumber zat pencemaran dari lahan atasnya (5).

Berdasarkan alasan tersebut penulis melakukan pemeriksaan setiap lapisan sedimen dengan kedalaman 30 cm, dari tiga (3) danau Sunter di Jakarta, karena danau tersebut dimanfaatkan oleh sebagian penduduk di Jakarta, serta diduga rawan terhadap kiriman bahan pencemar oleh sungai-sungai bagian hulu (Cipinang dan Sunter). Pengambilan contoh dilakukan dengan metode *Coring* menggunakan *Piston Sampler* terbuat dari baja murni tahan karat dari bengkel Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN - Jakarta, dan metode tersebut mempunyai kelebihan yaitu tidak merusak lapisan sedimen (6).

Penentuan kualitas dan kuantitas logam berat dengan metode XRFS yang dilengkapi dengan beberapa paket program dari IAEA yaitu *MAESTRO*, *AXIL*, *QXAS (Quantitative X-Ray Analysis Spectrometry)*, dan perbedaan pengukuran contoh dan standar menggunakan program tersebut adalah kurang dari 10 % (7).

Tujuan penelitian untuk memperkirakan keberadaan dan distribusi bahan pencemar logam berat di sedimen danau Sunter Jakarta, serta untuk mengetahui seberapa jauh sedimen dapat digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan perairan.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Pada percobaan digunakan contoh sedimen danau Sunter, dan masing-masing contoh diperoleh dari lapisan yang berbeda. Pada penentuan kualitatif dan kuantitatif digunakan standar acuan dari IAEA yaitu: SL-1, Soil-3, dan Soil-7 (8). Selain bahan-bahan tersebut juga digunakan bahan penunjang lainnya yaitu: es kering, alkohol teknis, dan N₂ cair.

Peralatan. Pengukuran logam berat menggunakan perangkat spektrometer pendar sinar-x yang dilengkapi dengan paket program *MAESTRO* dan *AXIL*, keduanya dari IAEA. Sebagai sumber pegeksitasi digunakan ¹⁰⁹Cd dan ⁵⁵Fe yang masing-masing mempunyai aktivitas 740 MBq (pada 30 Agustus 1996). Peralatan lainnya ialah oven, mesin pembuat pelet, mortar dan stanfer dari agat, timbangan analitik, eksikator, dan beberapa alat gelas.

Pengambilan contoh. Contoh sedimen diperoleh dari 3 danau Sunter yang berbeda, dan sampling dilakukan pada bulan antara Januari dan Desember 1996. Pengambilan contoh setiap danau dilakukan pada berbagai kedalaman, menggunakan *Piston sampler*. Mula-mula *Piston Sampler* dimasukkan ke dalam danau secara perlahan-lahan hingga mencapai permukaan dasar danau yang keras. Setelah sedimen mengisi *Sampler*, maka *Sampler* segera ditarik ke permukaan, dan sebelum nya bagian dasar *Sampler* ditutup supaya sedimen tidak turun (keluar *sampler*). Kemudian *Sampler* direndam dalam tabung yang berisi alkohol teknis dan es kering, selama beberapa menit hingga sedimen mengeras. Sedimen dikeluarkan dari *Sampler*, dan dipotong-potong sepanjang 3 atau 5 cm menggunakan graji *stenlesteel*. Potongan-potongan sedimen tersebut disimpan dalam plastik untuk dibawa ke laboratorium dan diproses lebih lanjut.

Preparasi contoh dan standar acuan IAEA. Contoh sedimen dikeringkan pada suhu 70°C selama semalam, kemudian di gerus secara mekanik menggunakan mortar agat dan diayak dengan ayakan *stenlesteel* hingga kehalusan > 200 mesh. Lalu contoh sedimen ditimbang sebanyak ± 200 mg secara teliti, dibuat pelet dengan mesin pres hidraulik bertekanan ± 700 Mpa (15 ton/cm²). Pelet-pelet contoh kemudian dimasukkan dalam plastik, dan disimpan dalam eksikator sebelum dilakukan pengukuran. Sedang preparasi standar acuan dilakukan dengan cara yang sama dengan contoh, yaitu setelah serbuk SRM ditimbang dengan teliti sebanyak ± 200 mg lalu dibuat pelet dan dipres.

Pengujian metode. Pada percobaan tersebut dilakukan penentuan logam berat dalam beberapa standar acuan dari IAEA yaitu *SL-1*, *Soil 3*, dan *Soil 7* dengan kondisi sama dengan contoh. Kemudian hasil yang diperoleh dibandingkan dengan yang tertera pada sertifikat, sehingga dapat diketahui ketelitian dan ketepatan metode.

Teknik Pencacahan. Mula-mula alat dikalibrasi menggunakan beberapa logam murni dari IAEA, yaitu: Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, Sn, dan Pb, kemudian dilakukan pengukuran resolusi alat. Pelet-pelet contoh dan standar acuan secara bergantian diukur dengan cara meletakkannya pada permukaan detektor masing-masing selama ± 1000 detik, dan dieksitasi menggunakan sumber pegeksitasi

¹⁰⁹Cd dan ⁵⁵Fe. Setelah pencacahan selesai data diolah menggunakan paket program *Maestro* dan *AXIL* (QXAS = Quantitative X-Ray Analysis System).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan contoh sedimen dari 3 danau Sunter yang berlokasi di Jakarta Utara (Sunter Barat, Sunter Selatan-I, dan Sunter Selatan-II) menggunakan metode XRFS menunjukkan bahwa telah ditemukan sebanyak 16 jenis unsur, yaitu: K, Ca, Ti, La, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Hg, Pb, Rb, Sr, Y, Nb, dan Mo. Karakteristik nuklir dari unsur-unsur tersebut terlihat pada Tabel 1.

Pada kedalaman hingga ± 30 cm, setiap lapisan contoh sedimen yang di analisis mengandung 16 jenis unsur (tertera pada tabel 1) dengan perbedaan konsentrasi relatif kecil, sehingga per lapisan sedimen kurang memberikan gambaran karakteristik jenis unsur. Dari hasil tersebut terlihat juga distribusi unsur yang hampir merata pada setiap lapisan. (Gambar 1, 2, dan 3).

Hasil kisaran unsur-unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Jakarta Utara terlihat pada Tabel 2.

Hasil terbut menunjukkan bahwa secara umum kualitas unsur pada ke 3 lokasi pengambilan contoh adalah sama, sedangkan kuantitas nya berbeda walaupun tidak begitu nyata. Konsentrasi tertinggi unsur Ca, Zn, Pb, Y, Nb, dan Mo, yaitu 5,33; 0,23; 69,90; 32,20; 8,54; dan 5,38 ppm ditemukan di sedimen danau Sunter Barat, konsentrasi tertinggi unsur K, Mn, dan Rb yaitu 0,96; 0,53; dan 49,50 ppm ditemukan di sedimen danau Sunter Selatan I, sedangkan konsentrasi tertinggi unsur Ti, La, Fe, dan Co, yaitu 0,90; 0,37; 9,31; dan 0,84 ppm ditemukan di sedimen danau Sunter Selatan II. Unsur-unsur lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang begitu nyata.

Distribusi unsur pada berbagai lapisan sedimen hingga kedalaman (30 cm terlihat pada Gambar 1, 2, dan 3).

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi unsur sedimen danau Sunter, maka dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok unsur berkonsentrasi %, g/Kg, dan mg/Kg (ppm).

- Kelompok pertama terlihat pada gambar 1a, b, dan c, yaitu unsur K, Ca, Ti, La, Mn, dan Fe. Ke enam unsur tersebut terdistribusi pada semua lapisan dengan konsentrasi relatif besar yaitu berorde %, dan pada kelompok unsur berkonsentrasi tinggi tersebut, maka Fe terlihat paling banyak yaitu lebih dari 5 %, hal tersebut karena unsur Fe relatif banyak digunakan dalam kegiatan manusia sehari-hari, kemudian berikutnya unsur Ca, Ti, K, Mn dan La yang rata-rata kurang dari 5 %.
- Kelompok ke dua terlihat pada gambar 2a, b, dan c, yaitu unsur Co, Cu, Zn, Sr, dan Zr. Ke 5 unsur tersebut terdistribusi pada semua lapisan dengan konsentrasi relatif besar yaitu berorde g/Kg. Pada kelompok ini terlihat bahwa unsur Co paling banyak ditemukan, baik dalam sedimen danau Sunter Barat, Selatan I maupun Sunter Selatan II dibandingkan unsur Cu, Zn, Zr, dan Sr, namun demikian unsur Co tidak tergolong logam beracun. Demikian juga dengan unsur Sr yang umumnya

ditemukan bersama-sama dengan unsur Ca karena adanya sifat asosiasi diantara ke duanya.

- Kelompok ke tiga terlihat pada gambar 3a, b, dan c, yaitu unsur Pb, Rb, Y, Nb, dan Mo. Ke 5 unsur tersebut terdistribusi pada semua lapisan dengan konsentrasi lebih rendah yaitu berorde mg/Kg (ppm). Pada kelompok ini terlihat bahwa timbal (Pb) merupakan satu-satunya unsur yang bersifat beracun, namun demikian jumlahnya masih relatif kecil. Demikian juga dengan unsur Rb yang umumnya ditemukan bersama-sama dengan unsur K karena adanya sifat asosiasi diantara ke duanya.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran kandungan unsur pada sedimen hingga kedalaman 30 cm, diperoleh informasi sebagai berikut:

- Tidak adanya gambaran yang jelas terhadap distribusi unsur disetiap lapisan, karena konsentrasi unsur hampir merata pada setiap lapisan.
- Tidak memberikan gambaran jenis unsur yang karakteristik disetiap lapisan, karena semua unsur ditemukan pada semua lapisan.
- Tidak ditemukan unsur yang tergolong beracun seperti As, Hg, dan Cd, kecuali timbal (Pb) dengan konsentrasi yang relatif rendah yaitu berorde ppm.
- Pemakaian sedimen sebagai indikator pencemaran lingkungan perairan kurang bisa dimanfaatkan, sehingga analisis biota perairan kemungkinan lebih bermanfaat.
- Pengambilan contoh sedimen danau perlu dilakukan pada kedalaman lebih dari (30 cm, sehingga hasil pengamatan diharapkan lebih informatif.

DAFTAR PUSTAKA

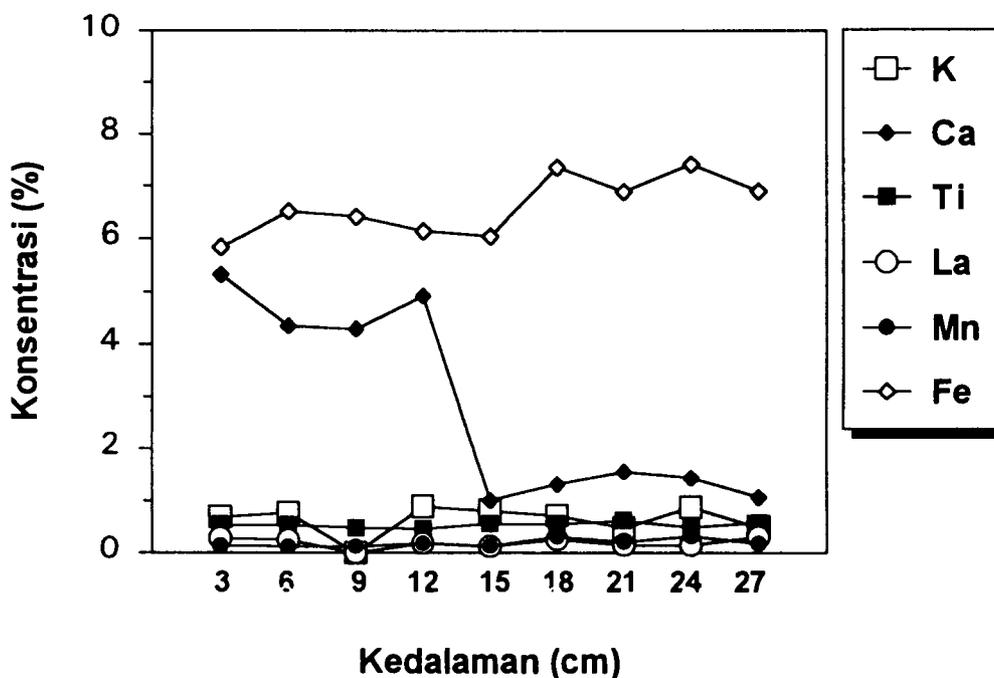
1. Orlic, I., Makjanic, J., and Tang, S. M., Multielemental analysis of marine sediments from Singapore, coastal region by PIXE, and XRF. Nuclear Microscopy laboratory Department of physics, national university of singapore (1995).
2. Rokhmin, D.H., Jacob Rais, Sapta Putra Ginting, dan Sitepu M. J., Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan secara terpadu, P.T Pradnya Paramita Jakarta (1996) 222.
3. Hutagalung, H., 1983. Pencemaran laut oleh logam berat, Puslitbang Oceanologi LIPI, Jakarta.
4. Vladimír Novotný and Harvey Olem, Water Quality Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold New York (1994) 292.
5. Ismail, S. S., Ghods, A., Awadallah, R., and Grass, F., Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry Letters 2 (1995) 95.
6. Wayne, L Strong and Lawrence D Cordes, A coring method for lake surface sediments, Canadian Journal Earth Science, 13 (1976) 1331.
7. Markovicz and R. E. Van Grieken, 1993, Handbook of X-Ray Spectrometry, Methods and Techniques, Marcel Dekker, New York (1993) 469.
8. Anonimous, Analytical Quality Control Services, International Atomic Energy Agency, PO. BOX 100, A -1400 Vienna Austria (1988 and 1990).

Tabel 1. Karakteristik nuklir unsur yang di ukur (7).

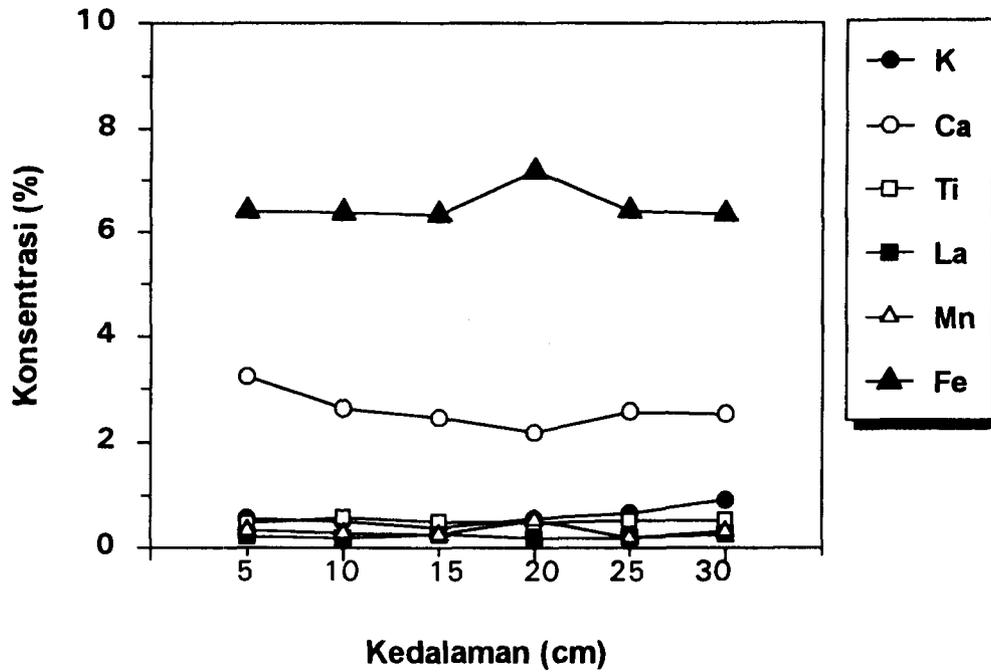
No.	Jenis unsur	Jenis kulit	Energi (keV)	No.	Jenis unsur	Jenis kulit	Energi (keV)
1.	K	Ka	3,31	9.	Zn	Ka	8,63
2.	Ca	Ka	3,69	10.	Pb	La	10,55
3.	Ti	Ka	4,50	11.	Rb	Ka	13,37
4.	La	Ka	4,65	12.	Sr	Ka	14,14
5.	Mn	Ka	5,89	13.	Y	Ka	14,93
6.	Fe	Ka	6,40	14.	Zr	Ka	15,74
7.	Co	Ka	6,92	15.	Nb	Ka	16,58
8.	Cu	Ka	8,04	16.	Mo	Ka	17,44

Tabel 2. Hasil analisis unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Barat, Selatan I, dan Selatan II, wilayah Jakarta Utara

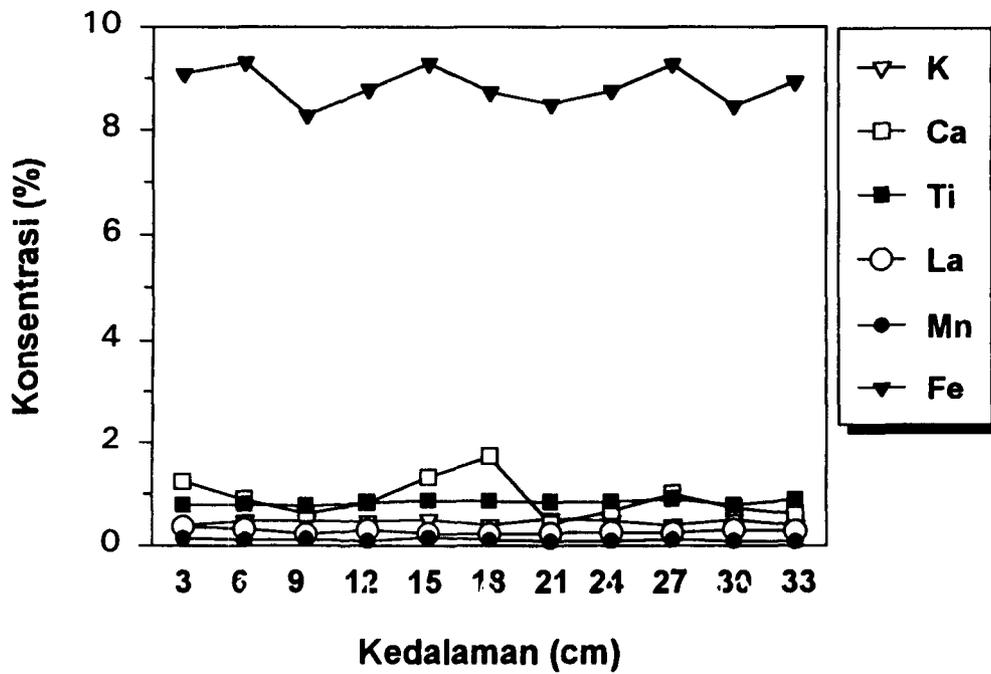
Unsur	Danau Sunter Barat	Danau Sunter Selatan I	Danau Sunter Selatan II
K (%)	0,48 - 0,89	0,38 - 0,99	0,39 - 0,53
Ca (%)	1,01 - 5,33	2,19 - 3,24	0,61 - 1,73
Ti (%)	0,46 - 0,62	0,48 - 0,58	0,77 - 0,90
La (%)	0,13 - 0,29	0,18 - 0,26	0,22 - 0,37
Mn (%)	0,13 - 0,33	0,20 - 0,53	0,08 - 0,16
Fe (%)	5,84 - 7,42	6,34 - 7,18	8,29 - 9,31
Co (g/Kg)	0,38 - 0,70	0,36 - 0,64	0,62 - 0,84
Cu (g/Kg)	0,11 - 0,13	0,10 - 0,13	0,15 - 0,20
Sr (g/Kg)	0,12 - 0,18	0,12 - 0,23	0,04 - 0,07
Zr (g/Kg)	0,12 - 0,14	0,14 - 0,17	0,13 - 0,18
Zn (g/Kg)	0,12 - 0,23	0,12 - 0,13	0,13 - 0,15
Pb (mg/Kg)	35,50 - 69,90	44,70 - 67,80	19,60 - 30,90
Rb (mg/Kg)	35,50 - 45,50	36,30 - 49,50	8,82 - 17,60
Y (mg/Kg)	21,70 - 32,20	21,10 - 27,60	22,60 - 27,50
Nb (mg/Kg)	4,33 - 8,54	4,01 - 5,74	3,05 - 6,55
Mo (mg/Kg)	tt - 5,38	3,27 - 4,80	2,91 - 4,57



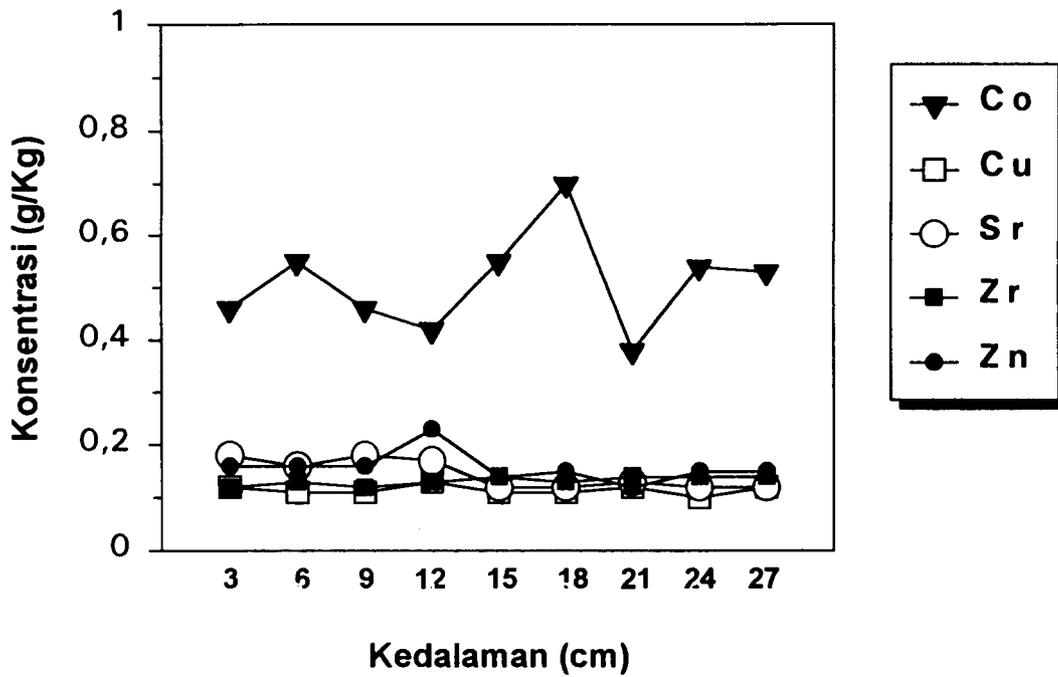
Gambar 1a. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Barat di Jakarta pada berbagai kedalaman.



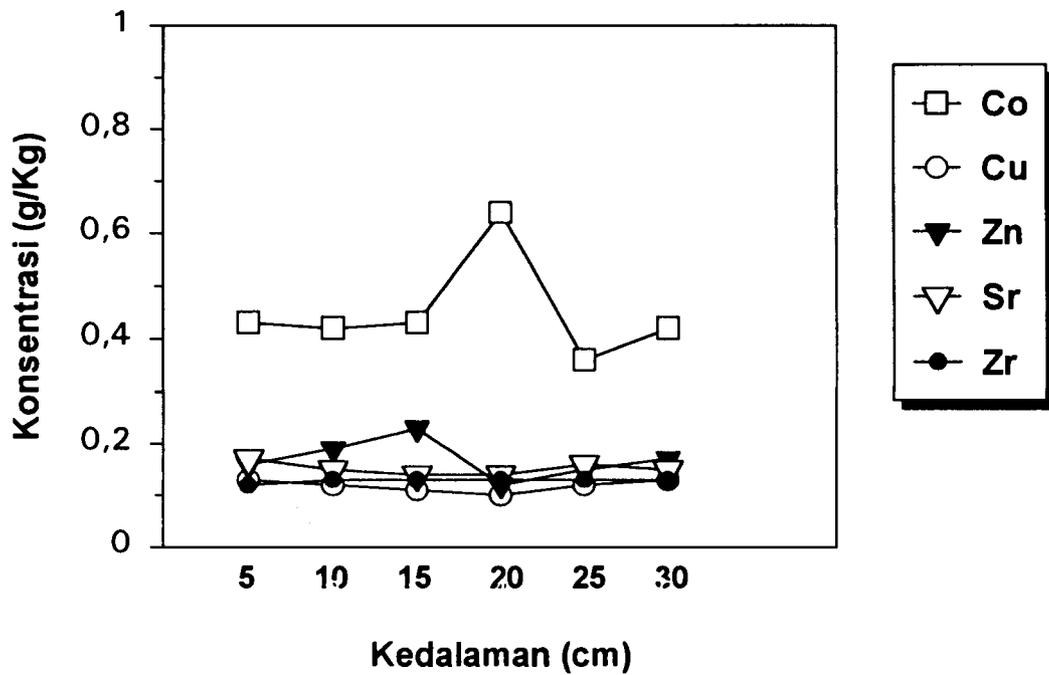
Gambar 1b. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan I di Jakarta pada berbagai kedalaman.



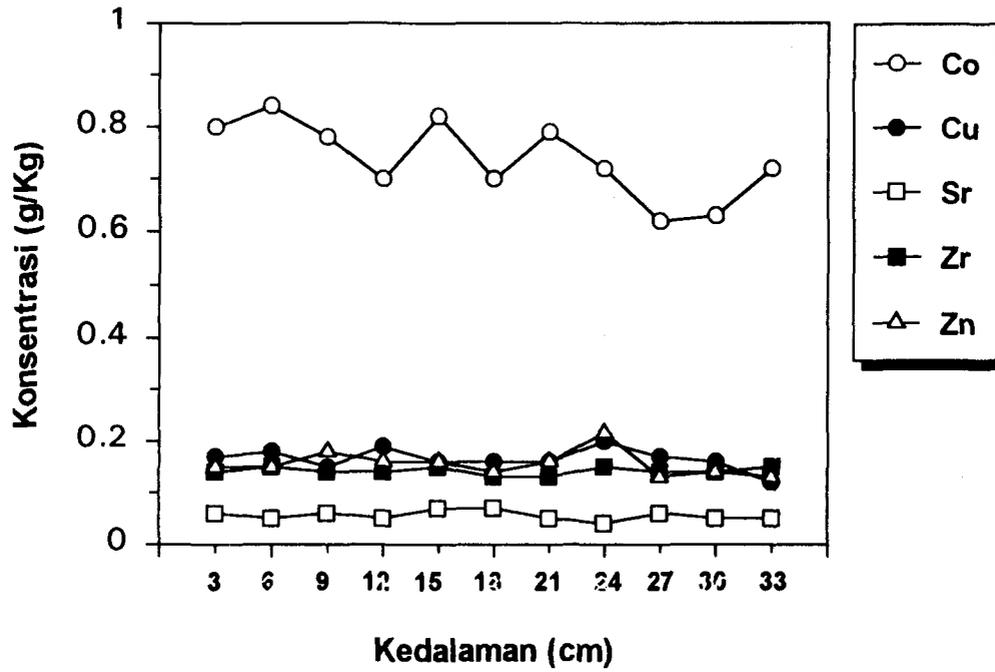
Gambar 1c. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan II di Jakarta pada berbagai kedalaman.



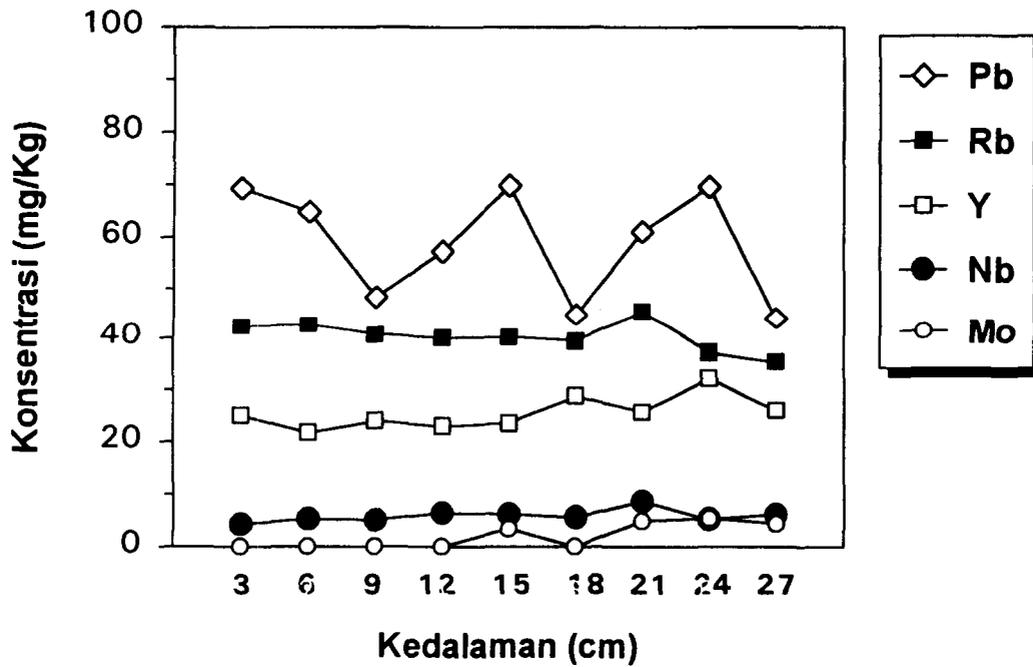
Gambar 2a. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Barat di Jakarta pada berbagai kedalaman.



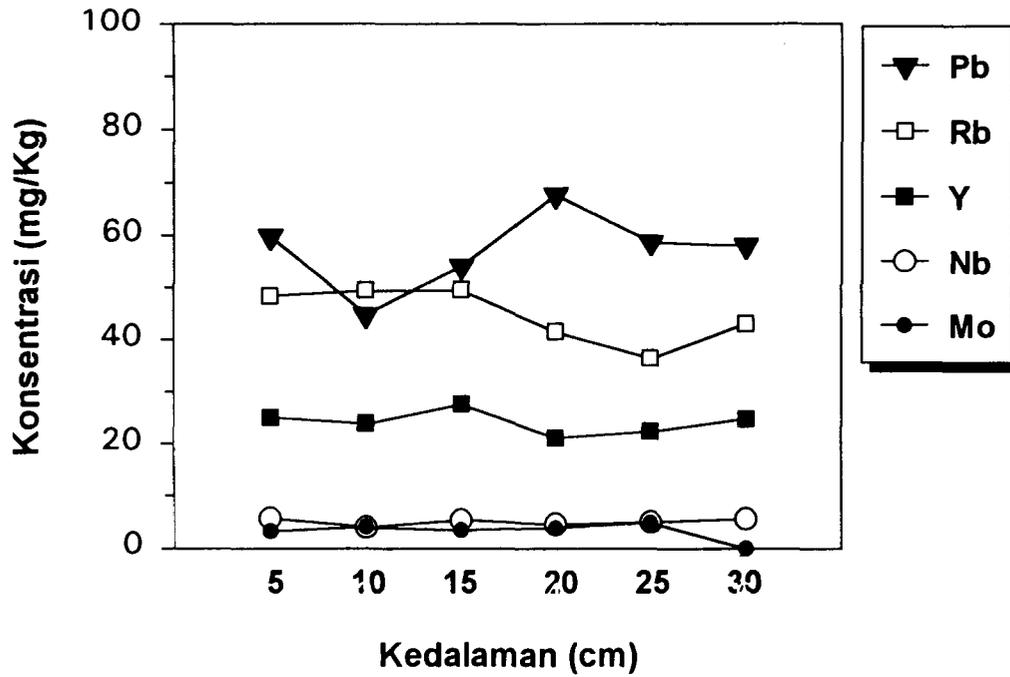
Gambar 2b. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan I di Jakarta pada berbagai kedalaman.



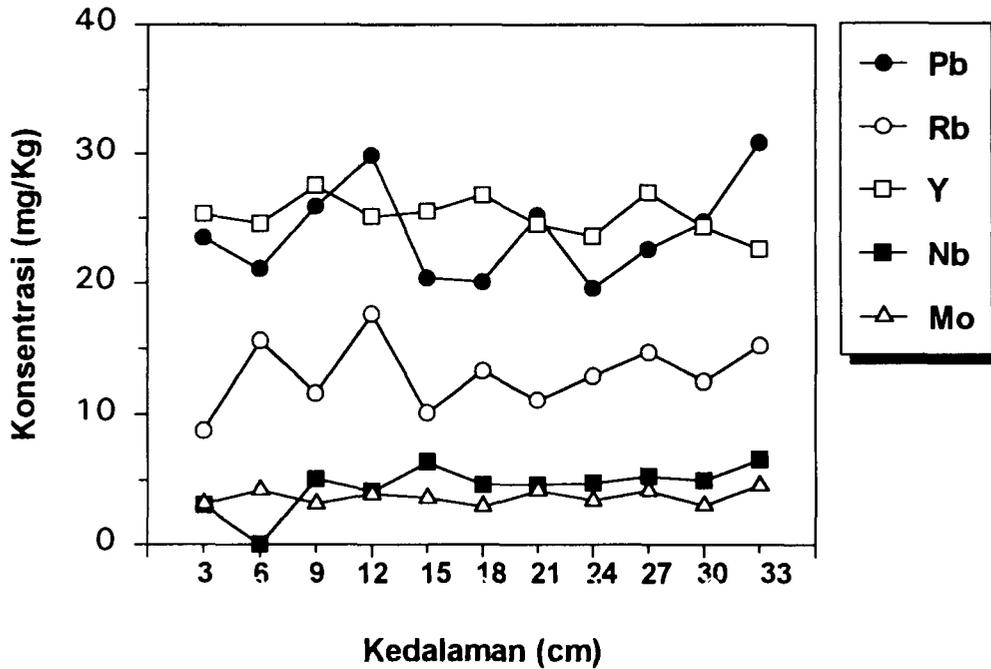
Gambar 2c. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan II di Jakarta pada berbagai kedalaman.



Gambar 3a. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Barat di Jakarta pada berbagai kedalaman.



Gambar 3b. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan I di Jakarta pada berbagai kedalaman.



Gambar 3c. Distribusi unsur dalam contoh sedimen danau Sunter Selatan II di Jakarta pada berbagai kedalaman.

DISKUSI

EVARISTA RISTIN P.I.

Apakah pengambilan sampel (daerah 1, 2, 3 dan 4) mengarah ke pembuangan limbah? Mohon penjelasan perbedaan kandungan unsur dekat dan jauh dari pembuangan limbah.

J. MELLAWATI

Daerah pembuangan limbah pemukiman (lokasi III) diperoleh Co & Cu relatif lebih tinggi daripada lokasi I & II. Daerah lokasi I & II diperoleh Pb \pm 2 kali lebih tinggi dari pada lokasi III. Daerah tersebut banyak aktifitas perahu bermotor, Pb diduga dari "Petrol engine boat", walaupun jumlahnya relatif masih kecil (orde ppm).

SUWIRMA S.

Apakah dengan pengambilan contoh secara coring tersebut sudah dianggap sebagai contoh yang mewakili lapisan dan lumpur? Tolong dijelaskan.

Saran: Agar cara pengambilan contoh tersebut faktor pengadukan lumpur perlu dipertimbangkan.

J. MELLAWATI

Pengambilan contoh dengan cara Coring bertujuan mendapatkan informasi distribusi kandungan unsur

perlapisan menggunakan cara tersebut diharapkan faktor pengadukan lumpur dapat dikurangi (dibandingkan cara Grab).

SUKARDJI P.

Apakah unsur Zn tidak muncul, atau tidak terdeteksi pada sampel yang diperiksa dengan spektroskop sinar-X, sebab unsur Zn sangat penting, bila defisiensi dapat menimbulkan sakit. Apakah aplikasi penelitian ini bila berhasil akan dijual secara komersial. Bentuk peletnya itu apakah dari sample itu sendiri atau gabungan dari semua sampel, termasuk rumput teki, sebab rumput teki terdapat banyak dimana-mana tetapi jumlahnya tidak banyak.

J. MELLAWATI

Unsur Zn terdeteksi (muncul). Hasil analisis, contoh pakan ternak (semua) diperoleh ditemukan Zn dengan konsentrasi antara 43.30 — 73.50 ppm (ug/g). Rumputan mengandung Zn relatif lebih tinggi dari pada contoh daun atau jerami. Apakah terdeteksi adanya defisiensi mineral pada Tujuan, akan diusahakan pakan bentuk pelet dengan komposisi mineral syarat konsep pakan berimbang berikutnya dapat dikomersilkan

KONSENTRASI STRONTIUM-90 PADA BEBERAPA JENIS SAYURAN DI JAWA TIMUR

Enlinarti, Tutik Indiyati, dan Minarni Affandi

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi



ID0000132

ABSTRAK

KONSENTRASI STRONTIUM-90 PADA BEBERAPA JENIS SAYURAN DI JAWA TIMUR. Dalam rangka memperoleh data dasar sebaran radionuklida di seluruh Indonesia, khususnya di Jawa Timur, maka telah dilakukan analisis kandungan radionuklida Strontium-90 pada beberapa jenis sayuran seperti : bayam, kacang panjang, buncis, wortel, kol, kentang, cabe dan bawang. Contoh diambil dari daerah Surabaya, Malang, Probolinggo, Situbondo dan Jember. Semua contoh diabukan sampai berwarna putih kemudian baru dilakukan analisis dengan menggunakan metode HNO₃ berasap. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pencacah berlatar belakang sangat rendah (LBC) sistem alfa/beta (Tennelec LB-5100). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi ⁹⁰Sr di dalam contoh bervariasi mulai dari tidak terdeteksi sampai $(10,86 \pm 5,58) \times 10^{-3}$ Bq/kg pada contoh bayam yang berasal dari daerah sekitar Situbondo. Bila dibandingkan dengan jenis sayuran yang sama yang berasal dari beberapa daerah di Jawa Tengah, hasil ini relatif tidak berbeda.

ABSTRACT

CONCENTRATION OF STRONTIUM-90 IN SEVERAL VEGETABLES IN EAST JAVA. In order to collect data base of radionuclides distribution in Indonesia, particularly in East Java, analysis of strontium-90 concentration in vegetables samples such as : spinach, stringbean, greenpeas, carrot, cabbage, potato, chilli, and onion collected from Surabaya, Malang, Probolinggo, Situbondo and Jember had been carried out. All the samples were ashed and analyzed using fuming HNO₃ method. The activity of strontium-90 in the samples were measured using alpha/beta Low Background Counter system (Tennelec LB-5100). The results showed ⁹⁰Sr concentrations in the samples varied from undetectable to $(10.86 \pm 5.58) \times 10^{-3}$ Bq/kg in spinach samples from Situbondo area. Compared with similar foodstuffs collected from several places in Central Java, these results are relatively not different.

PENDAHULUAN

Radiasi latar (*background radiation*) yang terdapat dalam suatu lingkungan bersumber dari paparan sinar matahari, peluruhan (*decay*) zat radioaktif yang terdapat di sekitarnya yang berasal dari kosinis dan unsur-unsur radioaktif alamiah yang terdapat di dalam bumi. Dengan demikian semua organisme hidup selalu menerima paparan radiasi latar yang berasal dari alam. Besarnya radiasi latar ini bervariasi dan bergantung pada tempat dan ketinggian. Semakin tinggi suatu tempat, semakin besar pula peranan radiasi kosmis [1].

Tidak semua bahaya dari suatu radiasi disebabkan oleh efek langsung radiasi itu sendiri. Adanya kemungkinan pembuangan sampah radioaktif yang kurang hati-hati atau kecelakaan dari suatu fasilitas nuklir dapat pula merusak organisme di dalam suatu lingkungan yang selanjutnya dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem di lingkungan [2].

Bila pada suatu lokasi akan dibangun instalasi nuklir, maka data dasar (*base-line data*) radiasi latar di tempat tersebut perlu diketahui yang berguna untuk mengetahui tingkat paparan radiasi latar sebelum dibangun fasilitas tenaga nuklir. Data ini akan memberikan petunjuk apakah fasilitas nuklir yang dibangun nanti akan menyebabkan peningkatan radiasi latar di daerah tersebut. Survei radiasi latar dilakukan terhadap contoh-contoh di lingkungan seperti tanah, air, udara, tanaman dan lain-lain.

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan pengambilan contoh yang sama di 11 daerah di Jawa Tengah dan 4 daerah di bagian barat Jawa Timur [3,4]. Pemantauan ini bertujuan untuk memperoleh data dasar sebaran radionuklida di seluruh Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran konsentrasi strontium-90 di dalam beberapa tanaman pangan (jenis sayuran) yaitu bayam, kacang panjang, buncis, wortel, kol, kentang, cabe dan bawang yang berasal dari beberapa daerah di Jawa Timur [5].

Radionuklida ⁹⁰Sr ini merupakan salah satu radionuklida hasil belah inti bahan bakar nuklir uranium. Waktu paro ⁹⁰Sr sekitar 28 tahun dan bersifat toksik karena memancarkan radiasi beta. Radionuklida ⁹⁰Sr yang mencemari tanaman dapat sampai kepada manusia bila mengkonsumsi tanaman (sayuran) tersebut, atau melalui rantai makanan dan akan terakumulasi dalam tulang karena bersifat seperti kalsium.

TATA KERJA

Pengambilan dan Persiapan Contoh

Pengambilan contoh dilakukan pada 5 daerah di Propinsi Jawa Timur yaitu sekitar Surabaya, Probolinggo, dan Situbondo untuk daerah dataran rendah, Malang, dan Jember untuk daerah dataran tinggi (pada gambar terlampir). Untuk tiap daerah diambil contoh tanaman

(sayuran) yang tumbuh di daerah tersebut seperti : bayam, kacang panjang, buncis, wortel, kol, kentang, cabe dan bawang. Setiap jenis contoh diambil di pasar sebanyak 5 – 10 kg berat segar. Semua contoh dibersihkan dari kotoran dan dicuci, lalu dikeringkan dalam oven, dan diabukan dalam tanur pada suhu ± 800°C hingga abu berwarna putih (bebas dari karbon) dan selanjutnya dianalisis secara radiokimia.

Analisis ⁹⁰Sr dan Pengukuran

Dari setiap abu yang terbentuk diambil sebanyak ± 50 gram untuk dianalisis, kemudian dibasahi dengan air suling, ditambah 50 mg pengemban Sr, dilindi dengan asam nitrat (HNO₃) pekat dan disaring. Ke dalam filtrat ditambahkan asam fosfat pekat dan amoniak untuk mengendapkan unsur-unsur golongan II (Ca, Sr, Ba, dll.). Endapan yang diperoleh dilarutkan dengan sedikit HNO₃ dan kemudian ditambah HNO₃ berasap untuk inemisahkan Ca sehingga diperoleh ⁹⁰Sr dan Ba dalam endapan. Barium dipisahkan dari ⁹⁰Sr dengan cara pengendapan dengan NaCrO₄. Pada larutan ⁹⁰Sr ditambahkan pengemban ytrium dan didiamkan selama ± 2 minggu untuk mencapai kesetimbangan sekuler antara ⁹⁰Sr dan ⁹⁰Y. Pada saat kesetimbangan tercapai, perbandingan antara aktivitas induk (⁹⁰Sr) dan anak luruhnya (⁹⁰Y) yang mempunyai waktu paro 64,1 jam mendekati 1, jadi aktivitas induk dan anak luruhnya dapat dikatakan sama. Kemudian pada larutan ditambahkan asam oksalat 8N untuk mendapatkan endapan ytrium oksalat lalu disaring, endapan dikeringkan dan siap untuk dicacah. Aktivitas ⁹⁰Sr didalam contoh ditentukan berdasarkan anak luruhnya yaitu ytrium oksalat.

Pengukuran menggunakan alat cacah berlatar belakang sangat rendah (*Low Background Counter*) sistem alfa/beta model LB-5100 (Tennelec) seri 17472 dengan detektor proporsional. Pencacahan dilakukan satu kali untuk masing-masing contoh dengan waktu cacah 60 menit tiap contoh, dan untuk cacah latar dilakukan pengukuran berulang kali dengan waktu cacah sama dengan waktu cacah contoh [6].

Untuk mengoreksi kesalahan yang dilakukan pada tahap-tahap analisis contoh karena tak dapat dihindari adanya kehilangan sejumlah tertentu unsur yang akan ditentukan, maka dilakukan juga penghitungan kedapatulangan (*recovery*) dengan perlakuan sama seperti pada contoh sayuran, tetapi pada analisis ini ditambahkan larutan standar ⁹⁰Sr yang diketahui aktivitasnya.

$$R = \frac{\text{Aktivitas yang didapatkan}}{\text{Aktivitas standar yang ditambahkan}} \times 100\%$$

Dalam penelitian ini dilakukan ulangan sebanyak 3 kali dengan hasil rata-rata = 65 %.

Kesalahan pengukuran dinyatakan oleh simpangan baku (standar deviasi) hasil pencacahan dengan bentuk persamaan sebagai berikut [7] :

$$Sd = \sqrt{(C_c + C_b) / t}$$

Konsentrasi ⁹⁰Sr dalam setiap contoh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_{Sr}^{90} = \frac{a_c \pm \sqrt{(C_c + C_b) / t}}{E \cdot R \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot W}$$

dimana :

- A = Aktivitas konsentrasi ⁹⁰Sr (Bq/kg)
- a_c = laju cacah contoh yang telah dikoreksi dengan laju cacah latar (cps)
- C_c = laju cacah contoh (cps)
- C_b = laju cacah latar (cps)
- t = waktu pencacahan (detik)
- E = efisiensi pencacahan (%)
- R = faktor kedapatulangan pada proses analisis (%)
- F₁ = faktor pertumbuhan ⁹⁰Y
- F₂ = faktor peluruhan ⁹⁰Y
- W = berat contoh (kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsentrasi ⁹⁰Sr pada beberapa jenis sayuran yang berasal dari beberapa daerah di Jawa Timur ditunjukkan pada Tabel 1.

Data konsentrasi ⁹⁰Sr yang diperoleh dari hasil penelitian ini bervariasi mulai dari tidak terdeteksi sampai yang tertinggi dijumpai pada contoh bayam yang berasal dari daerah Situbondo yaitu (10,86 ± 5,58) x 10⁻³ Bq/kg dan juga kacang panjang yaitu (10,54 ± 2,56) x 10⁻³ Bq/kg. Untuk contoh buncis, wortel, kol dan kentang , konsentrasi ⁹⁰ Sr tertinggi ditemui pada contoh yang berasal dari Probolinggo yaitu masing-masing : (5,16 ± 2,56) x 10⁻³ Bq/kg ; (9,55 ± 2,54) x 10⁻³ Bq/kg ; (2,23 ± 1,13) x 10⁻³ Bq/kg dan (8,31 ± 2,52) x 10⁻³ Bq/kg, sedangkan untuk contoh cabe yaitu (9,41 ± 4,51) x 10⁻³ Bq/kg yang berasal dari daerah Jember. Untuk contoh bawang , konsentrasi ⁹⁰ Sr yang tertinggi dijumpai pada contoh yang berasal dari Surabaya yaitu (9,28 ± 3,24) x 10⁻³ Bq/kg.

Umumnya konsentrasi ⁹⁰Sr yang tertinggi dijumpai dalam sayuran yang berasal dari Surabaya, Probolinggo dan Situbondo (daerah dataran rendah) seperti bawang , buncis, bayam dan kacang panjang, sedangkan untuk daerah dataran tinggi Malang dan Jember aktivitas ⁹⁰Sr dalam kentang dan cabe cukup tinggi. Hal ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan jenis tanah tempat tumbuh tanaman dan faktor transfer tanaman-tanaman tersebut. Pada tanah yang banyak mengandung mineral dan relatif sedikit zat-zat organik, ⁹⁰Sr akan susah atau sedikit sekali yang dapat diserap oleh tanaman. Sebaliknya pada tanah dengan kandungan mineral sedikit dan banyak mengandung zat organik, ⁹⁰Sr akan lebih mudah dan lebih bebas untuk diserap oleh tanaman. Jadi sifat fisika dan kimia tanah sangat berpengaruh dalam penyerapan ⁹⁰Sr [2]. Selain itu sebaran jatuhnya zat radioaktif dari atmosfer ke bumi akan selalu berubah karena keadaan meteorologi [8].

Bila hasil penelitian ini dibandingkan dengan data hasil penelitian sebelumnya di 11 daerah di Jawa Tengah dan 4 daerah di Jawa Timur bagian barat, ternyata hasilnya hampir sama yaitu konsentrasi ⁹⁰Sr yang tertinggi seperti terlihat pada Tabel 2 [3,4].

Data tersebut jika dibandingkan dengan nilai batas radioaktivitas yang diijinkan di lingkungan yaitu untuk konsentrasi ^{90}Sr dalam air 4 Bq/l, maka hasil tersebut masih lebih rendah [9]. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran konsentrasi ^{90}Sr yang tertinggi di Jepang untuk contoh yang sama, maka hasil yang didapatkan dari penelitian ini juga lebih kecil [10,11]. Hal ini dapat terjadi karena Jepang berada pada belahan bumi Utara dimana banyak dilakukan percobaan senjata nuklir oleh negara-negara maju, terjadinya pemboman kota Hiroshima dan Nagasaki, dan juga Jepang mempunyai banyak PLTN yang sedang beroperasi, sedangkan Pulau Jawa berada pada belahan bumi Selatan dan belum mempunyai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa : Konsentrasi ^{90}Sr dalam berbagai jenis sayuran bervariasi mulai dari tidak terdeteksi sampai yang tertinggi yang dijumpai pada contoh bayam dari Situbondo yaitu $(10,86 \pm 5,58) \times 10^{-3}$ Bq/kg . Nilai tersebut jauh lebih kecil dari nilai batas radioaktivitas di lingkungan yaitu 4 Bq/l untuk konsentrasi ^{90}Sr dalam air.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANNALIAH ISMONO, Radiasi Lingkungan, Diktat Latihan Keahlian Penentuan Cemaran Sr-90 dan Cs-137 dalam Air dan Makanan. PUSDIKLAT BATAN, Jakarta (1989).
2. SOEWONDO, dan DJOJOSOEBAGIO, Polusi Radioaktivitas terhadap Flora dan Fauna, IPB, Bogor, (1976).
3. EMLINARTI, SUTARMAN, ACHMAD CH, dan TUTIK INDIYATI, Konsentrasi Sr-90 di dalam sayuran di beberapa daerah di Jawa Tengah, Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR-BATAN. Jakarta (1994).
4. EMLINARTI, MINARNI, TUTIK INDIYATI, dan YURFIDA, Penentuan konsentrasi Cs-137 dan Sr-90 dalam tanaman pangan dari beberapa daerah di Jawa Timur, Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR-BATAN. Jakarta (1996).
5. ANONIM, Produksi Tanaman Sayuran di Jawa, BPS, Jakarta (1988) .
6. ANONIM, Penentuan Konsentrasi Cemaran Sr-90 dan Cs-137 Dalam Air dan Makanan, PSPKR- BATAN, Jakarta (1993).
7. ANONYMOUS, Measurement of Radionuclides in food and the Environmental, IAEA Technical Report Series, No.295, IAEA, Vienna (1988).
8. SUTARMAN, BAMBANG PRIWANTO, TUTIK INDIYATI, dan YURFIDA, Aspek meteorologi terhadap distribusi debu radioaktif di atmosfer dan lingkungan, Seminar Nasional Sains Atmosfir dan Meteorologi, Aula Timur-ITB, 12 Sept. (1995).
9. BATAN, Baku tingkat radioaktivitas di lingkungan , Keputusan Dirjen BATAN No.293/DJ/VII/1995, Jakarta, (1995).
10. ANONYMOUS, Radioactivity Survey Data in Japan Part 2 , NIRS, Chiba No.103, September (1994).
11. ANONYMOUS, Radioactivity Survey Data in Japan Part 2 NIRS. Chiba No.105 December (1994).

Tabel 1. Konsentrasi ⁹⁰ Sr di dalam beberapa jenis sayuran di Jawa Timur bagian Timur

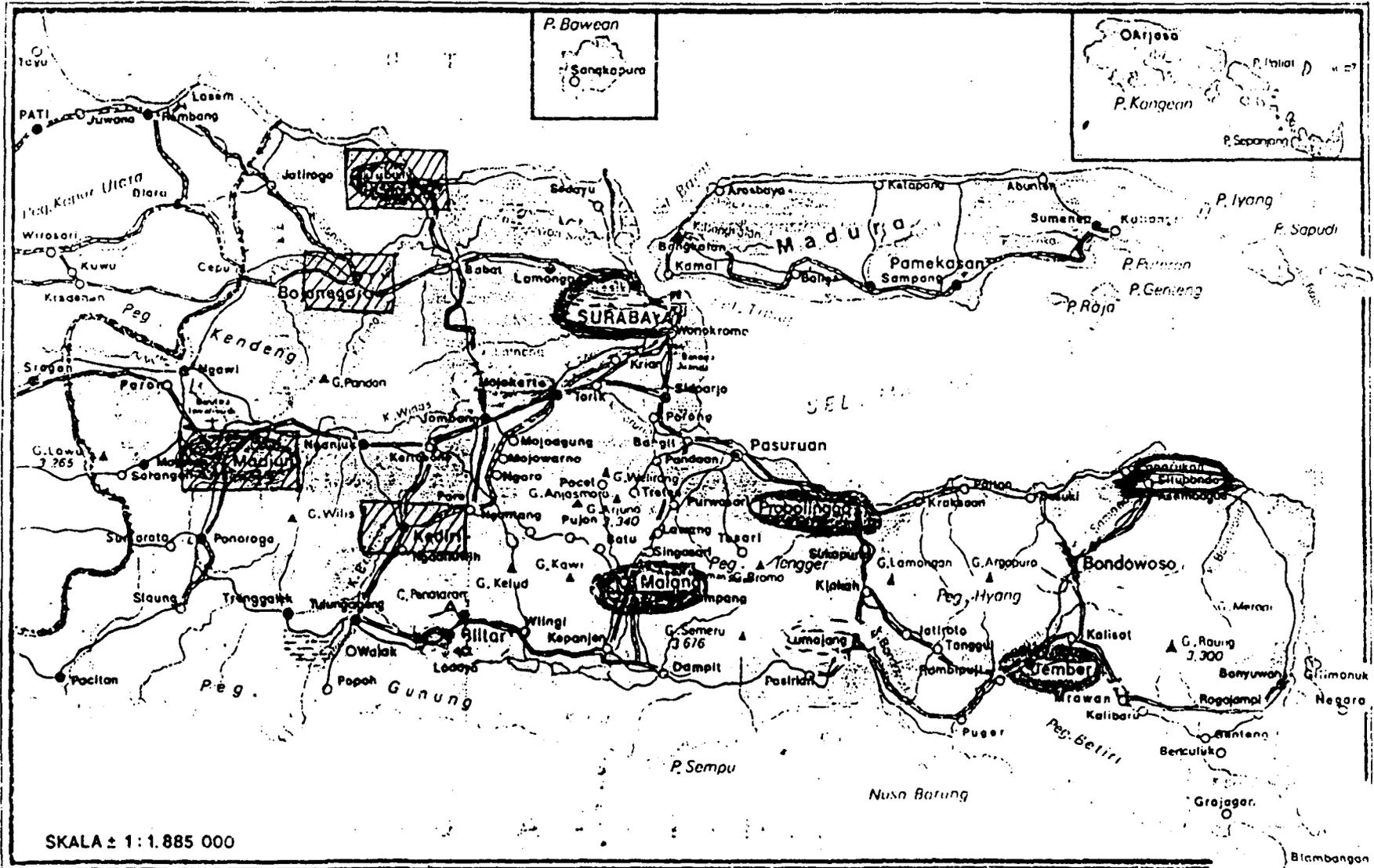
Jenis contoh	Konsentrasi ⁹⁰ Sr x 10 ⁻³ Bq /kg				
	Surabaya	Malang	Probolinggo	Situbondo	Jember
Bayam	2,96 ± 1,56	*	7,03 ± 5,62	10,86 ± 5,58	4,14 ± 1,35
K. panjang	4,73 ± 2,04	9,33 ± 3,36	*	10,54 ± 2,56	*
Buncis	-	*	5,16 ± 2,65	3,01 ± 2,41	3,56 ± 2,84
Wortel	-	3,55 ± 2,62	9,55 ± 2,54	-	-
K o l	-	*	2,23 ± 1,13	-	*
Kentang	-	7,48 ± 2,38	8,31 ± 2,52	-	-
Cabe	5,26 ± 3,30	*	*	2,37 ± 1,89	9,41 ± 4,51
Bawang	9,28 ± 3,24	*	9,24 ± 3,62	5,92 ± 3,38	-

Keterangan : * = tidak terdeteksi (≤ limit deteksi = 4,76 x 10⁻³ Bq)
 - = tidak ada contoh

Tabel 2. Konsentrasi tertinggi ⁹⁰Sr didalam beberapa tanaman pangan di P. Jawa dan Jepang (Juni – Desember 1992)

Jenis contoh	Konsentrasi ⁹⁰ Sr x 10 ⁻³ Bq/kg		
	Jawa Tengah [3]	Jawa Timur bagian barat [4]	Jepang [9,10]
Bayam	14,72	10,27	740
Kacang panjang	11,42	3,69	-
Buncis	6,96	-	-
Wortel	10,91	-	-
Kol	12,85	6,54	190
Kentang	9,56	3,01	-
Cabe	18,40	10,40	-
Bawang	5,37	7,76	69

Jawa Timur



DISKUSI

YUMIARTI

Sebelum dilakukan pemisahan apa tidak sebaiknya dilakukan pengukuran, gros β terlebih dahulu, jadi sekiranya aktivitas grosnya sama background, maka tidak perlu dilakukan pemisahan ?

EMLINARTI

Pengukuran gros β akan memberikan aktivitas dari semua pemancar radiasi β termasuk K-40 yang berasal dari alam sedangkan pada penelitian ini tujuan untuk memantau Sr-90 yang berasal dari produk fisi yang berguna untuk data dasar (awal) sebelum instalasi nuklir di Bogor, di Jawa Tengah.

SUWIRMA S.

Kami menyarankan agar hasil konsentrasi Sr-90 dalam sayuran dibandingkan dengan hasil sayuran yang sudah di anomitor ?

EMLINARTI

Hasil konsentrasi Sr-90 yang didapatkan pada penelitian ini relatif hampir sama dengan penelitian sebelumnya untuk beberapa daerah di Jawa Tengah.

PENGARUH MUSIM PANAS DAN MUSIM HUJAN TERHADAP APLIKASI FORMULASI TERKENDALI DIMETOAT PADA TANAMAN KEDELAI

Ulfa T. Syahrir, Ali Rahayu, M. Sulistyati,
Sofnie M.CH, dan Made Sumatra



ID0000133

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

PENGARUH MUSIM PANAS DAN MUSIM HUJAN TERHADAP APLIKASI FORMULASI TERKENDALI DIMETOAT PADA TANAMAN KEDELAI. Formulasi terkendali dimetoat (o,o dimetil s-(n-metil karbonil metil) fosforoditioat) di aplikasikan pada tanaman kedele dari varitas Willis, G-58, G-7, dan G-55. Dilakukan pengamatan terhadap serangan lalat bibit, ulat daun dan kerusakan polong serta residunya pada biji kedelai dan tanah. Pengukuran dilakukan dengan kromatografi gas menggunakan detektor fotometri nyala. Hasilnya menunjukkan bahwa pada musim hujan kerusakan tanaman kedele karena serangan hama lebih rendah daripada musim kemarau dan hasil yang didapat 7% lebih banyak.

ABSTRACT

THE EFFECT OF RAINY AND DRY SEASONS UPON THE APPLICATION OF CONTROLLED-RELEASE OF DIMETHOATE FORMULATION ON SOYBEAN PLANT. Controlled release formulation of dimethoate (o,o -dimetil s-(metil karbonil metil) fosforoditioate) was applicated on soybean varieties Willis, G-58, G-7, and G-55. The observation was made on damage leaves pod, and residue on seed and soil. The residue of dimethoate was determined using Gas Chromatography with Flame Photometric Detector . The result on rainy season that damage leaves pod and small and soybean grain 7% more than dry season.

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan komoditi yang penting selain beras, karena mengandung protein. Kebutuhan akan kedelai meningkat terus, sehingga kita melakukan impor kedelai sebesar lebih kurang 52.000 ton dari Januari sampai Maret 1997 (1). Mengingat manfaat yang besar dari kedelai ini. Pemerintah mengusahakan bermacam-macam cara untuk melindunginya antara lain dengan menggunakan insektisida untuk membasmi hama tanaman. Bentuk insektisida yang banyak dipakai saat ini antara lain berbentuk serbuk (wettable powder) berbentuk cairan (emulsion concentrate) dan berbentuk butiran (granular), sedangkan aplikasinya ada yang disemprotkan dan ada yang ditaburkan pada tanaman dimaksud (2,3).

Petani melakukan penyemprotan kadang-kadang berulang kali supaya tanaman terlindung dari serangan hama, hal ini kemungkinan akan menyebabkan pencemaran pada lingkungan sekitarnya. Untuk mengatasi hal itu dibuat formulasi pelepasan insektisida terkendali yang dilapisi matrik kaolin dan perekat alginat. Perekat ini bertujuan mencegah insektisida dari degradasi awal sebelum mencapai sasaran. Selain dari itu matrik alginat akan melepaskan insektisida secara terkendali sehingga aktifitas dan keberadaan insektisida itu lebih lama dibandingkan dengan cara konvensional (4).

Dalam penelitian ini dipakai insektisida dimetoat (o,o dimetil s-(n-metil karbonil metil) fosforoditioat) dari jenis organofosfat untuk membasmi serangga yang menyerang tanaman kedele yaitu hama penggerek polong

(*etella zinconella*) dan penggulung daun (*lamprosenia indicata*). Selain untuk membasmi hama tersebut, dimetoat juga dipakai untuk membasmi hama pada tanaman jeruk, tebu, kentang, kopi, teh serta dipakai juga untuk menyemprot bahan bangunan (5).

Formulasi terkendali dimetoat ini dibuat berbentuk granular, di aplikasikan pada tanaman kedelai di daerah Kuningan Jawa Barat, kemudian dilakukan pengamatan setelah tanam, yaitu serangan lalat bibit, penggerek polong dan tingkat kerusakan hama tersebut pada empat jenis varitas kedele. Dari 4 jenis tersebut yang diradiasi adalah jenis G-58, G-7, G-55 dan jenis Willis tanpa radiasi. Pada tanaman kedelai diberi perlakuan seperti yang dilakukan petani yaitu pemberian insektisida endosulfan, klorpirifos dan monokrotofos, pemberian formulasi terkendali dan tanpa perlakuan (kontrol).

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di daerah Kuningan Jawa Barat pada musim kemarau dan musim hujan. Formulasi dimetoat 5% dimasukkan bersamaan dengan bibit kedelai dari varitas Willis, G-58, G-7 dan G-55 yang telah diradiasi dengan dosis 0,5 kGy dengan laju dosis 60-80 Gray. Penanaman dilakukan pada petak yang berukuran 2x5 dengan jarak tanam 40 x 15 cm dan disekelilingnya ditanami border. Perlakuan dengan 3 variasi yaitu dengan perlakuan petani atau normal dengan memberikan insektisida klorpirifos, monokrotofos dan endosulfan, perlakuan dengan

formulasi terkendali dimetoat 5% dan kontrol (tanpa insektisida) dengan masing-masing ulangan 3 kali.

Bahan kimia. Bahan kimia yang dipakai dalam penelitian ini adalah dimetoat yang berasal dari PT Krikras B.A.S.F Jakarta, aseton, metanol, CH_2Cl_2 , alginat dan kaolin yang berasal dari PT. Indah Keramik Tangerang ukuran 35 mesh.

Peralatan. Alat yang dipakai terdiri dari Kromatografi Gas merk Shimadzu GC-7A dengan detektor fotometri Nyala.

Pembuatan formulasi. Alginat sebanyak 20 gram dilarutkan dalam air sedikit demi sedikit sampai terbentuk jelly dan diaduk sampai homogen, setelah itu dimasukkan insektisida dimetoat sebanyak 47,5 gram dan diteruskan pengadukan sampai insektisida larut semuanya. Setelah itu ditambahkan ke dalamnya kaolin sebanyak 312,5 gram dan dihomogenkan. Setelah homogen larutan kental ini dilewatkan melalui corong dan ditampung dengan larutan CaCl_2 0,5% , terbentuk butiran dan dikeringkan pada suhu kamar. Setelah kering siap untuk diaplikasikan pada tanaman kedelai.

Penggunaan Formulasi Dimetoat pada Tanaman Kedelai. Formulasi dimetoat diberikan bersamaan dengan penanaman biji kedelai ke dalam lobang yang telah disiapkan. Pengamatan dilakukan beberapa hari setelah tanam untuk melihat pertumbuhan kedelai dan serangan hama. Kemudian dilanjutkan dengan pengamatan hama polong dan lalat bibit karena hama polong ini mengisap isi polong sewaktu mulai terbentuk, dan juga dapat menyerang setelah polong terbentuk. Pengamatan selanjutnya terhadap berat kedelai sesudah panen.

Analisis Residu Dimetoat pada Tanah dan Kedelai. Tanah/kedelai sebanyak 20 gram diekstrak dengan 100 ml diklormetan, didekantir, diuapkan dan dimurnikan dengan memakai kolom kromatografi. Absorban yang dipakai adalah florisisil dengan eluen diklormetan. Hasil pemurnian yang berbentuk larutan di uapkan, kemudian pelarut diganti dengan aseton, dan disuntikkan pada Kromatografi Gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa intensitas serangan lalat bibit dan ulat daun pada musim kemarau lebih tinggi daripada musim hujan pada kondisi tanpa perlakuan insektisida (Io), perlakuan dengan formulasi terkendali dimetoat, perlakuan oleh petani atau normal (In). Dari kondisi diatas perlu diberikan insektisida karena serangan sudah merata.

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa kerusakan kedelai karena serangan hama daun dan lalat bibit lebih rendah pada musim hujan pada kondisi tanpa perlakuan insektisida (Io), dengan formulasi terkendali (Id) dan perlakuan normal (In).

Pada Tabel 3, dapat diketahui kerusakan hama kedelai yang disebabkan hama polong. Rata-rata kerusakan yang ditimbulkan pada musim hujan lebih rendah pada musim kemarau untuk ketiga perlakuan.

Dari Tabel 1, 2, dan 3, disimpulkan bahwa musim dapat mempengaruhi serangan dan kerusakan yang ditimbulkan hama. Hal ini disebabkan karena hujan yang turun akan mematikan populasi hama yang terbentuk.

Pada Tabel 4, terlihat bahwa persentase berat kedelai pada hasil panen lebih banyak pada musim hujan daripada saat musim kemarau untuk perlakuan tanpa insektisida (Io), formulasi terkendali (Id) maupun perlakuan normal (In).

Pada Tabel 5 dan 6, dapat dilihat bahwa residu dimetoat, endosulfan, klorpirifos dan monokrotofos tidak terdeteksi pada biji kedelai maupun tanahnya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena insektisida yang digunakan adalah jenis organofosfat yang mudah terurai di lingkungan dan pemakaiannya sesuai dosis yang di anjurkan [2].

Dari hasil penelitian ini perbedaan dari formulasi terkendali dengan pemberian secara normal seperti yang dilakukan petani belum terlihat beda yang nyata. Dari segi ekonomis sangat menguntungkan karena pemakaiannya hanya 1 kali pada saat awal penanaman bibit kedelai sehingga mengurangi pencemaran lingkungan. Pada penggunaan secara normal pestisida disemprot selang 10 hari pada masa tanamnya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa formulasi dimetoat bisa dipakai untuk mengendalikan hama yang menyerang tanaman kedelai. Pada musim hujan serangan hama berkurang dibandingkan dengan musim kemarau dan hasil panen yang didapat lebih banyak. Penggunaan formulasi secara ekonomis menguntungkan karena hanya 1 kali penggunaan sampai panen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Saudara Elida Djabir dan Patuan Sitorus atas bantuannya dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim perkebunan Kuningan Jawa Barat yang telah menyediakan lahan percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Biro Pusat Statistik (BPS), Jakarta 1997.
2. ANONIM, Pestisida Untuk Pertanian dan Kehutanan, Departemen Pertanian (1997).
3. AUDUS, L.J., The biological detoxification of hormone herbicide in soil” Plant & Soil 3 (1964).
4. GAN, J., HUSSAIN, M. and RATHOR, M.N., Behavior of alginat kaolin based controlled release formulation of the herbicide thiobencarb in simulated ecosystem, *pestic. Sci.* 42 (1994).
5. MEISTER, T.R., Farm Chemical Handbook (1985).

Tabel 1. Intensitas serangan lalat bibit dan ulat daun

Var.	Io				Id				In			
	Lb		Ud		Lb		Ud		Lb		Ud	
	K	H	K	H	K	H	K	H	K	H	K	H
Wilis	5	4	5	3,7	4	4,3	5	3,7	3	3	5	4,7
G-58	5	3,3	5	3,7	5	3,3	5	3,3	5	4,3	5	4,7
G-7	5	4,3	5	2,7	5	2,7	5	4,3	5	4	5	4,4
G-55	5	4,7	5	4	5	4,3	5	2,7	4	5	5	4

Keterangan: Io = tanpa perlakuan insektisida
 Id = perlakuan dengan formulasi terkendali dimetoat
 In = perlakuan dengan klorpirifos, endosulfan, dan monokrotofos (normal petani)
 Lb = Lalat bibit
 Ud = ulat daun
 K = musim kemarau
 H = musim hujan
 5 = serangan merata

Tabel 2. Tingkat kerusakan kedelai karena serangan ulat daun dan lalat bibit (%)

Varietas	Io		Id		In	
	K	H	K	H	K	H
Wilis	26,6	12,3	28,3	10,7	10,0	10,0
G-58	43,3	12,7	53,3	9,0	21,7	13,7
G-7	31,6	16,7	30,3	7,3	20,0	8,7
G-55	41,6	12,3	23,3	10,3	8,7	9,7

Tabel 3. Tingkat kerusakan kedelai serangan hama polong (%)

Varietas	Io		Id		In	
	K	H	K	H	K	H
Wilis	4,3	3,1	3,7	3,0	4,0	2,4
G-58	3,0	2,1	2,7	2,7	3,0	2,1
G-7	3,7	2,0	5,0	2,0	3,7	2,2
G-55	5,0	3,0	4,3	2,5	2,7	2,0

Tabel 4. Berat biji kedelai yang tidak terserang (%)

Varietas	Io		Id		In	
	K	H	K	H	K	H
Wilis	50	60	55	64	61	65
G-58	61	70	51	62	50	56
G-7	42	50	50	60	54	60
G-55	71	75	73	78	72	75

Tabel 5. Residu pestisida pada tanah saat panen

Varietas	K				H			
	dimet.	e.sulfan	klorp.	monok.	dimet.	e.sulfan	klorp.	monok.
Wilis	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-58	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-7	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-55	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd

Tabel 6. Residu pestisida pada kedelai saat panen

Varietas	K				H			
	dimet.	e.sulfan	klorp.	monok.	dimet.	e.sulfan	klorp.	monok.
Wilis	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-58	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-7	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
G-55	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd

Keterangan: dimet. = dimetoat, e.sulfan = endosulfan, klorp. = klorpirifos, dan monok. = monokrotofos

DISKUSI

MADE SUMARTI K.

Apa yang dimaksud dengan formulasi terkendali dimetoat ?

ULFA T. SYAHRIR

Formulasi terkendali adalah suatu formula insektisida yang dibuat menggunakan pengikat (alginat) dan matrik pengisi (kaolin) untuk membentuk formulasi insektisida baru yang diharapkan dapat mencegah insektisida ini dari degradasi awal dan penguapan oleh matahari sebelum mencapai sasaran (hama). Pengelepasan formula insektisida ini dapat dikendalikan dan menjadi maksimal pada serangan hama meningkat, sehingga panen yang dihasilkan lebih baik.

HENDIG WINARNO

Kenapa serangan lebih berkurang pada musim hujan dibanding kemarau ?

Saran : Lebih baik data yang ditulis dalam angka dilampirkan dalam bentuk grafik.

ULFA T. SYAHRIR

Hal ini disebabkan karena larva dari hama disiram hujan, sehingga menjadi mati. Terima kasih atas sarannya dan akan digunakan pada waktu yang akan datang.

HARYONO SUBAGYO

1. Apa tujuan penggunaan formulasi terkendali dimetoat, apakah terhadap hasil kedele atau yang lainnya ?

2. Apa yang menyebabkan perbedaan serangan pada musim hujan dan musim panas ?

ULFA T. SYAHRIR

- Tujuan penggunaan formulasi terkendali :
 - Supaya hasil pertanian didapat lebih banyak, karena kita import ke dele ± 70 % sampai tahun 1998.
 - Mengurangi pencemaran lingkungan karena pemakaian hanya sekali saja sampai panen.
 - Menguntungkan dari segi ekonomis, dibandingkan dengan formulasi yang biasa dipakai petani, biasanya menggunakan insektisida setiap 10 hari sampai serangan berkurang.
- Karena ada hujan, larva hama yang terbentuk disiram dan mati.

WINARTI ANDAYANI

- Apa ada perbedaan hasil pada empat varietas ?
- Kenapa hasil dengan formulasi terkendali agak rendah dibandingkan dengan formulasi insektisida yang digunakan petani ?

ULFA T. SYAHRIR

- Perbedaan hampir tidak ada.
- Pada penelitian ini kita melakukan uji dari formulasi terkendali yang dibuat dan selanjutnya akan dikembangkan dengan perbaikan pembuatan formulasi terkendali ini. Tetapi petani menggunakan intektisida selang 10 hari sampai serangan hama tidak ada (panen), sedangkan kami menggunakan formulasi terkendali ini sekali saja sampai panen.

ANALISIS TERMOGRAVIMETRI POLIMER CAMPURAN AKRILAT - VINIL ETER HASIL "CURING" SECARA RADIASI

Sugiarto Danu* dan Takashi Sasaki**



ID0000134

* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

** Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment - JAERI, Takasaki, Jepang

ABSTRAK

ANALISIS TERMOGRAVIMETRI POLIMER CAMPURAN AKRILAT - VINIL ETER HASIL "CURING" SECARA RADIASI. Penelitian untuk menentukan sifat kestabilan termal lapisan polimer campuran akrilat dan vinil eter hasil "curing" secara radiasi telah dilakukan menggunakan analisis termogravimetri. Tiga macam oligomer akrilat yaitu epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat, serta monomer vinil eter yaitu trietilen glikol divinil eter (DVE-3), 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE), dan butandiol monovinil eter (HBVE) dipakai dalam penelitian ini. Iradiasi dilakukan menggunakan mesin berkas elektron pada dosis antara 20 dan 80 kGy dalam atmosfer nitrogen. Polimerisasi berlangsung melalui polimerisasi radikal dan kationik. Dalam hal polimerisasi kationik, campuran ditambah fotoinisiator difeniliodonium heksafluorofosfat (Ph_2IPF_6). Analisis termogravimetri dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan kecepatan aliran nitrogen 40 ml/menit dan kecepatan pemanasan 10 °C/menit dengan rentang suhu pengukuran antara 25 dan 500 °C. Hasil percobaan menunjukkan bahwa campuran polimer akrilat dan DVE-3 menghasilkan lapisan dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding campuran dengan CHVE atau HBVE. Komposisi campuran akrilat dengan vinil eter, dan derajat ketidakjenuhan monomer vinil eter, menentukan kestabilan termal polimer. Oligomer epoksi akrilat dan polipropilen glikol diakrilat dalam campurannya dengan monomer vinil eter mempunyai 1 suhu awal dekomposisi termal sedangkan campuran uretan akrilat dengan vinil eter mempunyai 2 suhu awal dekomposisi termal.

ABSTRACT

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF THE POLYMER ACRYLATE - VINYL ETHER MIXTURE CURED BY RADIATION. An experiment on thermal stability of the polymer acrylate - vinyl ether mixture cured by radiation have been done using thermogravimetric analysis. Three kinds of acrylic oligomers i.e., epoxy acrylate, urethane acrylate, and polypropylene glycol diacrylate, and vinyl ether monomers i.e., triethylene glycol divinyl ether (DVE-3), 1,4 - cyclohexane dimethanol divinyl ether (CHVE), and butanediol monovinyl ether (HBVE) were used in the experiment. Reaction was taken via radical and cationic polymerisation. In case of cationic polymerisation, diphenyliodonium hexafluorophosphate fotoinisiator was used in the formulation. Thermogravimetric analysis was conducted in a nitrogen atmosphere at a flow rate of 40 ml/minute with a constant heating rate 10 °C and evaluation range were done from 25 to 500 °C. The results of thermogravimetric analysis showed that acrylate and DVE-3 mixture produced the polymer films with higher thermal stability than the mixture of acrylate with CHVE or HBVE. The composition of acrylate - vinyl ether mixture and degree of unsaturation of vinyl ether monomers influenced the thermal stability of polymer. The mixture of epoxy acrylate - vinyl ether and polypropylene glycol diacrylate - vinyl ether have 1 initial decomposition temperature whereas the urethane acrylate - vinyl ether mixture has 2 initial decomposition temperatures.

PENDAHULUAN

Pada umumnya bahan pelapis radiasi didasarkan pada molekul-molekul yang mengandung gugus fungsional akrilat karena kecepatan pengeringannya ("curing") yang tinggi jika diiradiasi berkas elektron atau sinar-UV. Menurut GOLDEN [1], hampir 95 % bahan pelapis radiasi merupakan senyawa akrilat, dan polimerisasi berlangsung melalui reaksi ikatan silang radikal bebas. Sistem bahan pelapis yang mengandung monomer akrilat sebagai diluen mempunyai beberapa kelemahan karena monomer ini mempunyai bau yang tajam, toksik, serta menyebabkan iritasi. Salah satu diluen reaktif yang mempunyai sifat iritasi dan toksisitas rendah jika dibandingkan monomer akrilat adalah monomer vinil eter. Reaksi antara oligomer akrilat

dengan monomer vinil eter dapat berlangsung melalui polimerisasi radikal, kationik, atau hibrida. Beberapa peneliti telah mempelajari reaksi antara oligomer akrilat dengan monomer vinil eter, baik dari segi kinetika, mekanisme reaksi, maupun sifat fisik dan mekanik lapisan hasil iradiasi [2-4]. Dalam aplikasinya sifat lapisan polimer yang dipakai sebagai bahan pelapis permukaan harus dapat melindungi permukaan bahan dari pengaruh luar yang bersifat merusak, misalnya gesekan, panas, cuaca, bahan kimia dan lain-lain. Penekanan perlindungan ini tergantung pada keadaan yang dialami bahan tersebut selama pemakaiannya. Beberapa produk tertentu misalnya mebel dapur, "printed circuit boards", reflektor, sel matahari, dan semua produk pelapisan yang mengalami pemanasan selama pemakaiannya, memerlukan lapisan yang

mempunyai kestabilan termal yang tinggi. Analisis termogravimetri merupakan metode yang paling penting untuk mempelajari kestabilan termal polimer.

Dalam penelitian ini dipelajari sifat termal lapisan polimer campuran oligomer akrilat dan monomer vinil eter hasil "curing" menggunakan radiasi berkas elektron. Adapun oligomer akrilat yang dipakai adalah epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat, sedangkan monomer vinil eter yang dipakai adalah trietilen glikol divinil eter, 1,4 - sikloheksan dimetanol divinil eter, dan butandiol monovinil eter.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Tiga macam oligomer akrilat yaitu epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat masing-masing dengan kode EA-1020, U-200AX, dan APG-700 produksi Shin-Nakamura Chemical Co., Ltd. Jepang. Trietilen glikol divinil eter, 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter dan butandiol monovinil eter, masing-masing dengan nama komersial Rapi-Cure DVE-3, Rapi-Cure CHVE, dan Rapi-Cure HBVE serta buatan International Specialty Products, Amerika Serikat. Fotoinisiator kationik garam difenilliodonium heksafluorofosfat (Ph_2IPF_6) diperoleh dari TRCRE - JAERI, Takasaki, Jepang. Struktur kimia, berat molekul, dan fungsionalitas oligomer akrilat dan monomer vinil eter disajikan pada Tabel 1. Sebagai substrat lapisan dipakai plat baja tebal 1 mm.

Alat. Sumber radiasi yang dipakai adalah mesin berkas elektron tipe Curetron Model EBC-300 buatan Nissin High Voltage, Jepang, mempunyai tegangan operasi 300 kV dan arus 100 mA. Analisis termogravimetri dilakukan menggunakan Themogravimetric Analyzer TGA-50 buatan Shimadzu.

Percobaan. Komposisi campuran oligomer dan monomer, kondisi iradiasi, dan pembuatan contoh uji lapisan telah diuraikan pada percobaan sebelumnya [4]. Dalam percobaan ini konsentrasi fotoinisiator yang dipakai sebesar 1 % berat dari campuran oligomer dan monomer.

Pengukuran dilakukan dalam atmosfer nitrogen pada kecepatan aliran 40 ml/menit, dengan kecepatan pemanasan 10 °C/menit, dan suhu pemanasan maksimum 500 °C. Berat contoh uji antara 4 - 6 mg. Data termogravimetri diperoleh dari gambar hubungan persen pengurangan berat versus suhu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dekomposisi termal. Analisis termogravimetri campuran polimer akrilat - vinil eter dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis oligomer akrilat, monomer vinil eter terhadap kestabilan termal lapisan yang diiradiasi pada dosis tertentu menggunakan radiasi berkas elektron. Pemilihan dosis tersebut didasarkan pada sifat fisik dan mekanik lapisan yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya [4]. Menurut CHIANG dan CHIANG [5], suhu awal terjadinya dekomposisi termal T_0 dan suhu pada pengurangan berat 10 % (T_{10}) merupakan faktor

terpenting untuk mengetahui kestabilan termal suatu polimer. Suhu awal terjadinya dekomposisi termal terjadi pada keadaan dimana contoh uji mulai mengalami kehilangan berat secara drastis. Keadaan ini dapat diamati dari melengkungnya kurva (termogram) secara mendadak. Semakin tinggi nilai T_0 dan T_{10} , semakin tinggi kestabilan termal polimer.

Campuran Epoksi Akrilat dan Vinil Eter.

Gambar 1 menunjukkan dekomposisi termal campuran epoksi akrilat dan vinil eter. Suhu dekomposisi pada pengurangan berat 10 % (T_{10}) campuran EA-1020 / DVE-3 yang diiradiasi pada dosis 20 kGy lebih tinggi dibanding campuran EA-1020 / HBVE yang diiradiasi pada dosis 60 kGy. Campuran tersebut dengan perbandingan 1:1 mempunyai T_{10} masing-masing 345,1 °C dan 337,2 °C, sedangkan nilai T_0 adalah 385,9 °C dan 389,9 °C. Nilai T_0 campuran EA-1020 / DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 adalah 345,1 °C dan 371,4 °C, sedangkan untuk perbandingan yang sama dengan menggunakan monomer HBVE adalah 337,2 °C dan 345,0 °C. Dengan dosis lebih rendah yaitu 20 kGy, campuran epoksi akrilat dengan DVE-3 menghasilkan kestabilan lebih tinggi dibanding campuran dengan HBVE yang diiradiasi pada dosis 60 kGy. Monomer DVE-3 mempunyai derajat ketidakjenuhan 2 (difungsional) sedangkan derajat ketidakjenuhan HBVE adalah 1 (monofungsional). Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan monomer, semakin tinggi densitas ikatan silangnya. Semakin tinggi densitas ikatan silang, semakin tinggi kestabilan termalnya [6].

Reaksi pembentukan kopolimer akrilat - vinil eter lebih banyak terjadi pada perbandingan 2:1 dibanding campuran dengan perbandingan 1:1. Reaksi antara senyawa akrilat (poliester akrilat) dan monomer DVE-3 dimonitor oleh DECKER dan DECKER [7] dalam penelitiannya menggunakan Spektroskopi RTIR (Real Time Infra Red). Ikatan rangkap hilang pada bilangan gelombang 1628 cm^{-1} dan gugus akrilat hilang pada bilangan gelombang 1415 cm^{-1} . Data tersebut memberi informasi bahwa sejak awal reaksi kopolimerisasi antara akrilat dan vinil eter sudah berlangsung, dan kemudian berhenti setelah konsentrasi akrilat dalam sistem sudah tinggal sedikit. Radikal akrilat lebih mudah bereaksi dengan ikatan rangkap akrilat, sedangkan radikal vinil eter hanya bereaksi dengan akrilat. CHAWLA dan JULIAN [8] mendapatkan bahwa dalam sistem campuran akrilat, maleat, dan eter, polimerisasi gugus akrilat berlangsung lebih cepat dibanding campuran maleat - vinil eter. Polimerisasi akrilat lebih dominan dibanding polimerisasi vinil eter.

Nilai T_0 campuran EA-1020 dan DVE-3 pada perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing adalah 385,9 °C dan 395,1 °C sedangkan campuran EA-1020 dan HBVE dengan perbandingan yang sama adalah 389,9 °C dan 399,3 °C.

Sifat dekomposisi termal lapisan campuran epoksi akrilat-vinil eter hasil "curing" melalui polimerisasi kationik terdapat pada Gambar 2. Pada dosis yang sama yaitu 20 kGy, campuran EA-1020 / DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 nilai T_{10} masing-masing adalah 186,9 °C dan 192,3 °C, sedangkan campuran dengan HBVE nilainya 162,2 °C dan 175,5 °C. Hal ini menunjukkan bahwa campuran epoksi akrilat dengan DVE-3 menghasilkan

polimer yang lebih stabil dibanding campuran dengan HBVE. Nilai campuran kedua bahan tersebut berkisar antara 382 °C dan 389 °C. Termogram pada Gambar 1 dan 2 memberi informasi bahwa dengan adanya 1 harga T_0 berarti ada 1 kopolimer dengan berat molekul tertentu yang merupakan komponen terbesar dalam lapisan tersebut. Polimerisasi radikal epoksi akrilat menghasilkan lapisan dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding polimerisasi kationik.

Campuran Uretan Akrilat - Vinil Eter.

Dekomposisi termal campuran uretan akrilat dan vinil eter hasil "curing" melalui polimerisasi radikal disajikan dalam Gambar 3. Adanya 2 puncak pada setiap termogram menunjukkan bahwa sistem campuran U-200AX dan monomer vinil eter menghasilkan 2 komponen polimer terbesar. Nilai suhu awal dekomposisi pertama (T_{01} , T_{10} , dan suhu awal dekomposisi kedua (T_{02}) campuran U-200AX/DVE-3 (1:1) yang diiradiasi pada dosis 80 kGy masing-masing adalah 268,8, 282,6, dan 363,8 °C, sedangkan campuran dengan perbandingan 2:1, nilainya masing-masing adalah 279,2, 293,8, dan 381,6 °C. Pada kondisi yang sama, lapisan U-200AX dan HBVE menghasilkan polimer dengan nilai (T_{01} , T_{10} , dan (T_{02}) yang lebih rendah dibanding campuran dengan DVE-3.

Gambar 4 menunjukkan dekomposisi termal campuran U-200AX dan vinil eter hasil reaksi polimerisasi kationik. Seperti halnya pada polimerisasi radikal, campuran U-200AX dan vinil eter menghasilkan 2 nilai T_0 . Perbandingan campuran 2:1 menghasilkan polimer dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding campuran 1:1. Derajat ketidak jenuhan monomer DVE-3 yang lebih tinggi dibanding HBVE menghasilkan campuran dengan kestabilan termal yang lebih tinggi pula.

Campuran Polipropilen Glikol Diakrilat - Vinil Eter.

Dekomposisi termal campuran polipropilen glikol diakrilat (APG-700) dan vinil eter hasil reaksi polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy disajikan pada Gambar 5. Baik DVE-3 maupun CHVE merupakan monomer difungsional sedangkan HBVE adalah monomer monofungsional. Nilai T_{10} dan T_0 campuran APG-700 / DVE-3 dengan perbandingan 2:1 masing-masing adalah 322,0 dan 349,8 °C sedangkan campuran dengan CHVE pada perbandingan yang sama mempunyai T_{10} dan T_0 masing-masing 228,4 dan 349,7 °C. Campuran APG-700 / HBVE mempunyai T_{10} dan T_0 lebih rendah yaitu 219,9 dan 237,1 °C. Demikian juga hasil pengukuran dekomposisi termal campuran APG-700 dan vinil eter hasil polimerisasi kationik (Gambar 6). Kestabilan termal campuran hasil polimerisasi kationik lebih tinggi dibanding yang dihasilkan melalui polimerisasi radikal. Nilai T_{10} Campuran APG-700 dengan DVE-3, CHVE, dan HBVE masing-masing adalah 322,6, 334,2, dan 317,1 °C sedangkan nilai T_0 masing-masing adalah 363,0, 367,2, dan 354,4 °C. Dengan menggunakan Spektroskopi RTIR, DOUGHERTY dan CRIVELLO [9], mempelajari fraksi-gel hasil "curing" polimerisasi kationik beberapa monomer vinil eter. Disimpulkan bahwa vinil eter dengan rantai utama hidrokarbon seperti CHVE dan HDDVE (heksandiol divinil eter) mempunyai reaktivitas yang tinggi karena tidak ada eter nukleofilik dalam monomer. Hal ini diketahui dari berkurangnya penyerapan IR pada bilangan

gelombang 1635 cm^{-1} dengan cepat selama reaksi polimerisasi.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran analisis termogravimetri terhadap polimer campuran akrilat - vinil eter dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kestabilan termal polimer campuran oligomer akrilat - monomer trietilen glikol divinil eter (DVE-3) atau 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE) lebih tinggi dibanding campuran dengan butandioli monovinil eter (HBVE). Komposisi campuran akrilat - vinil eter menentukan kestabilan termal polimer yang dihasilkan.
2. Campuran epoksi akrilat - vinil eter dan polipropilen glikol diakrilat - vinil eter menghasilkan 1 macam kopolimer sedangkan campuran uretan akrilat - vinil eter menghasilkan 2 macam kopolimer yang merupakan komponen terbesar dari berbagai jenis polimer yang dihasilkan. Hal ini dapat diketahui dari jumlah suhu awal terjadinya dekomposisi termal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Jepang yang telah memberi dana penelitian melalui "Science and Technology Agency Exchange Program", dan seluruh staf di Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI, Takasaki, yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

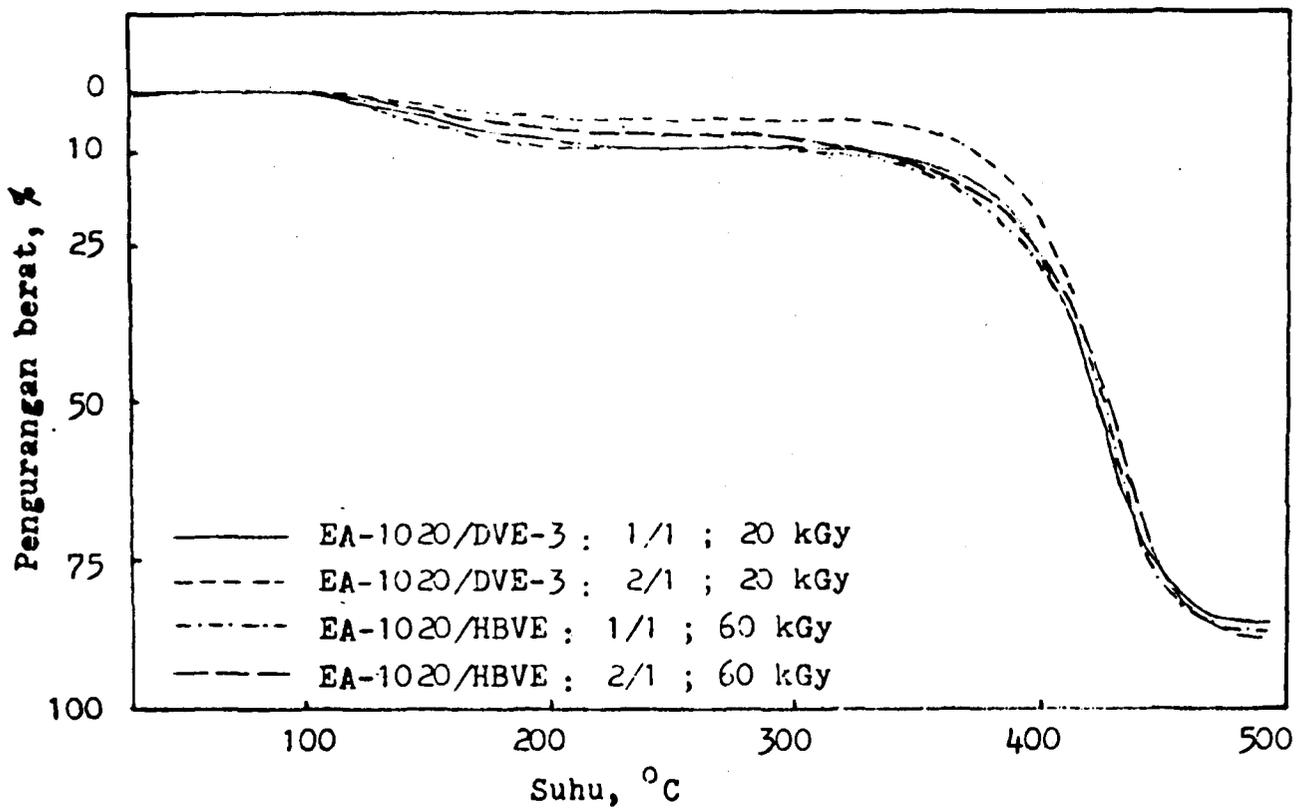
DAFTAR PUSTAKA

1. GOLDEN, R., "Overview and trends in radiation curing technology", Proceedings RadTech Europe '89, Florence (1989) 11.
2. LAPIN, S. C., NOREN, G. K., and ZAHORA, E. P., "Non-acrylate UV curable wood coatings", Proceedings of RadTech North America '94, Vol. I Orlando (1994) 621.
3. ANSELL, J. M., "Safety assesment of a new reactive diluent : Triethylene glycol divinyl ether ", Proceedings of RadTech North America '90, Northbrook (1990).
4. DANU, S., dan SASAKI, T., "Sifat fisik dan mekanik campuran akrilat - vinil eter yang diiradiasi berkas elektron", Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi 1996/1997, Jakarta (1997), belum diterbitkan.
5. DANU, S., SUNDARDI, F., TRIMULYADI, G., KICKY, L.T.K., ANUNARNI, A., dan DARSONO, "Radiation curing of commercial acrylate and polyester based compound for surface coating",

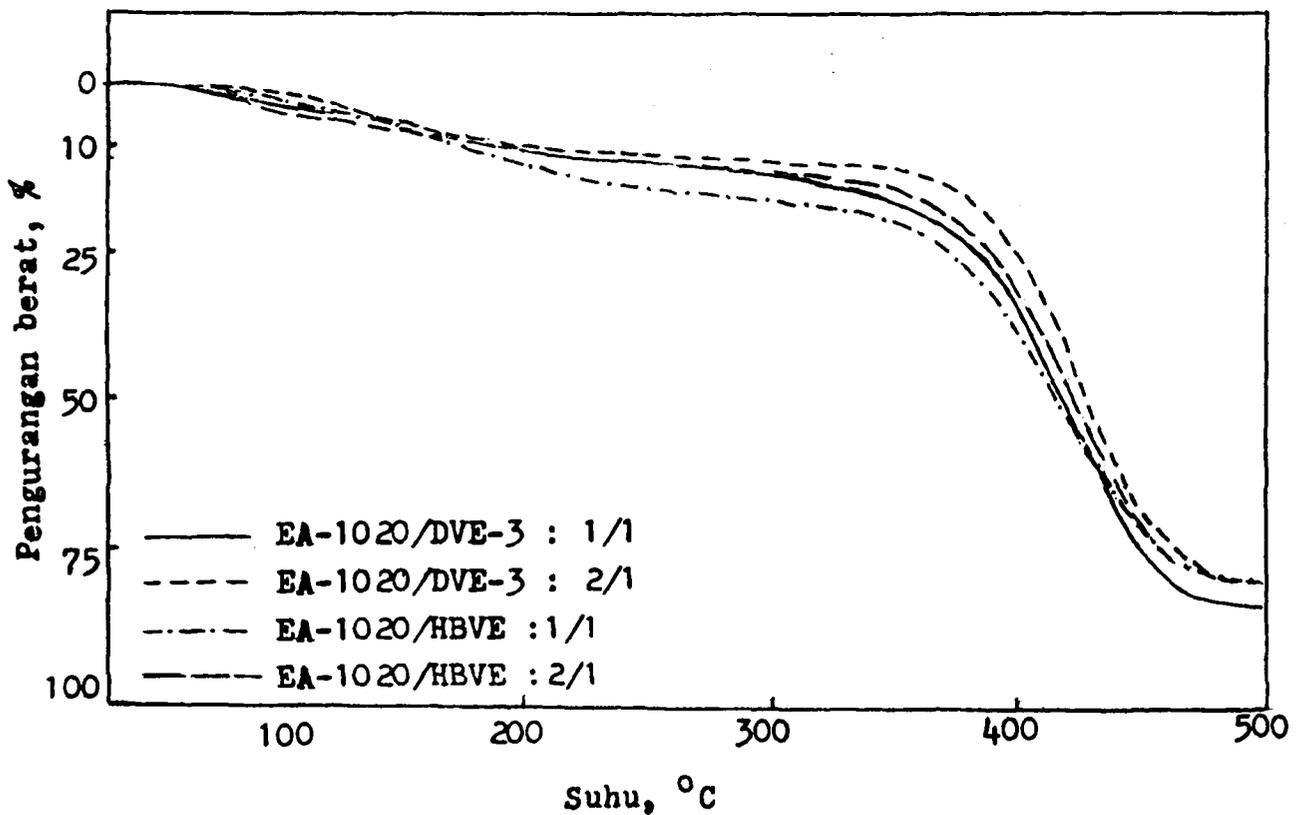
- Proceedings First Indonesia-JICA Polymer Symposium Cum - Workshop, Research and Development Centre for Applied Physics LIPI and Japan International Cooperation Agency, Bandung (1989) 160.
6. DANU, S., MARSONGKO, M., dan SUMARTI, M., "Karakterisasi film prapolimer akrilat Synocure 3131 hasil iradiasi berkas elektron", Proceedings Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung (1994) 347.
 7. DANU, S., and MARSONGKO, M., "Effect of acrylate monomers on thermal stability of electron beam-cured polyester acrylate", Proceedings Second ASEAN - JAPAN Symposium on Polymers, Bandung (1992) 165.
 8. CHIANG, W. J., and CHIANG, W. C., Condensation polymerization of multifunctional monomers and properties of related polyester resins, *J. Of Appl. Pol. Sc.* 35 6 (1988) 1433.
 9. THALACKER, V.P., and BOETTCHER, T.E., Radiation curing for thermal stability, *Radiation Curing*, November (1985) 2.
 10. DECKER, C., and DECKER, D., "Kinetic and mechanistic study of the UV-curing of vinyl ether based systems", *Proceedings of RadTech North America '94*, Vol. I Orlando (1994) 602.
 11. CHAWLA, C. P., and JULIAN, J. M., "Photocopolymerization behaviour of vinyl ether, maleate, and acrylate systems", *Proceedings of RadTech North America '94*, Vol. I Orlando (1994) 617.
 12. DOUGHERTY, J. A., JURZAK, E. E., VARA, F. J., and BURLANT, W. J., "Vinyl ethers : Key monomers for radiation curable coatings", *Proceeding of RadTech Asia '93*, Tokyo (1993) 106.
-

Tabel 1. Struktur kimia, berat molekul, dan derajat ketidak jenuhan oligomer akrilat dan monomer vinil eter

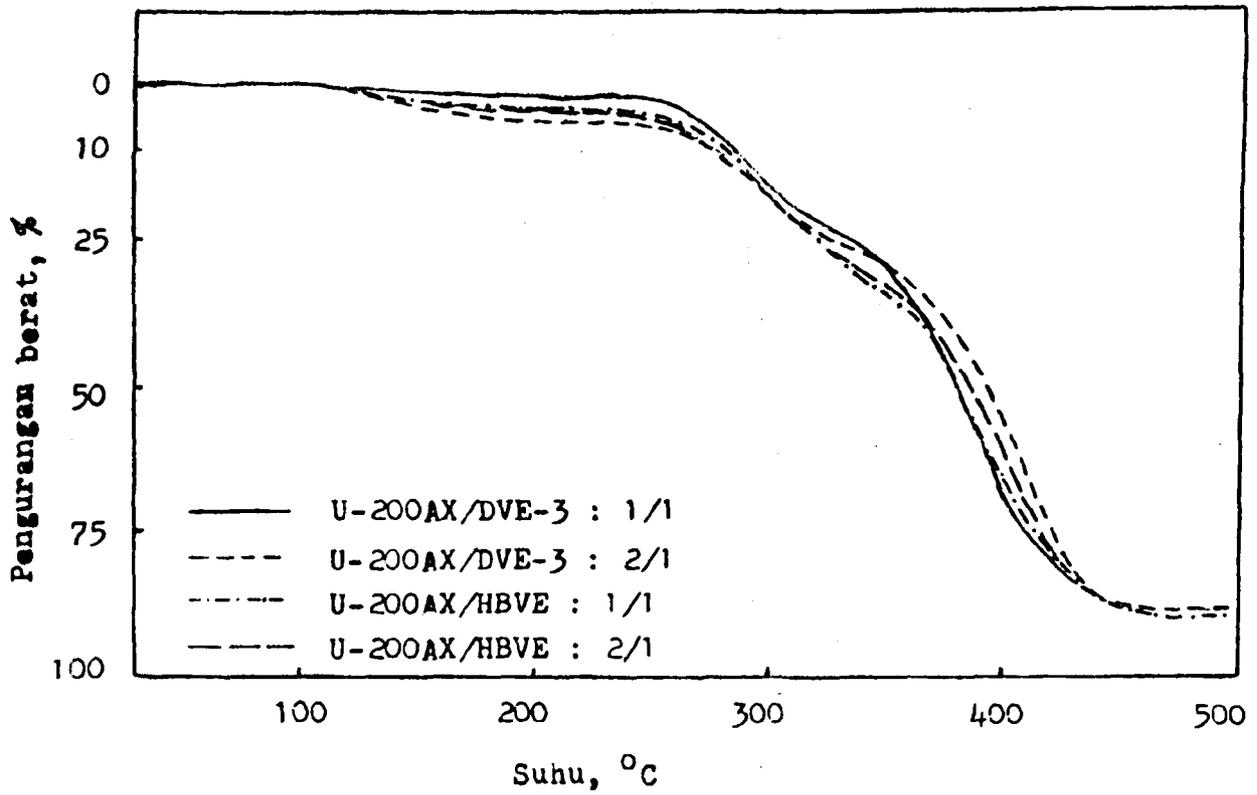
Bahan kimia	Struktur kimia	Berat molekul	Derajat ketidak jenuhan
Epoksi akrilat (EA-1020)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{R}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$ $\text{R} = \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{OH} \end{array} \right]_n$	520	2
Uretan akrilat (U-200AX)	-	2720	2
Polipropilen glikol diakrilat (APG-700)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \\ \text{CH}_2=\text{CHCOO}-(\text{CHCH}_2\text{O})_m-(\text{CH}_2\text{CHO})_n-\text{OCCH}=\text{CH}_2 \\ m+n=12 \end{array}$	808	2
Trietilen glikol divinil eter (DVE-3)	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_3-\text{O}-\text{CH}=\text{CH}_2$	202	2
1,4- Sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_{10}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}=\text{CH}_2$	166	2
Butandiol monovinil eter (HBVE)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	126	1



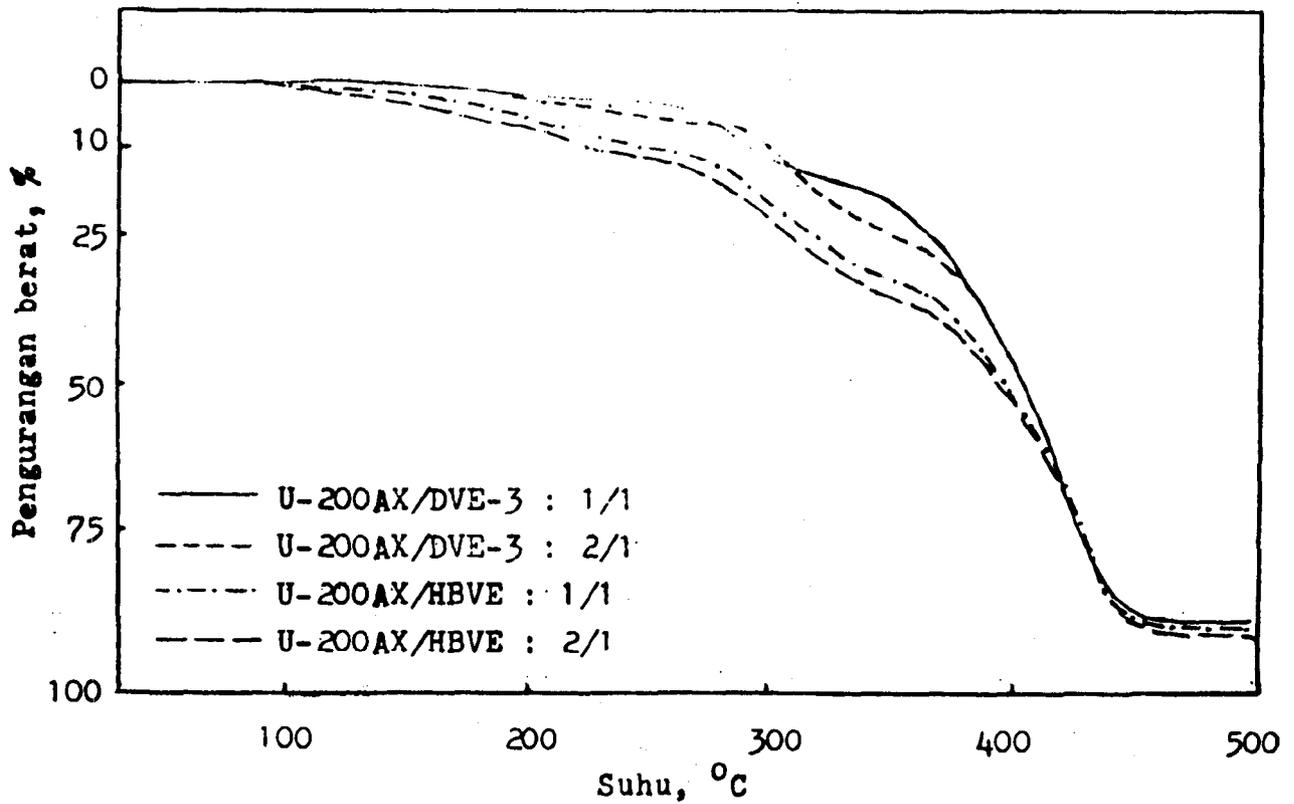
Gambar 1. Dekomposisi termal polimer campuran epoksi akrilat - vinil eter hasil reaksi polimerisasi radikal. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.



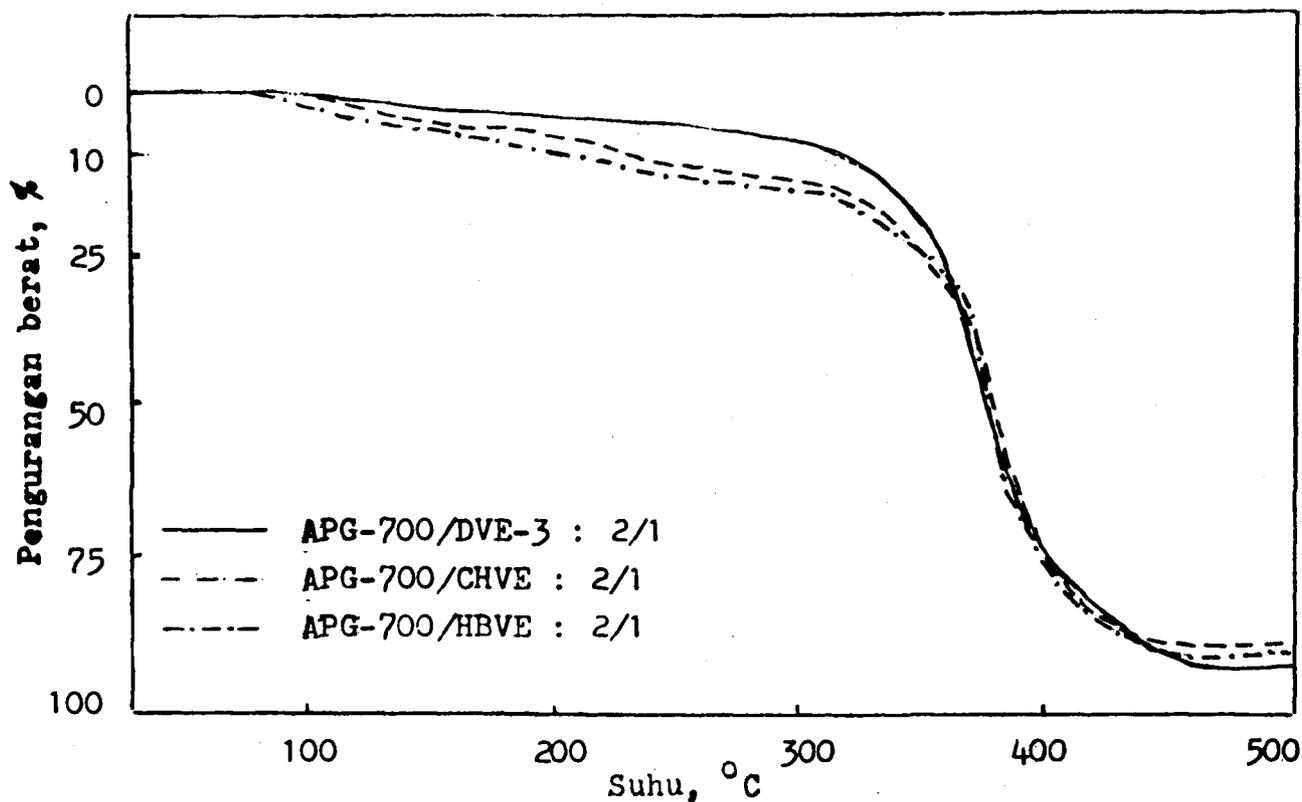
Gambar 2. Dekomposisi termal polimer campuran epoksi akrilat - vinil eter hasil reaksi polimerisasi kationik dengan konsentrasi fotoinisiator Ph₂IPF₆ 1 %, pada dosis 20 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.



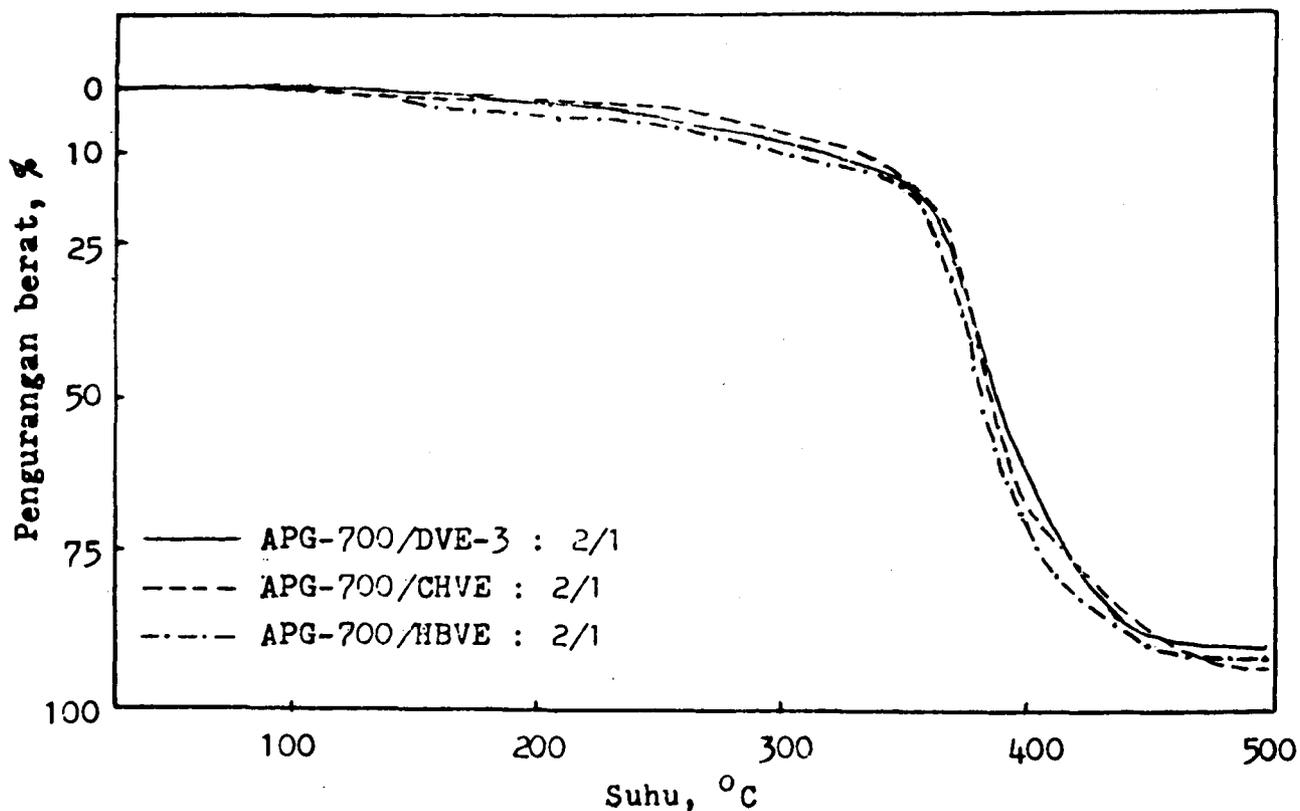
Gambar 3. Dekomposisi termal polimer campuran uretan akrilat - vinil eter hasil polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.



Gambar 4. Dekomposisi termal polimer campuran uretan akrilat - vinil eter hasil polimerisasi kationik dengan konsentrasi fotoinisiator Ph₂IPF₆ 1 %, pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.



Gambar 5. Dekomposisi termal polimer campuran polipropilen glikol diakrilat - vinil eter hasil polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.



Gambar 6. Dekomposisi termal polimer campuran polipropilen glikol diakrilat - vinil eter dengan konsentrasi fotoinisiator Ph₂IPF₆ 1 %, pada dosis 20 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N₂ : 40 ml/menit.

DISKUSI

SUTARMAN

1. Apakah yang dimaksud dengan atmosfer nitrogen ?
2. Mengapa campuran tersebut harus ditambah Ph_2IPF_6 , karena menurut pengetahuan saya fotoinisiator digunakan pada mesin ultraviolet ? Mohon penjelasan.

SUGIARTO DANU

1. Atmosfer nitrogen maksudnya proses berlangsung dalam keadaan dilingkungi oleh gas nitrogen dengan jalan mengalirkan gas nitrogen, yaitu pada proses "curing" lapisan dan pada saat pengukuran kestabilan termal dengan TGA.
2. Fotoinisiator Ph_2IPF_6 dipakai pada penelitian ini untuk membandingkan sifat termal lapisan hasil "curing" dengan mekanisme polimerisasi radikal dan polimerisasi kationik. Tanpa fotoinisiator, mekanisme melalui polimerisasi radikal, sedangkan mekanisme melalui polimerisasi kationik jika ditambah fotoinisiator. Fotoinisiator kationik dapat digunakan dengan radiasi berkas elektron karena menurunkan dosis yang diperlukan untuk "curing".

MARGA UTAMA

1. Mengapa T_{10} yang dibandingkan, bukannya T_{50} . Apa dasar pemikirannya ? Mohon penjelasan.
2. Biasanya dengan mengetahui T_{50} akan dapat dihitung waktu paruh (setengah kehilangan berat). Apakah waktu kehilangan berat diteliti ?

SUGIARTO DANU

1. T_{10} dan T_0 dipelajari berdasarkan teori dari CHIANG dan CHIANG, pustaka (5). T_0 suhu yang paling penting untuk menentukan kestabilan termal karena menunjukkan kestabilan termal kopolimer yang merupakan komponen terbesar dalam campuran tersebut.

2. Penelitian ini lebih menekankan pada kestabilan termal terhadap perubahan suhu. Dapat juga pengukuran dilakukan dengan kestabilan termal pada suhu konstan (pengukuran isothermal).

RAHAYU Ch.

1. Apakah hasil penelitian Anda ini sudah diaplikasikan ke industri sebagai bahan pelapis permukaan ?
2. Desain penelitian yang sama, apakah bisa digunakan oligomer dan vinil eter produksi lokal, supaya lebih ekonomis ? Contohnya di Jepang.

SUGIARTO DANU

1. Penelitian ini sudah diaplikasikan oleh beberapa industri kertas dan plastik, tetapi tidak terlalu banyak dan bahan pelapis ini lebih cocok untuk pelapisan bahan yang lentur (fleksibel).
2. Dengan desain penelitian yang sama, oligomer dan monomer vinil eter akan lebih ekonomis jika menggunakan produksi lokal, tetapi sepengetahuan kami belum ada produksi lokal.

GATOT TRIMULYADI

Dari hasil penelitian Anda, jika akan diaplikasikan ke substrat apa yang terbaik, kayu, logam, atau kertas, atau dapat dipergunakan dengan baik untuk semua substrat ?

SUGIARTO DANU

Senyawa vinil eter lebih tepat untuk bahan-bahan yang fleksibel, misalnya kulit, kertas, plastik, dll. Jika dicampur dengan akrilat senyawa vinil eter menghasilkan lapisan dengan sifat diantara sifat senyawa akrilat (keras, kuat, dan tahan terhadap bahan kimia) dan sifat vinil eter (ulet dan lentur). Salah satu sifat yang menonjol vinil eter adalah adesi yang baik terhadap logam karena kontraksi bahan tersebut relatif kecil dibanding senyawa akrilat.

KARAKTERISASI HIDROGEL POLI(VINIL ALKOHOL) (PVA) HASIL POLIMERISASI RADIASI

Erizal dan Rahayu C.

Pusat Aplikasi isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000135

ABSTRAK

KARAKTERISASI HIDROGEL PVA HASIL POLIMERISASI RADIASI. Telah dilakukan karakterisasi hidrogel Poli(vinil alkohol) (PVA) hasil polimerisasi menggunakan iradiasi gamma. Larutan PVA dalam air 10% hasil pemanasan otoklaf, dihomogenkan, selanjutnya diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 0, 20, 30, 40, dan 50 kGy (laju dosis 5 kGy/j). Dari hasil evaluasi didapatkan bahwa hidrogel PVA hasil iradiasi membentuk struktur ikatan silang ditunjukkan dengan nilai fraksi gel yang menaik dengan meningkatnya dosis iradiasi. Hidrogel PVA dalam air menunjukkan kenaikan nilai rasio swelling pada perubahan suhu dari 10 hingga 40 °C, sebaliknya nilai rasio swelling menurun dengan tajam pada perubahan suhu > 40 °C. Selain daripada itu hidrogel PVA menunjukkan sifat reaksi asam-basa, rasio swelling hidrogel PVA yang pada lingkungan asam (pH 1,2 - 7,4) mempunyai nilai relatif sama, menaik pada lingkungan basa (pH 9,5) dan swelling-deswelling profil hidrogel pada perubahan suhu dan pH menunjukkan pola yang reversibel. Rasio swelling hidrogel PVA dalam air lebih besar dibandingkan dalam pelarut organik (etanol). Pada pengujian SEM terlihat hidrogel PVA mempunyai struktur pori.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL)(PVA) HYDRO-GEL PREPARED BY RADIATION POLYMERIZATION. In the effort to synthesis a hydrogel by radiation polymerization, a solution of PVA was irradiated by gamma rays. A 10 % w/v PVA solution in distilled water was irradiated by gamma rays with the doses of 0, 20, 30, 40, and 50 kGy (dose rate 5 kGy/h). It was found from the gel fraction measurement that PVA crosslinking structure increases with increasing irradiation dose. The swelling ratio of hydrogel increased with increasing temperature in a range of 10-40 °C, but decreased sharply at temperatures higher than 40 °C. PVA hydrogel still showed an acid-base properties in which as the pH of the system change from acid (pH 1.2- 7.4) to base (pH 9.5), the ratio swelling of hydrogel changes significantly. The swelling-deswelling of hydrogel at temperatures and pHs change showed a reversible profile. The swelling ratio of hydrogel was more higher in distilled water than in ethanol. At the measurement of SEM, the hydrogel showed a porous structure.

PENDAHULUAN

Penelitian yang berkaitan dengan sintesis hidrogel, terutama ditujukan untuk pemakaiannya sebagai bahan biomaterial khususnya di bidang farmasi, kedokteran, dan kimia klinis pada beberapa tahun belakangan ini sedang dilakukan dengan intensif. Misalnya hidrogel dapat dipakai sebagai bahan kosmetika (shower gel & pembalut), pembalut luka, imobilisasi zat pewangi, imobilisasi zat bioaktif (sell, obat, enzim) dan yang paling menonjol adalah sebagai "intelligent" material (peka suhu, pH, arus listrik, bau) (1-6). Poli(vinil alkohol) (PVA) dengan rumus molekul $[-CH_2-CH(OH)-]_n$ merupakan salah satu jenis polimer hidrofilik yang tidak toksis, tidak larut dalam air, dan larut dalam air panas > 80 °C pada batas konsentrasi < 20 % (b/v). PVA yang dipolimerisasi cara pemanasan, menghasilkan gel yang jika dikeringkan pada suhu kamar menghasilkan film transparan. Namun demikian, film ini dapat mengembang kembali dalam air berupa gel yang rapuh.

Kegunaan radiasi sinar gamma atau mesin berkas elektron tidak hanya diketahui dapat digunakan untuk sterilisasi, tetapi dapat juga untuk menghasilkan radikal bebas yang dapat menginduksi reaksi polimerisasi dari

monomer atau polimer menghasilkan suatu struktur polimer tiga dimensi (crosslinking), dan reaksi menggunakan radiasi ini relatif aman, tidak toksis, dan dosis radiasi dapat dikontrol. Selain daripada itu pemakaian radiasi relatif ekonomis dalam pembuatan bahan biomaterial, karena reaksi kimia, "shaping", "molding" dan imobilisasi zat bioaktif (enzim, obat, sel) dapat dilakukan dengan serentak (7,8).

Penelitian ini bertujuan mensintesis hidrogel PVA dengan cara radiasi dan mempelajari karakter fisika-kimianya a.l. fraksi gel, pengaruh suhu, pH, dan pelarut terhadap rasio swelling, swelling-deswelling profilnya terhadap perubahan suhu dan pH serta pengamatan struktur pori menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

BAHAN DAN METODE

Bahan. Poli(vinil alkohol) (PVA) produksi KURARAY Co. Jepang dengan derajat polimerisasi = 1700, dan angka penyabunan = ± 99 %. Pereaksi kimia lainnya adalah kualitas p.a.

Pembuatan hidrogel PVA. 2 ml larutan PVA 10% dalam botol ukuran 5 ml hasil pemanasan dalam otoklaf

pada suhu 120 °C selama 30 menit, diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 20,30,40, dan 50 kGy (laju dosis 5 kGy/j).

Uji fraksi gel hidrogel. Hidrogel hasil iradiasi selanjutnya direndam dalam air panas (± 90 °C) selama 8 jam. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Fraksi gel dihitung dengan persamaan berikut ;

$$\text{Fraksi Gel} = W_1/W_0 \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

W_0 = berat bahan sebelum iradiasi
 W_1 = berat hidrogel kering

Uji rasio swelling hidrogel terhadap perubahan suhu. Hidrogel hasil iradiasi dicuci dengan pelarut etanol untuk menghilangkan zat-zat yang tersisa dan polimer yang tidak berikatan silang, selanjutnya dicuci dengan air suling. Kemudian hidrogel direndam dalam air suling pada suhu 10 °C selama 24 jam, lalu air permukaan hidrogel dikeringkan dengan kertas saring, kemudian ditimbang. Selanjutnya hidrogel direndam pada suhu 20 °C selama 24 jam, ditimbang kembali. Pekerjaan yang sama seperti ini dilakukan untuk pengujian suhu lainnya. Selesai pengujian suhu, hidrogel dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio swelling hidrogel dihitung berdasarkan persamaan berikut ;

$$\text{Rasio swelling} = W_2/W_3 \dots\dots\dots (2)$$

W_2 = berat hidrogel dalam keadaan swelling
 W_3 = berat hidrogel kering

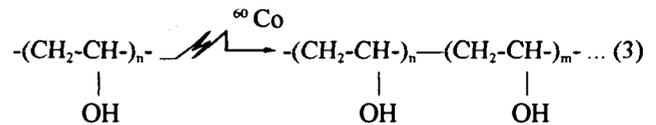
Uji rasio swelling hidrogel terhadap perubahan pH. Hidrogel hasil iradiasi dicuci dengan pelarut etanol untuk menghilangkan zat-zat yang tersisa dan hidrogel yang tidak berikatan silang, selanjutnya dicuci dengan air suling. Kemudian hidrogel direndam dalam larutan dengan pH 1,2 selama 24 jam, lalu air permukaan hidrogel dikeringkan dengan kertas saring, lalu ditimbang. Selanjutnya hidrogel direndam dalam larutan pH 7,4 selama 24 jam, dikeringkan dan ditimbang kembali. Pekerjaan yang sama seperti ini dilakukan untuk pengujian pH 9,5. Selesai pengujian pH, hidrogel dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio swelling hidrogel dihitung berdasarkan persamaan 2.

Pengamatan pori-pori hidrogel dengan SEM (Scanning Electron Microphotograph). Hidrogel hasil iradiasi dicuci dengan etanol, selanjutnya dicuci dengan air, lalu direndam pada suhu 30 °C selama 24 jam. Lalu disimpan pada suhu -40 °C selama 24 jam, kemudian dikeringkan dalam freeze-dryer CHRIST buatan Jerman selama 4 hari. Matriks hidrogel selanjutnya dipotong dengan ukuran tertentu, lalu dilapisi emas. Selanjutnya dilakukan pemotretan menggunakan SEM buatan JEOL.

PEMBAHASAN

Pengikatan silang PVA. Kelarutan polimer PVA dalam air pada suhu ruang relatif kecil, tetapi larut dalam air panas pada limit konsentrasi ≤ 20 % (b/v). Ragam

konsentrasi polimer/monomer setelah mengalami proses baik secara fisika, kimia, atau radiasi untuk pembuatan bahan biomaterial akan mempengaruhi sifat fisiknya a.l. rasio swelling, penampilan, kelengketan, dan tensile strength (9,10). Misalnya untuk membuat membran digunakan konsentrasi 15 hingga 20 % (4). Pada Gambar 1 disajikan pengaruh dosis iradiasi terhadap fraksi gel hidrogel PVA. Menaiknya dosis iradiasi hingga 50 kGy menyebabkan meningkatnya fraksi gel dari hidrogel PVA sebesar 83 %. Pengaruh iradiasi terhadap suatu polimer /monomer dalam larutan air telah banyak dibahas oleh beberapa peneliti (11-13). Pada umumnya pengaruh radiasi terhadap sistim larutan relatif sukar sekali mencapai nilai fraksi gel hingga 100 %, hal ini disebabkan adanya oksigen dalam air /lingkungan dari sistim yang mengganggu reaksi polimerisasi dan terjadinya kemungkinan degradasi dari senyawa pada dosis yang relatif tinggi. Poli(vinil alkohol) dengan rumus molekul $-(CH_2-CH(OH))_n-$, ditinjau dari struktur kimia mempunyai proton tersier dekat gugus -OH yang reaktif (mudah lepas). Hal ini juga ditunjang hasil pengujian menggunakan Spectrometer Nuclear Magnetic Resonansi (NMR) ,yaitu didapatkan bahwa konsentrasi gugus metin dari hidrogel PVA menurun dengan meningkatnya dosis iradiasi (14). Oleh karena itu dapatlah diduga reaksi yang terjadi antara molekul PVA pada larutan PVA yang membentuk ikatan silang akibat radiasi adalah sebagai berikut :



n,m = bilangan bulat

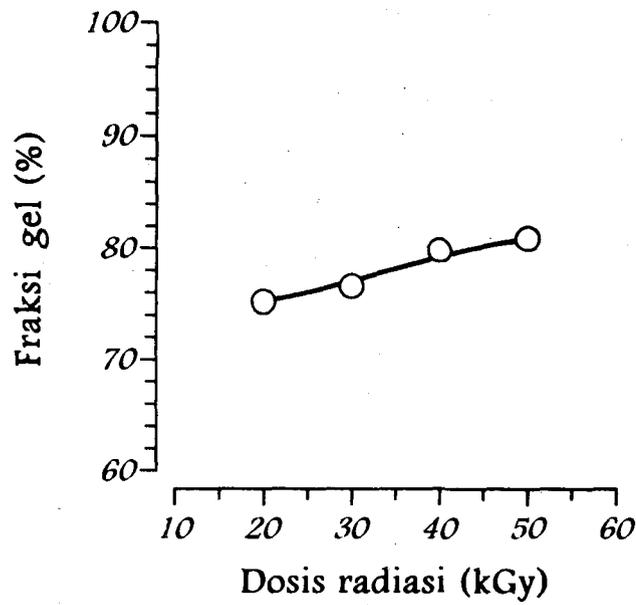
Pengaruh suhu terhadap rasio swelling. Pengaruh suhu terhadap rasio swelling hidrogel PVA hasil iradiasi disajikan di Gambar 2. Terlihat bahwa pada rentang suhu 10-40 °C, rasio swelling hidrogel menaik sebesar 20 %. Sedang pada rentang suhu 40-60 °C, meningkatnya suhu menurunkan swelling rasio sebesar 25 %. OKANO dkk. (15) melaporkan mengenai adanya 2 jenis ikatan yang terdapat pada hidrogel, yaitu ikatan intra molekuler (molekul polimer dengan molekul polimer) yang dapat berupa ikatan hidrofobik dan ikatan hidrogen antar molekuler (polimer dengan pelarut /air). Pada kenaikan suhu dari 10 hingga 40 °C diduga ikatan hidrogen intra molekuler (polimer-polimer) yang mengontrol rasio swelling berubah dengan meningkatnya suhu hingga 40 °C menjadi ikatan hidrogen antar molekuler (polimer-air) (15). Terlihat bahwa dengan meningkatnya suhu, rasio swelling hidrogel menaik. Sedang kenaikan suhu dari 40-60 °C, ikatan hidrogen antar molekuler pecah menjadi ikatan intra molekuler yang disertai penciutan ukuran diameter pori, hal ini mungkin yang menyebabkan rasio swelling menurun dengan meningkatnya suhu.

Pengaruh pH terhadap rasio swelling. Pengaruh perubahan pH terhadap rasio swelling hidrogel PVA disajikan di Gambar 3. Terlihat bahwa pada rentang pH 1,2- 7,4 (suasana asam) nilai rasio swelling hidrogel relatif konstan, sedang dengan meningkatnya pH larutan dari 7,4

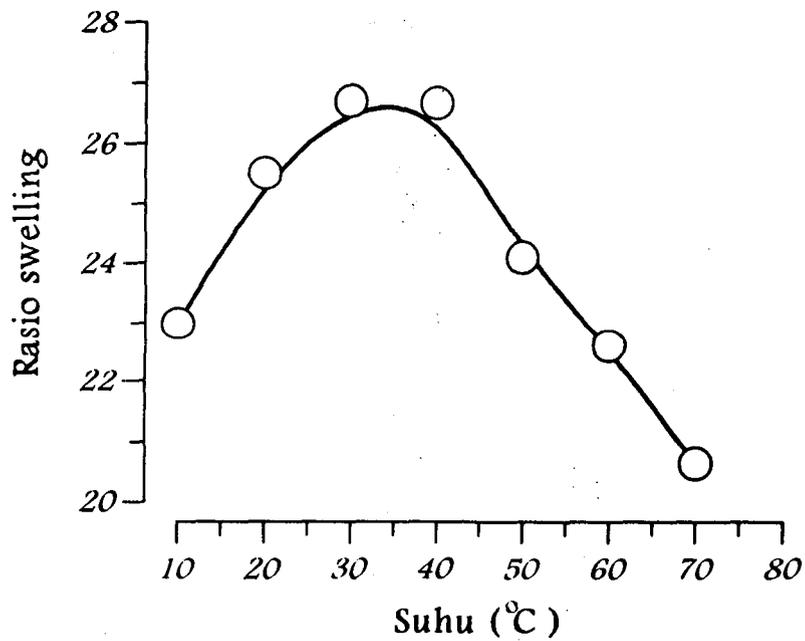
dengan PAIR-BATAN, serta pada rekan-rekan di IRPASENA yang telah membantu iradiasi sampel sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

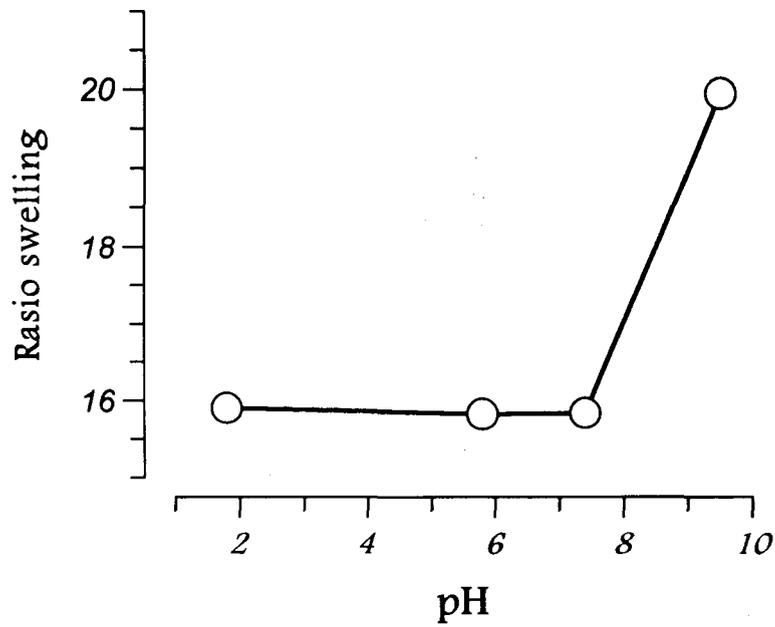
1. YU, H., and DAVID, W.G., Thermo-sensitive swelling behaviour in crosslinked N-isopropyl networks: Cationics, Anionics, and amphiphilic hydrogels, *J App. Polym. Sci.* **49** (1993) 1553.
2. KAETSU, I., UCHIDA, K., MORITA, M., & OKUBA, M., Synthesis of elektro-responsive Hydrogels by radiation polymerization of sodium acrylate, *Radiat Phys. Chem.*, **40** (1992) 157.
3. HOFFMAN, A.S., AFRASIABI, A., and DONG, L.L., Thermally reversible hydrogels II : Delivery and selective removal of substance from aqueous solutions, *J Controlled release*, **4** (1986) 213.
4. ERIZAL, SUNARKO, HASAN, R., dan Rahayu C., Karakterisasi hidrogel PVA-koNIPA Am hasil induksi radiasi polimerisasi, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi PAIR BATAN*, Jakarta, 9-10 Januari 1996.
5. KAETSU, I., Signal responsive chemical delivery systems by radiation techniques And the use for research, *Radiat Phys.*, **46** (1995) 247.
6. ICHIJO, I., HIRASA, O., KISHI, R., OOWADA, M., SAHARA, K. KOKUFUTA, E. and KOHNO, S., Thermo-responsive gels, *Radiat Phys. Chem.*, **46** (1995) 185.
7. ROSIAK, J.M., ULANSKI., PAJEWSKI, L. A., YOSHII, F. and MAKUUCHI, K., Radiation formation of hydrogels for biomedical purpose some remarks and comment, *Radiat. Phys. Chem.* **46** (1995) 161.
8. KAETSU, I., Radiation synthesis & fabrication for biomedical applications, *Radiat. Phys. Chem.*, **40** (1995) 1025.
9. NAZLY, H., DARMAWAN, D., LELY, H., Poly(N-pyrrolidone) hydrogel Synthetic : radiation polymerization crosslinking of vinylpyrrolidone, *Radiat. Phys Chem.* (1993) 911.
10. ERIZAL, BASRIL, A., TATY, E., LELY, H YOSHII, F., dan MIRZAN, T.R., Radiasi grafting monomer 2-hidroksietilakrilat dan akrilamida pada poli (vinil formal), *Prodising Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi PAIR BATAN*, Jakarta, 14-15 Desember 1993.
11. CHAPIRO, A., "Radiation Chemistry of Polymers System", Interscience Publisher John Wiley & Sons, New York (1992).
12. CHARLESBY, "Atomic Radiation and Polymers", Pergamon Press, London (1960).
13. HAM, G.H., "Vinyl Polymerization Part I", New York (1967).
14. ERIZAL, MOROSHITAN, N., NASIYAMA, I., dan RAZZAL, M., Studi efek iradiasi Gamma pada larutan Poli (vinil alkohol) (PVA) menggunakan NMR, *Prosiding pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN*, Yogyakarta 26-28 April 1994.
15. KOTONO, H., SANUI, K OGATA, N., OKANO, T & SAKURAI, Y., Drug release Off behaviour and deswelling kinetics of thermo-responsive IPNs composed of poly(acrylamide-co-butyl methacrylate) and poly(acrylate acid), *Polymer Journal* **23**, **10**, (1991) 1179.
16. RODRIGUEZ, F., "Principles of Polymer System", McGraw-Hill International Book Company. Second edition (1993).



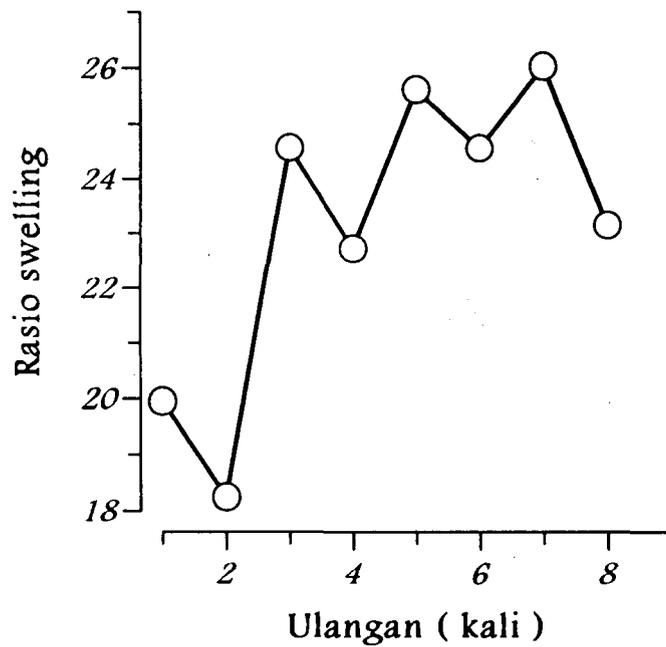
Gambar 1. Hubungan antara dosis iradiasi terhadap fraksi gel larutan PVA 10 % (b/v) yang diiradiasi pada suhu kamar dengan beragam dosis iradiasi.



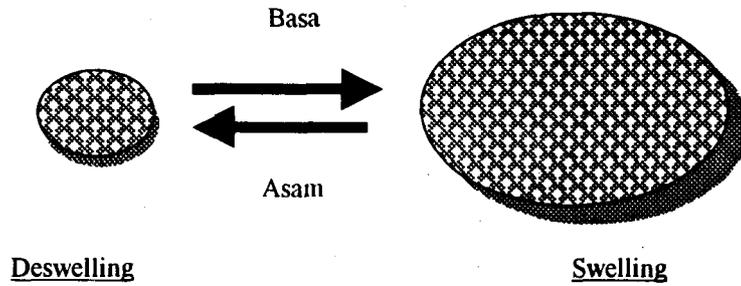
Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap rasio swelling hidrogel PVA hasil iradiasi pada dosis 25 kGy.



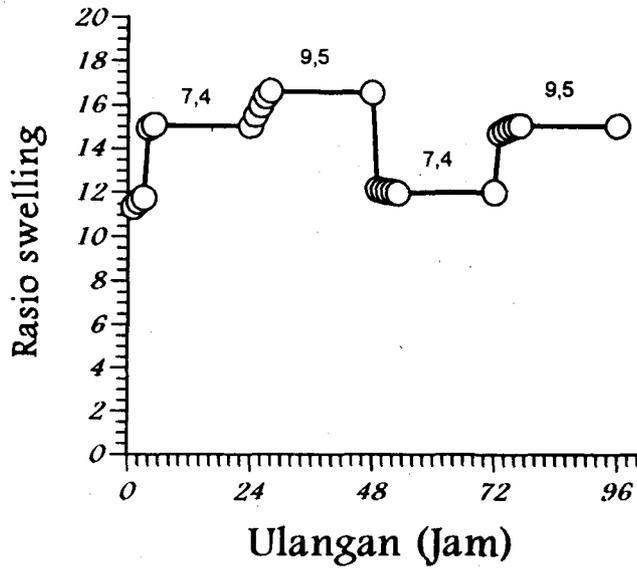
Gambar 3. Pengaruh perubahan pH terhadap rasio swelling hidrogel PVA hasil iradiasi 25 kGy yang diukur pada suhu kamar.



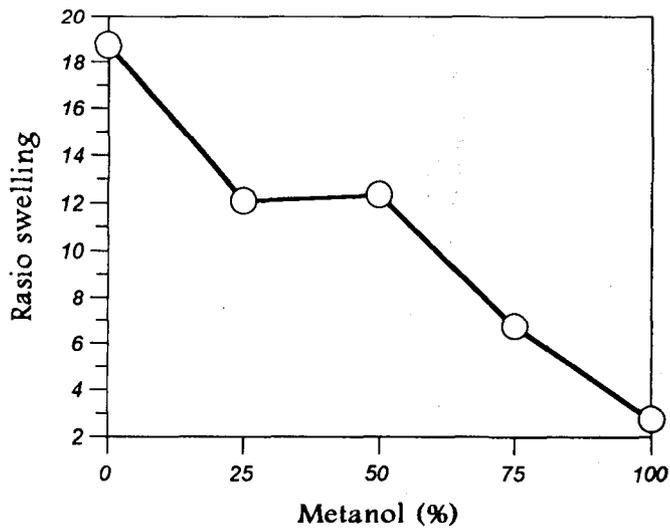
Gambar 4. Swelling-deswelling profil hidrogel PVA hasil iradiasi 25 kGy yang diukur pada perubahan suhu 10-30 °C dan 30-10 °C.



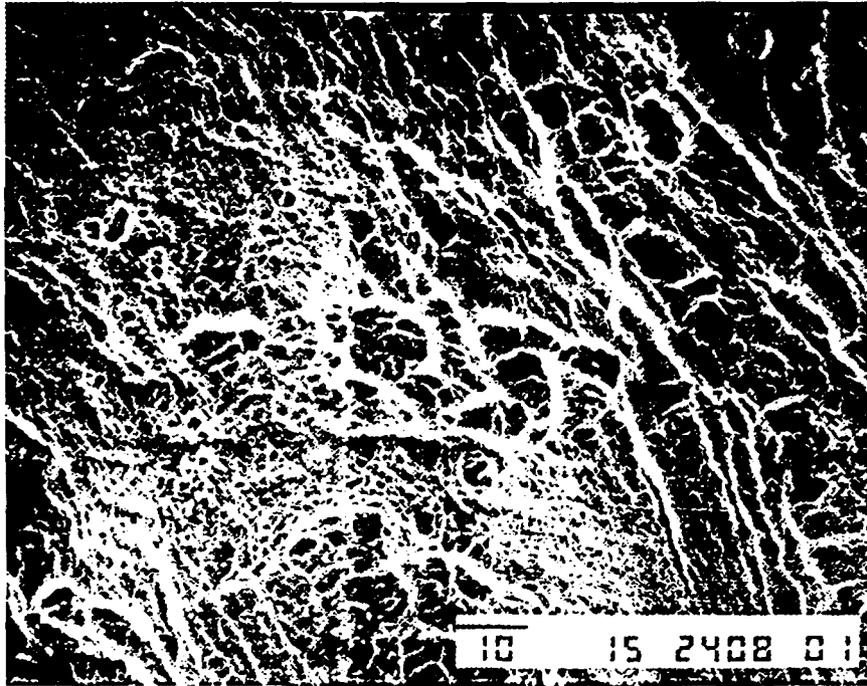
Gambar 5. Swelling-deswelling hidrogel dalam suasana asam-basa



Gambar 6. Swelling-deswelling profil hidrogel PVA hasil iradiasi 25 kGy pada perubahan pH 7,4-9,5 dan 9,5 -7,4 yang diukur pada suhu kamar.



Gambar 7. Pengaruh pelarut etanol-air (%) terhadap rasio swelling hidrogel PVA hasil iradiasi 25kGy yang diukur pada suhu kamar.



Gambar 8. Microphotograf scanning electron hidrogel PVA

EFEK RADIASI TERHADAP MATRIKS CAMPURAN PP/PMMA DAN PP/PP-g-PMMA

Marsongko, dan Yanti S. Soebianto

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000136

ABSTRAK

EFEK RADIASI TERHADAP MATRIKS CAMPURAN PP/PMMA DAN PP/PP-g-PMMA. Telah dilakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh penambahan PMMA dan PP-g-PMMA (kompatibilizer) terhadap karakteristik oksidasi Polipropilen (PP). Pencampuran dilakukan dengan menggunakan laboplastomill pada suhu 200°C, dan kecepatan putaran 20 rpm selama 5 menit. Konsentrasi PMMA adalah 1, 2, 5, dan 10% berat. Konsentrasi PP-g-PMMA dalam PP adalah 5, 10, dan 20% berat. PP-g-PMMA yang digunakan mempunyai derajat kopolimer tempel 12%. Uji sifat mekanik campuran PP menunjukkan bahwa penambahan PMMA diatas 5% menurunkan baik tegangan putus (Tb) dan perpanjangan putus (Eb), sedangkan penambahan PMMA diatas 3% saja sudah membuat film menjadi kurang transparan atau keruh. Iradiasi dilakukan dengan menggunakan mesin berkas elektron pada dosis 5, 10, 30, dan 50 kGy untuk mempercepat terjadinya oksidasi terhadap matriks sebagai simulasi oksidasi alam. Semakin banyak PMMA didalam campuran, semakin cepat teroksidasi. Sifat mekanik campuran PP/PMMA dapat dipertahankan, jika kadar PMMA maksimum 2%, baik PMMA ditambahkan secara langsung maupun sebagai kompatibilizer.

ABSTRACT

IRRADIATION EFFECT ON PP/PMMA AND PP/PP-g-PMMA MATRICES. The effects of PMMA and PP-g-PMMA on the oxidation of polypropylene (PP) have been studied. The mixing was done in Laboplastomill at the temperature of 200°C, and screw speed of 20 rpm, for 5 minutes. The PMMA concentrations were 1, 2, 5, and 10% by weight, and PP-g-PMMA (12% grafting) 5, 10, and 20% by weight. Mechanical properties (tensile strength (Tb) and elongation at break (Eb)) of the mixture decreased with the increase of PMMA content over 5%. The addition of PMMA over 3% produced non-transparent film. Electron beam irradiation at the dose of 5, 10, 30, and 50 kGy was carried out to accelerate the matrix oxidation in order to simulate the natural degradation. The more PMMA in the mixture, the oxidation is accelerated. The optimum properties of PP/PMMA blends can be achieved by addition of maximum 2% PMMA either direct as PMMA or as compatibilizer (PP-g-PMMA).

PENDAHULUAN

Polipropilen (PP) sebagai bahan plastik penggunaan dalam kehidupan sudah sedemikian luas, antara lain untuk pengemas, baik untuk pengemas makanan mentah seperti sayur-sayuran, buah-buahan, daging, makanan olahan maupun makanan kering, alat kedokteran misalnya, alat suntik sekali pakai, tabung cuci darah, wadah obat-obatan, dan lain-lain. PP mempunyai sifat keras, kaku, ketahanan terhadap panas cukup tinggi karena mempunyai titik leleh sekitar 170°C, ketahanan terhadap bahan kimia cukup baik dan mempunyai transparansi yang baik [1].

Karena sifat plastik yang tidak mudah didegradasi oleh alam, akibatnya akan terjadi penumpukan sampah plastik yang banyak mengganggu lingkungan [2]. Maka untuk mengatasi limbah plastik tersebut perlu diupayakan sedini mungkin. Sebagai salah satu usaha mengurangi limbah plastik adalah melakukan modifikasi matriks PP.

Dalam penelitian ini dilakukan blending PP dengan polimer yang mudah terdegradasi oleh radiasi. Dalam hal ini dipakai PMMA (polimetil metakrilat). Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik oksidasi PP yang telah dimodifikasi dengan PMMA. Radiasi dipakai untuk memodifikasi PP dan mempercepat oksidasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Polipropilen (PP) dalam bentuk powder (P8000), dan PP dalam bentuk pellet (K1008), buatan Chisso Corporation, Jepang. Polimetil metakrilat (PMMA) buatan Sumitomo Chemical Co. Ltd., Jepang. Monomer metilmetakrilat (MMA) dan aseton masing-masing dari Kishida Chemical Corporation dan Kanto Chemical Co., Jepang.

Alat. Mesin berkas elektron (MBE) dengan tegangan operasi dan arus maksimum 2 MeV dan 30 mA buatan Nissin High Voltage. Percobaan dilakukan pada kondisi operasi dengan tegangan 1 MeV, dan arus 1 mA. Laboplastomill buatan Toyoseiki Co, Ltd., Jepang, digunakan untuk mencampur PP/PMMA maupun PP/PP-g-PMMA. Untuk menentukan sifat mekanik film plastik digunakan Strograph - R1 tensile tester, buatan Toyoseiki Co. Ltd., Jepang.

METODE

1. Pencampuran PP : PP dan PMMA maupun PP dan PP-g-PMMA masing masing dicampur dengan

menggunakan "Laboplastomill" pada suhu 200°C. Kecepatan putaran adalah 20 rpm selama 5 menit. Lembaran plastik (200 x 200 x 0,5mm³) dibuat dengan cara pres panas (melt press) pada suhu 200°C dan tekanan 150 kg/cm². Pemanasan awal (pre-heating) dilakukan selama 3 menit sebelum penekanan 150 kg/cm² selama 3 menit. Pendinginan dilakukan pada suhu 25°C dengan tekanan 150 kg/cm² dan waktu selama 3 menit.

- Kopolimerisasi tempel secara radiasi. Radiasi dengan cara simultan dalam atmosfer gas N₂. PP (powder) dicampur dengan monomer MMA dengan kadar 50, 80, dan 100% di dalam gelas beker dan diaduk sampai rata, kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam kantong plastik PE. Sebelum ditutup dialiri dulu dengan gas N₂, kemudian diiradiasi.

Iradiasi dilakukan dengan mesin berkas elektron pada dosis 10, 30, 50, dan 100 kGy. (1MeV, 1mA / laju dosis 10 kGy/pass). Setelah iradiasi, masing-masing sampel dikeluarkan dari kantong plastik PE dan direndam ke dalam aseton selama 24 jam. Kemudian disaring dan dikeringkan didalam oven pada suhu 60°C dalam keadaan hampa udara selama 12 jam. Derajat kopolimer tempel dihitung dari selisih berat PP sesudah dan sebelum reaksi kopolimerisasi:

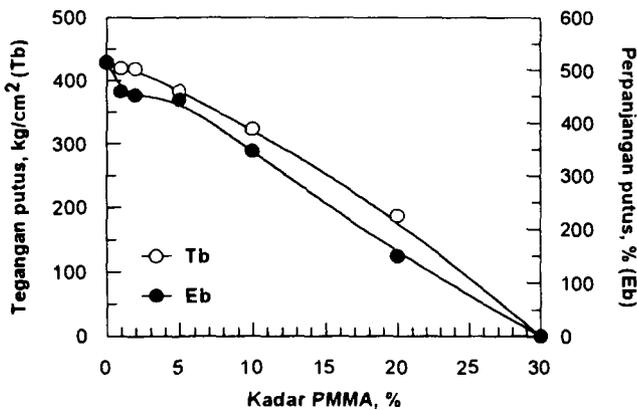
$$D_{kop.} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \%$$

Dimana, $D_{kop.}$ = derajat kopolimer tempel,
 W_0 = berat PP sebelum reaksi kopolimerisasi
 W_1 = berat PP setelah reaksi kopolimerisasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat mekanik campuran PP dan PMMA.

Gambar 1a. menunjukkan pengaruh kadar PMMA terhadap tegangan putus (Tb) dan perpanjangan putus (Eb) campuran PP-PMMA. Tb dan Eb PP menurun dengan adanya kenaikan kadar PMMA. Penambahan PMMA diatas 5% menurunkan lebih cepat baik Tb maupun Eb matriksnya.



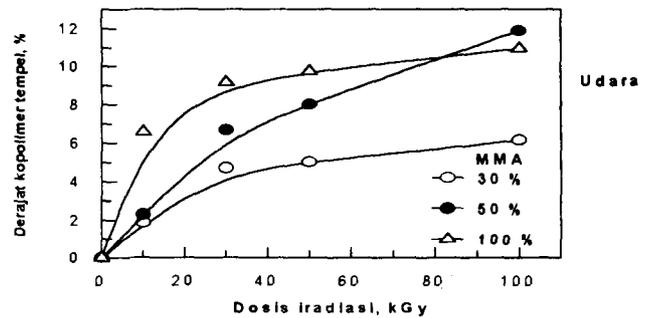
Gambar 1. Tegangan putus dan perpanjangan putus campuran PP-PMMA

Disamping itu penambahan PMMA diatas 3% membuat film jadi kurang transparan atau keruh. Hal ini menunjukkan bahwa campuran antara PP dan PMMA dengan komposisi diatas 97/3 kompatibilitasnya berkurang.

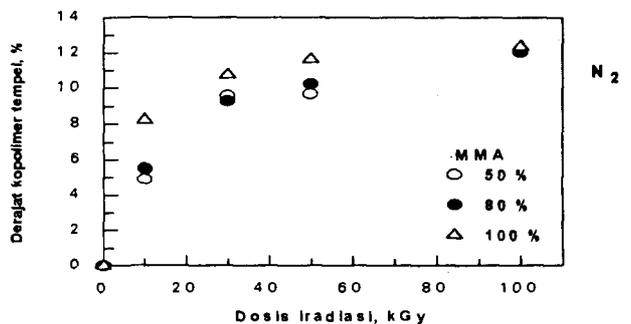
Menurut MAT BIN ZAKARIA [3], temperatur glass (Tg) PP= -20°C, sedang PMMA = 105°C, sehingga pada temperatur ruang (25 - 30°C) terdapat perbedaan sifat fisik antara keduanya : PP akan bersifat lunak, sedangkan PMMA yang bersifat kaku. Jika kedua polimer tersebut dicampurkan akan menjadi ketidak homogenan meskipun dari segi parameter kelarutan (solubility parameter (δ) PP dan PMMA mempunyai nilai yang hampir sama, yaitu masing-masing 18,8 dan 18,58 (MPa)^{1/2} [4]. Alternatif yang dapat dilakukan untuk mendapatkan campuran yang homogen pada penelitian ini adalah mencampurkan PP dengan kompatibilitasnya, yaitu PP yang digrafting dengan monomer MMA atau ditulis PP-g-PMMA (kopolimer).

Kopolimerisasi tempel secara radiasi. Pengaruh atmosfer dan konsentrasi monomer MMA terhadap derajat kopolimer tempel dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b. Terlihat bahwa derajat penempelan meningkat dengan dosis pada kedua jenis atmosfer penempel. Namun terlihat bahwa dalam atmosfer N₂ derajat kopolimer tempel lebih tinggi dibandingkan dalam atmosfer udara pada kadar monomer dan dosis iradiasi yang sama. Dengan kata lain penempelan lebih cepat didalam atmosfer N₂

Adanya O₂ dalam proses kopolimerisasi tempel akan menangkap radikal-radikal PP yang terbentuk oleh radiasi menjadi radikal peroksida yang selanjutnya akan melakukan reaksi terminasi, sehingga mengurangi jumlah radikal-radikal yang akan bereaksi dengan MMA. Jadi, adanya udara (O₂) akan menghambat proses penempelan MMA ke dalam PP.



Gambar 2a. Pengaruh konsentrasi monomer terhadap derajat kopolimer tempel PP (udara)

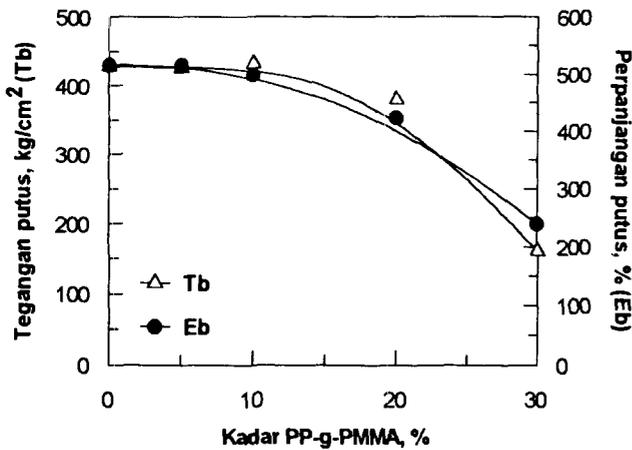


Gambar 2b. Pengaruh konsentrasi monomer terhadap derajat kopolimer tempel polipropilen (N₂)

Derajat kopolimer tempel tertinggi adalah 12 % pada dosis iradiasi 100 kGy tidak bergantung pada atmosfernya. Kadar monomer 30%, derajat kopolimer tempel maksimum yang dicapai relatif rendah (6%), walaupun pada dosis iradiasi 100 kGy. Hal ini menunjukkan bahwa semua monomer sudah terkonsumsi pada penempelan. Nilai maksimum derajat kopolimer tempel dicapai pada penambahan monomer 50% dan tidak meningkat lagi meskipun kadar monomernya menjadi 100%. Hal ini disebabkan karena semua reaksi kimia dalam polimer semikristal hanya berlangsung didalam fase amorph. Keterbatasan fase amorph menyebabkan tidak berubahnya derajat kopolimerisasi meskipun kadar monomernya dinaikkan.

Sifat mekanik campuran PP dan PP-g-PMMA.

Gambar 3, menunjukkan hubungan antara kadar kopolimer PP-g-PMMA (kompatibilizer) dalam PP terhadap Tb dan Eb matriks.



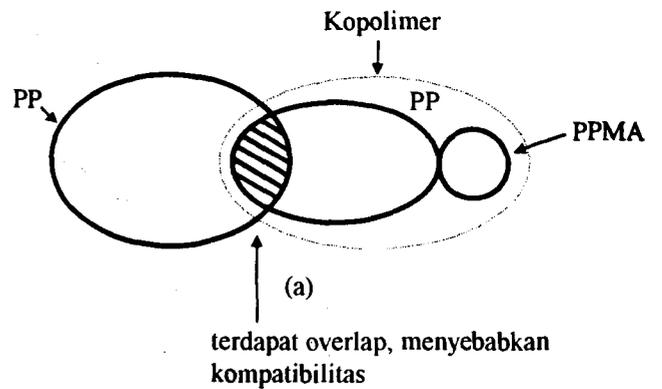
Gambar 3. Tegangan putus dan perpanjangan putus campuran PP/PP-g-PMMA (derajat kopolimer tempel = 12%)

Kopolimer yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai derajat kopolimer tempel 12%. Dengan penambahan PP-g-PMMA sampai dengan 10% (1,2 % PMMA dalam matriks PP) Tb dan Eb tidak berbeda dari matrik PP murninya, artinya homogenitas matriks PP belum terganggu oleh adanya 10% kompatibilizer. Sedangkan pada campuran PP-PMMA (99/1) penurunan Eb lebih nyata, meskipun persentasenya masih rendah (12%) (Gambar 1). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa campuran PP dan PP-g-PMMA lebih kompatibel dibandingkan campuran PP dan PMMA. Tegangan putus matriks memang belum menurun dengan adanya 1% PMMA secara langsung inapun melalui penambahan 10% PP-g-PMMA (12% grafting).

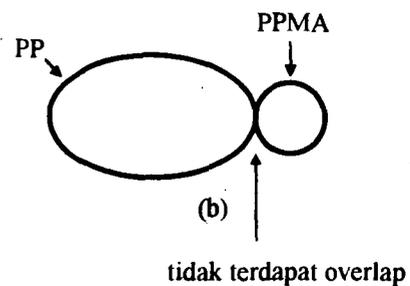
Pada penambahan PP-g-PMMA diatas 10%, Tb dan Eb mulai turun dan ketika penambahan PP-g-PMMA mencapai 20% (2,4% PMMA dalam matrik) penurunan mulai nyata meskipun presentase penurunan Eb masih dibawah 20%. Jika penambahan diteruskan sampai 30% (3,6% PMMA) Tb dan Eb turun kira-kira 50% dari nilai awal. Ini menunjukkan bahwa, semakin tinggi kadar kopolimer PP-g-PMMA (12% grafting) akan menurunkan

kompatibilitas campuran. Dari Gambar 1 dan 3 dapat dilihat bahwa kompatibilitas campuran PP-PMMA dapat dipertahankan jika kadar PMMA maksimum 2%, baik PMMA ditambahkan secara langsung maupun sebagai kompatibilizer (PP-g-PMMA).

Kompatibilitas campuran PP dan kopolimernya dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini.

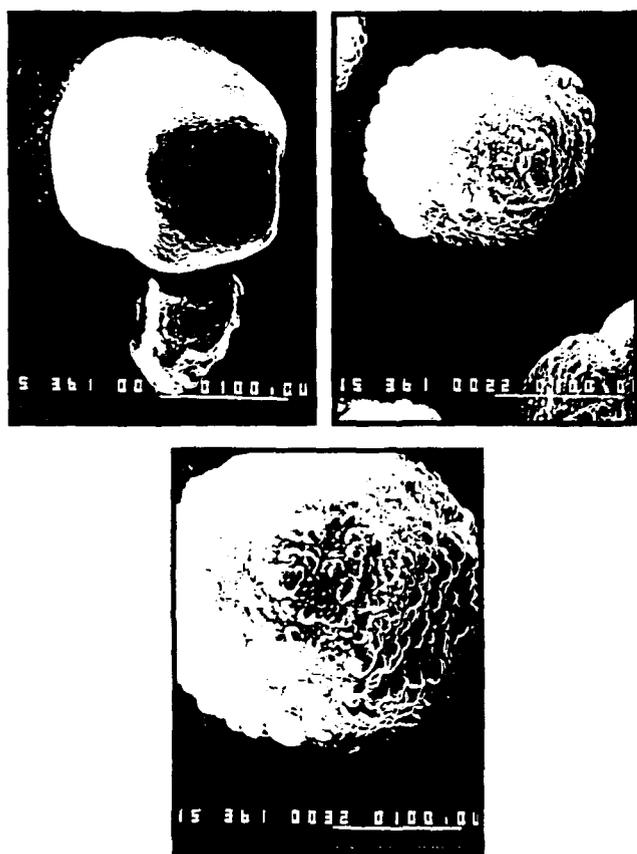


Sedangkan campuran PP/PMMA dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4. Ilustrasi kompatibilitas campuran (a) PP/PP-g-PMMA dan (b) PP/PMMA

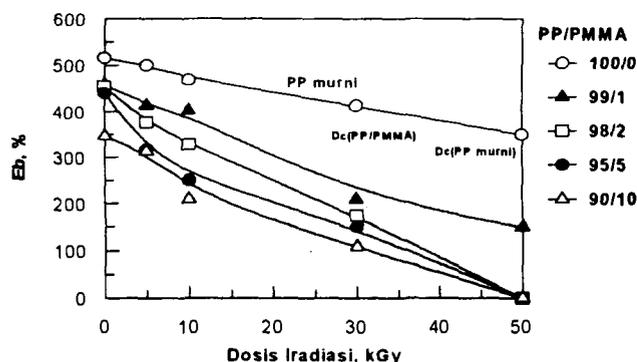
Gambar 5 menunjukkan bentuk partikel PP dan kopolimernya yang diambil dengan alat scanning electron microscope (SEM). Terlihat adanya perubahan dimensi partikel PP setelah terjadi penempelan MMA. Semakin tinggi derajat kopolimer tempel dari PP-g-PMMA, semakin besar ukuran partikel tersebut. PP murni (powder) mempunyai diameter sekitar 185 (m dan permukaan yang halus (smooth) (Gambar 5a). Setelah ditempel mencapai derajat kopolimer tempel 62% ukuran partikel tidak berubah, tetapi bentuk permukaannya berubah (Gambar 5b). Pada penempelan dengan derajat kopolimer tempel 113% terjadi deformasi dan besar partikel hampir dua kali lipat dari PP murni, yaitu sekitar 257 (m (Gambar 5c). Pada derajat kopolimerisasi yang sedemikian tinggi struktur PP-nya sudah berubah. Yang dibutuhkan disini adalah kopolimer yang masih mempunyai struktur PP-nya, sehingga bila dicampur akan kompatibel dengan matriks PP-nya. Jadi, harus dipakai kopolimer yang kadar graftingnya rendah. Dalam penelitian ini dipakai kadar grafting 12%.



Gambar 5. Partikel PP sebelum dan sesudah terjadi penempelan MMA ke dalam PP

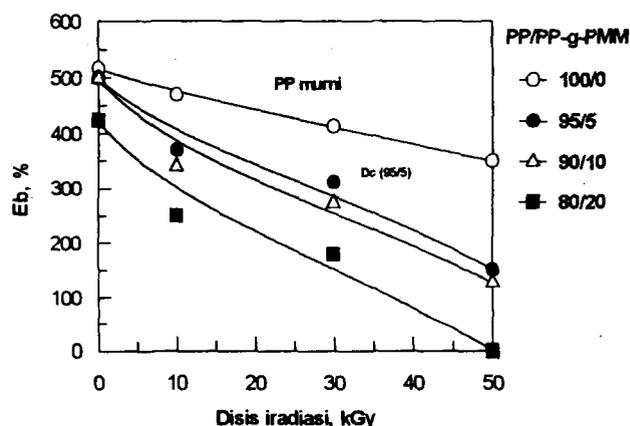
EFEK RADIASI CAMPURAN PP/PMMA DAN PP/PP-g-PMMA

Campuran PP/PMMA. Dalam hal ini radiasi untuk mempercepat oksidasi, yaitu mensimulasi oksidasi alam. Penelitian ini berbeda dari yang dilakukan oleh MELIGI dkk. [5] yang mempelajari degradasi alam matriks PP yang diradiasi. Oksidasi menyebabkan penurunan Eb, karena terjadi pemutusan ikatan. Pada gambar ditunjukkan efek radiasi terhadap Eb saja, karena efek radiasi terhadap Tb tendensinya juga sama. Pada umumnya dengan kenaikan dosis iradiasi menurunkan Eb-nya. Pada PP yang telah dicampur dengan PMMA makin cepat teroksidasi dan kelihatan semakin banyak PMMA semakin cepat teroksidasi



Gambar 6. Pengaruh dosis iradiasi terhadap Eb campuran PP/PMMA

Campuran PP/PP-g-PMMA. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara Eb dengan dosis radiasi terhadap campuran PP dengan kopolimernya. Pada campuran dengan perbandingan PP/PP-g-PMMA 95/5 dan 90/10 yang diradiasi pada dosis 100 kGy, Eb masih sekitar 200 %, sedangkan pada campuran PP/PMMA sudah tidak mempunyai Eb lagi. Jadi, campuran PP/kopolimer lebih tahan terhadap radiasi dibanding campuran PP/PMMA. Hal ini dikarenakan pada perbandingan PP/PP-g-PMMA 95/5 dan 90/10 kadar PMMA-nya adalah 0,6 dan 1,2 % atau dibawah 5 %. Jadi, penambahan PMMA bagaimanapun juga menurunkan ketahanan terhadap radiasi PP murninya. Hal ini dapat dilihat dari perubahan dosis kritisnya (Dc), yaitu dosis yang dibutuhkan untuk mencapai Eb sebesar 50% Eb awalnya.

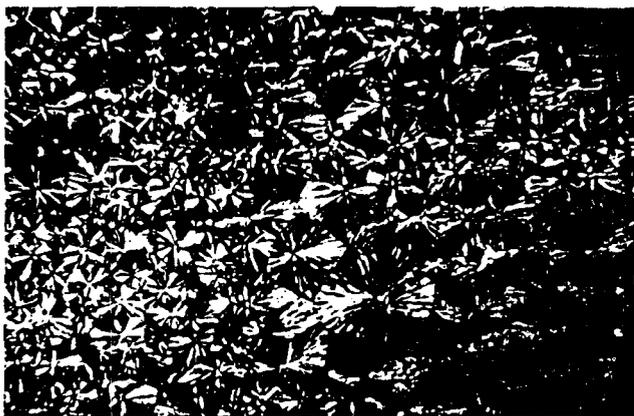


Gambar 7. Pengaruh dosis iradiasi terhadap Eb campuran PP/PP-g-PMMA (D.k.t = 12 %)

PP murni mempunyai Dc > 50 kGy, sedangkan campuran PP dengan PMMA 1 % saja baik langsung maupun sebagai kompatibilizernya memberikan Dc sekitar 30 kGy (Gambar 6 dan 7). Dengan kata lain penambahan PMMA yang hanya 1 % saja, sudah dapat mempercepat oksidasi PP. Jadi, diperkirakan penambahan 1% PMMA di dalam PP juga dapat mempercepat oksidasi alam. Phenomena percepatan oksidasi dapat dijelaskan berdasarkan gambar mikroskop polar matriks-matriks yang dianalisa. Gambar 8a menunjukkan bentuk kristal PP murni. Warna hitam adalah fase amorfus yang dihuni oleh aditif-aditif dan tempat O₂ berdifusi, dan yang berbentuk seperti kembang-kembang adalah fase kristalin. Oksidasi terjadi pada permukaan kristal karena O₂ tidak dapat berdifusi kedalamnya. Jika PP dicampur dengan kopolimer, akan terlihat adanya perubahan ukuran kristal, yaitu menjadi lebih kecil (Gb. 8b). Dengan demikian permukaan kristal menjadi lebih luas dan luas permukaan tempat terjadinya oksidasi menjadi lebih besar. Oleh sebab itu oksidasinya akan lebih intensif. Itulah sebabnya degradasi PP menjadi lebih cepat.



(a)



(b)

Gambar 8. Spherulite structure of (a) pure PP, and (b) PP/PP-g-PMMA (14.6 % grafting) (98/2) prior to weathing test.

KESIMPULAN

1. Sifat mekanik campuran PP/PMMA dapat dipertahankan, jika kadar PMMA maksimum 2%, baik

PMMA ditambahkan secara langsung maupun sebagai kompatibilizer (PP-g-PMMA).

2. Penambahan PMMA diatas 3% membuat film menjadi kurang transparan atau keruh.
3. Penambahan PMMA sebanyak 1% ke dalam PP dapat mempercepat terjadinya oksidasi, karena oksidasi terjadi lebih intensif akibat perubahan ukuran kristal

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Mr. F. Yoshii yang telah banyak membantu penulis untuk melakukan penelitian di TRCRE, JAERI, Jepang.

DAFTAR PUSTAKA

1. ISKAK BIN MANAF, et al., Effect of Pre-Irradiation on Radiation Stability of Polypropylene, JAERI-MEMO, 06 - 270 (1994).
2. SWIFT G., Polymers, Environmentally Degradable, Encyclopedia of Chemical Technolgy, Vol. 19, Fourth Ed, John Wiley & Sons, N. Y (199).
3. MAT BIN ZAKARIA, Prinsip Kimia Polimer, Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur (1988) 27.
4. ERIC. A. GRULKE, "Solubility Parameter Values" Polimer Hanbook, Third edition (J. BRANDRUP and E.H. IMMERGUT), A. Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York (1989) 553-554.
5. MELIGI, G., et al., Comparison of the Degradability of Irradiated Polypropylene and Poly (propylene-co-ethylene) in the Natural Enviroment, Pol. Deg. Stab 49 (1995).

DISKUSI

MARGA UTAMA

Mohon disebutkan perbedaan solubility parameter PP, PMMA, Kopolimer MMA, karena bila dapat diketahui nilai-nilai kompatibilitas tersebut akan lebih jelas ?

MARSONGKO

Solubility parameter PP = 18,8 (MPo)^{1/2}, PMMA = 18,58 (MPa)^{1/2}, perbedaan tidak terlalu jauh. Tetapi Tg (titik glass PP = -10°C, sedang PMMA = 65°C. Pada temperatur ruang (25 - 30°C) terdapat perbedaan sifat fisik antara keduanya, PP akan bersifat lunak karena Tg-nya rendah dan PMMA akan bersifat kaku karena Tg-nya tinggi.

HERWINARNI S.

1. Mengapa PP dengan PP-g-PMMA tegangan putus maupun perpanjangan putus lebih tinggi daripada PP/PMMA ?
2. Tujuannya untuk apa PP/PP-gr-PMMA (barang jadi untuk apa). Dan PP/PMMA kegunaannya untuk apa ?

MARSONGKO

1. Pada campuran PP dengan PP-gr-PMMA lebih kompatibel dibandingkan dengan campuran PP/PMMA.
2. Untuk mendapat bahan plastik yang mudah terdegradasi. Yang jelas campuran PP/PMMA ini kurang kompatibel dan berwarna keruh.

GATOT TRIMULYADI

Pada efek radiasi terhadap perpanjangan putus sampai dengan dosis 50 kGy, kondisi radiasi dalam atmosfer apa, udara atau inert, dan apa perbedaannya bila dilakukan pada kondisi udara atau inert ?

MARSONGKO

Udara, bila dilakukan pada kondisi inert, tentu efek radiasinya berbeda, kemungkinan pengaruh terhadap penurunan Eb berkurang, karena tingkat oksidasinya lebih sedikit.

M. NATSIR

1. Berapakah besarnya energi berkas elektron yang Anda gunakan dalam penelitian ini ?
2. Anda menggunakan radiasi berkas elektron, apa dasar pemilihan Anda tersebut, bagaimana pendapat Anda kalau menggunakan radiasi sinar gamma mengingat daya tembus lebih tinggi ?

MARSONGKO

1. Besar energi elektron 1 MeV, 1 mA.
2. Dengan berkas elektron laju dosisnya lebih tinggi dibanding dengan sinar gamma, sehingga oksidasinya

lebih sedikit. Dengan menggunakan sinar gamma laju dosisnya rendah, sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama yang berarti oksidasi terjadi lebih banyak.

RAHAYU Ch.

1. Dengan pertimbangan apa, suhu pencampuran 200°C, kecepatan putaran 20 rpm selama 5 menit ?
2. Sasaran penelitian Anda adalah mendapatkan PP untuk alat kesehatan yang tahan sterilisasi radiasi. Dan hasil penelitian yang Anda peroleh dengan dosis 10 kGg (5 % PMMA) harga Tb (kekuatan tarik) sudah menurun. Bagaimana menurut pendapat Anda desain penelitian selanjutnya, mengingat dari sterilisasi radiasi 25 kGy.

MARSONGKO

1. Pertimbangannya adalah bahwa di atas titik leleh kedua komponen dengan putaran 20 rpm komponen yang dihasilkan cukup bagus dan rata dan tidak menimbulkan udara di dalam komponen, dan 5 menit, karena kalau terlalu panjang terdegradasi, terlalu pendek tidak campur (hasil campuran kurang baik).
2. Dalam hal ini belum dibicarakan tahan radiasi, tetapi dari hasil penelitian ini, masih dapat diradiasi sampai 50 kGy. Setelah campuran ini diradiasi akan cepat terdegradasi.

SUDRAJAT ISKANDAR

1. Melihat hasil penelitian yang Anda lakukan terlihat bahwa dengan penambahan PMMA terhadap PP, maka PP-nya menjadi mudah terdegradasi setelah iradiasi, maka polimer PP-PMMA tidak bisa dibuat sebagai bahan polimer yang dapat disterilkan dengan iradiasi.
2. PP-PMMA bukan bahan biodegradable, maka tidak bisa dibuat produk yang ramah lingkungan. Dari hasil penelitian ini kira-kira produk yang bagaimana dapat dipakai di industri ?

MARSONGKO

Penelitian ini masih terlalu dini dan masih banyak hal-hal yang perlu ditindak lanjuti, untuk kearah produk tertentu.

DAVIDSON A. MUIS

Apakah hasil penelitian dari PP/PMMA atau PP/PP-g-PMMA dapat diaplikasikan untuk alat kesehatan (syringe/alat suntik) yang disterilkan memakai iradiasi. Mengingat PP yang dipakai oleh perusahaan yang membuat alat-alat tersebut yang ada di Indonesia tidak ada yang tahan iradasi untuk dosis min. 25 kGy.

MARSONGKO

Dilihat dari efek radiasi campuran PP/PMMA atau PP/PP-g-PMMA (kopolimer). Pada campuran dengan

kopolimer yang diiradiasi pada dosis 50 kGy masih sekitar 200 % atau dosis kritis kira-kira 30 kGy. Ditinjau untuk aplikasinya masih mungkin digunakan untuk alat kesehatan, dan setelah diiradiasi justru akan mudah terdegradasi.

ZUBAIDAH IRAWATI

1. Tujuan Anda mengiradiasi/me-modifikasi PP murni adalah untuk mendapatkan produk baru yang ramah lingkungan. Dari data Anda, ternyata perlakuan modifikasi tersebut justru menurunkan beberapa sifat fisiknya. Perlu Anda ketahui bahwa dosis sterilisasi yang digunakan untuk peralatan kedokteran berkisar antara 25 kGy, bahkan ada yang sampai 50 kGy. Apa pendapat Anda, sehubungan dengan data yang Anda peroleh

dengan aplikasinya nanti ?

2. Mengapa uji pin-hole tidak dilakukan ?
3. Standar apa yang Anda gunakan untuk menentukan sebagai SEM bahwa PP itu Crystalline ? Bagaimana dengan amorph ? Apakah tampak pula di SEM ?

MARSONGKO

1. Tingkat modifikasi disini ada batasnya, pada derajat tertentu masih dapat digunakan untuk alat kedokteran, seperti pada campuran PP/PMMA (9 %) Dc > 50 kGy.
2. Tidak dilakukan.
3. Untuk melihat fase Crystalline PP disini digunakan mikroskop polanografi bukan menggunakan SEM.

PENGARUH EMULSIFIER PADA KESTABILAN LATEKS LA-TZ IRADIASI

Made Sumarti K., Marga Utama, dan Tita Puspitasari

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000137

ABSTRAK

PENGARUH EMULSIFIER PADA KESTABILAN LATEKS LA-TZ IRADIASI. Telah diamati pengaruh 6 macam bahan pemantap terhadap kestabilan lateks pekat LA-TZ beremulsi normal butil akrilat yang disiapkan dari lateks LA-TZ stabil. Keenam macam bahan pemantap tersebut ialah : 1. Naphthalene sulfonic acid formaldehyde condensate; 2. Sodium dialkyl sulfosuccinate; 3. Triethanol amine lauryl sulfate; 4. Sodium polyoxyethylene alkyl phenol ether sulfate; 5. Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS) dan 6. Amonium laurat. Konsentrasi bahan pemantap berkisar antara 0,1 sampai 0,3 %, dan kandungan normal butil akrilat (n-BA) adalah 5 psk (per seratus berat karet). Lateks kebun distabilkan dengan tetrametil tiuram disulfida - seng oksida (TMTD - ZnO), dan gas amoniak, kemudian dipekatkan dengan cara pemusingan. Hasil lateks pekat LA-TZ yang diperoleh masing-masing ditambahkan dengan emulsi n-BA dan diaduk rata, kemudian disimpan dengan berbagai variasi waktu yaitu 0, 2, 4, 6, 18, dan 24 jam. Dari pengamatan diperoleh bahwa lateks pekat beremulsi n-BA paling stabil adalah yang mengandung bahan pemantap Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS). Bila lateks tersebut diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber kobalt-60 pada dosis 15 kGy dan dilakukan uji sifat fisik film karet maka diperoleh hasil kekuatan tarik yang tertinggi yaitu 223,3 kg/cm² pada konsentrasi Neopelex FS sebanyak 0,1 %.

ABSTRACT

THE EFFECT OF EMULSIFIER ON THE STABILITY OF IRRADIATED LA-TZ LATEX. The effect of six kinds of stabilizer on the stability of the concentrated LA-TZ latex which contains n-BA have been studied. The six stabilizers are : 1. Naphthalene sulfonic acid formaldehyde condensate, 2. Sodium dialkyl sulfosuccinate, 3. Triethanol amine lauryl sulfate, 4. Sodium polyoxyethylene alkyl phenol ether sulfate, 5. Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS), and 6. Ammonium laurat. The concentrations of the stabilizers are in the range of 0,1 to 0,3 % and of the n-BA is 5phr (perhundred rubber). The field natural rubber latex was stabilized by Tetramethyl tiuram disulfide - Zinc oxide (TMTD - ZnO) and ammonium gas, and was concentrated by the centrifuge. The obtain concentrated LA-TZ latex was added by the n-BA and was kept with various storage time i.e. 0, 2, 4, 6, 18, and 24 hours. It was found that the stable latex with n-BA was the one which was added by Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS). If the natural rubber latex was irradiated by 15 kGy dose and the physical properties was tested, then the maximum tensile strength of 223,3 kg/cm² was found on Neopelex FS concentrate at 0,1 %.

PENDAHULUAN

Lateks karet alam yang divulkanisasi secara iradiasi dengan sinar gamma Co-60 telah lama dihasilkan oleh BATAN dan dapat diproduksi secara komersial sehingga dapat digunakan konsumen untuk barang-barang celup dan barang jadi tuang (1). Menurut Marga Utama (2), lateks karet alam yang ditambah dengan bahan pemeka CCl₄ adalah stabil walaupun disimpan semalam sebelum diiradiasi, tetapi bila bahan pemeka tersebut adalah n-BA maka setelah disimpan semalam lateks karet alam tersebut akan menggumpal sebelum diiradiasi. Bila lateks tersebut diaduk secara seksama, ternyata penggumpalan akan bertambah. Penggumpalan terjadi karena kestabilan lateks terganggu. Perlakuan mekanik seperti pengadukan akan menghilangkan muatan pada lateks sehingga partikel-partikelnya bersatu (menggumpal). Untuk memantapkan lateks LA-TZ biasanya ditambah dengan sabun pemantap. Dalam makalah ini dilaporkan hasil pengamatan penambahan beberapa bahan pemantap, terhadap lateks karet alam yang disiapkan dari lateks kebun yang diawetkan oleh seng oksida (ZnO) dan tetrametil tiuram disulfida

(TMTD). Lateks LA-TZ tersebut sebelumnya dipekatkan dengan cara pemusingan, dan lateks pekat yang dihasilkan selanjutnya ditambah dengan bahan pemeka n-BA dan bahan pemantap tertentu yang stabil disimpan semalam sebelum diiradiasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Digunakan lateks kebun dari PTP XI Pasir Waringin, Serang, Jawa Barat. Bahan-bahan kimia yang digunakan : ZnO, TMTD sebagai bahan pengawet sekunder buatan Bayer, gas amoniak sebagai bahan pengawet primer lateks, dan normal butil akrilat sebagai bahan pemeka buatan dalam negeri. Serta beberapa bahan pemantap surfaktan berbentuk sabun anionik produk PT Polekao Indonesia (Tabel 1).

Alat. Lateks LA-TZ dipekatkan dengan cara pemusingan menggunakan alat pemekat dengan merk Transistor Investor model SPL-100 Starter buatan Saito Separator Limited, Jepang. Kekentalan lateks ditetapkan dengan alat Visconic, pH diukur dengan alat pH meter

buatan Fisher. Kestabilan lateks ditetapkan dengan alat Mechanical Stability Time buatan Klaxon, England, sedang pengujian sifat fisik film karet diukur dengan alat kekuatan tarik Universal Testing Machine model 1122 buatan Inggris. Lateks diiradiasi diiradiator Irpasena kobalt-60 buatan India.

Tata kerja. Dispersi penstabil TMTD - ZnO digiling dengan alat ball mill selama 72 jam. Kemudian ditambahkan kedalam lateks kebun sebanyak 0,1% dari jumlah lateks kebun. Selanjutnya gas amoniak yang berfungsi sebagai pengawet primer ditambahkan hingga kadarnya didalam lateks kebun mencapai 0,4 - 0,7 % (3). Lateks LA-TZ didiamkan semalam kemudian ditambahkan dengan 6 (enam) macam bahan pemantap masing-masing yaitu: (Deinol N, RN, T), (Pelex OTP-30), (Emal TD), (Levenol WZ), (Neopelex FS), dan (Amonium laurat) dengan konsentrasi sebagai berikut : 0,1; 0,2; dan 0,3 % dari berat lateks LA-TZ. Lateks LA-TZ berbahan pemantap didiamkan semalam kemudian dipekatkan dengan cara pemusingan. Lateks pekat LA-TZ hasil pusingan selanjutnya ditambah KOH 20 % sebanyak 0,2 psk dan amoniak, kemudian diperam / disimpan selama \pm 7 - 14 hari untuk menaikkan nilai waktu kestabilan lateks, (4). Setelah itu ditambah emulsi n-BA sebanyak 5 psk. Sifat lateks pekat LA-TZ beremulsi n-BA diuji dalam beberapa variasi waktu yaitu : 0, 2, 4, 6, 18, dan 24 jam serta dipilih lateks yang paling stabil, kemudian diiradiasi pada dosis 15 kGy.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kestabilan lateks. Kestabilan mekanik lateks pekat LA-TZ beremulsi n-BA selama penyimpanan tertera pada Tabel 2. Sebelum penyimpanan terlihat bahwa semakin tinggi persen penambahan bahan pemantap, lateks pekat beremulsi n-BA semakin stabil. Bahan pemantap F (amonium laurat) memberikan lateks pekat paling stabil, tetapi setelah penyimpanan mencapai 18 jam lateks tersebut mengental. Pengentalan beberapa saat kemudian diikuti dengan pemisahan antara serum dan koagulan. Proses ini merupakan pra koagulasi akibat terganggunya kestabilan koloid. Bahan pemantap E (Neopelex FS) paling baik, karena memberikan kestabilan mekanik lateks yang cukup tinggi sampai penyimpanan 144 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kestabilan lateks beremulsi n-BA sejalan dengan perubahan kekentalannya. Tabel 3 menunjukkan bahwa dengan bahan pemantap F (amonium laurat) memberikan kekentalan lateks paling rendah, tetapi lateks tidak dapat disimpan hingga 24 jam (tidak stabil). Bahan pemantap B (Pelex OTP-30) memberikan kekentalan paling tinggi, oleh sebab itu lateks tidak akan stabil selama penyimpanan waktu panjang. Penambahan bahan pemantap E (Neopelex FS) memberikan kestabilan paling baik, meskipun kekentalan lateks tidak terlalu rendah. Kekentalan lateks pekat berpemantap E terus meningkat selama waktu penyimpanan, tetapi kadar jumlah padatan tidak mengalami perubahan karena selama penyimpanan tidak ada penambahan bahan kimia.

Tabel 4 menunjukkan perubahan pH lateks pekat beremulsi n-BA selama penyimpanan. pH awal tidak dipengaruhi oleh jenis bahan pemantap dan konsentrasinya,

begitu juga selama proses penyimpanan nilai pH relatif konstan. Berarti selama penyimpanan tidak ada perubahan kimia. Terlihat dengan penambahan bahan pemantap Neopelex FS adalah yang paling rendah pH awalnya dibandingkan bahan pemantap lainnya, dan selama waktu penyimpanan perubahan pH lebih stabil.

Pada Tabel 5 ditunjukkan sifat fisik film karet dari lateks pekat beremulsi n-BA dengan bahan pemantap Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS) pada dosis iradiasi 15 kGy. Kekuatan tarik tertinggi dengan penambahan bahan pemantap Neopelex FS sebanyak 0,1 % yaitu sebesar 223,3 kg/cm². Makin banyak penambahan bahan pemantap kekuatan tarik makin turun. Diduga disebabkan karena makin banyak Neopelex FS yang ditambahkan makin tebal menyelimuti partikel karet, sehingga daya adhesi antar partikel akan berkurang. Sedang kemantapan mekanik makin stabil, lateks makin stabil pembentukan film makin sempurna. Tetapi konsentrasi bahan pemantap Neopelex FS yang terlalu banyak menyebabkan lateks pekat terlalu mantap dan mudah berbusa sehingga susah untuk dibuat barang-barang celup (4).

KESIMPULAN

Dari uraian tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa Neopelex FS (Dodecyl Benzene Sulfonic Acid) merupakan bahan pemantap yang terbaik untuk lateks pekat LA-TZ yang diiradiasi. Dengan menggunakan hanya 0,1 % Neopelex FS maka lateks sebelum diiradiasi stabil tidak menggumpal walaupun campuran tersebut disimpan selama 24 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

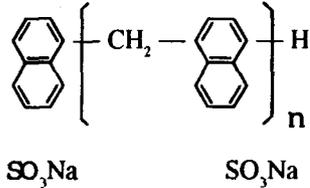
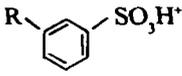
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdri. Dian Iramani, Dewi Sekar P. di Bidang Proses Radiasi serta Sdr. Armanu dan kawan-kawan di Fasilitas Iradiator yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. MARGA UTAMA, Pengaruh Bahan PENCEPAT Pada Sifat Fisik Dan Mekanik Film Karet Lateks Alam Radiasi, Risalah Simposium IV, Aplikasi Isotop dan Radiasi, Batan (1990) 295.
2. MARGA UTAMA, Distribusi Kualitas Lateks Alam Iradiasi Yang Diproduksi Skala Pilot, Hasil Penelitian 1988 - 1990 ISSN 0216 - 9576.
3. SRI UTAMI TRIWIYOSO dan BAMBANG HANDOKO, Penyimpanan Lateks Kebun Berpengawet Sekunder Tetrametil Tiuram Disulfida- Oksida Seng (TZ) Untuk Pengolahan RSS, Menara Perkebunan, 59 (1991), 47 - 52.

4. OERIP SISWANTORO, PENCEPATAN MASA PEMERAMAN LATEKS PEKAT HEVEA, *Menara Perkebunan*, 59 (1991), 43-46.
5. OERIP SISWANTORO, PENGAWETAN LATEKS HEVEA DENGAN PENGAWET SEKUNDER SENG DIMETILDITIOKARBAMAT, *Menara Perkebunan*, 59 (1991), 53 - 57.
6. ASTM, Standard Test Method For Rubber Properties Intension, *Annual Book Of ASTM*, D.1076 - 72 (1981), D.412 - 83 (1984).
7. DE BOER, G., *Pengetahuan Praktis Tentang Karet*, Ruygrok & Co, (1952).
8. BLACKLEY, D.C., *High Polymer Latices, Their Science and Technology* (1966).
9. MINOURA, Y., and ASAO, M., *Studies on the Gamma Irradiation of N.R. latex, The Effects of Organic Halogen Compounds on Crosslinking by Gamma Irradiation*, *J. Appl. Polym. Sci* 5 (1961) 401.

Tabel 1. Sabun anionik yang dipakai pada penelitian ini

Nama Kimia	Nama dagang	Rumus bangun
- Naphthalene sulfonic acid formaldehyde condensate	Demol N, RN, T	
- Sodium dialkyl sulfosuccinate	Pelex OTP - 30	$\begin{array}{c} \text{R.OOC} - \text{CH} - \text{SO}_3\text{Na} \\ \\ \text{R.OOC} - \text{CH}_2 \end{array}$
- Triethanol amine lauryl sulfate	Emal TD	$\text{R.OSO}_3\text{HN}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3$
- Sodium polyoxyethylene alkyl phenol ether sulfate	Levenol WZ	$\text{R}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{SO}_3\text{Na}$
- Dodecyl benzene sulfonic acid	Neopelex FS	
- Amonium laurat	Amonium laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2 - \text{NH}_4$

R = gugus alkil

Tabel 2. Waktu kestabilan mekanik pada penyimpanan lateks pekat beremulsi n-BA selama penyimpanan

Bahan Pemantap (%)	Waktu kestabilan mekanik, (detik)								
	Lama penyimpanan, (jam)								
	0	2	4	6	18	24	30	48	144
A - 0,1	689	437	310	209	216	50	-	-	-
A - 0,2	890	545	433	408	207	30	-	-	-
A - 0,3	344	307	310	230	242	265	-	-	-
B - 0,1	206	213	185	-	-	-	-	-	-
B - 0,2	275	271	250	-	-	-	-	-	-
B - 0,3	342	302	271	-	-	-	-	-	-
C - 0,1	750	790	640	510	-	-	-	-	-
C - 0,2	1075	1001	850	600	-	-	-	-	-
C - 0,3	921	875	750	626	-	-	-	-	-
D - 0,1	351	281	204	190	-	-	-	-	-
D - 0,2	422	224	390	324	-	-	-	-	-
D - 0,3	414	304	370	377	62	17	-	-	-
E - 0,1	300	311	319	453	502	605	703	940	1050
E - 0,2	337	357	385	447	557	707	903	1015	1200
E - 0,3	407	458	512	602	717	825	1421	1465	1500
F - 0,1	1375	>1800	1050	800	-	-	-	-	-
F - 0,2	1591	>1800	1460	1386	-	-	-	-	-
F - 0,3	>1800	>1800	>1800	>1800	-	-	-	-	-

Keterangan :

- A = Naphthalene sulfonic acid formaldehyde condensate (Demol N,RN,T)
- B = Sodium dialkyl sulfosuccinate (Pelex OTP-30)
- C = Triethanol amine lauryl sulfate (Emal TD)
- D = Sodium polyoxyethylene alkyl phenol ether sulfate (Levenol WZ)
- E = Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS)
- F = Amonium laurat
- = tidak terukur

Tabel 3. Kekentalan lateks pekat beremulsi n-BA selama penyimpanan

Bahan Pemantap (%)	Kekentalan lateks, (cp)					
	Lama penyimpanan, (jam)					
	0	2	4	6	18	24
A - 0,1	23,8	24,9	29,9	36,3	57,4	154,1
A - 0,2	25,5	29,1	37,4	51,2	79,0	409,1
A - 0,3	26,8	27,8	33,7	42,6	113,0	163,8
B - 0,1	55,1	56,3	73,6	-	-	-
B - 0,2	54,8	63,2	183,0	-	-	-
B - 0,3	53,9	55,7	64,0	-	-	-
C - 0,1	25,3	28,4	31,3	36,4	-	-
C - 0,2	27,8	29,7	34,3	40,8	-	-
C - 0,3	28,4	31,8	36,7	46,9	-	-
D - 0,1	25,3	23,4	24,8	30,4	134,3	289,1
D - 0,2	27,4	25,7	30,3	36,7	90,0	350,0
D - 0,3	19,7	19,6	21,3	24,6	61,8	69,2
E - 0,1	31,8	39,5	41,8	59,3	83,4	90,3
E - 0,2	39,7	48,1	54,8	65,0	130,4	165,7
E - 0,3	49,3	63,1	64,0	70,5	101,1	105,1
F - 0,1	20,0	26,2	29,3	38,7	-	-
F - 0,2	22,8	25,1	31,5	42,4	-	-
F - 0,3	28,8	34,8	38,5	50,4	-	-

Keterangan :

- A = Naphthalene sulfonic acid formaldehyde condensate (Demol N,RN,T)
- B = Sodium dialkyl sulfosuccinate (Palex OTP-30)
- C = Triethanol amine lauryl sulfate (Emal TD)
- D = Sodium polyoxyethylene alkyl phenol ether sulfate (Levenol WZ)
- E = Dodecyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS)
- F = Amonium laurat

Tabel 4. Perubahan pH lateks pekat beremulsi n-BA selama penyimpanan

Bahan Pemantap (%)	pH					
	Lama penyimpanan, (jam)					
	0	2	4	6	18	24
A - 0,1	10,85	10,80	10,75	10,75	10,65	10,65
A - 0,2	10,95	10,90	10,70	10,70	10,70	10,70
A - 0,3	10,80	10,80	10,75	10,75	10,35	10,35
B - 0,1	10,80	10,80	10,85	-	-	-
B - 0,2	10,95	10,85	10,85	-	-	-
B - 0,3	11,20	11,20	11,08	-	-	-
C - 0,1	10,80	10,80	10,75	-	-	-
C - 0,2	10,95	10,80	10,80	-	-	-
C - 0,3	11,10	11,10	11,10	11,10	-	-
D - 0,1	10,80	10,80	10,80	10,75	10,70	10,70
D - 0,2	10,80	10,75	10,75	10,70	10,65	10,65
D - 0,3	10,75	10,70	10,70	10,70	10,55	10,55
E - 0,1	10,75	10,75	10,75	10,65	10,65	10,65
E - 0,2	10,80	10,70	10,70	10,65	10,60	10,50
E - 0,3	10,68	10,50	10,50	10,50	10,50	10,45
F - 0,1	10,80	10,85	10,80	10,80	-	-
F - 0,2	10,70	10,70	10,65	10,65	-	-
F - 0,3	10,95	10,92	10,92	10,92	-	-

Keterangan :

- A = Demol N,RN,T
- B = Pelex OTP - 30
- C = Emal TD
- D = Levenol WZ
- E = Neopelex FS
- F = Amonium laurat

Tabel 5. Sifat fisik film karet dari lateks pekat beremulsi n-BA dengan bahan pemantap Dedocyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS) pada dosis iradiasi 15 kGy

Bahan mantap, (%)	Dosis (kGy)	M-300% (kg/cm ²)	M-600% (kg/cm ²)	Kekuatan Tarik (kg/cm ²)	Perpanjangan Tetap (%)
0,1	15	7,4	16,7	223,3	1111
0,2	15	7,8	16,5	198,2	1067
0,3	15	7,9	19,2	191,5	1033
0,4	15	5,7	13,4	159,2	1100
0,5	15	6,1	14,6	162,7	1083

DISKUSI

RINDY P. TANHINDARTO

Di dalam penelitian ada 6 macam bahan pemantap, sedang konsentrasi antara 0,1 - 0,3 %. Yang ingin ditanyakan :

1. Mana yang terbaik dari ke-6 macam bahan pemantap dan mana yang terjelek ?
2. Konsentrasi yang mana yang optimum ?
3. Berapa kondisi penyimpanan suhu dan pH ?

MADE SUMARTI K.

1. Yang terbaik dari 6 macam bahan pemantap tersebut adalah Dodicyl benzene sulfonic acid (Neopelex FS). Yang terjelek tidak ada, hanya lateks pekat beremulsi nBA tidak stabil disimpan dengan bahan pemantap lainnya.
2. Konsentrasi yang paling optimum adalah 0,1 %.
3. Dalam penyimpanan lateks di pabrik suhu maksimum 40°C, sehingga tidak perlu diukur kondisi, cukup suhu kamar saja.

SUDRAJAT ISKANDAR

Sepengalaman Saya lateks iradiasi yang menggunakan monomer n-BA sebagai bahan pemeka dapat distabilkan dengan KOH sekitar 0,2 %. Kenapa dalam penelitian yang Anda lakukan tidak dicoba menggunakan KOH sebagai penstabil ?

MADE SUMARTI K.

Pada penelitian kami juga menambahkan KOH pada lateks pekat sebanyak 0,2 psk, tetapi tidak stabil setelah disimpan beberapa jam, supaya lateks selalu dalam keadaan stabil selama proses, maka lateks perlu ditambah bahan pemantap lain.

HERWINARNI S.

1. Mengapa lateks harus diberikan bahan pemantap. Apakah arti bahan pemantap ?
2. Kestabilan lateks tergantung pada klon dan curah hujan. Berapa kadar lateks kebun pada awalnya dan untuk menstabilkan lateks kebun, mengapa memakai TMTD-ZnO ?

MADE SUMARTI K.

1. Lateks perlu ditambah bahan pemantap adalah, karena pada proses vulkanisasi radiasi lateks selalu dalam keadaan teraduk supaya tidak menggumpal perlu ditambah bahan pemantap mekanik. Bahan yang dapat memantapkan lateks agar lateks stabil tidak menggumpal.
2. Keadaan lateks kebun tidak pada awalnya KKK \pm 30 %. Kestabilan lateks tidak saja dipengaruhi oleh klon dan curah hujan, tetapi yang perlu proses pemekatan lateks. TMTD-ZnO merupakan formulasi pembunuh bakteri.

ANIK SUNARNI

Dengan penambahan 0,1 % Neopelex FS pada lateks setelah iradiasi, apakah Neopelex FS tetap ada atau bereaksi dengan lateks ?

MADE SUMARTI K.

Dengan penambahan 0,1 % Neopelex FS pada lateks setelah iradiasi Neopelex FS tetap ada karena Neopelex FS tidak masuk ke dalam partikel karet dan setelah pencucian film karet Neopelex FS akan hilang.

ZUBAIDAH IRAWATI

1. Apakah Anda melakukan uji statistik untuk parameter-parameter yang diteliti. Bagaimana cara menyimpulkan dari data yang diperoleh terutama untuk data yang kurang nyata ?
2. Bagaimana peran bahan pemantap tersebut/ mekanismenya untuk memperbaiki kualitas emulsi ?

MADE SUMARTI K.

1. Kami tidak melakukan uji statistik. Biasanya dalam laboratorium parameter pengujian selalu konstan.
2. Lateks akan menggumpal bila pH mendekati atau sama dengan pH isoelektrik sekitar 4,8. Padahal pH nBA sekitar 3 - 4, maka kalau ditambahkan lateks akan menggumpal.

MEMPERTAHANKAN MUTU MAKANAN TRADISIONAL DODOL KOMBINASI IRADIASI DAN PENGEMAS MODIFIKASI ATMOSFER

Rindy P. Tanhindarto

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000138

ABSTRAK

MEMPERTAHANKAN MUTU MAKANAN TRADISIONAL DODOL. KOMBINASI IRADIASI DAN PENGEMAS MODIFIKASI ATMOSFER. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan jenis pengemas modifikasi atmosfer yang tepat yang dikombinasikan dengan iradiasi untuk memperpanjang umur simpan dodol pada suhu kamar. Sampel dodol diperoleh dari pabrik yang diketahui tanggal produksinya. Masing-masing sampel dikemas vakum, vakum + N₂, dan vakum + CO₂ dalam kantong nilon berlaminasi polietilen. Sebagian tidak diiradiasi, dan yang lain diiradiasi pada suhu ruang. Total dosis yang diterima adalah 0; 2,5 dan 5 kGy. Kualitas sampel ditentukan berdasarkan uji kimia, mikrobiologi dan organoleptik. Hasilnya menunjukkan, bahwa dari ketiga pengemas vakum, vakum + N₂, dan vakum + CO₂ yang digunakan mengemas dodol ternyata tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap perlakuan iradiasi. Umur simpan dodol iradiasi 2,5 dan 5 kGy yang dikombinasikan dengan pengemas modifikasi atmosfer masing-masing 10 dan 12 bulan penyimpanan, sedang dodol yang dikemas dengan modifikasi atmosfer tanpa iradiasi mempunyai umur simpan sampai dengan 8 bulan penyimpanan.

ABSTRACT

PRESERVATION OF ETHNIC FOOD DODOL. COMBINATION OF IRRADIATION AND ATMOSPHERE MODIFIED PACKAGING. An investigation was conducted to determine the suitable types of modified atmosphere treatment combined with irradiation to extend the storage life of dodol at room temperature. The samples were obtained from the manufacture and the production date was known. The sample were vacuum-packed, vacuum-packed with N₂, and vacuum-packed with CO₂ in polyethylene laminated nylon pouches. A part of the samples were unirradiated, and the irradiated ones received total doses of 2,5 and 5 kGy. The quality of the samples were determined by chemical, microbiological, and organoleptic tests. The results showed that the three types of packaging combined with irradiation were not significant. The storage life of irradiation treatment with the doses of 2,5 and 5 kGy combined with modified atmosphere treatment dodol could be extended up to 10 and 12 months, respectively. For Unirradiated dodol, the storage life could be extended up to 8 months.

PENDAHULUAN

Kerusakan makanan baik yang diawetkan maupun tidak diawetkan dapat dibagi 2 golongan yaitu secara alamiah sudah ada dalam produk yang tidak dapat dicegah dengan pengemas dan kerusakan yang dapat dicegah dengan pengemas. Secara nyata pengemas berperan penting dalam mempertahankan mutu dan nilai higiene, khususnya makanan olahan tradisional.

Upaya untuk meningkatkan daya saing terhadap makanan impor dalam menghadapi era globalisasi dan memasyarakatkan gerakan "Aku Cinta Makanan Indonesia", khususnya makanan tradisional maka perlu didukung dengan teknologi yang tepat guna, baik itu dari segi rantai produksi, pengemasan dan teknik pengawetannya. Masalah yang umum dihadapi pada makanan olahan tradisional ialah tumbuhnya jamur. Iradiasi dosis rendah cukup efektif membunuh bakteri patogen atau menurunkan cemaran mikroba pada makanan olahan tradisional. Disamping itu salah satu keunggulan teknik iradiasi adalah mengawetkan makanan dalam bentuk kemasan akhir yang siap saji atau dipasarkan. Hasil penelitian terdahulu (1) dan (2), melaporkan bahwa iradiasi

dosis rendah dapat memperpanjang umur simpan makanan semi basah seperti dodol, bakpia dan wingko.

Pengemasan bahan pangan yang mengandung lemak bertujuan untuk menjaga 'acceptability', misalnya warna, citarasa, dan teksturnya disamping mencegah oksidasi asam-asam tidak jenuh agar bahan pangan tidak berbau tengik. Teknologi pengemas modifikasi atmosfer merupakan salah satu teknik pengemas masa depan yang sudah banyak digunakan di pasaran. BRODY (3), melaporkan bahwa pengemas vakum, kontrol atau modifikasi atmosfer untuk makanan dapat digunakan untuk mengemas berbagai produk makanan, seperti produk daging, ikan, hortikultura dan makanan kering. SEILER (4), mengatakan bahwa penggantian udara di dalam kemasan, misalnya gas N₂ dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan mikroba pembusuk dan mencegah ketengikan dari oksidasi lemak, sedang gas CO₂ sebagai bahan anti kapang untuk produk bakeri.

Iradiasi pada pengawetan makanan mempengaruhi citarasa makanan yang diawetkan, karena iradiasi dan penyimpanan akan menyebabkan lemak-lemak yang terdapat dalam makanan mengalami oksidasi. Perlakuan iradiasi terhadap makanan dapat memberikan pengaruh

langsung dan tidak langsung, sehingga akan mengakibatkan perubahan fisiko-kimia makanan yang diawetkan. Reaksi utama yang mungkin terjadi akibat iradiasi yaitu terhadap air sebagai komponen terbesar bahan pangan. Selanjutnya spesi reaktif hasil radiolisis air ini dapat bereaksi dengan komponen yang lain dalam makanan. Radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dari peruraian air mempunyai daya oksidasi yang cukup kuat. MAHA (5), melaporkan bahwa sterilisasi makanan biskuit dan kue bolu yang dikemas tidak vakum kemudian diiradiasi 15 kGy untuk pasien di rumah sakit akan menyebabkan penurunan nilai organoleptik aroma dan rasa, karena udara dalam kemasan mempercepat reaksi oksidasi. Disamping itu aroma yang mengakibatkan penurunan kualitas makanan yang diawetkan dapat berasal dari bahan pengemas itu sendiri (6).

Proses pembuatan dodol dilakukan pada suhu tinggi yang mengakibatkan oksidasi lemak sejak awal. Oksidasi lemak berlanjut selama penyimpanan disamping dekomposisinya oleh mikroba. Dengan demikian terjadilah penurunan mutu dodol selama penyimpanan akibat peristiwa ketengikan ('rancidity') yang terjadi pada makanan berkadar lemak tinggi maupun rendah.

Pada penelitian ini dilakukan perpanjangan umur simpan dodol dengan perlakuan kombinasi pengemasan dan iradiasi. Pengemasan dilakukan dengan bahan nilon berlaminasi PE dalam atmosfer yang berbeda-beda. Kualitas dodol selama penyimpanan pada suhu kamar diamati dengan analisis kimia dan uji organoleptik.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Bahan untuk penelitian ialah dodol yang diperoleh dari pabrik yang berlokasi di daerah Garut, Jawa Barat. Jenis pengemas yang digunakan ialah plastik nilon berlaminasi PE dengan ketebalan 0,9 μm yang diperoleh dari salah satu perusahaan pengemas.

Alat. Iradiasi dilakukan dalam Iradiator Panorama Serbaguna (IRPASENA) di PAIR - BATAN, Pasar Jumat, Jakarta yang menggunakan sumber radiasi ^{60}Co .

Penyiapan sampel dan perlakuan. Setelah diambil dari pabrik yang diketahui tanggal produksinya, sampel dikemas dengan perlakuan vakum, vakum + N_2 dan vakum + CO_2 . Kemudian dimasukkan ke dalam kotak berukuran (25 x 40 x 45)cm, lalu diiradiasi. Dosis iradiasi yang digunakan ialah 0; 2,5 dan 5 kGy dengan laju dosis 3 kGy/jam. Setelah diiradiasi, sampel disimpan pada suhu kamar (28°C dan kelembaban relatif 70 %). Parameter yang diamati ialah kadar lemak, bilangan asam, bilangan TBA (asam tiobarbiturat), total mikroba (bakteri aerob dan anaerob, kapang dan khamir), uji organoleptik (aroma, rasa, tekstur, penampakan secara umum dan pertumbuhan kapang pada permukaan sampel). Pengamatan mutu sampel dilakukan setelah 0, 4, 6, 8, 10 dan 12 bulan penyimpanan.

Metode analisis. Kadar air diukur secara gravimetri dengan menimbang sampai berat tetap setelah pemanasan pada suhu 105°C selama 2 jam. Kadar lemak ditentukan dengan metode ekstraksi, pelarut yang digunakan ialah petrolium benzen dengan titik didih (40 - 60)°C dan ekstraksi dilakukan selama 5 jam. Bilangan asam diukur

dengan metode titrimetri, berdasarkan jumlah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak. Penetapan bilangan TBA dengan reaksi warna malonaldehid. Intensitas warna merah yang timbul diukur pada panjang gelombang 532 nm (7). Total mikroba dihitung dengan metode TPC (total plate count) (8). Angka total bakteri ditentukan pada media TSA (Trypton Soy Agar) inkubasi dilakukan selama 2 - 3 hari pada suhu 35°C, bakteri anaerob diinkubasi pada inkubator vakum. Angka total kapang dan khamir ditentukan pada media SDA (Saboraud Dextrose Agar) dengan penambahan 0,05 % $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ dan waktu inkubasi 6 hari pada suhu 25°C. Larutan pengencer yang digunakan ialah bacto pepton 0,1 %. Uji organoleptik dilakukan terhadap aroma, rasa, tekstur dan penampakan secara umum dengan skala 1 - 4 untuk masing-masing parameter (nilai 1 = tidak suka; 2 = agak suka; 3 = suka; 4 = sangat suka). Pertumbuhan kapang pada permukaan sampel diamati secara visual yang dinyatakan dengan keterangan ada atau tidak ada.

Rancangan percobaan. Percobaan dilakukan dengan rancangan acak lengkap faktorial, terdiri dari 2 faktor yaitu dosis iradiasi terdiri 3 taraf (0; 2,5 dan 5 kGy) dan cara kemas terdiri dari 3 taraf (vakum, vakum + N_2 , dan vakum + CO_2) dengan ulangan 3 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kimia. Tabel 1 menyajikan kadar lemak, bilangan asam dan bilangan TBA sampel selama penyimpanan. Dari analisis sidik ragam kadar lemak sampel menunjukkan bahwa perlakuan cara kemas (vakum, vakum + N_2 , vakum + CO_2), iradiasi dan penyimpanan tidak memberikan pengaruh yang nyata. Perlakuan iradiasi menyebabkan kadar lemak awal sampel lebih tinggi tetapi peningkatannya pada akhir penyimpanan tidak setinggi tanpa perlakuan iradiasi dan tidak tergantung pada cara kemas. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi dapat menahan metabolisme enzimatis. Perubahan kadar lemak sampel tidak hanya ditentukan oleh kandungan total lemak yang ada, tetapi tergantung oleh jenis asam lemak yang ada pada sampel. Disamping itu, penghitungan kadar lemak sampel berdasarkan berat basah bahan, maka kandungan air bahan cukup berpengaruh dalam penetapan kandungan lemak sampel.

Ada 2 jalur oksidasi, yang pertama secara enzimatis yang memecah rantai asam lemak bebas menjadi senyawa dengan berat molekul lebih rendah dan selanjutnya dioksidasi menghasilkan gas CO_2 dan air. Enzim tersebut berasal dari aktivitas mikroba yang terdiri dari bakteri, khamir dan kapang. Mikroba tersebut mampu menghidrolisis molekul lemak dalam suasana aerobik maupun anaerobik. Jalur oksidasi yang lainnya ialah melalui jalur non enzimatis seperti oksidasi fotosintetik. Disamping itu oksidasi asam lemak tak jenuh dari jaringan biologi dipercepat oleh beberapa radikal bebas yang cukup reaktif seperti hidroksil ($\cdot\text{OH}$), alkoksil ($\cdot\text{RO}$) dan alkil peroksil ($\cdot\text{ROO}$).

Perubahan bilangan asam dan bilangan TBA menunjukkan terjadinya oksidasi lemak dalam sampel. Hasil

analisis statistik bilangan asam dan bilangan TBA diperoleh hasil bahwa perlakuan ke-3 cara kemas, iradiasi, dan penyimpanan tidak memberikan pengaruh yang nyata kecuali pada bilangan TBA dengan kombinasi perlakuan iradiasi 5 kGy dan cara kemas vakum + N₂ berpengaruh nyata pada taraf uji 5 %. Perlakuan iradiasi terhadap bilangan asam dan TBA pada sampel yang dikemas dengan ke-3 cara kemas ternyata memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$), yaitu terjadi peningkatan kadar bilangan asam dan TBA setelah iradiasi. Perlakuan penyimpanan terhadap kadar bilangan asam dan bilangan TBA pada sampel yang dikemas dengan ke-3 cara kemas memberikan pengaruh nyata pada taraf uji 5 % pada akhir penyimpanan. Analisis bilangan asam dan TBA sampel menunjukkan peningkatan kadarnya. Hal ini membuktikan bahwa sampel aktif mengalami proses oksidasi, karena perlakuan iradiasi dan penyimpanan.

Kenaikan bilangan asam dan TBA sampel selama penyimpanan menunjukkan proses metabolisme oksidasi masih terus berjalan dan tidak dapat dicegah dengan sistem pengemas yang ada. Walaupun demikian, perubahan tersebut masih dalam batas yang dapat diterima. Pengukuran bilangan TBA memberikan informasi terbentuknya malonaldehid sebagai hasil degradasi hidroperoksida yang terbentuk dari hasil reaksi antara lemak tidak jenuh dengan oksigen. Menurut KETAREN (9) melaporkan bahwa persenyawaan malonaldehida secara teoritis dapat dihasilkan oleh pemutusan di-peroksida pada gugus pentadiena yang disusul dengan pemutusan rantai molekul atau dengan cara oksidasi lebih lanjut dari 2-enol yang dihasilkan dari peruraian monohidroperoksida.

Uji Mikrobiologi. Iradiasi dosis rendah pada pengawetan makanan ialah untuk membunuh mikroba patogen atau menurunkan kontaminasi awal mikroba sehingga dapat dipergunakan untuk tujuan memperpanjang umur simpan makanan tradisional. Hasil analisis mikrobiologi sampel yang dikemas dengan ke-3 cara kemas vakum, vakum + N₂ dan vakum + CO₂ selama penyimpanan disajikan pada Tabel 2. Terlihat bahwa kandungan mikroba pada awal pengamatan cukup rendah yaitu hanya orde ratusan sel per gram. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi 2,5 dan 5 kGy dapat menurunkan kandungan mikroba pada awal penyimpanan sebesar 2 logaritma sel per gram, sedang perlakuan ke-3 cara kemas tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan mikroba sampel. Selama penyimpanan bakteri aerob serta anaerob, kapang dan khamir masih dapat tumbuh, tetapi kapang dan khamir setelah 8 bulan penyimpanan tidak dapat berkembang dengan perlakuan iradiasi.

Iradiasi berhasil menurunkan kontaminasi awal dodol, tetapi selama penyimpanan terjadi pertumbuhan mikroba. Hal ini terjadi karena dodol merupakan media yang baik untuk pertumbuhan mikroba, sehingga mikroba yang tidak mati dapat berkembang biak dan masih mampu untuk melakukan hidrolisa zat gizi pada media sesuai dengan kondisi lingkungan aerob maupun anaerob. KETAREN (9) menyatakan bahwa beberapa jenis kapang, khamir dan bakteri mampu menghidrolisa lemak dalam suasana aerob dan anaerob, di samping itu indikasi untuk mengetahui

aktivitas dari enzim lipase dapat diketahui dengan mengukur kenaikan bilangan asam setelah penyimpanan. Hal ini juga terjadi pada sampel iradiasi dan tanpa iradiasi ternyata pada akhir penyimpanan bilangan asam sampel meningkat. Kondisi ini juga tidak dapat dicegah dengan sistem cara kemas yang ada dan pertumbuhan mikroba pada sampel selama penyimpanan masih dalam batas yang dapat diterima.

Uji Organoleptik. Pengamatan organoleptik sangat diperlukan karena dapat menunjukkan kualitas makanan yang diawetkan secara langsung. KETAREN (9) mengatakan bahwa makanan yang mengandung lemak selama penyimpanan akan mengalami perubahan yang tidak diinginkan dan ditandai dengan timbulnya bau tengik yang kemungkinan berasal dari unsur utama dari minyak yang mengalami degradasi yaitu ester asam oleat. Parameter organoleptik pada kerusakan dodol yaitu ketengikan. Dikemasnya sampel dengan cara kemas bebas oksigen atau menghilangkan udara dengan gas inert (N₂) dan CO₂ ternyata dari segi organoleptik cukup membantu terutama untuk mempertahankan aroma sampel. Hasil pengamatan uji organoleptik terhadap aroma, rasa, tekstur dan pengamatan secara umum sampel yang dikombinasikan dengan cara kemas vakum, vakum + N₂ dan vakum + CO₂ selama penyimpanan disajikan pada Tabel 3. Kombinasi iradiasi dengan ke-3 cara kemas ternyata dapat digunakan untuk memperpanjang umur simpan dodol 10 - 12 bulan. Sampel tanpa iradiasi mempunyai umur simpan hanya 8 bulan. Secara visual kerusakan dodol ditunjukkan oleh permukaan yang tidak berminyak, mengering, kemudian jamur tumbuh bersamaan dengan aroma tengik.

Kemasan mempunyai peranan yang penting dalam menentukan kualitas produk yang diawetkan. Ternyata dodol iradiasi yang dikemas dengan modifikasi atmosfer memberikan keunggulan dalam memperpanjang masa simpan dan nilai organoleptik terutama rasa dan bau. Dari hasil penelitian sebelumnya (1) dilaporkan dodol dengan merek yang sama dikemas dengan pengemas yang sama dipasaran lalu diiradiasi 3 kGy mempunyai umur simpan 7 bulan, sedang dodol dengan merek yang lain yang dikemas dengan jenis plastik PHX dan PC yang diiradiasi 3 kGy mempunyai umur simpan 9 bulan (6). Menurut informasi dari produsen dilaporkan umur simpan dodol dengan merek yang sama dipasaran hanya 3 bulan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan secara kimia, mikrobiologi dan organoleptik dapat disimpulkan bahwa dari ke-3 cara kemas vakum, vakum + N₂ dan vakum + CO₂ yang dikombinasikan dengan iradiasi 2,5 dan 5 kGy, umur simpan masing-masing sampel dapat disimpan sampai 10 dan 12 bulan. Sedang sampel tanpa iradiasi mempunyai umur simpan hanya 8 bulan. Perlakuan terhadap ke-3 cara kemas modifikasi atmosfer ternyata tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap sampel. Saran untuk pengemas dodol iradiasi ialah jenis pengemas vakum, dengan pertimbangan lebih praktis dan mudah penanganan tanpa pengisian gas N₂ atau CO₂ dibandingkan ke-2 cara kemas lainnya yaitu vakum + N₂ dan vakum + CO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dra. Rosalina Sinaga dan saudara Cecep M. Nurcahya, serta saudari Lely Hardiningsih dan Nani Suryani yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan kepada P.T. Argha Karya Prima Industry yang telah membantu menyediakan pengemas plastik.

DAFTAR PUSTAKA

1. RINDY P.TANHINDARTO, ROSALINA S.H., dan CECEP, M.N., Penggunaan iradiasi untuk mempanjang daya simpan dodol, 6th National Congress of Indonesia Society For Microbiology and Asean Meeting on Microbiology, Desember 2 - 4, Surabaya (1993).
2. RINDY P. TANHINDARTO, ROSALINA S.H., dan CECEP, M.N., "Penggunaan iradiasi gamma untuk memperpanjang daya simpan bakpia dan wingko", Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, PAIR - BATAN, Jakarta 13 - 15 Desember (1994) 283.
3. BRODY, A.L., Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods, Food & Nutrition, Inc. Trumbull, Connecticut 06611, USA, (1989).
4. SEILER, D.A.L., Modified Atmosphere Packaging of Bakery Products, di dalam BRODY, A.L., Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods, Food & Nutrition, Inc. Trumbull, Connecticut 06611, USA, (1989) 119.
5. MAHA, M., HILMY, N., FEBRIDA dan DARMAWI, "Sterilisasi makanan dengan iradiasi untuk pasien di rumah sakit (Risalah Pertemuan Ilmiah, Jakarta, 1991)", BATAN, Jakarta (1992) 699.
6. RINDY P. TANHINDARTO dan ROSALINA S.H., "Pengaruh iradiasi gamma dan jenis pengemas pada mutu dan masa simpan bakpia dan dodol", Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, PAIR - BATAN, Jakarta 18 - 19 Februari (1997), 137.
7. APRIYANTONO, A., FARDIAZ, D., PUSPITASARI, N.L., SEDARWATI, dan BUDIYANTO, S., Analisis Pangan, PAU - IPB, Bogor, (1989).
8. FARDIAZ, S., Analisis Mikrobiologi Pangan, PAU - IPB, Bogor, (1989).
9. KETAREN, S., Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, UI - Press Jakarta, (1986).

Tabel 1. Hasil rekapitulasi analisis kadar lemak, bilangan asam, dan bilangan TBA sampel iradiasi awal dan akhir penyimpanan

Dosis iradiasi (kGy)	Jenis pengemas	Parameter					
		Kadar lemak (%)		Bilangan asam (mg/g bahan)		Bilangan TBA (mg malonaldehid/g bahan)	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
0	Vakum	4,50 ± 0,04	5,50 ± 0,01	(3,086 ± 0,193) ⁱ	(3,405 ± 0,045) ^h	(6,935 ± 0,530) ^h	(9,398 ± 0,012) ^{cde}
0	N ₂	3,80 ± 0,02	6,00 ± 0,03	(2,930 ± 0,038) ⁱ	(3,581 ± 0,046) ^{gh}	(6,928 ± 0,215) ^h	(9,575 ± 0,098) ^{cd}
0	CO ₂	4,20 ± 0,04	5,80 ± 0,01	(2,855 ± 0,049) ⁱ	(3,465 ± 0,004) ^h	(6,118 ± 0,209) ^h	(8,840 ± 0,014) ^{defg}
2,5	Vakum	6,00 ± 0,06	6,50 ± 0,02	(3,853 ± 0,019) ^{ef}	(4,895 ± 0,001) ^b	(8,612 ± 0,112) ^{efg}	(9,866 ± 0,549) ^c
2,5	N ₂	5,80 ± 0,01	6,70 ± 0,05	(3,722 ± 0,040) ^{fg}	(5,077 ± 0,021) ^{ab}	(8,368 ± 0,150) ^{fg}	(1,288 ± 0,113) ^{ab}
2,5	CO ₂	6,50 ± 0,03	6,40 ± 0,04	(3,909 ± 0,014) ^{ef}	(4,951 ± 0,067) ^b	(8,650 ± 0,047) ^{defg}	(11,062 ± 0,105) ^b
5	Vakum	6,30 ± 0,01	6,80 ± 0,03	(4,171 ± 0,020) ^{cd}	(5,210 ± 0,025) ^a	(9,892 ± 0,167) ^c	(12,059 ± 0,465) ^a
5	N ₂	6,00 ± 0,02	6,50 ± 0,06	(4,080 ± 0,006) ^{de}	(5,261 ± 0,047) ^a	(8,185 ± 0,185) ^g	(9,799 ± 0,801) ^c
5	CO ₂	5,80 ± 0,05	6,60 ± 0,08	(4,352 ± 0,238) ^c	(5,195 ± 0,040) ^a	(9,300 ± 0,407) ^{cdef}	(12,157 ± 0,064) ^a

Keterangan : a, b, c, d, e, f, g, h, dan i yang terdapat pada lajur dan kolom yang sama tidak ditandai dengan huruf yang sama berarti berbeda nyata (P < 0,05) untuk setiap periode pengamatan.

Tabel 2. Hasil analisis pertumbuhan mikroba (bakteri aerob dan anaerob, kapang dan khamir) (Min-max) koloni/gram sampel dodol iradiasi selama penyimpanan

Penyimpanan (bulan)	Perlakuan	Mikroba	Dosis iradiasi (kGy)		
			0	2,5	5
0	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri aerob	2,5 - 3,7)10 ²	(4 - 5)	tt
			(4,0 - 9,2)10 ²	(8 - 10)	tt
			(5,2 - 8,1)10 ²	(10 - 17)	tt
	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri anaerob	(1,5 - 2,5)10 ²	(6 - 8)	tt
			(2,4 - 3,2)10 ²	(3 - 4)	tt
			(1,3 - 1,6)10 ²	(5 - 6)	tt
	Vakum N ₂ CO ₂	Kapang & khamir	(1 - 8) 10	tt	tt
			(3 - 4) 10	tt	tt
			(2 - 7) 10	tt	tt
4	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri aerob	(2,1 - 5,1)10 ³	(13 - 26)	(4 - 10)
			(8,0 - 1,5)10 ³	(10 - 19)	tt
			(3,1 - 1,5)10 ³	(5 - 34)	(2 - 11)
	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri anaerob	(1,2 - 1,2)10 ³	(12 - 30)	(7 - 10)
			(2,2 - 7,3)10 ³	(12 - 18)	(4 - 10)
			(2,2 - 1,5)10 ³	(2 - 25)	(1 - 7)
	Vakum N ₂ C ₂	Kapang & khamir	(5,6 - 7,8)10 ⁴	(tt - 2)	(tt - 3)
			(2,4 - 8,9)10 ⁴	(tt - 12)	(tt - 1)
			(1,0 - 6,1)10 ⁴	(tt - 2)	(1 - 4)
6	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri aerob	(1,3 - 2,2)10 ³	(4,1 - 8,0)10	(0 - 2)
			(2,1 - 4,1)10 ³	(7,3 - 1,5)10	(8 - 18)
			(1,9 - 3,4)10 ³	(2,1 - 2,3)10	(2 - 11)
	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri anaerob	(1,6 - 1,9)10 ²	(3 - 6)	(1 - 3)
			(3,4 - 3,7)10 ²	(11 - 16)	(8 - 8)
			(3,5 - 4,1)10 ²	(7 - 13)	(5 - 13)
	Vakum N ₂ CO ₂	Kapang & khamir	(1,7 - 2,6)10 ²	(12 - 14)	(0 - 1)
			(2,7 - 3,5)10 ²	(4 - 5)	(8 - 13)
			(2,6 - 4,3)10 ²	(16 - 24)	(3 - 11)
8	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri aerob	(3,1 - 4,2)10 ²	(7 - 25)	(3 - 7)
			(3,1 - 6,6)10 ²	(6 - 11)	(5 - 6)
			(9,1 - 2,2)10 ²	(10 - 18)	(2 - 9)
	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri anaerob	(3,4 - 4,1)10 ²	(34 - 36)	(7 - 10)
			(4,7 - 5,4)10 ²	(5 - 10)	(4 - 10)
			(7,9 - 1,3)10 ²	(4 - 25)	(1 - 7)
	Vakum N ₂ CO ₂	Kapang & khamir	tt	tt	tt
			tt	tt	tt
			tt	tt	tt
10	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri aerob	sr	(15 - 22)	(13 - 17)
			sr	(16 - 19)	(9 - 11)
			sr	(10 - 24)	(17 - 29)
	Vakum N ₂ CO ₂	Bakteri anaerob	sr	(36 - 38)	(11 - 17)
			sr	(17 - 19)	(4 - 18)
			sr	(14 - 30)	(21 - 27)
	Vakum N ₂ CO ₂	Kapang & khamir	sr	tt	tt
			sr	tt	tt
			sr	tt	tt

Keterangan : tt = tidak terdeteksi. sr = sampel rusak

Tabel 3. Hasil uji organoleptik (aroma, rasa, tekstur dan penampakan secara umum) sampel dodol iradiasi selama penyimpanan

Penyimpanan (bulan)	Penge-mas	Dodol iradiasi											
		Aroma			Rasa			Tekstur			Penampakan secara umum		
		0 kGy	2,5 kGy	5 kGy	0 kGy	2,5 kGy	5 kGy	0 kGy	2,5 kGy	5 kGy	0 kGy	2,5 kGy	5 kGy
8	Vakum	(1 - 1)	(2 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 4)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)
	N ₂	(1 - 2)	(2 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 4)	(3 - 4)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)
	CO ₂	(1 - 1)	(2 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)	(1 - 1)	(3 - 3)	(3 - 3)
10	Vakum	sr	(2 - 2)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)
	N ₂	sr	(3 - 3)	(2 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)
	CO ₂	sr	(2 - 3)	(2 - 3)	sr	(2 - 2)	(2 - 3)	sr	(2 - 2)	(3 - 3)	sr	(2 - 3)	(3 - 3)
12	Vakum	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 3)	sr	sr	(2 - 3)
	N ₂	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 3)	sr	sr	(2 - 3)
	CO ₂	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 2)	sr	sr	(2 - 3)

Keterangan : Skala 1 - 4 untuk masing-masing parameter (nilai 1 = tidak suka; 2 =agak suka; 3 = suka; 4 = sangat suka).
sr = sampel rusak

DISKUSI

SUDRAJATI.

Dari hasil penelitian Anda, diperoleh jenis pengemas yang baik untuk pengemas dodol. Bagaimanakah sifat mekanik dan perubahan warnanya setelah penyimpanan 12 bulan ?

RINDY P. TANHINDARTO

Sifat mekanik pengemas tidak dilakukan, pengemas nilon berlaminasi PE dengan iradiasi sampai dengan 5 kGy tahan radiasi dan tidak terjadi perubahan warna, sudah dibuktikan terhadap yellowness index (YI) dengan alat chromameter.

GATOT SUHARIYONO

1. Bagaimana dari segi ekonomisnya hasil dodol yang dikemas secara radiasi dibanding yang dikemas tradisional ?
2. Bagaimana dengan umur simpan dodol iradiasi diatas 5 kGy ?
3. Aplikasi selanjutnya dari penelitian Anda bagaimana, terhadap masyarakat luas ?

RINDY P. TANHINDARTO

1. Segi ekonomi belum dilakukan.
2. Dari hasil penelitian terdahulu, dosis maksimum 5 kGy

dan diatas 5 kGy berdasarkan uji organoleptik kurang disukai panelis.

3. Mendapatkan legalisasi, sehingga dapat diaplikasikan masyarakat luas.

MADE SUMARTI K.

Kami sering menemukan dodol sebagai makanan tradisional yang dikemas dengan kelobot (kulit jagung).

1. Bagaimana kemasan kelobot (kulit jagung) dibandingkan dengan kemasan dodol garut ?
2. Apakah pernah diuji katahannya dibandingkan dengan kemasan biasa secara iradiasi mengingat harga kertas dan plastik sekarang sangat meningkat ?

RINDY P. TANHINDARTO

1. Kemasan kelobot kemungkinan mengandung mikroba yang menginfestasi dodol yang dikemas.
2. Sudah dilakukan, yaitu menggunakan kemasan sama dengan di pasaran bahwa perlakuan iradiasi dapat memperpanjang umur simpan (Apisora tahun 1996/1997).

RAHAYU Ch.

1. Radio pasteurisasi makanan olahan yang Anda teliti apakah secara teknis sudah layak. Apabila sudah, Anda dapat memikirkan penelitian teknologi radiasi dalam skala besar (dosimetri, kemasan besar, dll) ?

2. Bagaimana tanggapan dari pabrik yang sampelnya Anda teliti ?
3. Untuk mendapatkan/mengajukan "Clearance" dari Dirjen POM, penelitian apa saja yang harus segera dilengkapi ?
4. Pengawetan makanan olahan apa lagi yang Anda anggap masih ada masalah (bumbu-bumbu, dll) ?

RINDY P. TANHINDARTO

1. Sudah untuk kemasan skala pilot.
2. Sangat senang, karena dapat membantu salah satu permasalahan yang ada.
3. Penelitian dalam skala pilot.
4. Terutama untuk kelompok makanan semi basah, seperti jenang, bakpia, lemper, bumbu pecel, dan lain sebagainya.

GATOT T. REKSO

Dari hasil penelitian Anda, kombinasi atmosfer dan radiasi daya simpan 10 - 12 bulan dan hanya dengan modifikasi atmosfer hanya 8 bulan.

1. Dodol yang digunakan mempergunakan bahan pengawet atau tidak ?
2. Berapa lama daya simpannya bila sebelum diiradiasi pada kondisi umumnya ?
3. Pada penyimpanan, faktor apa saja yang terdeteksi lebih awal, yang menyatakan kerusakan ?

RINDY P. TANHINDARTO

1. Menurut pemilik pabrik dodol tidak digunakan pengawet makanan.
2. Maksimal 3 bulan dari proses pembuatannya.
3. Uji organoleptik, karena dapat menunjukkan kualitas makanan yang diawetkan secara langsung.

MUNSI AH MAHA

1. Kesimpulan Anda, Dodol dikemas vakum lalu diiradiasi 2,5 - 5,0 kGy terbaik (tahan 10 - 12 bulan). Kalau tidak vakum bagaimana hasilnya (supaya lebih murah) ?
2. Jenis dodol yang diteliti dodol garut rasa apa. Hal ini perlu disebutkan karena kesimpulan diatas belum tentu dapat berlaku untuk semua jenis dodol ?
3. Apa tidak diteliti jenis dodol lain yang lebih bermasalah. Misalnya, jenang Kudus, dll, karena dodol garut relatif lebih awet/terjamin mutunya ?

RINDY P. TANHINDARTO

1. Maksimal 3 bulan masa simpannya.
2. Perlu dicoba untuk berbagai rasa dodol.
3. Jenang dan dodol merupakan kelompok makanan semi basah, proses pembuatan dan bahan utamanya sama, hanya bedanya dodol dalam pengolahannya ditambah minyak hewani, sedang jenang tidak. Suatu masukan yang baik untuk mencoba jenang iradiasi.

EFEK MONOMER POLIFUNGSIONAL PADA SIFAT FISIK BAHAN PVC IRADIASI

Isni Marlijanti, Anik S, dan Gatot T.M.R

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000139

ABSTRAK

EFEK MONOMER POLIFUNGSIONAL PADA SIFAT FISIK BAHAN PVC IRADIASI. Telah dilakukan penelitian tentang studi sifat fisik PVC iradiasi yang ditambah monomer polifungsional. PVC dicampur dengan monomer polifungsional dengan konsentrasi 0,10,15 dan 20 psr dan DOP sebagai plastizer, dibuat film dengan mesin tekan panas pada suhu 180° C, tekanan 10 kg/cm² selama tiga menit, kemudian diiradiasi dengan mesin berkas elektron dengan energi percepatan 2 MeV dan kuat arus 1 mA pada dosis 0-200 kGy. Dua jenis monomer polifungsional yang ditambahkan: Trimetilol propene tri-akrilat (TMPTA) dan Trimetilol propene tri-metakrilat (TMPTMA). Pengikatan silang pada PVC iradiasi dapat dilihat dari uji fraksi padatan dan tegangan putusnya. PVC tanpa penambahan monomer polifungsional tidak terbentuk gel sampai dosis 200 kGy, tetapi dengan penambahan monomer 15 psr dapat memberi fraksi padatan yang tertinggi yaitu sekitar 70% untuk kedua monomer yang digunakan. Monomer polifungsional TMPTMA terlihat sedikit lebih baik dibandingkan dengan monomer TMPTA, karena adanya gugus metil.

ABSTRACT

THE EFFECT OF POLYFUNCTIONAL MONOMER ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF IRRADIATED PVC. The study of physical properties of irradiated PVC in the presence of polyfunctional monomers have been studied. The PVC powder were mixed with the monomer (0, 10, 15, and 20 phr), and DOP as plastisizer. The films were made by hot press machine at 180° C and the pressure of 10 kg/cm² for 3 minutes. The films were irradiated by electron beams of 2 MeV acceleration energy and beam current of 1 mA at the variation doses of 0-200 kGy. Two kinds of polyfunctional monomers were added : Tri-methylol propene tri-acrylate (TMPTA) and Tri-methylol propene tri-methacrylate (TMPTMA). The effect of PFM was observed from the gel fraction and the mechanical properties. The irradiated PVC without polyfunctional monomers does not crosslinked up to 200 kGy, but with 15 phr of monomer the gel was already formed more than 70 % for both of monomers. The addition of TMPTMA monomer were better than TMPTA monomer, due to the presence of the methyl group.

PENDAHULUAN

Polivinil klorida (PVC) mulai diproduksi secara komersial sejak tahun 1950 dan pada tahun 1985 menempati urutan kedua terbesar didunia untuk volume produksi termoplastik.

PVC adalah polimer dengan satuan pengulangan -CH₂ -CHCl, dan tanpa adanya sejumlah aditif penggunaannya sangat terbatas, oleh sebab itu resin PVC harus di modifikasi dengan cara menambahkan suatu aditif. Penambahan aditif pada formulasi PVC disamping untuk mempermudah pengolahannya, juga sangat penting untuk mendapatkan sifat fisik yang optimal pada produk akhir dari formulasi PVC yang dikehendaki. Polimer PVC mempunyai jangkauan aplikasi yang luas, bermacam-macam kegunaan polimer PVC termodifikasi diantaranya; untuk material bangunan, pipa tahan panas, selubung luar kabel listrik dan lain-lain.

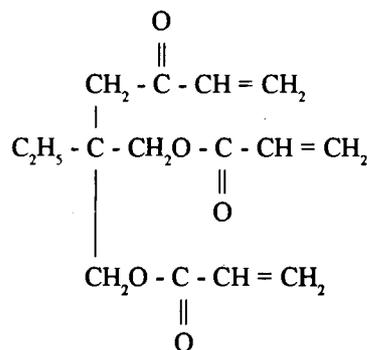
Pengikatan silang pada PVC tidak akan terbentuk tanpa adanya monomer polifungsional (1), maka keberadaan monomer polifungsional sangat berperan bagi upaya terjadinya ikatan silang sebagai "Crosslink agent". Pengikatan silang pada PVC dapat dilakukan dengan teknik radiasi, sedangkan jenis monomer yang digunakan adalah suatu senyawa yang mempunyai gugus fungsi metacrylate dan acrylate (2).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan "Crosslink agent" pada PVC yang diiradiasi dengan mesin berkas elektron, guna mendapatkan PVC berikatan silang yang mempunyai sifat fisik optimum pada pemakaiannya.

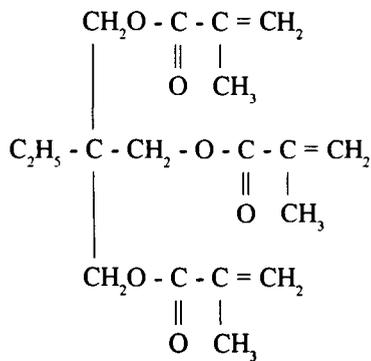
TATA KERJA

Bahan. Polivinil klorida (PVC) yang digunakan pada penelitian ini adalah PVC berbentuk bubuk, plastisizer yang dipakai Dioctyl phthalate (DOP). Dua jenis monomer polifungsional yang ditambahkan pada percobaan ini adalah

TMPTA (Tri-methylolpropene tri-acnylate)



TMPTMA (Tri-methylolpropene tri-metacrylate)



Tri-methylol propene tri-metacrylate (TMPT) dan Tri-methylol propene tri-acrylate (TMPTA), sedangkan pelarut yang digunakan adalah Tetrahydrofuran (THF).

Peralatan. Alat yang digunakan adalah rol penggiling panas, mesin tekan panas dan dingin untuk membuat lembaran film PVC, mesin berkas elektron 2 MeV dengan kuat arus 1 mA, serta alat uji tarik merk INSTRON 1122.

Pembuatan kompon dan iradiasi. Bubuk PVC sebanyak 60 gram dicampur dengan bahan-bahan lain seperti DOP dan monomer polifungsional dalam gelas beaker, kemudian campuran tersebut digiling dengan penggiling panas pada suhu 190° C selama 10 menit. Hasil gilingan tersebut dibuat film dengan mesin tekan panas hidrolik pada suhu 180° C dengan tekanan 10 kg/cm² selama 3 menit. Film PVC yang dihasilkan diiradiasi dengan mesin berkas elektron 2 MeV dengan kuat arus 1mA pada dosis 0, 50, 100, dan 200 kGy.

Uji fraksi padatan. Pengujian fraksi padatan dapat memberikan informasi seberapa besar derajat pengikatan silang yang terjadi karena radiasi dan pengaruh dari monomer polifungsional.

Kawat kasa dipotong-potong lalu ditimbang (W₀), lalu sampel dimasukkan dalam kawat kasa dan ditimbang (W₁). Sampel diekstraksi dengan pelarut tetrahydrofuran pada suhu 60° C selama 24 jam, setelah itu dikeringkan pada oven vakum pada suhu 50° C kemudian ditimbang sampai berat tetap (W₂).

Perhitungan fraksi padatan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{FP (\%)} = (W_2 - W_0) / (W_1 - W_0) \times 100 \%$$

Pengujian sifat fisik. Pengujian tegangan putus dan perpanjangan putus pada PVC yang diiradiasi diukur dengan menggunakan alat INSTRON 1122.

Uji pengusangan. Untuk melihat ketahanan sampel film PVC terhadap suhu tinggi dilakukan uji pengusangan dengan menggunakan "Gear oven" pada suhu 121° C selama 7 hari, setelah dikondisikan pada suhu ruang tegangan putus dan perpanjangan putusnya diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian fraksi padatan (gel fraction) dapat memberikan informasi seberapa besar derajat pengikatan

silang yang terjadi akibat interaksinya dengan energi radiasi, yaitu interaksi antara PVC dengan monomer polifungsional yang ditambahkan. Struktur jaringan tiga dimensi yang dibentuk oleh PVC berikatan silang dapat menurunkan sifat kelarutannya selama ekstraksi. Semakin besar jumlah ikatan silang yang terjadi, semakin besar fraksi padatannya, berarti kelarutannya semakin kecil.

Gambar 1 menunjukkan pengaruh dosis terhadap fraksi padatan pada PVC dengan dengan monomer TMPTMA, Pada PVC tanpa penambahan monomer tidak terbentuk gel sampai pada dosis 200 kGy, semuanya larut selama ekstraksi tetapi setelah ditambahkan monomer mulai terbentuk gel sekitar 40 % pada dosis 50 kGy. Dengan bertambahnya dosis gel yang terbentuk semakin meningkat, hal ini terjadi pada ketiga konsentrasi monomer yaitu 10, 15, dan 20 psr. Dari data tersebut dapat terlihat bahwa dengan konsentrasi monomer 15 psr pada dosis 200 kGy , fraksi padatan mencapai titik yang tertinggi yaitu sekitar 70 %.

Gambar 2 Pengaruh dosis terhadap fraksi padatan pada PVC dengan TMPTA, terlihat pada dosis 50 kGy dan 100 kGy terbentuknya gel lebih rendah dibandingkan dengan penambahan monomer TMPTMA, tetapi pada dosis 200 kGy nilai fraksi padatan relatif sama. Hal ini mungkin disebabkan karena gugus fungsi metakrilat sedikit lebih reaktif sehingga lebih cepat bereaksi pada dosis 50 kGy dibanding dengan gugus fungsi dari akrilat, karena pada monomer TMPTMA terdapat gugus metil yang dapat menstabilkan radikal yang terbentuk. Berdasarkan literature TMPTMA mempunyai persen reaksi yang terjadi sebesar 80,1 %, sedangkan TMPTA sebesar 78,6 % dan jumlah rata-rata ikatan C = C yang bereaksi pada TMPTMA 2,40, sedangkan pada TMPTA sedikit lebih kecil yaitu 2,36 (5).

Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil pengukuran tegangan putus pada PVC berikatan silang, tanpa adanya monomer tegangan putus tidak meningkat dengan kenaikan dosis radiasi, ini disebabkan karena tidak terjadinya ikatan silang pada PVC. Dengan penambahan monomer derajat ikatan silang meningkat oleh sebab itu tegangan putusnyapun meningkat dengan kenaikan dosis radiasi. Konsentrasi monomer 15 psr pada dosis 200 kGy dapat memberikan nilai tegangan putus tertinggi yaitu sebesar 300-400 kg/cm², baik untuk PVC dengan monomer TMPTMA maupun TMPTA.

Pada Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa perpanjangan putus menurun tidak terlalu tajam, perpanjangan putus menurun dengan meningkatnya dosis radiasi. Pengikatan silang dapat mengakibatkan bahan menjadi kaku dan keras, sehingga bahan akan mudah putus. Pengusangan bahan PVC iradiasi, Tabel 1 menunjukkan pengukuran tegangan putus setelah pengusangan. Ternyata PVC yang diiradiasi pada 50 kGy tidak tahan terhadap pengusangan, hal ini berarti pengikatan silang yang terjadi belum sempurna.

Sedangkan pada dosis 100 kGy dan 200 kGy bahan masih dapat bertahan, tetapi tegangan putusnya bertambah tinggi dan tidak mempunyai perpanjangan putus, hal ini disebabkan bahan menjadi keras dan kaku sehingga mudah patah.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Pengikatan silang pada kompon PVC iradiasi dapat terbentuk dengan adanya monomer polifungsional.
2. Kompon PVC iradiasi yang berikatan silang dapat menaikkan sifat fisiknya.
3. Monomer polifungsional TMPTMA sedikit lebih reaktif dibandingkan dengan monomer TMPTA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah membantu penelitian ini, dan dana penelitian ini dibiayai oleh RUT I.1

DAFTAR PUSTAKA

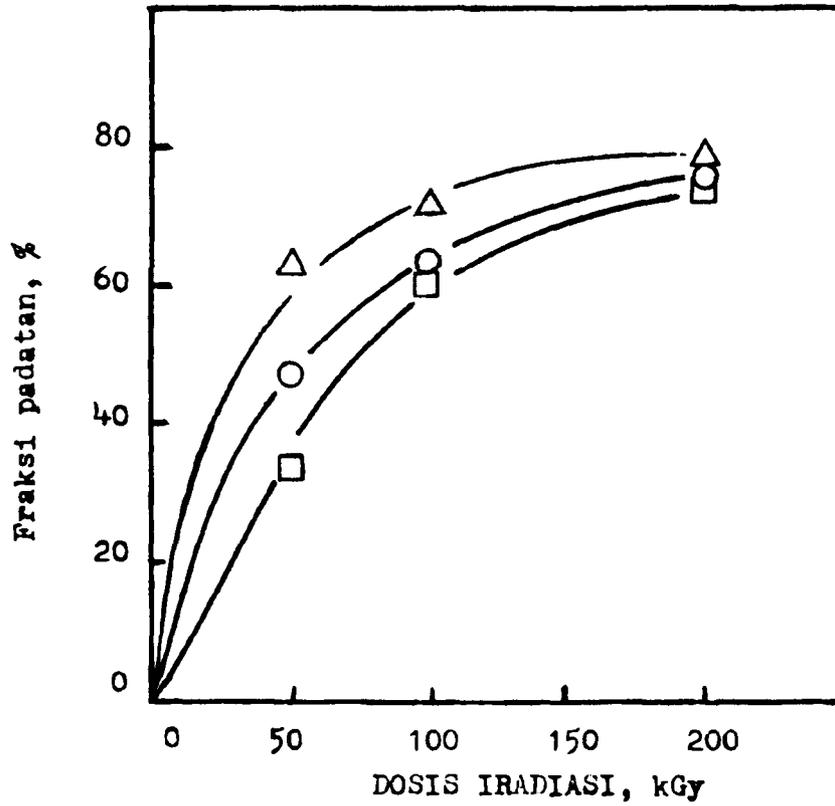
1. SUN JIA ZHEN, "New trend of polymer shape memory material", Regional training course on Radiation Crosslinking Technology (1990).

2. H.K. ZHANG, "Formulation of radiation-crosslinked wire and cable insulation", Regional training courseon Radiation Crosslinking Technology (1990).
3. ZULKAFLI GHAZALI, "Radiation crosslinking of polymer in the presence of PFM",JAERI-Memo 03-179 (1991).
4. RIZKI AGUNG, M., Pengikat silang PVC dengan menggunakan tehnik radiasi Gamma, Karya Utama Sarjana Kimia, UI Depok (1994).
5. JAMES E. MOORE," Calorimetric Analysis of UV curable system, UV curing scince and technology" , Vol II (1980).
6. DR. R.HALMAN BSc, Ph.D and DR. P, OLDRING Ph.D, BA, "Diluents", UV and EB curing formulation for printing Inks, Coating and Paints , Chapter III (1988).

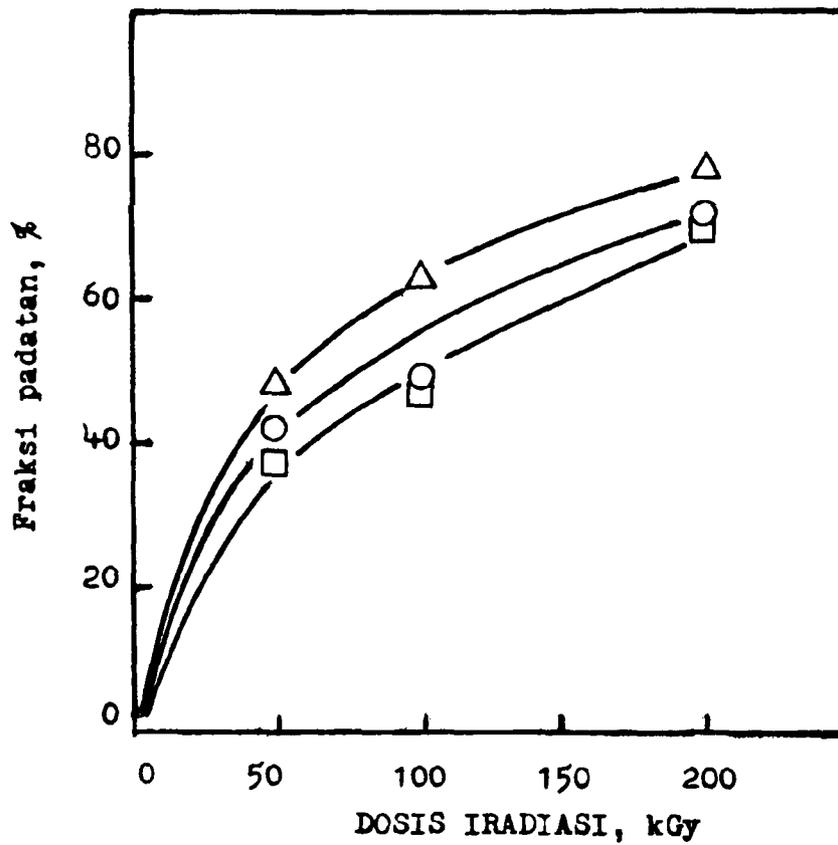
Tabel 1. Tegangan putus setelah pengusangan

Dosis / (kGy) / MPF (psr)	PVC + TMPTMA	PVC + TMPTA
0 / 0	-	-
0 / 10	-	-
0 / 15	-	-
0 / 20	-	-
50 / 0	-	-
50 / 15	-	-
50 / 20	-	-
100 / 0	884	884
100 / 10	863	896
100 / 15	873	807
100 / 20	856	874
200 / 0	616	616
200 / 10	738	832
200 / 15	788	869
200 / 20	747	1054

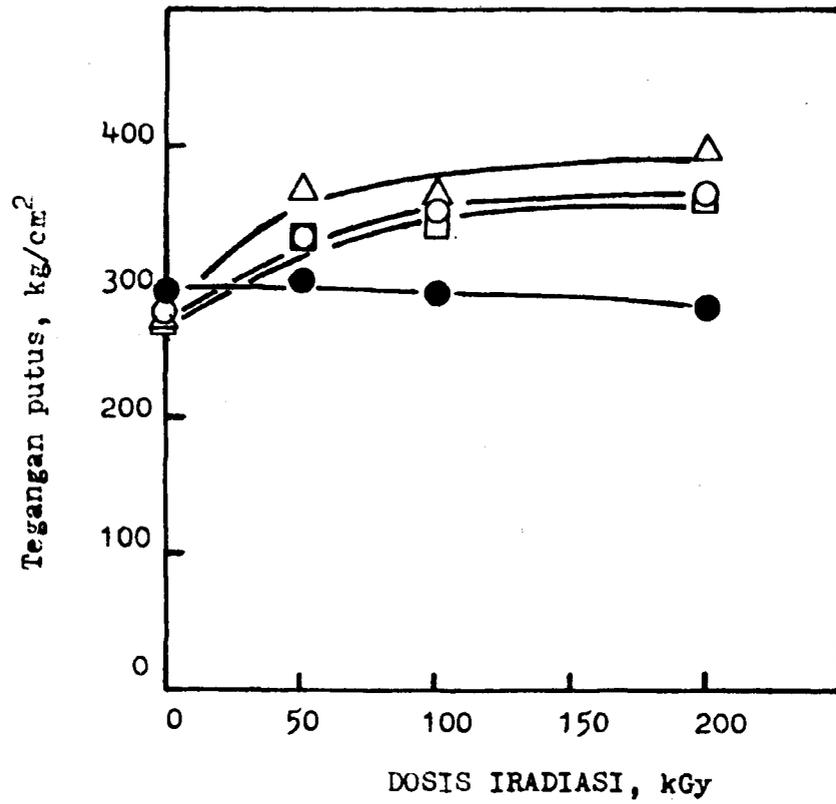
Keterangan : MPF : Monomer polifungsional



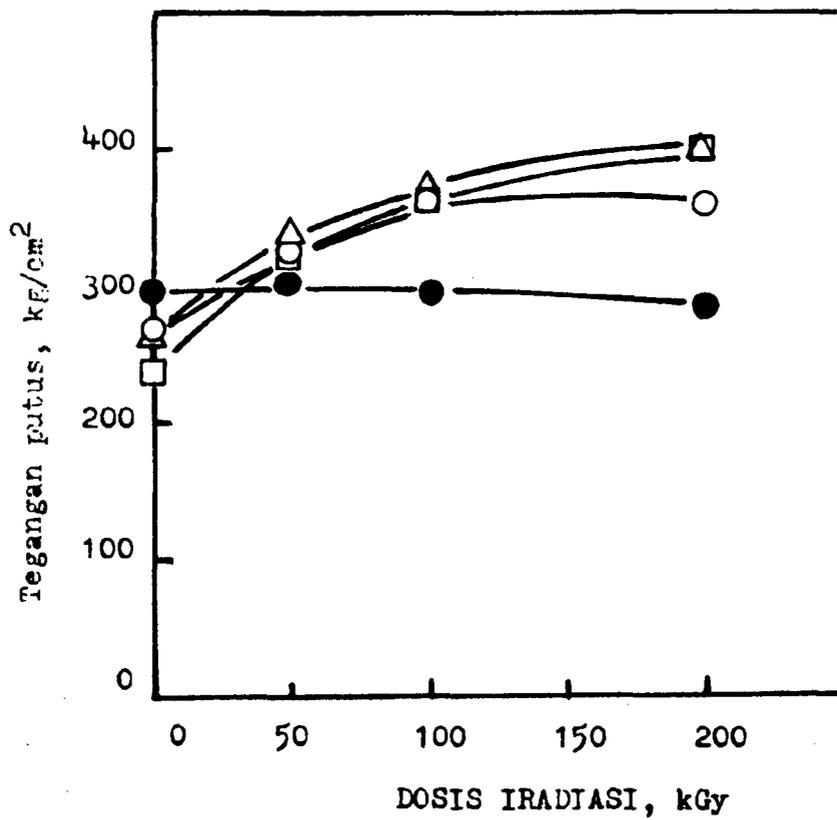
Gambar 1. Pengaruh dosis terhadap fraksi padatan pada PVC + TMPTMA
○ = 10 psr, Δ = 15 psr, □ = 20 psr



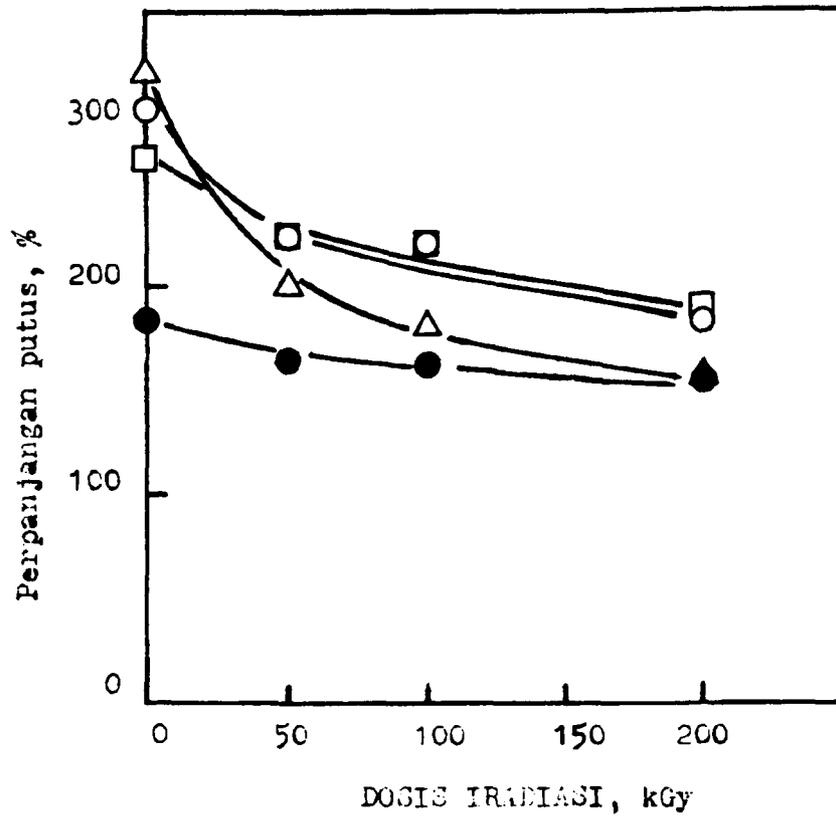
Gambar 2. Pengaruh dosis terhadap fraksi padatan pada PVC + TMPTMA



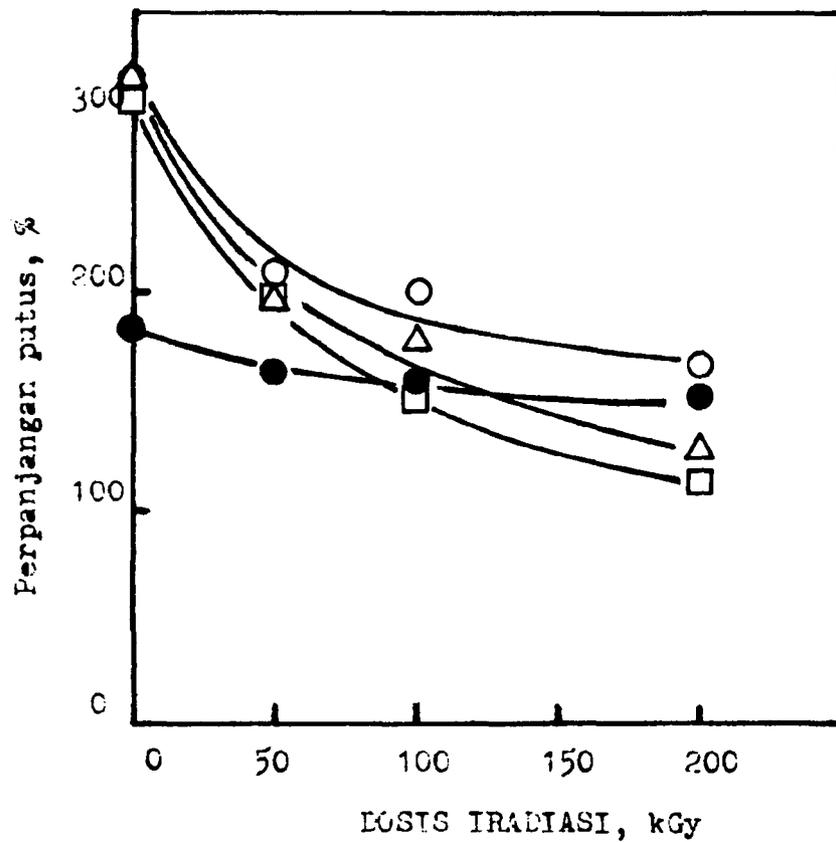
Gambar 3. Pengaruh dosis terhadap tegangan putus pada PVC + TMPTMA
 ● = 0 psr, ○ = 10 psr, △ = 15 psr, □ = 20 psr.



Gambar 4. Pengaruh dosis terhadap tegangan putus pada PVC + TMPTMA



Gambar 5. Pengaruh dosis terhadap perpanjangan putus pada PVC + TMPTMA



Gambar 6. Pengaruh dosis terhadap perpanjangan putus pada PVC + TMPTMA

DISKUSI

NAZLY HILMY

1. Apa tujuan penelitian ini ?
2. Mengingat PVC mudah terurai oleh iradiasi dan digrafting juga dengan monomer polifungsional untuk tujuan apa ?
3. Jika tujuan untuk mencari PVC yang tahan radiasi, jelaskan mengapa Anda melakukan penelitian ini ?

ISNI M.

1. Tujuan akhir penelitian ini adalah untuk produk selubung kabel listrik.
2. Tujuannya bukan grafting, tetapi Crosslinking, karena PVC tanpa penambahan monomer polifungsional tidak dapat terbentuk ikatan silang selama iradiasi.
3. Tujuannya bukan untuk mencari PVC yang tahan radiasi, tetapi mendapatkan PVC berikatan silang yang tahan panas.

ZUBAIDAH IRAWATI

Pada tata kerja, metode Siapa yang diacu dalam pembuatan sampel. Apakah merupakan penemuan sendiri, modifikasi, dsb. ?

ISNI M.

Pembuatan sampel dilakukan berdasarkan percobaan yang kami lakukan di laboratorium dan juga mengacu pada Balai Besar Kulit dan Plastik di Yogyakarta.

SUGIARTO DANU

Pada penambahan monomer polifungsional sebanyak 10 psr mempunyai fraksi padatan berada diantara penambahan 15 dan 20 psr. Bagaimana penjelasan hubungan antara fraksi padatan dengan konsentrasi monomer yang ditambahkan ?

ISNI M.

Kemungkinan pada waktu proses pencampuran PVC dan monomer polifungsional 20 psr tidak homogen dan kemungkinan banyak yang keluar (hilang), sehingga menyebabkan kandungan monomer pada PVC berkurang yang mengakibatkan ikatan silang yang terbentuk lebih kecil, maka % fraksi padatannya lebih rendah daripada konsentrasi MPF 10 dan 15 psr.

SUDRAJAT ISKANDAR

1. Kenapa yang di pilih monomer TMPTA dan TMPTMA ?
2. Tujuan akhir penelitian untuk membuat apa ?

ISNI M.

1. Dipilih monomer TMPTMA dan TMPTA, karena monomer tersebut mempunyai tiga gugus fungsi.
2. Tujuan akhir penelitian ini adalah untuk produk selubung kabel listrik.

KARAKTERISASI POLIETILEN DENSITAS RENDAH IRADIASI

Kadarijah, Isn Marlijanti, dan Anik Sunarni

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000140

ABSTRAK

KARAKTERISASI POLI ETILEN DENSITAS RENDAH (LDPE) IRADIASI. Efek dosis rendah (10 - 50 kGy) dari iradiasi gamma pada LDPE berbentuk lembaran dengan ketebalan ~ 1 mm didalam lingkungan udara dan gas nitrogen (N₂) telah dilakukan. Parameter yang diukur adalah perubahan sifat fisik, sifat termal dan pita serapan infra merah. Sifat fisik diukur menggunakan alat Stograph - R1 Toyoseiki. Sifat termal diukur dengan DSC Du Pont TA 9900 dan kecepatan pemanasan 1°C/menit, sedangkan absorpsi infra merah dilihat dengan FT-IR Shimadzu. Hasil yang diperoleh adalah tegangan putus naik dengan naiknya dosis iradiasi baik iradiasi dalam lingkungan udara maupun lingkungan nitrogen yaitu dari 139 kg/cm² menjadi 165kg/cm² dan 172 kg/cm² pada dosis iradiasi 25 kGy. Suhu titik leleh kristalin (T_m) LDPE yang tidak diiradiasi adalah 112° C sedangkan setelah iradiasi 50 kGy sedikit menurun sekitar 1°C baik yang diiradiasi dalam lingkungan N₂ maupun udara. Sedangkan T_o (suhu oksidasi) naik pada lingkungan udara dan yang diiradiasi pada lingkungan N₂ mempunyai dua titik puncak. Setelah iradiasi dapat diamati adanya pergeseran pita serapan infra merah dari LDPE, diantaranya pita serapan pada panjang gelombang 715, 731, 1303, dan 1377 cm⁻¹.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF IRRADIATED LOW DENSITY POLY-ETHYLENE (LDPE). Effect of low doses (10 - 50 kGy) gamma irradiation to ~ 1 mm thickness LDPE sheet under air and nitrogen gas environment have been done. Parameter that observed were tensile properties, thermal properties and infra-red spectrum. Tensile properties were measured by Stograph R1 Toyoseiki, thermal properties were measured using DSC Due Pont TA 9900 with heating rate 10° C/min and infra red spectrum was observed using FT-IR Shimadzu. Gamma irradiation caused increasing tensile strength from 139 kg/cm² up to 165 kg/cm² in air environment and 172 kg/cm² in nitrogen at the dose 25 kGy. The crystallin melting temperature (T_m) unirradiated LDPE is 112° C. Gamma irradiation slightly decreased the melting temperature about ~ 1° C in both environment after 50 kGy, oxidation temperature (T_o) was a little increased when irradiated in air and that irradiated in nitrogen formed two peaks. After irradiated, several peaks absorption of infrared spectrum were shifted, such as absorption band at 715, 731, 1303 and 1377 cm⁻¹.

PENDAHULUAN

Penelitian efek radiasi sinar gamma pada sifat fisika film kemasan polipropilen dan polietilen telah dilakukan oleh N. HILMY dkk. (1) dan disimpulkan bahwa sifat fisika film kemas polietilen densitas rendah (LDPE) dan polietilen densitas tinggi (HDPE) tidak berubah sampai dosis 50 kGy. Demikian pula sifat fisika beberapa jenis film kemas laminasi dari polipropilen/polipropilen (PP/PP), polipropilen/polietilen (PP/PE) dan poliester/polietilen (PET/PE) yang telah diteliti oleh Z.I. PURWANTO dkk. (2), bahwa dengan dosis iradiasi 10 kGy sifat fisika kemasan masih tetap.

Untuk melengkapi data yang telah ada, kiranya perlu diteliti lebih lanjut pengaruh iradiasi gamma pada polietilen, karena penggunaan polietilen yang semakin luas, tidak hanya sebagai film pengemas, tetapi juga botol / wadah obat atau kosmetik, busa, isolasi kabel, komposit, prostase dan lain-lain. Dalam hal ini iradiasi gamma tidak hanya untuk sterilisasi, tetapi juga untuk modifikasi polimer, karena penambahan bahan anti oksidan pada kompon akan mengakibatkan perubahan sifat, terutama perubahan warna.

Jenis polietilen yang ada yaitu polietilen densitas rendah (LDPE), polietilen densitas tinggi (HDPE),

polietilen densitas sedang (LLDPE) dan yang terbaru adalah polietilen berat molekul ultra-tinggi (UHMWPE). Dalam penelitian ini yang diteliti LDPE yang akan dilanjutkan dengan polietilen jenis lain. Parameter yang dilakukan adalah perubahan fraksi padatan karena iradiasi, sifat termal, sifat fisika dan absorpsi sinar infra-merah diukur dengan FT-IR (Fourier Transform Infra-Red).

BAHAN DAN METODE

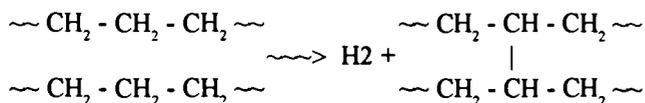
Bahan penelitian. Polietilen densitas rendah (LDPE) yang digunakan untuk percobaan berbentuk pelet produksi Samsung. Suhu titik leleh LDPE pelet sebelum diproses diukur dengan DSC dengan laju pemanasan 10° C/menit adalah 112° C. Contoh lembaran polietilen dengan tebal ~ 1 mm dibuat dengan meletakkan pelet diantara dua pelat stainless steel pada suhu 130° C dan tekanan 100 kg/cm². Lembaran contoh dipotong berbentuk dumbel sesuai dengan ASTM no. D-1822L.

Metode. Iradiasi gamma dilakukan pada suhu kamar dengan dosis iradiasi 12,5; 25; dan 50 kGy dengan laju dosis 10 kGy/jam di dalam iradiator lateks IRKA. Potongan contoh dimasukkan dalam ampul lalu diiradiasi.

Untuk iradiasi dalam lingkungan gas nitrogen, contoh dimasukkan dalam ampul, udara ditarik dengan pompa vakum lalu dialiri gas nitrogen, ditarik dengan vakum lagi dan dialiri gas dan diulang beberapa kali, kemudian diiradiasi pada suhu kamar. Sifat termal diukur dengan Differential Scanning Calorimetry (DSC) Du Pont TA-9900. Untuk kalibrasi digunakan Indium. Contoh seberat lebih kurang 2 mg ditempatkan dalam pan aluminium, dipanaskan dengan kecepatan pemanasan 10° C/menit mulai suhu 40° - 400° C dan dialiri gas N₂ / O₂. Dari pengukuran tersebut dapat diketahui suhu titik leleh (Tm) dan suhu titik oksidasi (To). Uji kekuatan fisik dilakukan dengan menggunakan Tensile tester Stograph R-1 Toyoseiki, ukuran contoh sesuai dengan ASTM no. D-1822 L, seperti Gambar 1. Perubahan spektrum pita serapan infra merah polietilen kontrol dan yang sudah diiradiasi diamati dengan FT-IR Shimadzu pada panjang gelombang 500 - 4000 cm⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut CHAPIRO 1962 (3), CHARLESBY mengatakan bahwa polietilen apabila diiradiasi akan berikatan silang, karena polietilen merupakan polimer yang mudah berikatan silang (crosslink polymer). Tetapi pada dosis rendah polietilen yang berikatan silang sedikit sehingga sifat-sifatnya sebagian besar masih sama seperti polimer yang tidak diiradiasi. Sesudah iradiasi 40 - 50 kGy keatas, polimer baru mulai tidak larut dalam pelarut membentuk gel/padatan yang jumlahnya makin bertambah dengan naiknya dosis iradiasi dan reaksi proses pengikatansilang dengan menghasilkan gas H₂ dan reaksi yang sederhana dapat ditulis sebagai berikut :



Iradiasi tidak hanya menghasilkan pengikatan silang, tetapi juga pemutusan rantai yang jumlahnya tergantung dosis radiasi dan lingkungan iradiasi (4). Hasil percobaan banyaknya fraksi padatan yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 1. Polietilen yang diiradiasi di udara menghasilkan fraksi padatan yang lebih rendah yaitu 28,9 % bila dibandingkan dengan yang diiradiasi dalam gas nitrogen yaitu 54,7 % pada dosis yang sama 50 kGy. Awal terbentuknya fraksi padatan juga dipengaruhi oleh lingkungan iradiasi seperti dikatakan oleh peneliti terdahulu (3) bahwa awal terbentuknya fraksi padatan kira-kira pada dosis 13 kGy bila diiradiasi dalam keadaan vakum, dan dosis 31 kGy dibutuhkan untuk terbentuknya fraksi padatan bila diiradiasi di udara. Turunnya derajat ikatan silang apabila iradiasi dilakukan di udara ini mungkin kecuali karena pengikatan silang, juga terjadi degradasi-oksidasi dan pengikatan silang juga dihambat oleh oksigen karena oksigen merupakan penangkap radikal bebas (free radical scavenger).

Pengujian sifat fisik dilakukan 1 - 2 minggu setelah iradiasi (5) dan dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Gambar 2 menunjukkan bahwa tegangan putus naik dengan naiknya

dosis iradiasi baik iradiasi di udara maupun dengan adanya gas nitrogen. Tegangan putus polietilen iradiasi dalam gas nitrogen lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang diiradiasi di udara. Tegangan putus pada dosis 25 kGy untuk iradiasi di udara 165 kg/cm² sedangkan iradiasi dalam N₂ 175 kg/cm².

Differential Scanning Calorimetry (DSC) digunakan untuk melihat pengaruh iradiasi pada suhu titik leleh dan suhu titik oksidasi. Dari hasil pengukuran, suhu titik leleh (Tm) pelet LDPE adalah 112°C dan setelah dipres panas pada suhu 130° C juga menunjukkan Tm yang sama 112° C, dapat dilihat dalam Tabel 2.

Setelah iradiasi terlihat adanya sedikit penurunan pada suhu titik leleh. Dengan iradiasi 25 kGy dalam lingkungan udara suhu titik leleh tidak berubah yaitu 112°C, sedangkan yang diiradiasi dalam N₂ suhu titik leleh menurun sedikit yaitu 111,6°C dapat dilihat pada Gambar 4. Pada dosis 50 kGy, suhu titik leleh turun baik yang diiradiasi dalam udara maupun dalam N₂. Ini disebabkan adanya kerusakan pada kristal yang besar (3). Suhu titik oksidasi dari LDPE iradiasi dapat dilihat pada Tabel.2 dan Gambar 5. Dari Tabel.2 dapat dilihat bahwa suhu titik oksidasi pada PE yang diiradiasi di udara cenderung sedikit naik sedang yang diiradiasi dalam suasana N₂ muncul dua puncak, ini kemungkinan disebabkan adanya perubahan kimia dan masih perlu analisa lebih lanjut.

Perubahan yang terjadi pada LDPE karena iradiasi yang sebelumnya sulit dilihat, dengan adanya FT-IR perubahan tersebut dapat diamati (6). Dalam penelitian ini spektrum infra merah diukur dengan FT-IR Shimadzu. Perubahan yang perlu dilihat adalah pita serapan pada panjang gelombang antara 500 - 2000 cm⁻¹ dan spektrum yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 6. Iradiasi gamma menyebabkan adanya beberapa pergeseran pita serapan dan perubahan intensitas absorpsi. Pita serapan pada daerah 715 dan 731 cm⁻¹ adalah daerah CH₂ rocking yang sedikit bergeser pada 713 dan 727 cm⁻¹. Pita serapan tersebut juga menunjukkan adanya rantai metilen yang panjang pada rantai utama (8). Pita serapan pada 1377 cm⁻¹ juga mengalami pergeseran dan pita tersebut adalah pita vibrasi asimetris ikatan CH pada CH₃ grup. Untuk daerah trans-vinylene (R-CH=CH-R') pada pita serapan 966 cm⁻¹ secara kualitatif terlihat bahwa intensitas absorpsi bertambah, ini menunjukkan bahwa ikatan tipe trans-vinylene terbentuk karena iradiasi, hal ini sesuai seperti apa yang ditulis oleh beberapa peneliti terdahulu bahwa terbentuknya ikatan trans-vinylene pada PE iradiasi linier dengan dosis iradiasi (3, 7).

KESIMPULAN

Iradiasi gamma dan lingkungan iradiasi yaitu udara dan gas N₂ memberikan perubahan sifat fisik LDPE Samsung. Dengan naiknya dosis iradiasi tegangan putus naik dan jumlah fraksi padatan juga bertambah. Dengan dosis iradiasi 25 kGy dalam udara, tegangan putus naik dari 139 kg/cm² menjadi 165 kg/cm² sedangkan yang diiradiasi di dalam N₂ dengan dosis sama 25 kGy, tegangan putus naik menjadi 175 kg/cm².

Setelah iradiasi sampai dengan 50 kGy suhu titik leleh turun lebih kurang 1° C baik yang diiradiasi di udara ataupun dalam gas nitrogen, dari 112° C menjadi 110,6° C. Suhu titik oksidasi cenderung naik apabila diiradiasi di udara dan yang diiradiasi dalam nitrogen membentuk dua titik puncak. Efek iradiasi pada PE menyebabkan beberapa pergeseran pita serapan, diantaranya pita serapan pada panjang gelombang 715, 731, 889, 1377 dan 1303 cm⁻¹. Dan naiknya dosis iradiasi intensitas pita serapan transvinylene (R-CH=CH-R') kelihatan bertambah sedangkan pita serapan vinylidene pada 889 cm⁻¹ menurun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan pada rekan-rekan di Fasilitas Iradiasi yang telah membantu meradiasi sampel penelitian dan kepada rekan-rekan Kelompok Polimer yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

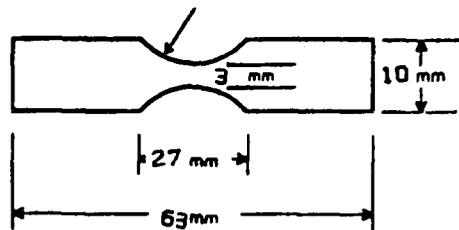
1. N. HILMY, F. SUNDARDI, Efek radiasi sinar gamma pada sifat fisika film polietilen dan polipropilen, Majalah BATAN, XV, 2, 1 (1982).
2. Z.I. PURWANTO, M. MAHA, dan M. UTAMA, Pengaruh iradiasi gamma pada sifat fisika beberapa jenis kemas bentuk laminasi. II. Polipropilen-polipropilen, polipropilen-polietilen dan poliester-polietilen, PAIR/T130/1984.
3. ADOLPHE CHAPIRO, IX. Radiation effect in polymer s of the cross-linking type, Radiation chemistry of polymeric systems, 385 (1962).
4. MENG DENG and SHALABY W.SHALABY, Effect of gamma irradiation , gas environment, and postirradiation aging on ultrahigh molecular weight polyethylene, Journal Appl.Pol.Sci., 58, 2111 (1995).
5. JAMES H. O'DONNELL and ANDREW K. WHITTAKER, Radiation degradation of linear low density polyethylene : Determination of lamellae thickness, crystallinity and crosslinking by solid-state and DSC, Radiat. Phys. Chem, 39, 2, 209 (1992).
6. M.M. COLEMAN and P.C. PAINTER, Fourier transform infrared studies of polymeric materials, J. Macr. Sci., Rev. Macr. Chem. C16 (2), 197 (1977 - 1978).
7. WALTER J. and CHAPPAS and JOSEPH SILVERMAN, The radiation chemistry of crystallin alkanes, Radian Phys. Chem., 16, 437 (1980).
8. D.L. GERRARD, W.F. MADDAMS and K.P.J. WILLIAMS, The raman spectra of some branched polyethylenes, Polymer communications 25, 182 (1984).
9. K. WUNSCH and H.J. DALCOLMO, Structure reactivity relationship in radiation induced crosslinking of polyethylene, Radiat. Phys. Chem., 39, 5, 443 (1992).

Tabel 1. Hubungan antara dosis iradiasi dengan fraksi padatan yang terbentuk

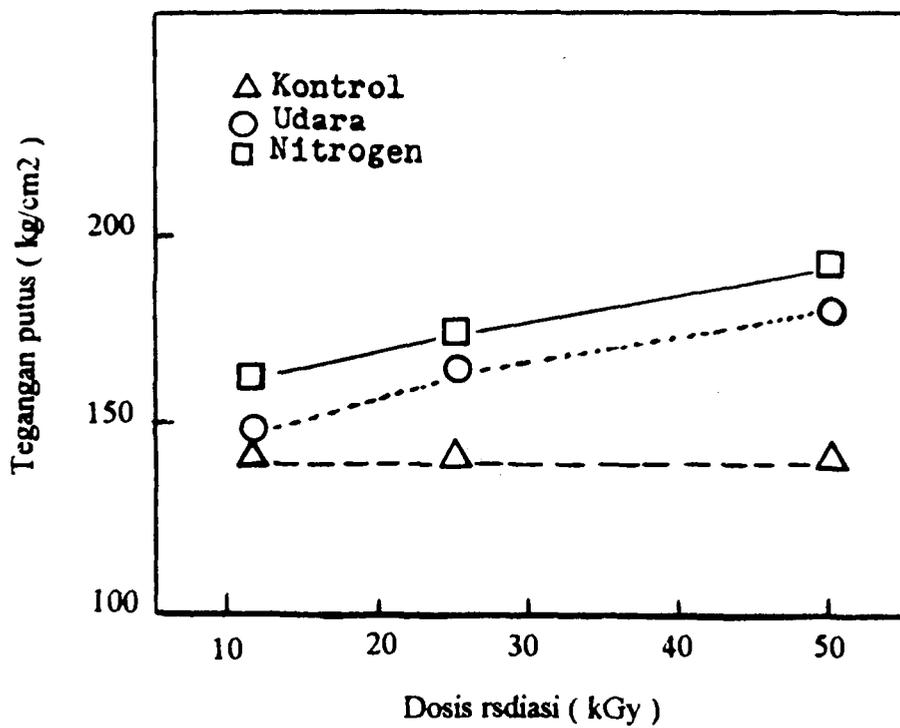
Dosis iradiasi (kGy)	Fraksi padatan (%)	
	Udara	N ₂
0	0	0
125	0	1,2
25	0,5	12,4
50	28,9	54,7

Tabel 2. Pengaruh iradiasi gamma pada suhu titik leleh (Tm) dan suhu titik oksidasi (To) LDPE Samsung

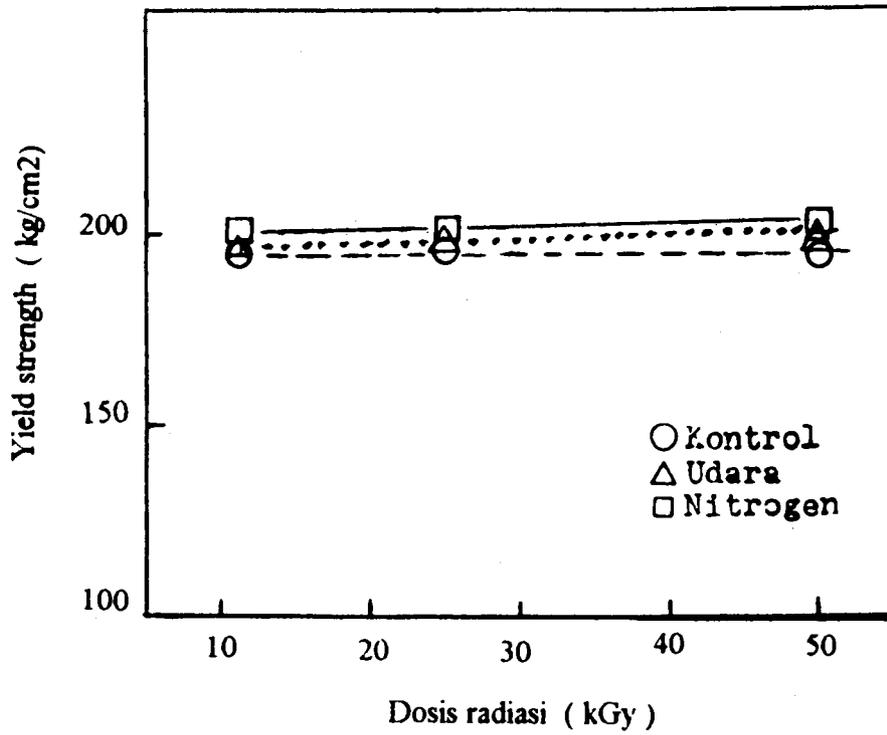
Dosis (kGy)	Tm (°C)		To (°C)	
	Udara	N ₂	Udara	N ₂
0	112	112	257,7	257,7
25	112	111,6	258	48,9 313,2
50	111,1	110,6	263	240,1 324,7



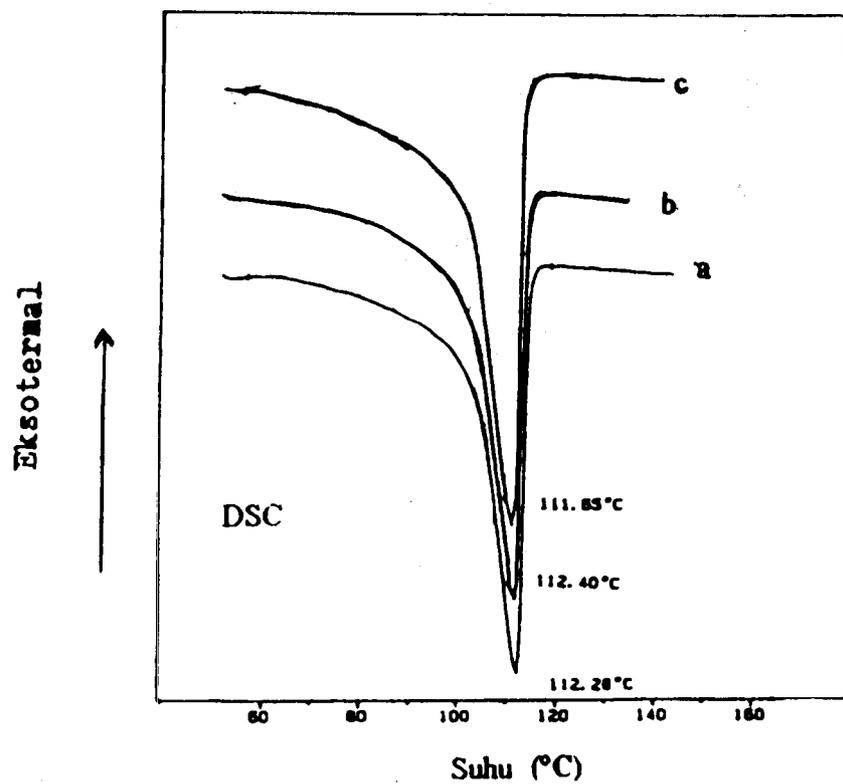
Gambar 1. Ukuran contoh ASTM no.D-1822 L



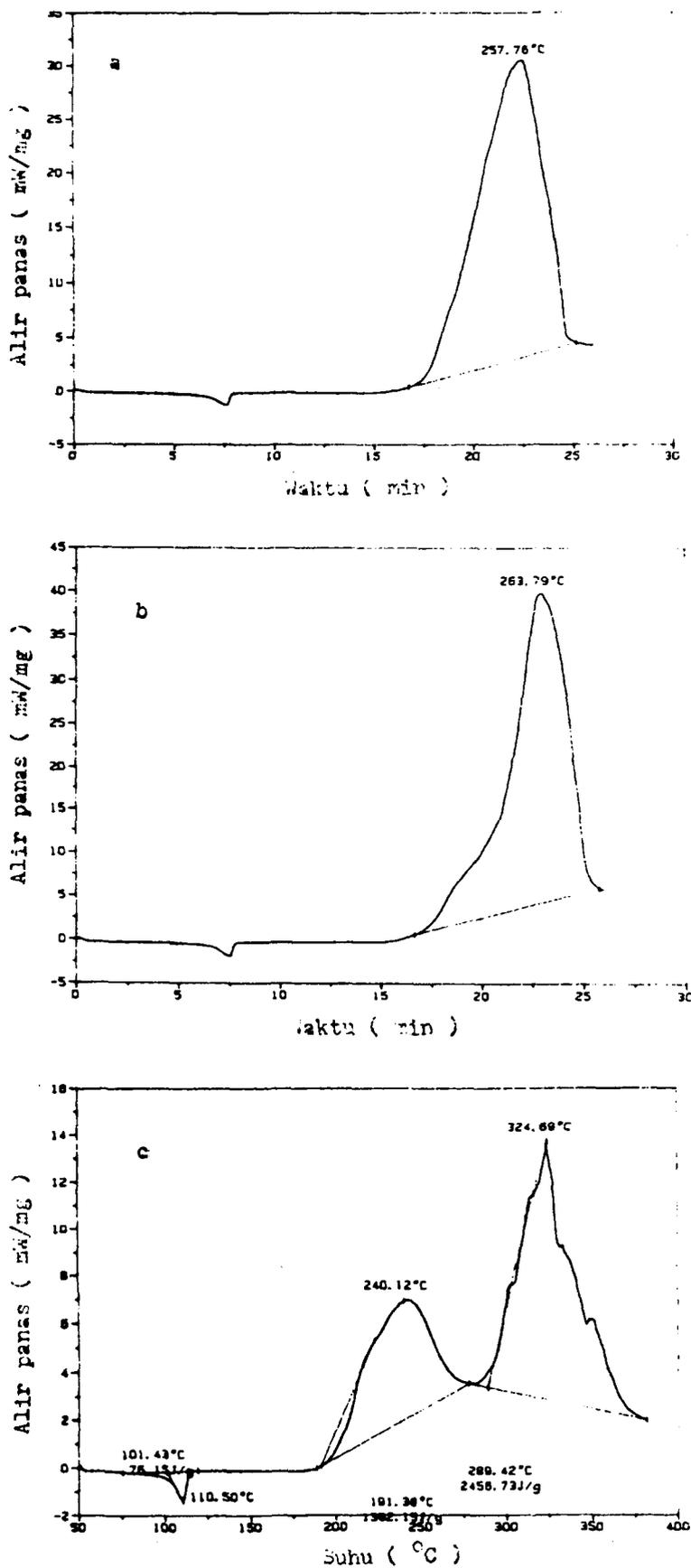
Gambar 2. Hubungan antara tegangan putus dan dosis radiasi film LDPE.



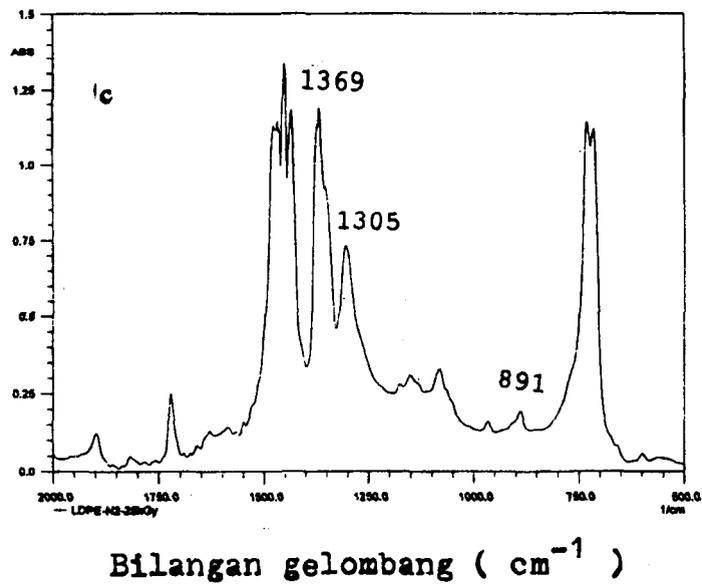
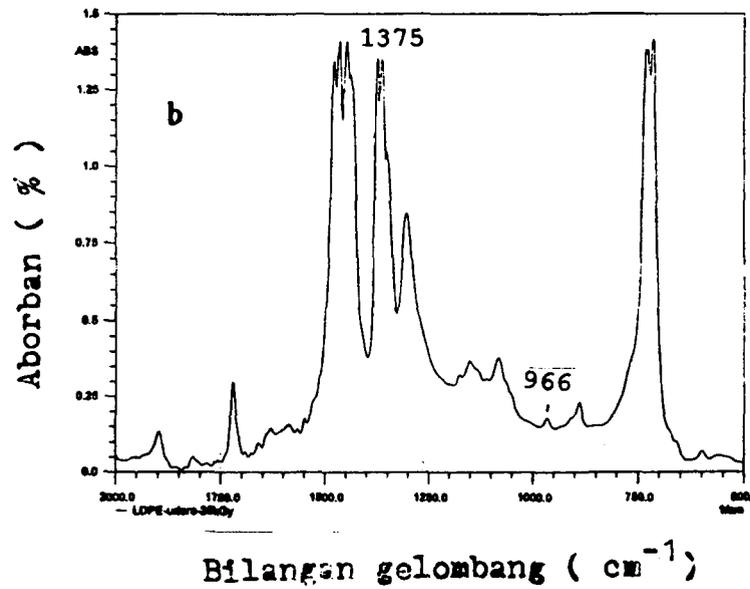
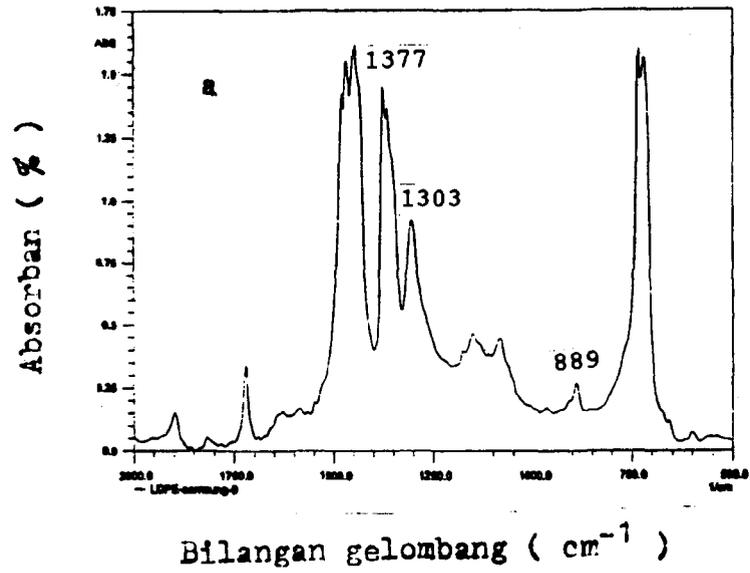
Gambar 3. Hubungan antara yield strength dengan dosis iradiasi film LDPE.



Gambar 4. Termogram suhu titik leleh LDPE noniradiasi (a), iradiasi 25 kGy udara (b), iradiasi lingkungan nitrogen (c).



Gambar 5. Termogram T_m dan T_o LDPE:
 a. Belum radiasi
 b. 50 kGy di udara
 c. 50 kGy di dalam gas N_2



Gambar 6. Spektrum pita serapan IR dari LDPE (a), iradiasi dalam Udara 25 kGy (b), iradiasi dalam nitrogen 25 kGy (c).

DISKUSI

SUDRAJAT ISKANDAR

Dari data hasil penelitian yang ditayangkan Gambar 2, terlihat bahwa kontrol pada dosis 50 kGy tidak berubah, sedang yang diiradiasi di udara tegangan putusya bertambah. Apa perbedaannya, yang kontrol diiradiasi sampai 50 kGy dengan sampel yang diiradiasi di udara ?

KADARIJAH

Gambar 2 hubungan antara tegangan putus dan dosis iradiasi film LDPE, grafik kontrol hanyalah sebagai pembanding, untuk dapat jelas melihat bahwa dengan iradiasi tegangan putus bertambah dengan naiknya dosis iradiasi.

AMBYAH SULIWARNO

Untuk data FTIR, mohon dijelaskan pengukuran/ data hasil pengukuran dengan FTIR hubungannya dengan *elongation at break*, *tensile strength* dari PE yang diuji, setelah diiradiasi ?

KADARIJAH

Data hasil pengukuran FTIR mungkin secara langsung tidak ada hubungannya dengan tensile strength, tetapi perhitungan secara kuantitatif perubahan derajat kristalinitas terhadap dosis iradiasi gamma telah diteliti oleh WILLIAM, MATSUO, dan DOLE yang menggunakan pita serapan infra merah pada 1080 dan 1303 m⁻¹.

PELAPISAN PERMUKAAN PARKET KAYU KELAPA (*Cocos nucifera* L) DENGAN TEKNIK RADIASI MENGGUNAKAN RESIN EPOKSI AKRILAT DAN POLIESTER TAK JENUH

Darsono, Sugiarto Danu dan Anik Sunarni

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000141

ABSTRAK

PELAPISAN PERMUKAAN PARKET KAYU KELAPA (*Cocos nucifera* L) DENGAN TEKNIK RADIASI MENGGUNAKAN RESIN EPOKSI AKRILAT DAN POLIESTER TAK JENUH. Percobaan pelapisan permukaan parket kayu kelapa (*Cocos nucifera* L) telah dilakukan menggunakan radiasi sinar ultra violet (UV). Resin poliester tak jenuh (PTJ) dengan nama dagang Polylyte P 8009 dan resin epoksi akrilat dengan nama dagang Laromer EA-81 dipakai sebagai bahan pelapis setelah dicampur dengan monomer tripropilen glikol diakrilat dan aditif. Iradiasi dilakukan menggunakan sinar ultra violet pada kecepatan konveyor 3m/menit. Pada penelitian ini bahan pelapis ditambah fotoinisiator 2-hidroksi-2-metil-1-1-fenil propanon. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kenaikan penambahan matting agent dan fotoinisiator meningkatkan kekerasan dan ketahanan kikis. Lapisan mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia untuk keperluan sehari-hari, pelarut, dan noda kecuali terhadap natrium hidroksida 10%. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi fotoinisiator sebanyak 2 % dan konsentrasi matting agent 5 %.

ABSTRACT

RADIATION CURING OF SURFACE COATING OF COCONUT WOOD (*Cocos nucifera* L) PARQUET USING EPOXY ACRYLATE AND UNSATURATED POLYESTER. Experiment on surface coating of coconut wood (*Cocos nucifera* L) parquet has been done using ultra violet (UV) light radiation. Unsaturated polyester with trade name Polylyte P-8009 and epoksi acrylate with the trade name Laromer EA-81, were used as coating materials after being added with tripropylene glycol di acrylate monomer and additive. Irradiation was conducted at the conveyor speed of 3 m/minute. Coating materials were added with 2-hydroxy-2-methyl-1-phenyl propanone as fotoinisiator. Experimental result showed that increasing concentration of fotoinisiator and matting agent increased hardness and abration resistance of the film. Most of the films have good resistances against household chemicals, solvent, and stain except 10% sodium hydroxide. The optimum concentration of the fotoinisiator was 2 % and the matting agent concentration was 5 %.

PENDAHULUAN

Pada saat ini tidak kurang dari 3,4 juta hektar perkebunan kelapa (*Cocos nucifera* L) tersebar di seluruh Indonesia, dan dalam perkeloporan, Indonesia merupakan produsen terbesar kedua setelah Philipina (1). Tanaman ini, mulai dari akar sampai pucuk, telah dimanfaatkan. Pada kenyataannya, penggunaan batang kelapa sebagai komponen rumah sudah lazim digunakan, karena kayu kelapa mempunyai kekuatan dan kekerasan yang cukup tinggi (2).

Philipina adalah negara pelopor dalam pengembangan teknologi kayu kelapa. Hasil-hasil penelitian telah membuktikan bahwa kayu kelapa mempunyai penampilan permukaan yang halus dan menarik, serta relatif mudah untuk dikerjakan. Pemanfaatan kayu kelapa antara lain untuk pembuatan rumah, gedung sekolah, bahan interior, mebel, dan barang-barang kerajinan (3). Kayu kelapa tersebut sebelum dipakai untuk pembuatan barang jadi terutama untuk penggunaan interior misalnya lantai parket atau mebel diperlukan proses pelapisan permukaan menggunakan suatu polimer, dengan tujuan untuk

memperindah penampilan dan melindungi permukaan kayu dari pengaruh luar yang bersifat merusak. Proses pengeringan (*curing*) lapisan dari fase cair menjadi padat dapat dilakukan dengan cara konvensional, yaitu dengan bantuan katalisator, panas dan pelarut. Selain cara tersebut dapat pula dilakukan dengan bantuan radiasi berkas elektron dan sinar ultra violet (UV). Bahan pelapis untuk radiasi berkas elektron atau UV, terdiri dari beberapa komponen, yaitu oligomer, monomer reaktif serta aditif. Secara kimia, bahan pelapis dalam perdagangan dapat digolongkan dalam senyawa-senyawa poliester tak jenuh-stiren, *thiol-ene*, akrilat dan epoksi (4). Kecepatan *curing* formulasi bahan pelapis yang terdiri dari oligomer akrilat dan monomer reaktif akrilat cukup tinggi, sehingga bahan pelapis dalam perdagangan untuk radiasi berkas elektron dan UV sebagian besar merupakan senyawa akrilat, misalnya epoksi akrilat (5). Bahan pelapis tersebut menghasilkan lapisan yang tahan terhadap panas dan kekerasannya cukup tinggi. Selain epoksi akrilat, dalam penelitian ini digunakan pula resin poliester tak jenuh karena harganya relatif murah (6). Sifat poliester tak jenuh biasanya keras, tahan terhadap pelarut dan panas, tetapi kurang lentur.

Percobaan sebelumnya yaitu pelapisan permukaan lantai parket kayu jati dengan radiasi berkas elektron dan UV memakai resin poliester akrilat dan epoksi akrilat, menghasilkan lapisan dengan kekerasan 3 H, tahan terhadap bahan kimia pelarut dan noda, serta mempunyai adesi yang baik (7). Sifat dan penampilan permukaan dapat diatur dengan jalan mengatur komposisi bahan pelapis dan sumber radiasi yang dipakai, tanpa menghilangkan ciri serat dekoratifnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pelapisan permukaan lantai parket yang terbuat dari kayu kelapa, dengan mengevaluasi sifat-sifat lapisan epoksi akrilat dan poliester tak jenuh, dan pengaruh penambahan *matting agent* setelah diiradiasi dengan sinar UV. Parameter yang diuji meliputi kekerasan, adesi, kilap, ketahanan kikis, dan ketahanan lapisan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Parket kayu kelapa ukuran (200 mm x 200 mm x 8 mm) dengan kadar air sekitar 12 %, diperoleh dari Stephanus Junianto & Co. Jakarta. Resin epoksi akrilat dengan nama dagang Laromer EA-81 dan monomer tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) produksi BASF. Resin poliester tak jenuh dengan nama komersial PolyLite P-8009 produksi PT. Pardic Jaya, Tangerang. Fotoinisiator 2-hidroksi 2-metil-1-fenil propanon (Darocur 1173), dan minyak silikon (*wetting agent*) produksi Merck. Silikon dioksida (*matting agent*), buatan Grece, Jerman. Beberapa bahan kimia pengujian yang biasa dipakai untuk keperluan sehari-hari adalah natrium karbonat 10 %, asam asetat 5%, natrium hidroksida 10 %, alkohol 50 %, dan tiner.

Peralatan. Lampu UV tunggal berkekuatan 10,4 kW yang mempunyai daya 80 Watt/cm buatan IST STRAHLEN Technik, GmbH, Jerman, dipakai sebagai sumber radiasi. Alat uji kekerasan adalah pendulum hardness buatan Sheen Inggris, dan Gloss-meter buatan Toyoseiki dipakai untuk pengukuran kilap.

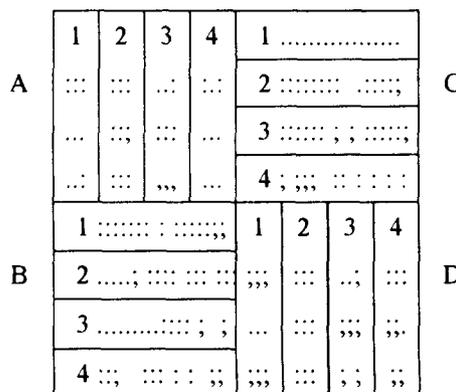
Percobaan. Proses pelapisan baik pelapisan dasar maupun pelapisan atas, terdiri dari pengampelasan, pelapisan, dan iradiasi. Pengampelasan dilakukan dengan kertas amplas dengan kehalusan 240 mesh. Bahan pelapis dasar dibuat dengan mencampur resin, tripropilen glikol diakrilat dan talk dengan komposisi 50/40/10 persen berat, dan fotoinisiator Darocur 1173 sebanyak 2 %. Pelapisan dasar dilakukan menggunakan alat pelapis tipe rol dan menghasilkan tebal lapisan sekitar 50 mikron, kemudian diiradiasi dengan sinar UV, dengan kecepatan konveyor 3 m/menit. Lapisan yang terbentuk kemudian diampelas dengan kertas amplas 320 mesh, dan selanjutnya dilapisi lapisan atas, lalu diiradiasi lagi menggunakan sinar UV.

Komposisi bahan pelapis dan kondisi radiasi terdapat pada Tabel 1. Kekerasan lapisan diukur dengan menggunakan "Pendulum Hardness Rocker" dengan metode Koenig sesuai ISO 1522-1973 (11). Kilap lapisan permukaan diukur menggunakan gloss-meter pada sudut 60° (menurut ASTM D 523-80 (12)). Ketahanan kikis diukur dengan metode kikisan menggunakan alat sesuai standar

ASTM D 968-81(13). Adesi lapisan diukur menggunakan metode *adhesion by tape test* sesuai ASTM D 3359-81 (14). Ketahanan bahan kimia pelarut dan noda diuji menggunakan uji tetes sesuai dengan ASTM D 1308-79 (15).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan. Kekerasan pendulum lapisan epoksi akrilat dan poliester tak jenuh hasil iradiasi sinar UV dapat dilihat pada Tabel 2. Dari data tersebut terlihat bahwa kenaikan kekerasan disebabkan oleh kenaikan konsentrasi fotoinisiator dan konsentrasi *matting agent*. Kenaikan konsentrasi fotoinisiator menaikkan densitas ikatan silang pada polimer, dan selanjutnya menaikkan kekerasan lapisan polimer yang terbentuk. Menurut SENG (8) nilai kekerasan pendulum dipengaruhi oleh kekerasan substrat, apabila tebal lapisan < 30 mikron. Dalam percobaan ini tebal lapisan atas sekitar 25 mikron, dengan demikian jelas bahwa kekerasan pendulum lapisan tersebut dipengaruhi oleh lapisan dasar maupun substrat. Dalam hal ini batang kelapa mempunyai sifat-sifat khusus yang harus dipertimbangkan dalam suatu produk barang jadi, misalnya parket kayu kelapa. Sifat-sifat tersebut dinyatakan oleh diameter yang relatif kecil dan struktur batangnya yang keras di bagian luar dan mempunyai warna yang lebih tua, serta lunak bagian tengahnya (2). Kekerasan pendulum kayu kelapa yang dipakai dalam percobaan ini bervariasi dari yang paling lunak yaitu 60 detik, dan yang paling keras sekitar 96 detik. Secara umum proses pelapisan permukaan menggunakan bahan pelapis epoksi akrilat dan poliester akrilat yang dicampur dengan TPGDA dan *matting agent* tersebut dapat meningkatkan kekerasan kayu kelapa seperti tertera pada Tabel 2. Dengan penambahan *matting agent* sebanyak 5 - 10 %, kekerasan pendulum yang dicapai maksimum adalah 166 detik. Namun untuk mengetahui persentase peningkatan kekerasan sangat sulit karena sampel yang dipakai pada pembuatan parket tersebut, terdiri dari bagian-bagian yang tidak homogen. Hal ini disebabkan parket tersebut dibuat dari limbah batang kelapa yang mempunyai tingkat kekerasan yang tidak sama. Bentuk parket kayu kelapa dan lokasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengujian kekerasan pendulum lapisan parket kayu kelapa

Kilap. Kilap lapisan pada penggunaan radiasi UV terdapat pada Tabel 3. Data tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi fotoinisiator dan penambahan *matting agent* berpengaruh nyata terhadap kilap suatu lapisan. Kilap lapisan pada konsentrasi fotoinisiator 2 % dan 5 % lebih tinggi dibandingkan dengan kilap lapisan yang hanya memakai fotoinisiator 1%. Menurut GARRAT (9), laju polimerisasi yang lebih cepat akan menghasilkan kilap yang tinggi, sedang penambahan *matting agent* dapat berfungsi untuk mengatur kilap lapisan. Nilai kilap lapisan epoksi akrilat turun dari (83-90) %, menjadi (55-58) %, dan menjadi (30-36) % pada penggunaan *matting agent* masing-masing sebanyak 5 dan 10 %. Nilai kilap ini sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan lapisan poliester tak jenuh (Tabel 3). Data tersebut memberikan informasi bahwa struktur kayu kelapa tidak berpengaruh pada kilap lapisan.

Ketahanan Kikis. Tabel 4 menunjukkan ketahanan kikis lapisan polimer yang terbentuk setelah diiradiasi dengan sinar UV. Kenaikan konsentrasi fotoinisiator maupun konsentrasi *matting agent* meningkatkan ketahanan kikis. Seperti halnya kekerasan, *matting agent* yang berfungsi mengatur kilap lapisan dapat dianggap berfungsi sebagai pengisi (*filler*). Penambahan bahan ini selain meningkatkan kekerasan juga dapat meningkatkan ketahanan kikis lapisan. Ketahanan kikis dipengaruhi oleh densitas ikatan silang. Menurut MORRIS (10) dalam penelitiannya menggunakan oligomer akrilat pada permukaan kayu menyimpulkan bahwa semakin tinggi densitas ikatan silang, semakin tinggi pula ketahanan kikis polimer. Pada umumnya semakin tinggi kekerasan semakin tinggi pula ketahanan kikisnya. Nilai ketahanan kikis lapisan epoksi akrilat hasil iradiasi UV berkisar antara 20 dan 42 %, dan lapisan poliester tak jenuh berkisar antara 18 dan 39 %.

Adesi. Pengukuran adesi antara lapisan dengan permukaan kayu kelapa diukur menggunakan metode *cross cut* dengan pita perekat. Hasil pengukuran adesi disajikan pada Tabel 5. Data tersebut menunjukkan bahwa lapisan epoksi akrilat dan poliester tak jenuh mempunyai adesi yang baik (Tabel 5) terhadap lapisan dasar maupun kayu kelapa, karena persen tinggal dari pengujian menunjukkan lebih besar dari 50 %.

Ketahanan terhadap Bahan Kimia, Pelarut dan Noda. Hasil pengujian ketahanan lapisan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda menunjukkan bahwa semua lapisan tahan terhadap asam sulfat 10 %, asam asetat 5 %, alkohol 50 %, natrium karbonat 5 %, pengencer (tiner), noda spidol, kecuali terhadap natrium hidroksida 10 %. Hal ini ditunjukkan dengan adanya bekas berupa perubahan kilap pada lapisan pengujian.

KESIMPULAN

Pelapisan permukaan parket kayu kelapa dapat dilakukan dengan cara iradiasi dengan sinar ultra violet menggunakan bahan pelapis poliester dan epoksi akrilat dengan mencampurkan TPGDA, dan fotoinisiator serta *matting agent*. Hasil optimum diperoleh pada penggunaan

fotoinisiator 2-hidroksi-1-1-fenil propanon sebanyak 2 % dan penambahan *matting agent* sebanyak 5 %.

Kenaikan konsentrasi *matting agent* dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan kikis lapisan yang terbentuk serta menurunkan kilap lapisan. Lapisan poliester tak jenuh dan epoksi akrilat mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia keperluan sehari-hari, pelarut dan noda kecuali terhadap natrium hidroksida 10 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sdr. Sungkono dan seluruh operator Fasilitas Iradiasi PAIR-BATAN yang telah memberikan layanan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan pula kepada Bp. Barli, BSc. SH., staf peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Direktorat Kehutanan Bogor yang telah banyak memberikan informasi dalam penelitian ini, dan Drs. Stefanus yang telah memberikan sampel untuk penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, Proto-tipe rumah pra-pabrik kayu kelapa, Departemen Kehutanan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor, 21 (1990).
2. RACHMAN, O., dan ROHADI, D., Pola penggergajian yang tepat untuk kayu kelapa (*cocos nucifera* L), Lembaran Penelitian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor No. 25, Agustus (1986).
3. RACHMAN, O., Kelayakan penggergajian kayu kelapa secara komersial., *Warta ISA*, 2 (1983) 2.
4. NATIONAL PAINT & COATING ASSOCIATION, *Save Handling and Use of Ultra Violet/Electron Beam Curable Coatings*, NPCA Washinton (1980).
5. SENICH, G.A., and FLORIN, R.E., *Radiation curing of coatings*, *Rev.-Macromol, Chem., Phys.*, C 242 (1994) 283.
6. HOLMA, R., and OLDRING, F., *UV & EB Curing Formulation for Printing Inks, & PAINT*, SITA, London (1988).
7. DANU S., TRIMULYADI G., SUNARNI A., dan DARSONO, Pelapisan permukaan parket kayu jati secara radiasi menggunakan bahan pelapis Laromer, *Proses Radiasi dalam Industri, Sterilisasi Radiasi, dan Aplikasi Teknik Nuklir (Risalah Pertemuan Ilmiah, 1988)*, PAIR-BATAN (1989) 243.
8. SENG, H. P., *Test methods for the characterisation of UV and EB cured printing varnishes, Part 1*. *Betagamma* 3 (1989) 10.

9. GARRAT, P.G., The flating of radiation curable paints based unsaturated acrylic binder, *Proceedings Rad-Tech' 90, North America, Vol. 1, Chicago (1990)* 269.
10. MORRIS, W.J., Comparison of acrylated oligomers in wood finisher, *Journal of Coating Technology*, 56 715 (1984) 49.
11. INTERNATIONAL STANDARD ORGANISATION, Test methods by "Pendulum Hardness Rocker", ISO 1522-1973 (1973).
12. ASTM, . Test methods for specular gloss (D 523-80) American Book of ASTM Standard Philadelphia, 06, 01 (1984).
13. ASTM, Test methods for abration of organic coatings by falling abration tester (D 968-81), American Book of ASTM standard Philadelphia, 06, 01(1984).
14. ASTM, Measuring adhesion by tape test (D 3359-81) American Book of ASTM standard Philadelphia, 06, 01 (1984).
15. ASTM, Test methods practice for determination of resistance factory-applied coatings on wood product to stain and reagents (D1308-79), American Book of ASTM standard Philadelphia, 06, 01 (1984).

Tabel 1. Formulasi bahan pelapis atas

Poliester tak jenuh (PTJ)	Epoksi akrilat (EA)
PTJ/TPGDA/minyak silikon = 60/70/0,1	EA/TPGAD/minyak silikon = 70/30/0,1
Matting agent : 0, 5, 10 %	0, 5, 10 %
Fotoinisiator : 1, 2, 5 %	1, 2, 5 %

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan pendulum lapisan hasil iradiasi U

Komposisi bahan pelapis	Konsentrasi syloid,%	Konsentrasi fotoinisiator,%	Kekerasan pendulum, detik																
			A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	
Epoksi akrilat/TPGDA/ minyak silikon: 70/30/0,1	0	1	75	84	82	80	76	78	77	70	80	82	76	70	74	81	82	80	
		2	88	80	90	91	84	80	78	90	86	88	80	90	78	90	86	90	
		5	90	88	95	90	85	84	80	92	78	90	84	92	90	90	88	91	
	5	1	90	94	92	91	80	88	92	98	80	87	84	75	76	82	84	89	
		2	120	116	118	130	134	105	124	128	110	121	115	100	124	132	131	124	
		5	130	125	130	124	135	110	132	130	120	140	118	110	128	132	135	130	
	10	1	110	100	109	90	90	84	88	90	84	82	82	91	85	81	90	100	
		2	144	150	140	136	130	129	140	138	138	140	136	142	144	139	140	132	
		5	166	144	154	140	163	139	145	165	150	143	160	150	144	160	136	133	
	Poliester tak jenuh / minyak silikon : 60/40/0,1	0	1	70	65	80	74	64	79	76	66	74	80	84	74	69	70	66	74
			2	84	87	84	82	80	87	89	90	82	79	90	84	79	90	87	92
			5	58	90	82	84	82	86	92	100	100	82	94	89	110	87	89	95
5		1	86	90	98	80	79	85	92	82	81	90	84	88	94	80	76	82	
		2	110	120	114	121	108	120	118	114	106	100	122	108	127	110	120	112	
		5	120	122	115	122	110	118	124	124	110	110	124	116	114	128	130	132	
10		1	87	90	86	88	83	92	110	107	102	112	84	88	79	99	85	101	
		2	140	135	150	154	160	145	150	140	136	138	140	142	144	140	154	166	
		5	145	160	144	166	146	142	155	143	144	166	160	152	136	160	150	166	

Tabel 3. Hasil pengujian kilap lapisan hasil iradiasi UV

Komposisi bahan pelapis	Konsentrasi syloid, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Kilap, %			
			A	B	C	D
Epoksi akrilat/ TPGDA/ minyak silikon: 70/30/0,1	0	1	76	78	80	79
		2	86	83	87	90
		5	90	89	89	86
	5	1	48	50	49	50
		2	55	56	58	55
		5	58	58	60	60
	10	1	22	20	24	20
		2	35	30	30	36
		5	32	37	36	38
Poliester tak jenuh/TPGDA/ minyak silikon 60/40/0,1	0	1	75	78	70	67
		2	80	80	85	86
		5	83	85	86	86
	5	1	42	40	42	41
		2	50	52	54	51
		5	52	54	52	52
	10	1	30	32	28	29
		2	25	25	30	30
		5	29	30	32	29

Tabel 4. Ketahanan kikis lapisan hasil iradiasi UV

Komposisi bahan pelapis	Konsentrasi syloid, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Ketahanan kikis, %			
			A	B	C	D
Epoksi akrilat/ TPGDA/ minyak silikon: 70/30/0,1	0	1	40	42	38	40
		2	35	37	35	38
		5	36	34	32	36
	5	1	30	39	40	31
		2	27	24	26	30
		5	27	25	24	28
	10	1	26	25	26	30
		2	20	24	22	21
		5	20	22	21	20
Poliester tak jenuh/TPGDA/ minyak silikon 60/40/0,1	0	1	39	38	39	39
		2	38	33	35	36
		5	32	34	36	31
	5	1	32	34	30	30
		2	30	29	28	27
		5	27	26	28	25
	10	1	28	29	25	28
		2	25	27	20	18
		5	20	22	18	18

Tabel 5. Adesi antara lapisan atas dengan lapisan dasar

Komposisi bahan pelapis	Konsentrasi syloid, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Adesi, %				
			A	B	C	D	
	0	1	86	82	84	88	
		2	98	96	98	100	
		5	100	96	98	100	
Epoksi akrilat/ TPGDA/ minyak silikon: 70/30/0,1	5	1	83	84	87	98	
		2	98	95	100	100	
		5	100	96	100	100	
	10	1	75	86	86	85	
		2	90	96	95	100	
		5	100	86	96	100	
	Poliester tak jenuh/TPGDA/ minyak silikon 60/40/0,1	0	1	75	65	80	78
			2	90	96	95	100
			5	100	100	96	100
5		1	76	75	77	80	
		2	90	92	95	100	
		5	100	100	96	100	
10		1	73	75	76	75	
		2	89	95	99	100	
		5	98	100	95	100	

DISKUSI

SUDRAJAT ISKANDAR

Dari data hasil penelitian yang ditayangkan baik berupa grafik atau tabel tidak terlihat pembandingnya (kontrol) yang tanpa penambahan inisiatornya, kenapa kontrolnya tidak diteliti. Kalau diteliti bagaimana sifat-sifat kontrolnya (tanpa fotoinisiator) ?

DARSONO

Kontrol/pembanding tanpa fotoinisiator tidak dilakukan, karena tanpa penambahan fotoinisiator, pada radiasi sinar ultra violet tidak akan terjadi perubahan fase (resin tersebut tidak dapat membentuk padatan) ?

GATOT T. REKSO

Percobaan Anda mempergunakan dua jenis resin epoksi akrilat dan poliester tak jenuh. Mana yang terbaik untuk pelapisan parket kayu kelapa dan alasannya ?

DARSONO

Dilihat dari sifat fisiknya resin epoksi akrilat lebih baik untuk pelapisan permukaan kayu kelapa, tetapi dilihat dari segi ekonomi resin poliester tak jenuh lebih murah karena produksi dalam negeri.

PENGARUH STERILISASI RADIASI PADA KANDUNGAN RADIKAL BEBAS DALAM BAHAN MINUMAN KERING

Nur Hidayati, Sutjipto Sudiro, dan Munsiah Maha

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000142

ABSTRAK

PENGARUH STERILISASI RADIASI PADA KANDUNGAN RADIKAL BEBAS DALAM BAHAN MINUMAN KERING. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan radikal bebas dalam beberapa jenis bahan minuman kering, yaitu kopi bubuk instan, susu bubuk, gula pasir, nutrisari, teh celup, dan kakao bubuk setelah disterilkan dengan iradiasi (25 kGy) dan disimpan pada suhu kamar (24°C) dan suhu beku (-13°C). Masing-masing sampel dikemas vakum dalam kantong Al foil laminasi, lalu diiradiasi 25 kGy pada suhu CO₂ padat (es kering). Dalam penelitian ini diukur pula jumlah radikal bebas dalam beberapa sampel setelah diseduh dalam air panas (73°C), lalu dikeringkan dalam *freeze drier*. Kandungan radikal diukur dengan spektrometer Electron Spin Resonance (ESR) yang dinyatakan dalam luas spektrum ESR/g tanpa satuan (*arbitrary unit*). Hasil menunjukkan bahwa kandungan radikal bebas meningkat setelah iradiasi, tetapi cepat menurun setelah penyimpanan terutama pada suhu kamar. Setelah sekitar 5 bulan penyimpanan pada suhu kamar maupun suhu beku, kandungan radikal bebas sampel kopi, susu dan kakao bubuk iradiasi sudah sama dengan kontrol yang tidak diiradiasi, sedang pada teh celup, kandungan radikal bebas sampel yang disimpan pada suhu beku masih sedikit lebih tinggi daripada kontrol. Kandungan radikal bebas sampel gula pasir dan nutrisari yang disterilkan dengan iradiasi lebih tinggi daripada sampel yang lain, dan relatif stabil baik pada penyimpanan suhu kamar maupun suhu beku. Akan tetapi, setelah penyeduhan dalam air panas ternyata spektrum ESR atau kandungan radikal bebas sampel iradiasi sama dengan kontrol. Hal ini membuktikan bahwa radikal bebas yang terbentuk akibat iradiasi lebih cepat terminasi.

ABSTRACT

EFFECT OF RADIATION-STERILIZATION ON FREE RADICALS CONTENT IN DRY BEVERAGES. This study was done to determine free radicals content in several dry beverages, namely instant coffee, milk powder, cane sugar, nutrisari, tea, and cacao powder after radiation-sterilization at 25 kGy and stored at room (24°C) and freezing (-13°C) temperatures. Each sample was vacuum-packed in Al foil laminate pouches, then irradiated at 25 kGy in dry ice temperature. Free radicals contents in some samples after being dissolved or soaked in hot water (73°C) then freeze-dried were also measured. The free radicals content was measured using Electron Spin Resonance (ESR) Spectroscopy and expressed in spectrum area/g in arbitrary unit. The results showed that free radicals content increased after irradiation, but it decreased immediately after storage especially at room temperature. After about 5 months storage either at room or freezing temperatures, free radicals contents of irradiated coffee, milk powder and cacao powder were similar to those of the unirradiated control, while in tea sample stored at freezing temperature, the free radicals content was still a little bit higher than that stored at room temperature which was already similar to the control. Free radicals content of irradiated sugar as well as nutrisari was higher than the other samples, and the radicals were relatively stable either at room or freezing temperatures. However, after dissolving or soaking the samples in water, the ESR spectra or free radicals contents of the irradiated samples were found to be identical to the control. This indicates that free radicals formed by irradiation in the samples disappear because termination.

PENDAHULUAN

Sterilisasi radiasi berbagai produk makanan dan minuman kering telah dilakukan di beberapa negara untuk memenuhi kebutuhan pasien inap rumah sakit yang membutuhkan diet steril (1 - 3). Penelitian ke-arah ini telah dikembangkan pula di PAIR, BATAN sejak tahun 1990 dan sebagian hasilnya telah dipublikasikan (4 - 6).

Keamanan makanan yang diproses dengan iradiasi untuk berbagai tujuan telah diakui oleh berbagai organisasi dunia antara lain WHO, FAO, dan IAEA (Badan Tenaga Atom Internasional), dan *Codex Alimentarius Commission* telah mengeluarkan Standar Umum Makanan Iradiasi sejak tahun 1983. Dalam ketentuan *Codex* tersebut yang masih

berlaku hingga saat ini, batas maksimum yang dinyatakan aman untuk mengiradiasi makanan ialah sampai 10 kGy. Akan tetapi, pada bulan September 1997 yang lalu, WHO mengumumkan bahwa batas maksimum sampai 10 kGy seperti yang direkomendasikan *Codex* saat ini tidak perlu ada, karena dari segi ilmiah teknologi iradiasi pangan ini sesungguhnya aman selama tidak menimbulkan perubahan cita rasa makanan, dan mikroorganisme berbahaya dapat dibunuh (7). Perkembangan ini sangat mendukung penerapan iradiasi untuk tujuan sterilisasi yang membutuhkan dosis diatas 10 kGy.

Pada produk yang diiradiasi akan terbentuk radikal bebas, karena perubahan kimia yang terjadi melalui ionisasi dan reaksi radikal. Umumnya radikal yang terbentuk cepat

hilang karena berinteraksi satu sama lain. Radikal bebas ialah setiap spesies yang mampu berdiri sendiri dan mengandung satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan, yaitu elektron yang hanya berada sendiri dalam satu orbit. Suatu radikal dapat memberikan elektron bebasnya kepada molekul lain, atau mengambil elektron dari molekul lain, atau bergabung langsung pada suatu nonradikal, misalnya molekul biologi. Akibatnya senyawa nonradikal tersebut menjadi radikal. Reaksi antara radikal bebas dengan nonradikal biasanya merupakan reaksi rantai, di mana satu radikal menurunkan satu radikal lain. Hanya bila dua radikal bertemu, keduanya akan hilang melalui reaksi terminasi (8).

Pada produk kering, radikal bebas dapat bertahan lebih lama karena daya geraknya terbatas, sehingga reaksi antar radikal juga terbatas. Menurut informasi dari berbagai sumber, radikal bebas yang terbentuk akibat iradiasi akan hilang bila bereaksi dengan air.

Dalam penelitian ini akan ditentukan kandungan radikal bebas dalam beberapa jenis bahan minuman kering yang telah disterilkan dengan iradiasi 25 kGy baik sebelum maupun setelah mengalami penyimpanan pada suhu kamar (24°C) dan suhu beku (-13°C) dalam *freezer*. Pengaruh pengadukan dalam air panas seperti yang dilakukan pada pembuatan minuman sehari-hari pada kandungan radikal bebas beberapa sampel yang diteliti juga akan diamati. Data faktual yang diperoleh diharapkan dapat menambah informasi tentang keamanan pangan iradiasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Bahan penelitian yang digunakan ialah kopi instan Nescafe, susu instan Dancow, gula pasir, teh celup Sari Wangi, nutrisari, dan kakao bubuk Van Houten. Sebagai bahan pengemas digunakan plastik polietilen (PE) dan aluminium foil laminasi dengan komposisi PET/LDPE/Al/LDPE + LLDPE.

Penentuan Kadar Air. Kadar air sampel ditentukan dengan cara destilasi dengan pelarut toluen (9). Sampel ditimbang masing-masing sebanyak 10 g. lalu dimasukkan kedalam labu didih, kemudian ditambah pelarut toluen sebanyak 100 ml, dan didestilasi selama 3 jam.

Penentuan Kandungan Radikal Bebas Setelah Iradiasi dan Penyimpanan. Masing-masing sampel sekitar 10 g dikemas vakum dalam kantong PE, lalu dimasukkan lagi kedalam kantong Al foil laminasi dan ditutup secara vakum. Kemudian diiradiasi dengan sinar gamma dengan dosis sterilisasi 25 kGy dalam suhu es kering. Selanjutnya sampel dibagi dua, sebagian disimpan pada suhu kamar (24°C), dan sebagian lagi disimpan dalam *freezer* pada suhu -13°C. Penentuan kandungan radikal bebas dalam sampel dilakukan setelah 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 hari penyimpanan, dan selanjutnya secara periodik setiap minggu penyimpanan sampai 200 hari atau sampai luas spektrum sampel iradiasi sama dengan kontrol. Penentuan dilakukan dengan spektrometer ESR buatan JEOL model JES - REIX dengan kondisi sebagai berikut, *center field* 335,5 mT, *modulation*

frequency 9,4350 Ghz, *microwave power* 1,00 mW, *modulation width* 0,125000 mT, *sweep width* 10,000 mT, *sweep time* 1,0 menit dan *time constant* 0,03 detik. Sampel yang akan diukur dimasukkan ke dalam kuvet ESR dengan tinggi sampel 2 cm, lalu ditimbang. Kandungan radikal bebas dinyatakan dalam luas spektrum ESR per gram sampel tanpa satuan (*arbitrary unit*).

Penentuan Kandungan Radikal Bebas Setelah Penyeduhan dalam Air Panas. Sampel kopi, susu, dan gula iradiasi masing-masing ditimbang 5 g, lalu diseduh dengan 10 ml air panas (73°C). Kemudian didinginkan dan disimpan semalam dalam *freezer*, lalu dikeringkan dalam *freeze drier* merk CHRIST β1 selama 3 x 24 jam pada suhu -40°C. Selanjutnya sampel dihaluskan dengan mortir secara perlahan-lahan, lalu dimasukkan ke dalam kuvet ESR dan diukur seperti sampel sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar air semua sampel yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 1. Terlihat bahwa semua sampel cukup kering untuk dapat diukur dengan spektrometer ESR, karena pada pengukuran kandungan radikal bebas dengan ESR, kadar air sampel harus kurang dari 15 %.

Hubungan antara luas spektrum ESR per gram sampel kopi, susu, gula, nutrisari, teh dan kakao bubuk yang diiradiasi 25 kGy dengan lama waktu penyimpanan pada suhu 24°C dan suhu beku -13°C diperlihatkan pada Gambar 1 - 6. Terlihat bahwa luas spektrum atau kandungan radikal sampel yang tidak diiradiasi lebih rendah daripada sampel iradiasi dan tidak berubah selama penyimpanan. Kandungan radikal sampel noniradiasi (kontrol) ternyata tidak sama, yaitu paling tinggi pada kopi, lalu diikuti teh, kakao, susu, dan yang paling rendah pada gula dan nutrisari. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh proses pembuatan masing-masing produk, karena proses pemanasan, pengeringan, dan penggilingan juga mengakibatkan terbentuknya radikal bebas dalam produk.

Setelah diiradiasi, kandungan radikal dalam semua sampel meningkat tajam, tetapi kemudian juga cepat menurun terutama pada sampel susu, kakao, teh dan kopi (Gambar 1, 2, 5, dan 6). Perubahan tersebut disebabkan oleh adanya reaksi antar-radikal dan antara radikal dengan molekul air atau senyawa lain di sekitarnya. Pada penyimpanan suhu beku, penurunan kandungan radikal bebas lebih lambat daripada dalam suhu kamar, karena pergerakan molekul-molekul serta radikal yang ada lebih lambat, sehingga reaksi antar-radikal juga lambat.

Pada gula dan nutrisari, radikal bebas yang terbentuk akibat iradiasi relatif stabil baik pada penyimpanan suhu kamar maupun suhu beku. Hal ini disebabkan gula berupa kristal padat, sehingga radikal yang terbentuk terperangkap didalamnya dan sukar untuk berinteraksi dengan radikal atau molekul lain. Nutrisari menunjukkan spektrum yang mirip dengan spektrum ESR gula, karena komposisi utama nutrisari adalah gula (Gambar 3 dan 4). Sampai penyimpanan 7 bulan, kandungan radikal bebas dalam gula dan nutrisari masih tetap tinggi.

Luas spektrum per gram sampel kopi, susu dan kakao bubuk telah sama dengan kontrol setelah penyimpanan sekitar 5 bulan baik pada suhu kamar maupun suhu beku. Pada sampel teh yang disimpan pada suhu kamar, kandungan radikal bebasnya juga sudah sama dengan kontrol setelah 5 bulan, tetapi yang disimpan pada suhu beku, kandungan radikal bebasnya masih lebih tinggi.

Tabel 2 memperlihatkan kandungan radikal bebas dalam sampel kopi, susu dan gula yang diiradiasi 25 kGy, lalu satu jam kemudian diseduh dalam air panas, dan selanjutnya dikeringkan kembali untuk mengetahui pengaruh penyeduhan pada kandungan radikal bebas dalam sampel. Terlihat bahwa kandungan radikal bebas dalam ketiga sampel tersebut sudah hampir sama dengan kontrol. Hal ini membuktikan bahwa radikal bebas yang terbentuk dalam suatu produk akan hilang setelah bereaksi dengan air. Dengan demikian, dugaan bahwa makanan iradiasi berbahaya untuk dikonsumsi karena mengandung radikal bebas tidak terbukti. Selain itu, dari penelitian ini juga terbukti bahwa makanan yang tidak diiradiasi pun sudah mengandung radikal bebas, yaitu radikal yang terbentuk dalam alam seperti pada sampel kopi, coklat dan teh.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Bahan minuman kering misalnya kopi, susu, kakao, teh, gula, dan nutrisari yang disterilkan dengan iradiasi mengalami peningkatan kandungan radikal bebas, tetapi radikal bebas tersebut cepat berkurang setelah iradiasi selesai.
2. Radikal bebas lebih cepat berkurang pada suhu penyimpanan yang lebih tinggi.
3. Kandungan radikal bebas dalam kopi, susu, kakao, dan teh yang terbentuk akibat iradiasi dapat hilang seluruhnya setelah sekitar 5 bulan penyimpanan, sedang pada gula dan nutrisari dapat bertahan lebih lama.
4. Radikal bebas yang terbentuk akibat iradiasi dalam semua sampel segera hilang setelah diseduh dengan air, karena terjadi terminasi.

Tabel 1. Kadar air sampel kopi, susu, gula pasir, nutrisari, teh, dan kakao bubuk

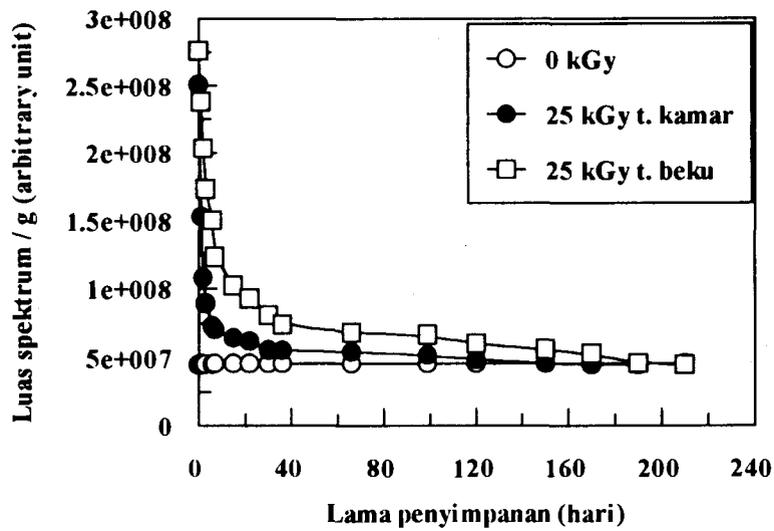
Sampel	Kadar air (%)
Kopi instan Nescafe	9
Susu instan Dancow	3
Gula pasir	0
Nutrisari	0
Teh celup Sari Wangi	8
Kakao bubuk Van Houten	3

DAFTAR PUSTAKA

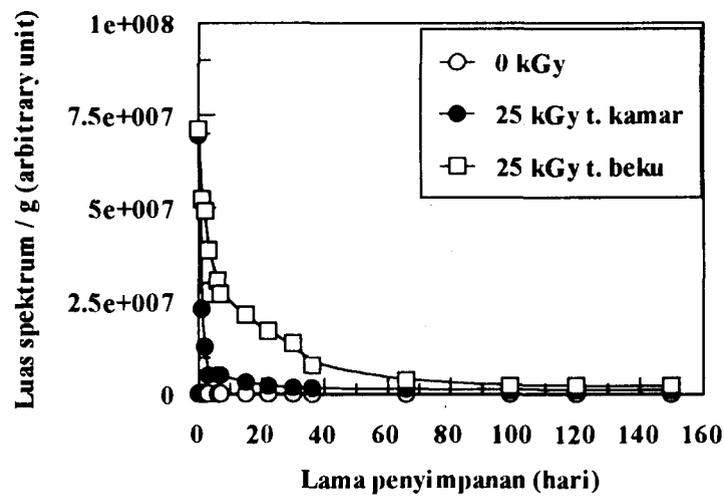
1. MARRISON, R., A method of preparing service of sterilized meals, *Nutrisari* 16 (1962) 105.
2. PRYKE, D.C., and TAYLOR, R.R., The use of irradiated food for immuno-suppressed hospital patients in the UK, *J. of Hum. Nutr. Dietet*, August (1994).
3. AKER, S.N., "On the cutting edge of dietetic science," Irradiation of hospital food for patients with reduced immuno responses, *Nutrition Today*, July / August (1984).
4. MUNSI AH, M., HILMY, N., FEBRIDA dan DARMAWI, "Sterilisasi makanan dengan iradiasi untuk pasien rumah sakit," (*Risalah Pertemuan Ilmiah*, Jakarta, 1991), BATAN, Jakarta (1992) 699.
5. SUZI ELIZA YUNIARTI, "Pengaruh iradiasi gamma dosis steril terhadap kandungan makronutrisi, tiamin-HCl, riboflavin, niasin dan piridoksin-HCl dalam biskuit, Skripsi, Universitas Pancaasila, Jakarta (1994).
6. MUNSI AH, M., Sterilisasi bahan minuman dan penyedap makanan untuk pasien rumah sakit dengan iradiasi gamma, *Majalah BATAN XXVIII* 1/2 (1995) 15.
7. ANONYMOUS, Press Release WHO / 68, 19 September (1997).
8. MALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M.C., and CROSS, C.E., Free radicals antioxidants and human disease : Where we are now ?, *J. Lab. Clin. Med.* 119 6 (1992) 598.
9. APRIYANTONO, A., FARDIAZ, D., NI LUH PUSPITASARI, dan BUDIYANTO, S., "Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan," Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, PAU-Pangan dan Gizi IPB (1989) 100.

Tabel 2. Luas spektrum ESR per gram sampel kopi, susu, dan gula yang disterilkan dengan iradiasi 25 kGy, lalu diseduh dalam air panas, kemudian dikeringkan kembali, dan dibandingkan dengan kontrol (*arbitrary unit*)

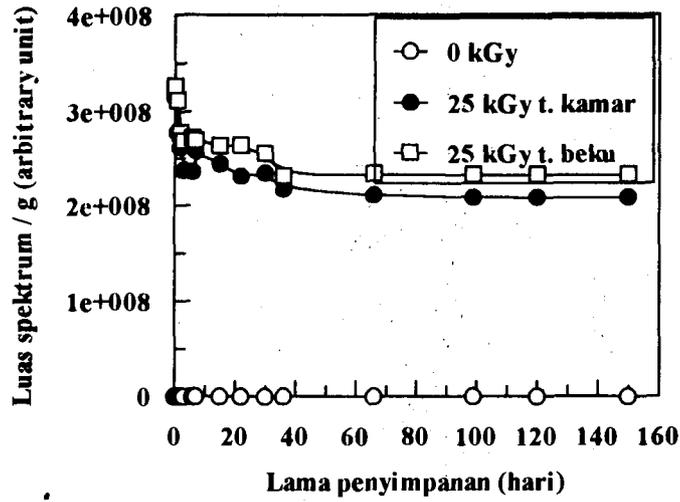
Sampel	Luas spektrum ESR/g sampel kontrol	Luas spektrum ESR/g sampel iradiasi setelah penyeduhan
Kopi	$5,64 \times 10^6$	$4,97 \times 10^6$
Susu	$4,66 \times 10^5$	$3,82 \times 10^5$
Gula	$3,14 \times 10^5$	$3,06 \times 10^5$
Nutrisari	$7,48 \times 10^5$	$7,12 \times 10^5$



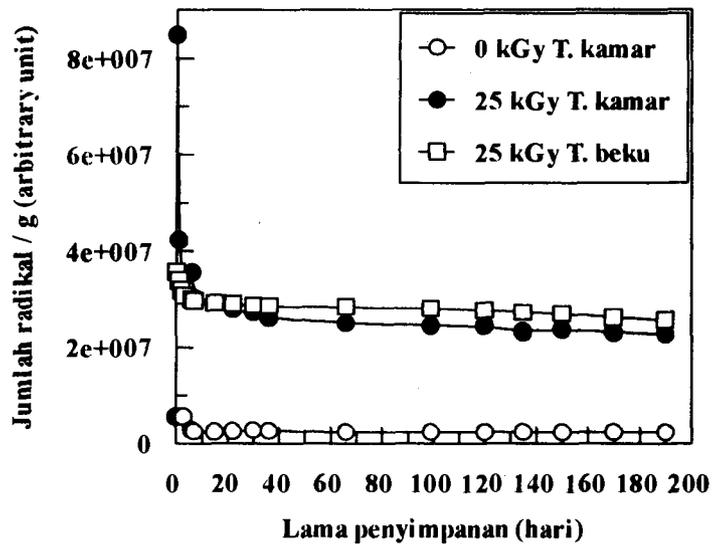
Gambar 1. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel kopi iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



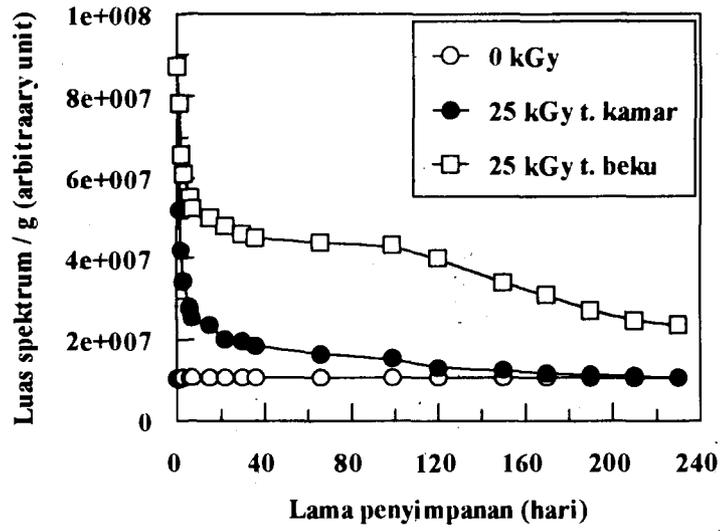
Gambar 2. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel susu Dancow iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



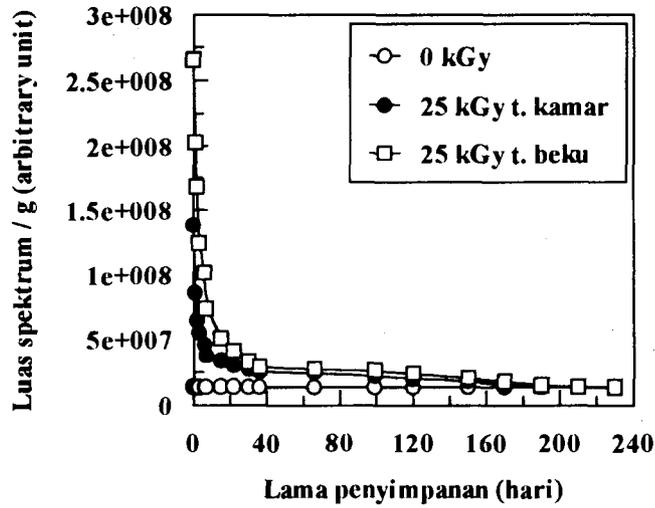
Gambar 3. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel gula pasir iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



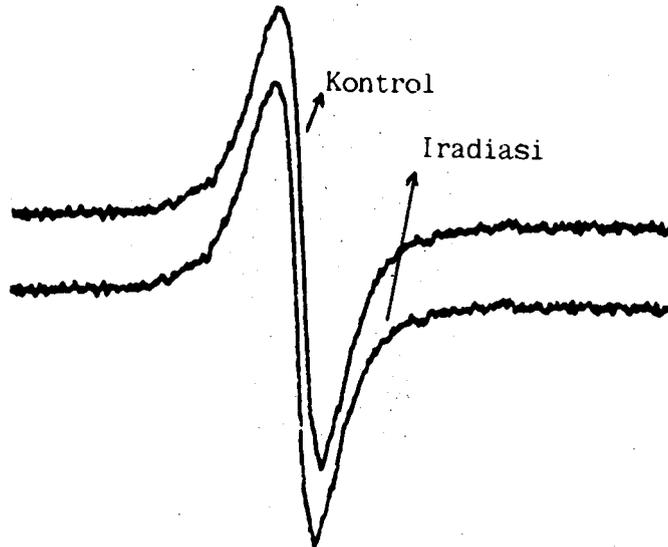
Gambar 4. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel nutrasari iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



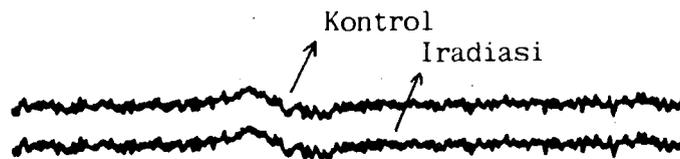
Gambar 5. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel teh iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



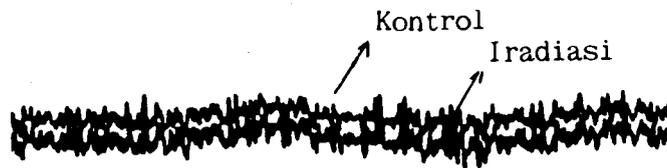
Gambar 6. Hubungan antara luas spektrum ESR sampel kakao iradiasi dan kontrol, dengan lama penyimpanan pada suhu kamar dan suhu beku.



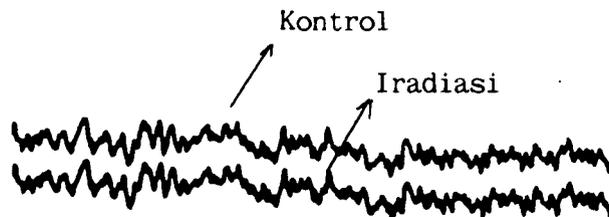
Gambar 7. Spektrum ESR sampel kopi iradiasi dan kontrol, setelah penyeduhan dengan air panas lalu dikeringkan dengan *freeze drier*.



Gambar 8. Spektrum ESR sampel susu instan Dancow iradiasi dan kontrol, setelah penyeduhan dengan air panas lalu dikeringkan dengan *freeze drier*.



Gambar 9. Spektrum ESR sampel gula pasir iradiasi dan kontrol, setelah penyeduhan dengan air panas lalu dikeringkan dengan *freeze drier*.



Gambar 10. Spektrum ESR sampel nutrisari iradiasi dan kontrol, setelah penyeduhan dengan air panas lalu dikeringkan dengan *freeze drier*.

DISKUSI

RINDY P. TANHINDARTO

1. Apa yang mempengaruhi laju penurunan total radikal selama penyimpanan ?
2. Tentang radikal alam terdiri dari radikal apa saja pada suatu bahan pangan seperti kopi dan coklat ?
3. Spektrum ESR yang ditunjukkan, apakah mempunyai ciri khas atau tidak untuk masing-masing sampel ?
4. Jika pengukuran sampel dengan ESR menggunakan luas/amplitudo. Apakah bisa diduga spektrumnya ?

NUR HIDAYATI

1. Yang mempengaruhi laju penurunan jumlah radikal :
 - Jumlah radikal makin tinggi, penurunan makin cepat.
 - Temperatur, makin tinggi temperatur, penurunan makin cepat.
 - Derajat kehalusan, makin halus sampel makin cepat penurunan radikal.
 - Suasana, dalam padat penurunan jumlah radikal lebih sulit dibanding dalam suasana air.
2. Radikal alam tersebut merupakan campuran macam-macam radikal secara terperinci, pertanyaan tidak dapat dijawab. Menurut atau melihat spektrum ESR, radikal alam tersebut merupakan campuran radikal.
3. Menurut atau melihat spektrum ESR radikal alam tersebut merupakan campuran radikal. Tidak ada ciri khas.
4. Tidak bisa.

GATOT T. REKSO

Apa yang dimaksud dengan radikal alam didalam kopi, coklat, teh. Apa ini merupakan radikal terjebak ?

NUR HIDAYATI

Radikal alam di dalam kopi, coklat, teh adalah yang terjadi di alam, karena adanya energi yang masuk. Jadi bukan radikal akibat iradiasi, dan ini merupakan radikal kontrol.

WIWIK S.

1. Umur radikal pendek setelah bahan minuman diiradiasi dan setelah penyimpanan lama menjadi stabil seperti radikal alam ?
2. Apakah radikal yang terbentuk karena proses iradiasi dipengaruhi oleh zat yang terkandung dalam bahan minuman tersebut ?
3. Bagaimana mekanisme pembentukan radikal pada nutrisari yang di samping gula pasir (sukrose & glukose) masih ada senyawa asam sitrat, dll ?

NUR HIDAYATI

1. Radikal akibat iradiasi dalam penyimpanan akhirnya terionisasi. Jadi berubah menjadi ion radikal. Radikal alam tetap stabil.
2. Anda betul.
3. Mekanismenya sulit diterangkan disini.

DAVIDSON A. MUIS

1. Apa yang menyebabkan terjadinya radikal alam pada makanan. Jenis/komposisi bahan kimia atau struktur kimianya. Mohon dijelaskan ?
2. Apakah kadar air mempengaruhi radikal alam.

NUR HADIYATI

1. Radikal alam pada makanan adalah radikal yang terjadi di alam bukan karena iradiasi. Jenis/komposisi bahan kimia atau struktur kimianya tidak diketahui, hanya terdiri dari campuran radikal.
2. Radikal alam tersebut hanya dapat dibaca di ESR pada kadar air < 15 %. Pada kadar air lebih besar dari itu tak dapat dibaca di ESR.

RAHAYU Ch.

1. Menurut pendapat Anda kira-kira apa senyawa asalnya pada radikal alam tersebut ?
2. Setelah dilarutkan dalam air mana yang terjadi. Radikal tersebut menjadi mobil, sehingga hilangnya radikal karena terjadi reaksi-reaksi radikal seperti penggabungan, adisi, dll., atau radikal bereaksi dengan air ?
3. Mungkinkah radikal-radikal yang telah terbentuk akibat radiasi, dapat mengalami reaksi rantai dengan O₂, sehingga membentuk peroksida radikal ?
4. Apabila radikal-radikal tersebut hilang (bereaksi), apakah produk baru yang terbentuk aman ?

NUR HIDAYATI

1. Saya tidak mengetahui, karena radikal tersebut merupakan campuran radikal.
2. Dalam suasana air kemungkinan radikal tersebut bermacam-macam seperti penggabungan, adisi, atau bereaksi dengan oksigen yang terlarut dalam air.
3. Terjawab di No 2.
4. Produk baru yang terbentuk aman atau tidak untuk konsumen. Saya tidak tahu, tetapi sampai sekarang belum ada konsumen yang keracunan, belum ada keluhan.

PELAPISAN PERMUKAAN KAYU JEUNGJING (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN) MENGGUNAKAN RESIN AKRILAT DENGAN TEKNIK RADIASI

Gatot Suhariyono*, Sugiarto Danu**, dan Mondjo***



ID0000143

* Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN
 ** Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
 *** Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

ABSTRAK

PELAPISAN PERMUKAAN KAYU JEUNGJING (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN) MENGGUNAKAN RESIN AKRILAT DENGAN TEKNIK RADIASI. Percobaan pelapisan permukaan untuk meningkatkan kualitas dan nilai tambah kayu jeungjing (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN) telah dilakukan menggunakan resin akrilat dengan radiasi berkas elektron (BE). Dosis yang dipakai dalam radiasi BE adalah 20, 40 dan 60 kGy. Resin epoksi akrilat dan ester akrilat dipakai sebagai bahan pelapis setelah dicampur monomer tripropilen glikol diakrilat (TPGDA), fotoinisiator 2,2-dimetil-2-hidroksi asetofenon (Darocur 1173) dan talk sebagai bahan lapisan dasar. Lapisan atas terdiri dari ester akrilat Setacure AM 542 dan Setacure AM 548 yang masing-masing ditambahkan titanium dioksida OK 412 sebagai zat aditif. Konsentrasi titanium dioksida dalam campuran divariasikan menjadi 0, 2, 4 dan 6 % berat. Pelapisan secara konvensional sebagai pembandingan dilakukan menggunakan vernis. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sifat-sifat lapisan pada permukaan kayu jeungjing hasil "curing" radiasi BE lebih baik dibandingkan cara konvensional.

ABSTRACT

SURFACE COATING OF JEUNGJING WOOD (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN) WITH ACRYLATE RESINS BY USING RADIATION TECHNIQUE. An experiment on surface coating with acrylate resins has been done by using radiation technique to improve the quality and added value of jeungjing wood (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN). Doses used in Electron Beam (BE) radiation were 20, 40 and 60 kGy. Epoxy acrylate and ester acrylate resins were used as coating materials after added with tripropylene glycol diacrylate (TPGDA) monomer, 2,2-dimethyl-2-hydroxy acetophenone (Darocur 1173) photoinitiator and talc as base coat. Top coat consists of ester acrylate Setacure AM 542 and Setacure AM 548, after added with titanium dioxide OK 412 as additive respectively. Titanium dioxides in the mixture were varied at the concentration level of 0, 2, 4 and 6 % by weight. Conventional coating as comparison was carried out by using varnish as coating material. The results showed that the properties of film on jeungjing wood by EB curing are better than that of conventional one.

PENDAHULUAN

Kayu jeungjing / sengon (*paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) mempunyai sifat-sifat lebih istimewa dibandingkan jenis kayu yang lain yakni mudah ditanam, cepat tumbuh, murah, ringan dan termasuk komoditas ekspor. Kayu jeungjing sering digunakan untuk papan, langit-langit, peti sabun, perabot rumah tangga, bahan mainan, kayu lapis, bahan pembungkus, kotak korek api, kertas dan lain - lain [1].

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat-sifat fisik dan mekanik kayu jeungjing adalah pelapisan permukaan secara konvensional atau dengan teknologi radiasi. Kelebihan pelapisan permukaan dengan teknologi radiasi dibandingkan teknologi konvensional digunakannya bahan kimia pelapis dengan pelarut-pelarut reaktif (monomer polifungsional) yang tidak menguap sehingga tidak mencemari udara, proses berlangsung lebih cepat untuk kapasitas produksi yang sama, konsumsi energi jauh lebih kecil, kualitas produk lebih baik (lebih keras, lebih tahan terhadap goresan, tahan terhadap panas dan pelarut

organik), tidak terdapat sisa-sisa katalis pada produk, dan adesi bahan pelapis terhadap substrat lebih baik. Sedangkan kelemahan pelapisan permukaan dengan teknologi radiasi adalah investasi awalnya relatif besar, bahan kimia pelapis relatif lebih mahal daripada bahan kimia pelapis konvensional dan proses radiasi lebih cocok untuk permukaan yang datar [2,3].

Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan kualitas, daya guna dan nilai tambah kayu jeungjing dengan pelapisan permukaan menggunakan teknik radiasi Berkas Elektron (BE), serta membandingkan sifat-sifat lapisan permukaan kayu jeungjing hasil pelapisan secara radiasi dengan hasil pelapisan secara konvensional.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Kayu jeungjing diperoleh dari PT. PRIMASARI, Bogor. Sampel kayu yang dipakai berukuran 23x13x1 cm sebanyak 96 buah untuk radiasi BE dan 4 buah untuk pelapisan secara konvensional. Epoksi akrilat

(Laromer EA 81) dan monomer TPGDA (tripropilen glikol diakrilat) buatan BASF digunakan sebagai bahan pelapis dasar. Bahan pelapis atas terdiri dari resin ester akrilat yaitu Setacure AM 542 dan Setacure AM 548 buatan Toagosei Chem. Ind. Co., Ltd, Jepang. Vernis yang dipakai untuk pelapisan konvensional adalah Copal Vernis dengan merk MICOTEX. Stain yang dipakai yakni merk IMPRA *Fancy Sealer 127 broken white*, produksi P.T. Propan Industrial Coating, Tangerang. Perbedaan bahan pelapis radiasi Ultra Violet (UV) dan BE yaitu bahan pelapis radiasi UV memerlukan fotoinisiator, sedang bahan pelapis radiasi BE tidak memerlukan fotoinisiator. Fotoinisiator yang dipakai adalah 2,2 - dimetil - 2 - hidroksi asetofenon dengan nama komersial Darocur 1173 buatan Merck.

Alat. Mesin BE memancarkan berkas elektron dengan arus maksimum 50 mA, tegangan 300 kV, termasuk tipe "scanning" dengan lebar berkas elektron 120 cm dan frekuensi 20 Hz. Mesin ini buatan "Nissin High Voltage Co.", Jepang. Spesifikasi mesin UV yaitu daya lampu 80 Watt / cm, lebar ruang radiasi sekitar 120 cm, kecepatan konveyor 3-6 m / menit dan daya listrik sekitar 10 kW. Mesin UV ini buatan "IST Strahlentechnik" METZ GMBH, Jerman. Sinar UV yang dipakai mempunyai arus 5,7 A, tegangan listrik 220 V dan frekuensi 50 Hz.

Tata kerja. Bahan pelapis dasar merupakan campuran dari Laromer EA 81, monomer TPGDA dan talk dengan perbandingan berat 60 : 40 : 10. Bahan pelapis dasar diiradiasi sinar UV dan bahan pelapis atas diiradiasi BE. Iradiasi UV dilakukan memakai Darocur 1173 sebagai fotoinisiator dengan konsentrasi 3 % dari berat campuran bahan pelapis dasar. Dua macam bahan pelapis atas yaitu Setacure AM 542 dan Setacure AM 548, masing-masing dicampur bahan yang dapat menurunkan kilap lapisan (*matting agent*) yaitu titanium oksida OK 412 dengan variasi konsentrasi 0, 2, 4 dan 6 % dari berat bahan pelapis atas. Pemberian stain berfungsi sebagai pewarna agar penampilan tekstur kayu lebih menarik. Ulangan percobaan dilakukan dua kali. Secara garis besar tata kerja pelapisan permukaan dengan radiasi UV dan BE dapat dinyatakan dalam Gambar 1.

Pelapisan permukaan kayu secara konvensional dilakukan dengan bahan pelapis atas vernis. Sebagian permukaan kayu diberi stain dan lapisan dasar yang diiradiasi UV, dan sebagian hanya diberi lapisan dasar saja. Kemudian semua lapisan permukaan tersebut dilapisi vernis. Pengukuran sifat-sifat bahan pelapis meliputi viskositas, densitas dan kandungan bahan mudah menguap sesuai dengan ASTM D 2369-81 [4]. Pengujian kekerasan lapisan dilakukan menggunakan pensil standar sesuai dengan standar ASTM D 3363-74 [5]. Uji ketahanan lapisan terhadap bahan kimia dilakukan sesuai dengan ASTM D 3023-81 yakni menggunakan bahan kimia CH_3COOH 5 %, H_2SO_4 10 %, NaOH 10 %, NaCO_3 1 %, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 50 % dan thinner [6]. Pengukuran kilap suatu lapisan diukur dengan glossmeter sesuai dengan ASTM D 523-80 [7]. Pengujian adesi dilakukan menurut ASTM D 3359-83 [8]. Ketahanan kikis dilakukan berdasarkan ASTM D 968-81 menggunakan metode pasir jatuhnya [9]. Pengujian air panas dan nyala rokok dilakukan menurut ASTM D 2571-71 [10]. Pengujian stain dilakukan menurut JIS K 5400-1970 dengan

mencoretkan spidol permanen warna merah, biru dan hitam [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Tabel 1 terlihat bahwa densitas bahan pelapis yang dibuat dari resin AM 542 lebih tinggi dibanding bahan pelapis yang berasal dari resin AM 548. Variasi OK 412 yang diberikan tidak berpengaruh terhadap densitas pelapis AM 542 maupun AM 548, meskipun meningkatkan viskositasnya. Viskositas bahan pelapis dasar sangat rendah dibandingkan dengan AM 542 dan AM 548. Kandungan bahan mudah menguap bahan pelapis dasar lebih tinggi dibanding AM 542 dan AM 548. Penambahan TPGDA yang terdapat dalam bahan pelapis dasar dapat menurunkan viskositas larutan, sehingga pelapisan permukaan menjadi lebih mudah dilakukan. Viskositas bahan pelapis dasar diusahakan rendah agar dapat masuk ke pori-pori kayu, sehingga dapat terpolimerisasi dan melekat pada permukaan kayu.

Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh lapisan permukaan hasil iradiasi BE tahan terhadap stain warna merah, biru dan hitam, kecuali untuk lapisan yang dibuat dari Setacure AM 548 sedikit dipengaruhi oleh stain merah. Hal ini berarti ada stain merah yang meresap masuk dan bereaksi dengan dengan lapisan hasil iradiasi BE. Lapisan yang tahan terhadap uji stain berarti lapisan terpolimerisasi sempurna, sehingga tidak ada stain dari spidol yang dapat bereaksi dengan lapisan. Di samping itu tidak ada pori-pori lapisan yang dapat ditembus, sehingga stain tidak dapat meresap ke dalam pori-pori tersebut. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa pengaruh stain warna merah, biru dan hitam banyak berbekas pada lapisan hasil pelapisan permukaan secara konvensional. Hal ini terbukti dengan adanya lapisan vernis yang terkelupas dan hilang setelah dilakukan pengujian, sehingga kelihatan permukaan kayu aslinya baik dengan atau tanpa lapisan dasar.

Pada umumnya lapisan permukaan hasil iradiasi BE tahan terhadap CH_3COOH 5%, H_2SO_4 10% dan Na_2CO_3 1%, tetapi tidak begitu tahan terhadap NaOH 10% dan thinner (Tabel 4 dan 5). Lapisan yang dibuat dari AM 542 lebih tahan terhadap $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 50%, daripada AM 548. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa sifat lapisan hasil pelapisan secara konvensional sedikit dipengaruhi oleh CH_3COOH 5%, H_2SO_4 10%, NaOH 10%, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 50% dan Na_2CO_3 1%. Hal ini menunjukkan adanya ketidak sempurnaan lapisan, akibat tidak adanya lapisan dasar. Lapisan permukaan yang diberi lapisan dasar tahan terhadap H_2SO_4 10%, sedangkan jika diberi lapisan dasar dan tanpa stain tahan terhadap CH_3COOH 5%. Thinner sangat reaktif, sehingga berbekas nyata pada lapisan hasil pelapisan secara konvensional.

Kekerasan lapisan dengan pemberian stain rata-rata lebih tinggi dibanding lapisan tanpa pemberian stain, seperti terlihat pada Tabel 6, karena dengan adanya penambahan stain, lapisan menjadi lebih tebal. Variasi dosis yang digunakan dalam radiasi BE tidak berpengaruh terhadap kekerasan. Secara keseluruhan lapisan yang dibuat dari AM 548 lebih keras dibanding kekerasan lapisan AM

542. Tabel 2 menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi pada pelapisan permukaan secara konvensional terdapat pada lapisan permukaan yang diberi lapisan dasar dan dilapisi stain, yaitu 5B. Secara keseluruhan kekerasan lapisan hasil iradiasi BE lebih tinggi dibandingkan cara konvensional.

Seluruh lapisan hasil radiasi BE tidak dipengaruhi oleh air panas seperti tertera pada Tabel 6. Lapisan yang tanpa stain lebih tahan terhadap nyala rokok daripada lapisan yang diberi stain. Variasi dosis yang digunakan pada radiasi BE tidak berpengaruh terhadap hasil pengujian nyala rokok dan air panas. Lapisan yang dibuat dari AM 542 sebagian besar lebih tahan terhadap nyala rokok daripada AM 548. Pelapisan permukaan cara konvensional tidak tahan terhadap nyala rokok dengan terlihatnya bekas warna hitam setelah pengujian (Tabel 2). Pengaruh air panas sedikit berbekas pada semua lapisan hasil pelapisan cara konvensional.

Nilai adesi pelapisan permukaan menggunakan radiasi BE di atas 50 % berarti daya rekatnya baik, seperti terlihat pada Tabel 7. Sebagian besar adesi antara lapisan permukaan dengan substrat tanpa diberi stain lebih kuat daripada antara lapisan dengan substrat yang dilapisi stain. Hal ini karena dengan adanya penambahan stain, lapisan dasar tidak langsung melekat pada permukaan kayu, akibatnya akan mengurangi daya rekat lapisan dasar dan permukaan kayu. Variasi dosis dan konsentrasi OK 412 tidak berpengaruh terhadap nilai adesi. Sebagian besar permukaan yang dilapisi AM 542 lebih tinggi nilai adesinya daripada dilapisi AM 548. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian adesi diantaranya adalah perbedaan tempat yang diuji, minyak yang merupakan zat ekstraktif dari kayu dan kotoran yang menempel pada permukaan. Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai adesi pelapisan permukaan secara konvensional di atas 50 % yang berarti daya rekatnya baik.

Dari Tabel 7 diketahui bahwa lapisan yang diberi stain sebagian besar nilai kilapnya lebih kecil daripada tanpa stain. Variasi dosis tidak berpengaruh terhadap nilai kilap pada penggunaan bahan pelapis AM 542, tetapi berpengaruh pada bahan pelapis AM 548. Semakin besar dosis yang dipakai pada bahan pelapis AM 548 semakin besar nilai kilapnya. Variasi konsentrasi OK 412 tak berpengaruh terhadap nilai kilap, kecuali pada lapisan yang dibuat dari AM 548. Konsentrasi OK 412 yang semakin besar menyebabkan larutan semakin keruh, sehingga menurunkan nilai kilap lapisan yang dibuat dari AM 548. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran kilap diantaranya adalah komposisi bahan pelapis, warna alami kayu dan tebal lapisan. Pada pelapisan permukaan secara konvensional (Tabel 2), nilai kilap vernis yang dilapiskan pada substrat dan sudah diberi lapisan dasar lebih tinggi daripada vernis yang dilapiskan pada substrat tanpa lapisan dasar. Berbeda dengan secara radiasi, stain berwarna putih pada pelapisan permukaan secara konvensional dapat memperbesar nilai kilap.

Tabel 2 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa lapisan yang diiradiasi BE dan konvensional tidak tahan terhadap kikisan. Hal ini dapat dilihat dari nilai ketahanan kikisnya yang sebagian besar adalah nol. Adapun nilai kikisan maksimum didapat dari lapisan yang dibuat dari AM 542

yaitu sebesar 17,5 % pada lapisan 0 % OK 412, dosis 40 kGy dengan pemberian stain.

KESIMPULAN

Pelapisan permukaan kayu jeungjing dengan radiasi BE menghasilkan lapisan yang mempunyai kekerasan dan kilap lebih tinggi, serta ketahanan terhadap pengujian stain, bahan kimia, nyala rokok dan air panas yang lebih baik dibanding pelapisan cara konvensional.

Lapisan yang dibuat dari AM 542 dan diiradiasi BE mempunyai adesi dan ketahanan nyala rokok lebih tinggi daripada AM 548, tapi kekerasan dan nilai kilap lapisan berlaku sebaliknya.

Penggunaan stain mempengaruhi sifat-sifat lapisan hasil pelapisan secara radiasi dan konvensional cenderung menurunkan adesi, nilai kilap, dan ketahanan terhadap nyala rokok dan menaikkan kekerasan.

Lapisan yang diiradiasi BE maupun diproses cara konvensional tidak tahan terhadap kikisan, tetapi mempunyai adesi yang baik (diatas 50%).

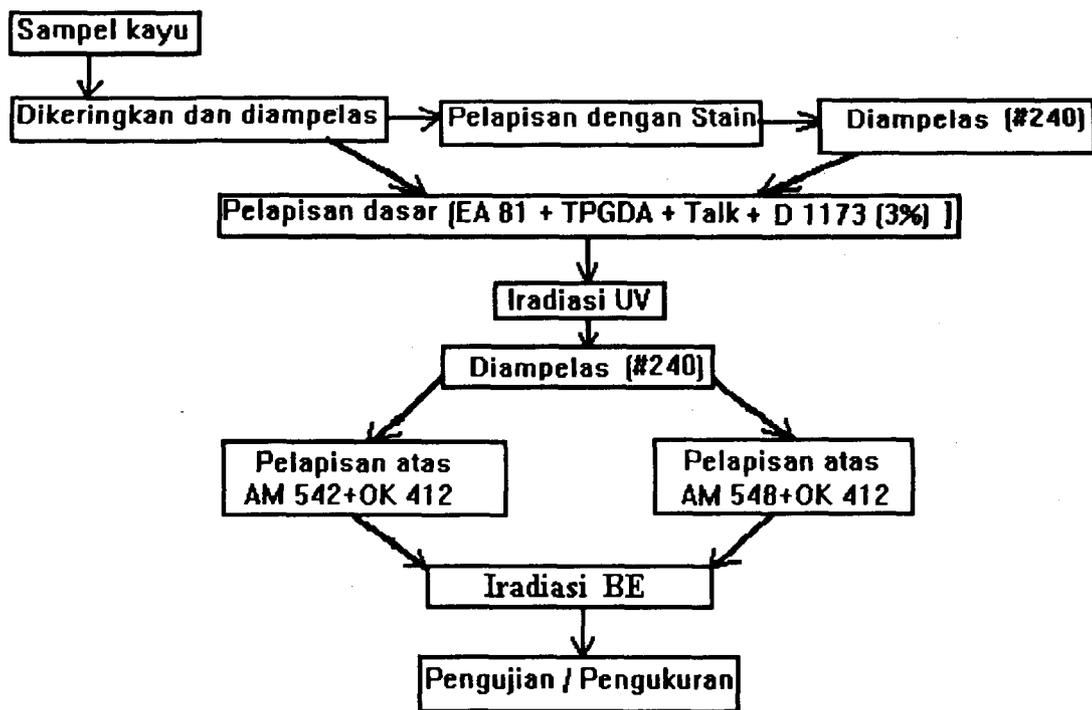
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Bidang Proses Radiasi PAIR-BATAN yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. KELOMPOK KERJA PENULISAN BUKU KAYU INDONESIA, "Kayu Indonesia (Lembaga Biologi Nasional-LIPI)", PN Balai Pustaka, Jakarta, (1980), 39-40.
2. SUNDARDI, F., "Pengantar Teknologi Pelapisan Permukaan Papan Kayu dengan Menggunakan Radiasi", Executive Management Seminar on Radiation Curing Coating Technology on Wood Panel, PAIR-BATAN, Jakarta, (19-20 Maret 1987).
3. CHARLESBY, A., "Atomic Radiation and Polymers", Pergamon Press, New York, Vol. I, (1960), 144
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Test Method for Volatile Content of Coatings (D 2369-81)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Film Hardness by pencil Test (D 3363-74)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Practice for Determination of Resistance Factory - Applied Coatings on wood

- Products to Stain and Reagents (D 3023-81)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Test Method for Specular Gloss (D 523-80)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
 8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Measuring Adhesion by Tape Test (D 3359-83)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
 9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Test Methods for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Falling Abrasive Tester (D 968-81)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
 10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Wood Furniture Lacqures (D 2571-71)", Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, (1984).
 11. JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD ASSOCIATION, "Testing Methods for Organic Coatings", Japanese Industrial Standard, JIS K 5400, (1970).



Gambar 1. Proses pelapisan permukaan kayu jeungjing dengan radiasi UV dan BE

Tabel 1. Densitas, viskositas dan kandungan bahan mudah menguap dari bahan pelapis

Bahan Pelapis	Setacure	OK 412 (%)	Densitas (g/ml)	Viskositas (μ) (cp)	Kandungan bahan mudah menguap (%)
Atas	AM 542	0	1,19	497,6	2,99
		2	1,19	726,613	2,16
		4	1,184	966,08	4,16
		6	1,184	1166,627	2,18
	AM 548	0	1,0944	1240,56	1,42
		2	1,0904	1526,47	3,32
		4	1,092	1618,43	2,096
		6	1,093	2216,41	3,33
Dasar	EA 81 + TPGDA + talk + D 1173 (3%)		1,16	110,08	8,39

Tabel 2. Hasil pengujian sifat lapisan pada proses konvensional

No.	Macam uji/ukur	Lapisan Dasar		Tanpa Lapisan Dasar	
		Stain	Tanpa stain	Stain	Tanpa Stain
1.	<u>Stain :</u>				
	Merah	-	-	-	-
	Hitam	-	-	-	-
	Biru	-	-	-	-
2.	<u>Bahan Kimia :</u>				
	CH ₃ COOH 5%	✓	+	✓	✓
	H ₂ SO ₄ 10%	+	+	✓	✓
	NaOH 10%	✓	✓	✓	✓
	C ₂ H ₅ OH 50%	✓	✓	✓	✓
	Na ₂ CO ₃ 1%	✓	✓	✓	✓
	Thinner	-	-	-	-
3.	Kekerasan	5B	6B	6B	6B
4.	Air panas	✓	✓	✓	✓
5.	Nyala Rokok	Hitam	Hitam	Hitam	Hitam
6.	Adesi (%)	88	95	55	90
7.	Kilap (%)	68,7	62,3	57,3	17,2
8.	Ketahanan Kikis (%)	0	0	0	0

Catatan : + : Tidak dipengaruhi sama sekali (tidak berbekas)

✓ : Sedikit dipengaruhi (sedikit berbekas)

- : Sangat dipengaruhi (berbekas nyata)

K : Sedikit berbekas (kuning)

C : Berbekas (coklat)

H : Terbakar (hitam)

Kekerasan dari lunak ke keras : 6B-5B-4B-3B-2B-B-HB-F-H-2H-3H-4H-5H-6H

Adesi : > 50 % = memenuhi standar

< 50 % = tidak memenuhi standar

Kilap : 0 % = lapisan tidak mengkilap, 100% = lapisan mengkilap

Kikis : 0% = lapisan terkikis, 100% = tidak ada kikisan pada lapisan

Tabel 3. Pengujian stain

Setacure	OK 412 (%)	Warna Spidol	Stain (S)/ Tanpa Stain (TS)	Dosis (kGy)		
				20	40	60
AM 542	0	Merah	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Hitam	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Biru	S	+	+	+
			TS	+	+	+
	2	Merah	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Hitam	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Biru	S	+	+	+
			TS	+	+	+
4	Merah	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Hitam	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Biru	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
6	Merah	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Hitam	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Biru	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
AM 548	0	Merah	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	+
		Hitam	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Biru	S	+	+	+
			TS	+	+	+
	2	Merah	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
		Hitam	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Biru	S	+	+	+
			TS	+	+	+
4	Merah	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	
	Merah	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Biru	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
6	Merah	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	+	
	Hitam	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Biru	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	

Tabel 4. Pengujian bahan kimia (I)

Setacure	OK 412 (%)	Bahan Kimia	Stain (S)/ Tanpa Stain (TS)	Dosis (kGy)		
				20	40	60
AM 542	0	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		NaOH 10%	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
	2	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		NaOH 10%	S	✓	✓	+
			TS	✓	✓	✓
4	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	NaOH 10%	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	
6	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	NaOH 10%	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	
AM 548	0	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		NaOH 10%	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
	2	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		NaOH 10%	S	✓	✓	+
			TS	✓	✓	✓
4	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	NaOH 10%	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	
6	CH ₃ COOH 5%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	H ₂ SO ₄ 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	NaOH 10%	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	

Tabel 5. Pengujian bahan kimia (II)

Setacure	OK 412 (%)	Bahan Kimia	Stain (S)/ Tanpa Stain (TS)	Dosis (kGy)		
				20	40	60
AM 542	0	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Na ₂ C ₂ O ₃ 1%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Thinner	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
	2	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Thinner	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
4	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Thinner	S	✓	✓	✓	
		TS	+	+	✓	
6	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Thinner	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	+	
AM 548	0	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Thinner	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
	2	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Thinner	S	✓	✓	✓
			TS	✓	✓	✓
4	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Thinner	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	
6	C ₂ H ₅ OH 10%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Na ₂ CO ₃ 1%	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Thinner	S	✓	✓	✓	
		TS	✓	✓	✓	

Tabel 6. Pengujian kekerasan air panas dan nyala rokok

Setacure	OK 412 (%)	Macam Uji	Stain (S)/ Tanpa Stain (TS)	Dosis (kGy)		
				20	40	60
AM 542	0	Kekerasan	S	2B	3B	B
			TS	4B	B	3B
		Air panas	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Nyala Rokok	S	C	C	C
			TS	C	C	C
	2	Kekerasan	S	B	3B	3B
			TS	3B	3B	5B
		Air panas	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Nyala Rokok	S	K	C	+
			TS	C	C	K
4	Kekerasan	S	4B	2B	B	
		TS	3B	4B	5B	
	Air panas	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Nyala Rokok	S	H	C	C	
		TS	K	K	K	
6	Kekerasan	S	2B	2H	HB	
		TS	B	3B	2H	
	Air panas	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Nyala Rokok	S	H	K	+	
		TS	K	K	K	
AM 548	0	Kekerasan	S	F	H	H
			TS	2F	B	2H
		Air panas	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Nyala Rokok	S	H	H	K
			TS	K	C	K
	2	Kekerasan	S	2B	HB	B
			TS	2B	2B	3B
		Air panas	S	+	+	+
			TS	+	+	+
		Nyala Rokok	S	C	C	K
			TS	K	K	K
4	Kekerasan	S	B	B	B	
		TS	2B	B	2B	
	Air panas	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Nayla Rokok	S	C	C	K	
		TS	K	K	K	
6	Kekerasan	S	B	B	2B	
		TS	3B	2B	3B	
	Air panas	S	+	+	+	
		TS	+	+	+	
	Nyala Rokok	S	C	H	H	
		TS	K	K	K	

Tabel 7. Pengujian adesi, kilap dan ketahanan kikis

Setacure	OK 412 (%)	Macam Uji	Stain (S)/ Tanpa Stain (TS)	Dosis (kGy)		
				20	40	60
AM542	0	Adesi	S	99,5	99,5	100
			TS	100	100	100
		Kilap	S	81,2	51,7	70,4
			TS	89,7	83,2	78,3
		Kikis	S	10	1,5	10
			TS	12,5	12,5	7,5
	2	Adesi	S	97,5	100	100
			TS	100	100	100
		Kilap	S	63	83,7	81,9
			TS	78,2	83,2	76,5
		Kikis	S	5	5	10
			TS	5	10	5
AM548	4	Adesi	S	100	95	99
			TS	100	100	99
		Kilap	S	51,7	62,9	60,5
			TS	63,7	78,5	76,5
		Kikis	S	5	10	5
			TS	0	7,5	0
	6	Adesi	S	97,5	98,5	99
			TS	100	99	100
		Kilap	S	59,2	69,5	62,9
			TS	63,8	68,1	69,8
		Kikis	S	2,5	10	10
			TS	0	10	10
AM 548	0	Adesi	S	60	94	97,5
			TS	100	97,5	87,5
		Kilap	S	96,7	95,2	96,7
			TS	97,4	97,8	98
		Kikis	S	0	0	0
			TS	0	0	0
	2	Adesi	S	55	55	90
			TS	62,5	79	92,5
		Kilap	S	90,6	93,7	96
			TS	92,6	93,6	95,8
		Kikis	S	0	0	0
			TS	0	0	0
AM 548	4	Adesi	S	57,5	50	97,5
			TS	59	57,5	96
		Kilap	S	86,9	93,7	96
			TS	90,5	92,6	93
		Kikis	S	0	0	0
			TS	0	0	0
	6	Adesi	S	95	100	100
			TS	90	65	65
		Kilap	S	84,8	88,5	89
			TS	80,6	90,5	91,7
		Kikis	S	0	0	0
			TS	0	0	0

DISKUSI

GATOT T. REKSO

Apa tujuan penambahan titanium dioksida OK 412: 2, 4, dan 8 %. Dan apabila tujuannya sebagai pigment apa dengan persentasi diatas sudah dapat menutupi ?

GATOT SUHARIYONO

Tujuannya OK 412: untuk mengurangi kilap lapisan hasil radiasi. Variasi 0, 2, 4, dan 6 % OK 412 hanya untuk melihat sejauh mana pengaruh OK 412 terhadap sifat-sifat lapisan hasil radiasi seperti kekerasan, adesi, nilai kilap, dsb.

PEMANTAUAN TOTAL ALFA DI UDARA DAN PAPARAN RADIASI GAMMA DI KAWASAN DAN SEKITAR PUSAT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PAITON

Sutarman dan Asep warsona

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN



ID0000144

ABSTRAK

PEMANTAUAN TOTAL ALFA DI UDARA DAN PAPARAN RADIASI GAMMA DI KAWASAN DAN SEKITAR PUSAT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PAITON. Batu bara yang dibakar di dalam tungku pemanas pada suhu lebih dari 1.700 °C akan menghasilkan tenaga listrik dan abu batu bara (abu dasar dan abu terbang). Abu terbang dilepaskan ke atmosfer atau lingkungan sekitar PLTU. Oleh karena itu pemantauan radioaktivitas lingkungan perlu dilakukan di dalam kawasan dan sekitar PLTU Paiton. Makalah ini memberikan hasil-hasil pengukuran yang dilakukan untuk total alfa di dalam udara dan paparan radiasi gamma. Pengukuran total alfa telah dilakukan menggunakan pencacah sentilasi alfa dengan detektor ZnS(Ag), dan pengukuran paparan radiasi-gamma menggunakan kamar pengion bertekanan tinggi. Hasil-hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa total alfa di dalam udara berkisar dari $(7,1 \pm 1,2)$ mBq m⁻³ sampai $(12,2 \pm 1,9)$ mBq m⁻³ dan paparan radiasi-gamma $(3,69 \pm 0,11)$ µR/jam sampai $(9,55 \pm 0,15)$ µR/jam. Data ini masih lebih rendah dari pada batas tertinggi konsentrasi yang diizinkan atau masukan tahunan melalui pernapasan, tetapi total alfa di udara lebih tinggi dari pada di instalasi nuklir.

ABSTRACT

MONITORING OF GROSS ALPHA IN THE AIR AND EXPOSURE GAMMA RADIATION ON AND AROUND THE COAL FIRE POWER AT PAITON. Coal is burned in furnace operating at up to 1,700 °C in order to produce electrical energy and ash (bottom ash and fly-ash). The fly-ash is released to the atmosphere or environment around the coal fire power. Therefore, the environmental radioactivity monitoring should be carried out on and around the coal fire power station at Paiton. This paper gives the results of the measurements carried out for gross alpha in the air and exposure gamma radiation. The measurement of gross alpha have been carried out using the alpha scintillation counter with the ZnS(Ag) detector, and measurement of gamma radiation using the high pressure ion chamber. The results obtained showed that the gross alpha in the air were the ranging from (7.1 ± 1.2) mBq m⁻³ to (12.2 ± 1.9) mBq m⁻³ and the exposure gamma radiation were (3.69 ± 0.11) µR/h to (9.55 ± 0.15) µR/h. The data were still lower than the limit of the maximum permissible concentration and annual intake for breathing but the gross alpha data were higher than in the nuclear installations.

PENDAHULUAN

Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Uap bahan bakar Batubara (PLTU) Paiton telah dibangun di Desa Binor Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo Propinsi Jawa Timur oleh pemerintah untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang selalu meningkat dari tahun ke tahun. Diperkirakan dalam kurun waktu 1994 - 2004 adalah sekitar 105.674 GWh dan pada PJPT II kebutuhan energi listrik akan lebih meningkat lagi. Konsumsi listrik yang meningkat tersebut harus didukung oleh pembangunan dan penyediaan energi listrik dalam skala besar. ^[1]

PLTU Paiton berkapasitas 800 MW (2 x 400 MW) telah mulai beroperasi pada tahun 1993/1994. Rencana pembangunan PLTU Paiton akan berlanjut sampai dengan kapasitas terpasang total 4000 MW, secara bertahap. Kini mulai dibangun PLTU Paiton Swasta dengan kapasitas 1220 MW (2 x 610 MW). ^{[1][2]}

Berdasarkan hasil-hasil studi yang telah dilakukan di beberapa negara (Amerika Serikat, Rusia, Jepang dan India) bahwa pembakaran batu bara pada suhu tinggi

(1700°C), menyebabkan terlepasnya sejumlah gas beracun (CO, SO₂, NO_x dan metan) dan abu batu bara (abu terbang), yang mengandung logam berat (Hg, Pb, Ag, dan As) serta radionuklida alam primordial, yaitu kalium-40 uranium-238 dan torium-232 beserta anak luruhnya yang memancarkan partikel alfa (α), beta (β) dan gamma (γ). ^[3] Penyebaran zat radioaktif tersebut ke lingkungan akan menimbulkan dampak terhadap komponen lingkungan (flora dan fauna), udara, termasuk penduduk di sekitar PLTU Paiton. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka perlu dilakukan pemantauan secara berkala terhadap gas beracun, logam berat dan radionuklida alam primordial.

Dalam makalah ini dibahas cara pemantauan radionuklida total alfa di dalam udara, dan radiasi-gamma lingkungan di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya.

Daerah pemantauan meliputi 14 lokasi dan dipilih berdasarkan pertimbangan keadaan meteorologi setempat (arah angin dan kecepatan angin). Pemantauan tersebut dilakukan dua kali dalam satu tahun, yaitu dalam musim kemarau (Agustus 1996) dan musim hujan (Desember 1996/ Januari 1997).

TATA KERJA

Lokasi Pemantauan. PLTU Paiton terletak di pantai utara Jawa Timur bagian timur (Selat Madura) dan di bawah pegunungan (Bukit Hutan Kesambi), sehingga keadaan meteorologi setempat dipengaruhi oleh angin lokal (angin laut yang bertiup pada siang hari dan angin darat yang bertiup pada malam hari). Data arah dan kecepatan angin diperlihatkan dalam bentuk cakra angin (Gambar. 1). Lokasi penyelidikan dibagi dalam radius dan sektor (1km, 5 km, dan 10 km dari cerobong PLTU). Peta Kecamatan Paiton dan lokasi penyelidikan diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Peralatan:

- Alat penghisap udara (air sampler) Radeco model H-809VI yang dilengkapi dengan kertas kertas tapis Whatman GF/A berdiameter 4,7 cm
- Pencacah Sintilasi Alfa Technical Associates (TA model FS-8C) dengan detektor Zn S (Ag)
- Generator sebagai sumber daya listrik untuk menghidupkan alat penghisap udara
- Pemantau radiasi gamma portabel (kamar pengion bertekanan tinggi Reuter Stokes model RSS-12 PI) yang dilengkapi dengan alat penyangga detektor.

Cara pengukuran. Pengukuran konsentrasi total alfa di udara dilakukan dengan menghisap udara lewat kertas tapis menggunakan alat hisap udara dengan laju alir (flow rate) 175 liter per menit (lpm) selama 60 menit atau sebesar 175 lpm x 60 menit = 10.500 liter (10,5 m³). Alat penghisap udara dipasang sekitar 2 m dari permukaan tanah dan menyongsong datangnya angin. Kertas tapis diangkat dari alat penghisap udara kemudian disimpan ke dalam amplop kecil dan diberi label (tempat, tanggal pengambilan, dan kode lokasi). Pengambilan sampel udara menggunakan alat penghisap udara diperlihatkan pada Gambar 4.

Setelah disimpan tiga hari (terjadi kesetimbangan anak luruh uranium berumur pendek dengan induknya), kertas tapis yang mengandung sampel udara dicacah menggunakan pencacah sintilasi alfa selama 60 menit. Penentuan efisiensi pencacahan menggunakan standar kalibrasi sumber radioaktif Am-241. Efisiensi pencacahan yang diperoleh adalah 20 %.

Efisiensi pencacahan ditentukan dengan persamaan :

$$E = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dengan : cps menyatakan laju cacah sumber radiasi Am-241 dalam satuan cacah perdetik dan dps menyatakan besarnya aktivitas pada saat pencacahan dilakukan dalam satuan peluruhan per detik (Bq).

Konsentrasi sampel udara dalam kertas tapis (A) ditentukan dengan persamaan :

$$A = \frac{C_s}{E \times V \times 10^3} \dots\dots\dots (2)$$

dengan : C_s menyatakan cacah sampel (cacah total - cacah latar) atau C_t - C_b, dalam satuan cps, E menyatakan efisiensi pencacahan (20%), V menyatakan volume sampel udara yang dihisap (10,5 m³), dan 10³ angka konversi dari Bq ke mBq, dan konsentrasi udara (total alfa) dinyatakan dalam satuan mBq m⁻³.

Simpangan baku alat ditentukan dengan persamaan :

$$S_b = \sqrt{\frac{(C_t + C_b)/T_b}{E \times V}} \dots\dots\dots (3)$$

dengan selang kepercayaan (confidence level) adalah 68 %.

Setiap alat cacah yang digunakan mempunyai batas deteksi terendah (limit deteksi) yang bergantung pada laju cacah latar, waktu cacah, dan efisiensi pencacahan. (persamaan 4)

$$L_d = \frac{2,33 \sqrt{C_b/T_b}}{E} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan (4) dapat dinyatakan dalam konsentrasi deteksi terendah (minimum detectable concentration), disingkat MDC, yaitu L_d dibagi dengan V, sehingga :

$$\text{MDC} = \frac{2,33 \sqrt{C_b/T_b}}{E \times V} \dots\dots\dots (5)$$

dengan selang kepercayaan 68 %,

L_d menyatakan batas deteksi terendah (Bq), C_b menyatakan cacah latar (cps), T_b menyatakan waktu cacah latar (detik) dan V menyatakan volume sampel udara yang dihisap sehingga, MDC dinyatakan dalam (mBq m⁻³) dalam mengevaluasi data, MDC digunakan untuk memberi batas kemampuan pendeteksian alat cacah yang digunakan.

Pengukuran radiasi-gamma lingkungan.

Pengukuran radiasi-gamma lingkungan menggunakan detektor kamar pengion bertekanan tinggi (High Pressured Ion Chamber, yang disingkat HPIC) yang dihubungkan dengan mikrokomputer RSS-112 sebagai pengolah data (Gambar 5).

Detektor kamar pengion ini menggunakan gas isian argon berkemurnian tinggi. Fungsi dari gas argon tersebut untuk memperbesar proses pengionan sehingga arus yang ditimbulkan dapat diukur oleh elektrometer. Gas isian argon berkemurnian tinggi dipilih karena berisi non-elektronegatif pada tekanan tinggi, sehingga tidak terjadi proses rekombinasi pada saat terjadi pengionan.^[4]

Radiasi gamma yang dideteksi dengan alat ini memberi respon yang telah dikalibrasi terhadap sinar gamma menggunakan sumber standar radioaktif Co-60. Alat ini sangat sensitif, mampu mendeteksi radiasi kosmik sekunder (muon dan foton) dalam satuan mikro roentgen per jam (μR/jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsentrasi total alfa dan paparan radiasi-gamma di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa data konsentrasi aktivitas total alfa di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya bervariasi dari $(5,9 \pm 0,9)$ mBq m⁻³ sampai $(13,2 \pm 2,0)$ mBq m⁻³ periode I (Agustus 1996, pada musim kemarau), dan dari $(6,5 \pm 1,9)$ mBq m⁻³ sampai $(14,5 \pm 3,5)$ mBq m⁻³ periode II (Desember 1996/Januari 1997, pada musim hujan). Konsentrasi total alfa rata-rata berkisar dari $(7,1 \pm 1,2)$ mBq m⁻³ sampai $(12,2 \pm 1,9)$ mBq m⁻³.

Perubahan konsentrasi total alfa dari periode I ke periode II tidak menyolok (sekitar 1,1 %). Dengan perkataan lain perubahan musim, dari musim kemarau ke musim hujan tidak mempengaruhi besarnya konsentrasi total alfa di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya.

Rentang konsentrasi total alfa rata-rata dalam udara di kawasan PLTU Paiton relatif tinggi dibandingkan dengan di kawasan instalasi nuklir :

- Kawasan PLTU Paiton : $(7,1 - 12,2)$ mBq m⁻³
- Kawasan PPTN Bandung : $(1,2 - 7,9)$ mBq m⁻³ (Laporan cuplikan gross alfa tingkat radioaktivitas di udara dari PPTN Bandung, di sekitar lapangan tenis, Mei 1986)
- Luar kawasan PRSG : (ttd - 1,6) mBq m⁻³ ^[4] (ttd : tidak terdeteksi)
- Kawasan PPTA Pasar Jumat : (ttd - 6,5) mBq m⁻³ ^[5]
- Lokasi calon PLTN Ujung Lemahabang (Laporan Tahunan, 1996) : (ttd - 3,8) mBq m⁻³
- Kawasan penambangan uranium Kalan (Kalimantan-Barat) : (0,02 - 3,32) mBq m⁻³ ^[6]

Hal ini karena adanya kontribusi konsentrasi total alfa anak luruh uranium dan torium yang terkandung di dalam abu terbang ke lingkungan.

Jika laju pernapasan total orang laki-laki dewasa 22,2 m³ per hari, ^[10] maka dapat dihitung aktivitas total alfa per tahun yang dihisap oleh penduduk di sekitar PLTU Paiton, sebagai berikut : aktivitas rata-rata $(9,3 \text{ Bq m}^{-3}) \times$ laju pernapasan $(22,2 \text{ m}^3 \text{ hari}^{-1} \times 365,25 \text{ hari tahun}^{-1}) = 7541 \text{ Bq tahun}^{-1}$. Jadi diperkirakan bahwa penduduk laki-laki dewasa yang tinggal di sekitar PLTU Paiton menghisap udara dengan aktivitas total alfa sebesar $7541 \text{ Bq tahun}^{-1} \approx 8 \times 10^4 \text{ Bq tahun}^{-1}$. Data tersebut masih relatif rendah jika dibandingkan dengan batas masukan tahunan melalui pernapasan (untuk radon dan anak luruhnya dalam orde $10^6 \text{ Bq tahun}^{-1}$). ^[7]

Tabel 2 memperlihatkan bahwa data paparan radiasi-gamma lingkungan di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya bervariasi dari $(3,23 \pm 0,16)$ µR/jam sampai $(9,30 \pm 0,20)$ µR/jam pada periode I (Agustus 1996, pada musim kemarau), dan dari $(3,00 \pm 0,16)$ µR/jam sampai $(9,80 \pm 0,18)$ µR/jam, pada periode II (Desember 1996/Januari 1997, pada musim hujan). Paparan radiasi-gamma rata-rata terbesar adalah $(9,55 \pm 0,13)$ µR/jam yaitu di desa Selobanteng (510 D). Daerah tersebut terletak di sebelah

selatan PLTU Paiton dan letaknya tinggi (di Bukit Hutan Kesambi).

Perubahan paparan radiasi-gamma dari periode I ke periode II sekitar 10 %. Perubahan paparan radiasi-gamma tersebut tidak menyolok, dengan kata lain bahwa perubahan musim tidak mempengaruhi paparan radiasi-gamma di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya.

Rentang paparan radiasi-gamma rata-rata di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya hampir sama atau lebih kecil dari data yang telah dilakukan di beberapa lokasi di Pulau Jawa dan manca negara (Jepang).

- Kawasan PLTU Paiton : $(3,69 - 9,55)$ µR/jam
- Kawasan PRSG Serpong : $(14,00 - 15,00)$ µR/jam ^[8]
- Kawasan PPTA Pasar Jumat : $(2,50 - 7,00)$ µR/jam ^[5]
- Kawasan penambangan uranium Kalan (Kalimantan-Barat) : $(10,00 - 45,00)$ µR/jam ^[6]
- Lokasi calon PLTN Ujung Lemahabang (Laporan Tahunan, 1996) : $(2,00 - 18,00)$ µR/jam
- Beberapa lokasi di Jepang : $(3,90 - 19,40)$ µR/jam ^[9]

Data paparan radiasi-gamma rata-rata di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya adalah $4,75 \text{ µR/jam}$ (Tabel. 2). Jika faktor kualitas sinar-gamma adalah 1 dan 1 roentgen per jam $\approx 1 \text{ rad per jam}$, maka laju dosis ekivalen tahunan rata-rata di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya adalah :

$$4,75 \times 10^{-2} \text{ µSv jam}^{-1} \times (24 \times 365,25) \text{ jam tahun}^{-1} = 416,39 \text{ µSv tahun}^{-1} = 4 \times 10^{-3} \text{ mSv tahun}^{-1}. \text{ [9]}$$

Laju dosis ekivalen tahunan ini masih di bawah batas dosis tahunan yang diizinkan untuk masyarakat umum, yaitu 1 mSv tahun⁻¹.

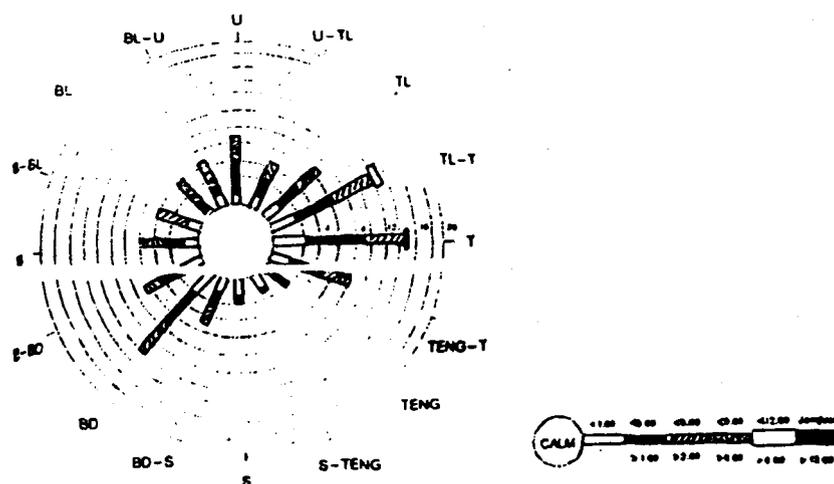
KESIMPULAN DAN SARAN

1. Konsentrasi aktivitas total alfa rata-rata dalam udara di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya berkisar dari $(7,1 \pm 1,2)$ mBq m⁻³ sampai $(12,2 \pm 1,9)$ mBq m⁻³, yang paling tinggi di dalam kawasan PLTU (01 A).
2. Paparan radiasi-gamma rata-rata di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya berkisar dari $(3,69 \pm 0,11)$ µR/jam sampai $(9,55 \pm 0,15)$ µR/jam, yang paling tinggi di desa Selobanteng (510 D).
3. Perubahan musim kemarau ke musim hujan tidak berpengaruh besar terhadap hasil pengukuran, baik konsentrasi aktivitas total alfa maupun paparan radiasi-gamma.
4. Data hasil pengukuran baik untuk konsentrasi total alfa di udara maupun paparan radiasi-gamma masih dalam kondisi normal atau masih di bawah batas konsentrasi tertinggi yang diizinkan dan batas masukan tahunan melalui pernapasan.

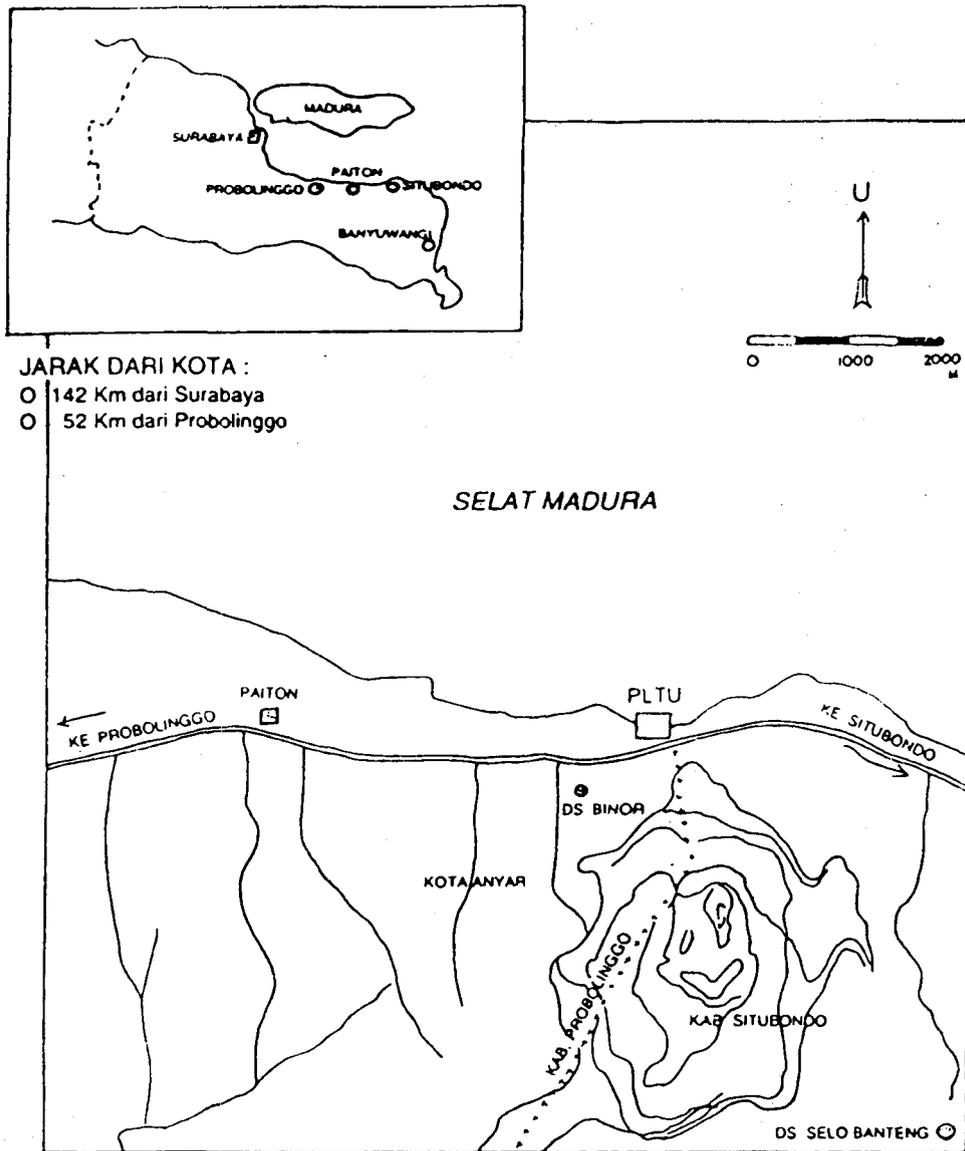
DAFTAR PUSTAKA

1. DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI - PLN, Analisis Dampak Lingkungan Proyek PLTU

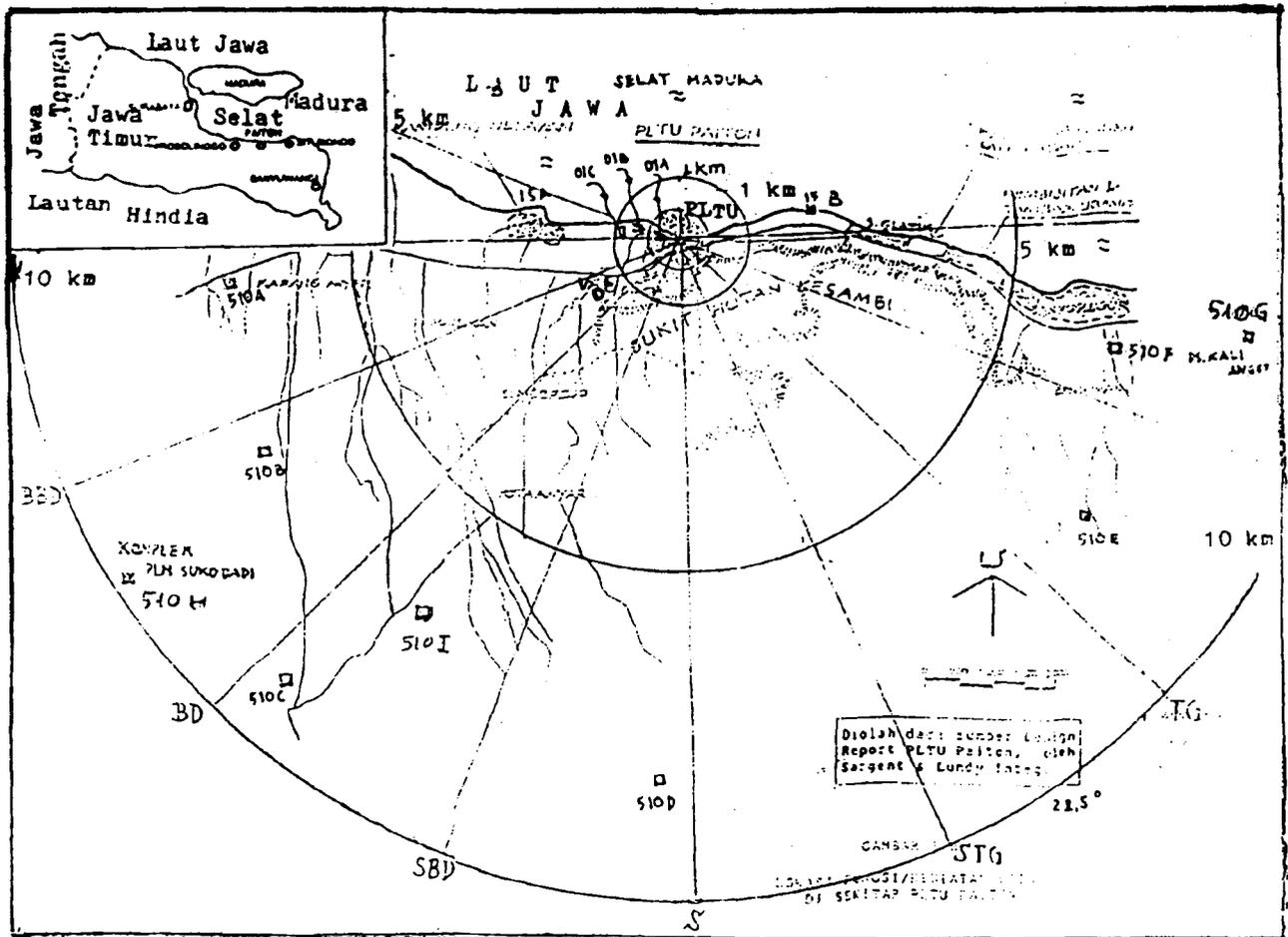
- Paiton Tahap II Jawa Timur, Pembangunan PLTU Paiton swasta unit 5 dan 6, Laporan Akhir, Paiton (1996).
2. DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI - PLN, Rencana Pemantauan Lingkungan PLTU Paiton unit I dan II, Laporan Akhir, Paiton (1992).
 3. HIGH PRESSURE ION CHAMBER, Operation Manual Version 1.9, RSS-122 PIC Portable Environmental Radiation Monitor. Reuter Stokes Inc. (USA), Turinsburg Ohio (1995).
 4. SUTARMAN, A. CHAERUDIN, D. ISKANDAR DAN BUCHORI, Pemantauan Radioaktivitas Alfa, Beta dan Gamma di Dalam Udara di Luar Reaktor Nuklir G.A. Siwabessy, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Lingkungan 23-24 Agustus 1994 hal. 223-231 ISSN : 0854-4085 BATAN-PSPKR, Jakarta (1994).
 5. BATAN-PAIR, Laporan Akhir Studi Evaluasi Lingkungan (SEL), Pusat Penelitian Tenaga Atom Pasar Jumat Jakarta (1992).
 6. MUDIAR MASDJA, P. TAMPUBOLON DAN W. SIHOMBING, Safety and Environmental Aspects of Uranium Mining and Extraction in Kalan, Meeting On Uranium Exploration, Mining and Extraction August 31, 1995, Badan Tenaga Atom Nasional - Nuclear Mineral Development Center, Indonesia.
 7. BATAN-PTPLR, Laporan Pemantauan Radioaktivitas Lingkungan PPTA Serpong, Tahun 1996-1997, Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif (PTPLR), Serpong (1997).
 8. BATAN, Keputusan Direktur Jendral Badan Tenaga Atom Nasional, No. 294/DJ/IX/1992 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas di Lingkungan, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta (1992).
 9. ABE S, FUJITAKA K, ABE M, DAN FUJIMOTO K, Extensive Field Survey of Natural Radiation in Japan, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 18, No. pp. 21-15, January 1981, Atomic Energy Society of Japan (1981).
 10. KAUL A. AND BAILEY M.R., "Aplication of the New ICRP Human Respiratory Tract Model to the Assessment of Secondary Limits" Proceeding of a Symposium Held at Pacific N'orth West Laboratory Richland, Washington USA. Radiation Protection Dosimetry Vol. 60 , No. 4, pp 337-341 (1995), Nuclear Tecknology Publishing, Washington (1995).
 11. STUART C. B, ALAN R. L and Yvonne E. T, Annual Site Environmental Report - 1991, Vol. I, US. Dept. of Energy Nevada Field Office, Las Vegas Nevada (1992).
 12. ICRP, Recommendation of the International Commission on Radiological Protection (1990), ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991).



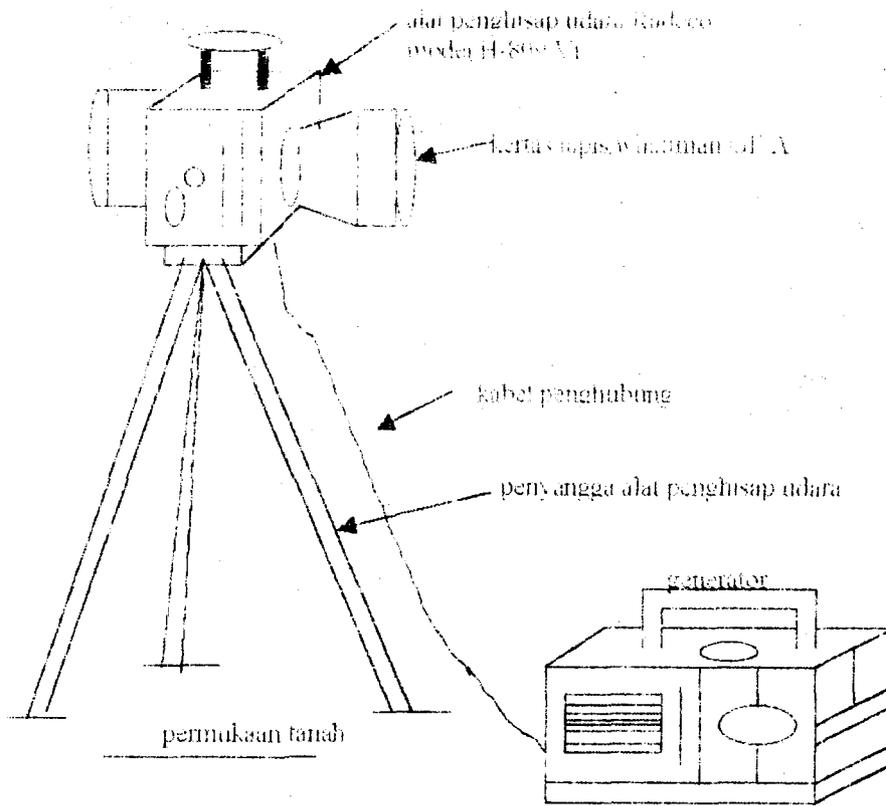
Gambar 1. Cakra angin wind roses) di daerah PLTU Paiton dan sekitarnya (1983-1992) ⁽¹⁾



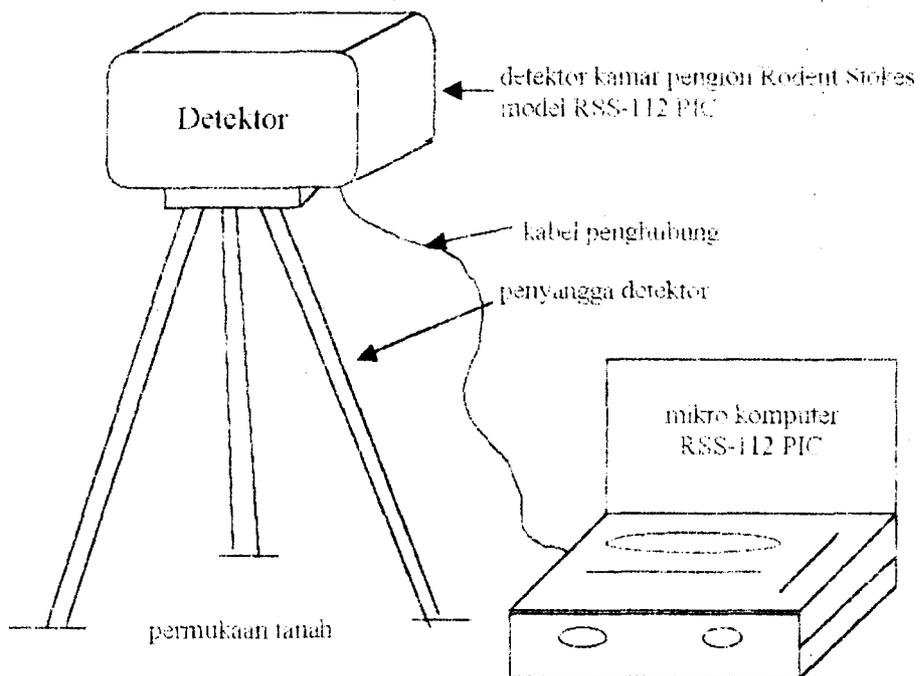
Gambar 2. Peta Kecamatan Paiton dan lokasi PLTU, Kabupaten Probolinggo, Propinsi Jawa Timur. [1]



Gambar 3. Lokasi stasiun penyelidikan pada PLTU Paiton dan sekitarnya. ^[1]



Gambar 4. Pengambilan sampel udara menggunakan alat penghisap udara Radeco model H-809VI.



Gambar 5. Pengukuran radiasi-gamma lingkungan menggunakan kamar pengion model RSS-112 PIC.

Tabel 1. Konsentrasi aktivitas total alfa di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya

No.	Lokasi	Kode lokasi	Aktivitas total alfa			Keterangan
			Agust. 1996	Des.1996/Jan. 1996	Rata-rata	
1.	Kawasan PLTU	01 A	9,9 ± 1,5	14,5 ± 3,5	12,2 ± 1,9	MDC untuk aktivitas total alfa (MDC α) : 2,2 mBq m ⁻³
2.	Proyek PLTU Termal	01 B	5,5 ± 0,9	8,6 ± 2,5	7,1 ± 1,2	
3.	Guest House Diklat PLN	01 C	10,0 ± 1,8	7,4 ± 2,1	8,7 ± 1,4	
4.	TPI Paiton	15 A	8,1 ± 1,3	9,5 ± 2,5	8,8 ± 1,4	
5.	Penjagaan Timur	15 B	7,6 ± 1,2	10,8 ± 2,7	9,2 ± 1,5	
6.	G I T E T PLN	15 C	13,7 ± 2,2	10,1 ± 3,1	11,9 ± 1,9	
7.	Desa Sumberanyar	510 A	8,7 ± 1,4	11,7 ± 2,9	10,2 ± 1,6	
8.	Desa Sumberrejo	510 B	8,2 ± 1,4	7,4 ± 2,2	7,8 ± 1,3	
9.	Desa Kotaanyar	510 C	9,8 ± 1,6	8,6 ± 2,5	9,2 ± 1,5	
10.	Desa Selobanteng	510 D	13,2 ± 2,0	10,2 ± 3,0	11,7 ± 1,8	
11.	Peg. Bukit Kesambi	510 E	7,5 ± 1,2	8,3 ± 2,3	7,9 ± 1,3	
12.	Desa Banyuglugur	510 F	8,9 ± 1,5	7,7 ± 2,4	8,3 ± 1,4	
13.	Desa Kalianget	510 G	9,6 ± 1,6	8,4 ± 2,5	9,0 ± 1,5	
14.	Desa Sukodadi	510 H	8,5 ± 1,4	6,5 ± 1,9	7,5 ± 1,2	
Rata-rata			9,2 ± 0,4	9,3 ± 0,7	9,3 ± 0,4	

Tabel 2. Laju paparan radiasi gamma lingkungan di kawasan PLTU Paiton dan sekitarnya

No.	Lokasi	Kode lokasi	Radiasi-gamma (μ R/jam)			Keterangan
			Agust. 1996	Des.1996/Jan. 1996	Rata-rata	
1.	Kawasan PLTU	01 A	4,05 ± 0,20	4,21 ± 0,20	4,13 ± 0,14	• Setiap lokasi dilakukan 12 kali pengukuran selama 1 jam • - : tidak ada data
2.	Proyek PLTU Termal	01 B	4,85 ± 0,18	5,71 ± 0,16	5,30 ± 0,12	
3.	Guest House Diklat PLN	01 C	4,44 ± 0,16	3,61 ± 0,14	4,02 ± 0,11	
4.	TPI Paiton	15 A	-	3,50 ± 0,12	3,50 ± 0,12	
5.	Penjagaan Timur	15 B	-	3,90 ± 0,15	3,90 ± 0,15	
6.	G I T E T PLN	15 C	5,10 ± 0,18	3,89 ± 0,14	4,50 ± 0,12	
7.	Desa Sumberanyar	510 A	4,38 ± 0,15	3,00 ± 0,16	3,69 ± 0,11	
8.	Desa Sumberrejo	510 B	3,23 ± 0,16	4,16 ± 0,14	3,92 ± 0,13	
9.	Desa Kotaanyar	510 C	3,64 ± 0,14	3,10 ± 0,16	3,37 ± 0,13	
10.	Desa Selobanteng	510 D	9,30 ± 0,20	9,80 ± 0,18	9,55 ± 0,13	
11.	Peg. Bukit Kesambi	510 E	6,16 ± 0,18	5,79 ± 0,14	5,98 ± 0,12	
12.	Desa Banyuglugur	510 F	4,12 ± 0,16	5,40 ± 0,10	5,26 ± 0,09	
13.	Desa Kalianget	510 G	4,77 ± 0,14	3,81 ± 0,10	4,29 ± 0,09	
14.	Desa Sukodadi	510 H	4,95 ± 0,12	3,70 ± 0,12	4,33 ± 0,08	
Rata-rata			5,00 ± 0,05	4,49 ± 0,04	4,75 ± 0,03	

DISKUSI

YUMIARTI

Mohon dijelaskan, kertas, flow rate, lama penyedotan udara ?

SUTARMAN

Kertas filter yang digunakan Whatman Gf/A berdiameter 4,7cm, Flow rate = 175 lpm dan lamanya 60 menit (dapat di lihat di dalam makalah).

TL DAN PTTL PADA KUARSA: DOSIMETRI DOSIS TINGGI UNTUK PROSES RADIASI

Muhammad Fathony

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN



ID0000145

ABSTRAK

TL DAN PTTL PADA KUARSA: DOSIMETRI DOSIS TINGGI UNTUK PROSES RADIASI.

Termoluminesensi (TL) dan phototransfer termoluminesensi (PTTL) pada kuarsa ternyata dapat digunakan untuk mengukur dosis tinggi setingkat penggunaan radiasi dalam industri (proses radiasi). TL adalah pancaran sinar tampak dari bahan zat padat yang menyerap energi radiasi, sedangkan (PTTL) adalah suatu proses transfer elektron dari perangkap (trap) yang dalam ke perangkap yang dangkal dengan menyinari bahan kuarsa alam yang sebelumnya diiradiasi dengan gamma dan dipanasi (pada proses bacaan TL 'biasa') dengan sinar ultra-ungu. Proses PTTL sangat berguna untuk menggali kembali informasi TL yang mungkin hilang pada proses pembacaan TL 'biasa' akibat kegagalan listrik dll. Pada makalah ini dibahas karakteristik dosimetri TL dan PTTL pada kuarsa, serta studi kemungkinan penggunaannya untuk dosimetri dosis tinggi dalam proses radiasi. Hasil eksperimen menunjukkan karakteristik TL dan PTTL pada kuarsa sangat cocok untuk dosimetri proses radiasi.

ABSTRACT

TL AND PTTL IN QUARTZ: HIGH DOSE DOSIMETRY FOR RADIATION PROCESSING.

Thermoluminescence (TL) and phototransfer thermoluminescence (PTTL) in quartz has been proved to be able to measure high dose at the level of radiation application in industry (radiation processing). TL is the emission of visible light from a solid state material having absorbed energy of radiation, while PTTL is the process of electron transfers from the deep traps to the shallow ones by exposing the quartz samples which had been irradiated with gamma rays and heated (in the TL readout cycles) with UV light. The process is very useful to re-obtain the TL information that might be lost during the TL readout which probably due to electricity failure etc. This paper describes the dosimetric characteristics of PTTL in quartz, and the possibility of its use for high dose dosimetry in radiation processing. The experimental results showed that characteristics of TL and PTTL in quartz are desirable on their use in radiation processing dosimetry.

PENDAHULUAN

Salah satu aplikasi radiasi yang demikian luas adalah proses radiasi. Proses radiasi saat ini menawarkan beberapa keunggulan pada sebagian bidang ilmu pengetahuan seperti: kedokteran dan farmasi, pengawetan makanan, peningkatan kualitas bahan karet, pengolahan bahan kimia dan produk lain yang secara luas digunakan oleh masyarakat modern. Proses radiasi mungkin dapat dilakukan tanpa mengetahui dosis radiasi yang terserap oleh suatu produk, sejauh pelanggan dan produser senang dengan produk tersebut. Namun, dalam banyak kasus, seperti: sterilisasi dengan radiasi, pengawetan makanan, modifikasi polimer; membutuhkan spesifikasi dosis radiasi yang tepat. Pengukuran dosis radiasi yang diserap oleh produk membuktikan bahwa proses tersebut dilakukan dalam suatu spesifikasi, sebab spesifikasi dosis tersebut dapat bermanfaat untuk menyelesaikan masalah yang mungkin terjadi antara produser atau fasilitas pelayanan iradiasi dengan pelanggan maupun suatu badan pengawas atau pelindung konsumen [1].

Dari semuanya itu, faktor keselamatan, kesehatan, serta ekonomi merupakan hal yang sangat penting. Dosimetri merupakan parameter kunci untuk jaminan

kualitas (*quality assurance*) proses radiasi dan produk yang diiradiasi. Lebih jauh lagi, dengan peranannya pada kendali mutu (*quality control*) suatu produk, dosimetri yang terstandarisasi dapat menciptakan justifikasi untuk persetujuan pada produk yang diiradiasi untuk perdagangan nasional dan internasional.

Sistem maupun metode dosimetri yang digunakan untuk mengukur dosis iradiasi pada proses radiasi mempunyai variasi yang cukup banyak, terlepas dari keunggulan maupun kelemahan sistem dosimeter tersebut. Secara garis besar, jenis dosimeter sekunder yang secara rutin digunakan dalam proses radiasi dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu: dosimeter kimia dan dosimeter zat padat untuk dosis tinggi. Dosimeter termoluminesensi (TLD) adalah termasuk di dalam dosimeter zat padat, serta mempunyai keandalan presisi yang relatif paling tinggi (kurang dari 3 %) diantara yang sekatagori dosimeter zat padat. Jenis TLD yang biasa digunakan untuk proses radiasi adalah: LiF dengan rentang dosis antara 10^{-5} dan 10^5 Gy, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dengan rentang dosis antara 10^{-2} dan 10^5 Gy, dan $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ dengan rentang antara 10^{-6} dan 10^3 Gy [1]. Sementara itu penggunaan bahan kuarsa pada metode termoluminesensi (TL) untuk dosimetri dosis tinggi (~200 Gy) dalam proses radiasi telah juga disinggung oleh

EHLERMANN [2]. Namun penggunaan metode lebih lanjut berupa phototransfer termoluminesensi (PTTL) belum tersentuh.

Termoluminesensi (TL) adalah proses pancaran cahaya tampak dari suatu zat padat, seperti kuarsa, setelah menyerap energi radiasi pengion, lalu dipanaskan. Intensitas cahaya tampak tersebut sebanding dengan jumlah energi yang diserap. Terjadinya TL dimulai dengan diserapnya energi radiasi oleh zat padat, sehingga elektron yang banyak berkumpul di pita valensi berpindah ke pita konduksi menyeberangi pita larangan. Saat ingin kembali ke pita valensi, elektron terperangkap oleh "trap" yang ada di pita larangan. Apabila zat padat tersebut dipanaskan, maka elektron di dalam "trap" memperoleh energi yang cukup untuk membebaskan diri dan bergabung dengan "hole" di pusat luminesensi seraya memancarkan cahaya tampak. Sementara itu, PTTL adalah proses transfer elektron yang terperangkap pada "trap" yang dalam ke "trap" yang dangkal dengan menyinari zat padat dengan sinar ultraviolet. Selanjutnya pada zat padat tersebut dapat dilakukan proses TL biasa. PTTL ini sangat berguna untuk menggali kembali informasi TL yang hilang. Di samping itu linieritas dosis yang dihasilkan lebih baik dengan rentang dosis yang lebih panjang dibanding TL [3,4].

Makalah ini akan membahas metode TL dan PTTL pada quartz yang penggunaannya ditujukan untuk pengukuran dosis tinggi terutama pada proses radiasi industri. Pada makalah akan dibahas kurva pancar TL dan PTTL quartz, linieritas hubungan dosis radiasi dengan tanggapan TL dan PTTL, pemucatan ("fading"), dan proses pengulangan dengan UV untuk PTTL.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, TL dan PTTL, adalah kuarsa alam berbentuk batuan dengan volume sekitar 2,5 cm³. Sebagaimana dilaporkan pada referensi [3] dan [4], pertama bahan kuarsa tersebut dicuci dengan air destilasi, dilanjutkan dengan pencucian menggunakan asam nitrat 25% selama 24 jam di dalam *ultrasonic bath*. Setelah itu dicuci lagi dengan air destilasi, sebelum dikeringkan secara alami. Batuan tersebut kemudian ditumbuk dan disaring sehingga menghasilkan serbuk dengan diameter 75 - 125 µm.

Selanjutnya sampel serbuk di 'annealing' dalam oven pada suhu 500 °C selama 10 menit, guna menghapus elektron yang secara alami terperangkap pada perangkat dibawah 500 °C. Setelah itu, sampel serbuk diiradiasi dengan sinar gamma dari ⁶⁰Co, guna mendapatkan *test-dose* sebesar 10-10⁸ Gy. Selanjutnya sampel serbuk dicatu menjadi sejumlah sampel yang bermassa 5 mg pada tempat sampel aluminium yang masing-masing berdiameter sekitar 6 mm, dengan menggunakan teknik sedimentasi aseton. Untuk mendapatkan bacaan TL, sampel yang sudah kering dapat dibaca dengan alat baca TL. Untuk mendapatkan kurva-pancaran TL, sampel serbuk langsung dibaca dengan alat baca TL, sedangkan untuk mendapatkan kurva-pancaran PTTL, sampel terlebih dahulu dipanasi di dalam oven pada suhu yang diinginkan misalnya 500 °C.

selama 10 menit, guna menghapus elektron yang terperangkap pada perangkat sedalam suhu tertentu.

Proses transfer elektron dapat dilakukan setelah itu dengan menyinari sampel dengan sinar ultra-ungu yang berpanjang gelombang masing-masing 254 nm dan 366 nm (produksi Camag, Switzerland), sesuai dengan waktu yang diinginkan seperti 10 detik dan seterusnya. Sampel kemudian dibaca dengan alat baca TL, guna mendapatkan kurva pancaran PTTL. Proses PTTL juga dilakukan secara berulang-ulang pada masing-masing sampel yang sama guna mendapatkan data karakteristik pengulangan proses PTTL pada quartz.

Pancaran TL serta PTTL dideteksi oleh tabung pengganda foton EMI 9804QA yang dihubungkan dengan electrometer Keithley model 600B. Elektrometer dihubungkan dengan sebuah mikroprocessor Bascom Turner 8110 yang dapat memproses dan menyimpan data berupa kurva pancaran. Seluruh eksperimen dilakukan di University of Birmingham, Inggris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanggapan TL Kuarsa Alam. Kurva pancaran TL diukur sekitar 30 menit setelah iradiasi dengan sinar gamma dari ⁶⁰Co. Pada kurva pancaran yang tertera pada Gambar 1, dapat dilihat terdiri atas 4 puncak-pancaran yang cukup jelas yaitu pada suhu sekitar: 110, 160, 235 dan 325 °C. Hal ini tidak bertentangan dengan hasil yang dicapai oleh beberapa peneliti terdahulu seperti pada referensi [3] dan [5], bahwa sebenarnya intensitas puncak pancaran TL secara individu agak berbeda satu dengan yang lainnya. apalagi jika dibandingkan satu sampel dengan sampel lainnya. MCKEEVER [5] mengemukakan bahwa posisi yang pasti dari suatu puncak terkadang bervariasi bergantung pada beberapa faktor seperti: tinggi-rendahnya dosis iradiasi, jenis sampel dan pengaturan alat baca TLD.

Tanggapan TL pada kuarsa alam terhadap berbagai dosis radiasi dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa setiap puncak pancaran TL pada kuarsa alam memiliki perilaku yang tidak jauh berbeda satu dengan yang lainnya. Tingkat linieritas TL pada sampel ini terdapat antara 10 sampai dengan 100 kGy, setelah itu tanggapan TL mencapai titik jenuh, lihat referensi [3] dan [5]. Hal ini dapat ditafsirkan bahwa pada tingkat linieritas, belum semua perangkat elektron yang ada terisi oleh elektron akibat radiasi, sampai titik jenuh. Pada titik jenuh, perangkat elektron dapat diasumsikan telah penuh semua. Tanggapan TL akan menurun setelah itu, dapat diasumsikan bahwa telah terjadi proses kerusakan kristal (*radiation damage*) akibat radiasi gamma dengan dosis tinggi.

Pemucatan ("fading") pada kuarsa dapat ditayangkan pada gambar 3. Pada gambar tersebut jelas terlihat bahwa puncak TL 110 °C memiliki tingkat pemucatan yang tinggi sekali dibandingkan puncak-puncak TL lainnya. Sampai dengan 250 detik intensitas TL 'rendah' tersebut turun secara eksponensial. Untuk itu sangat dianjurkan sebelum dilakukan pembacaan TLD, sebaiknya dilakukan penghapusan puncak-puncak rendah dengan

melakukan "pre-annealing" di oven selama beberapa menit, sehingga hanya diperoleh puncak-puncak yang lebih stabil. Cara lain dapat juga diperoleh dengan menunda pembacaan beberapa hari sampai dengan satu minggu. Hal ini juga dianjurkan oleh FATHONY [3].

Tanggapan PTTL pada Kuarsa. Seperti halnya tanggapan TL, tanggapan PTTL dapat dilihat pada Gambar 1. Tampak pada gambar itu bahwa kurva-pancaran PTTL membentuk tiga puncak, yaitu sekitar: 110, 160 dan 235 °C. Namun karena satu dengan yang lainnya saling tumpang tindih, maka yang paling mudah dievaluasi adalah puncak-pancaran pada suhu baca 110 °C. Hal ini tidak bertentangan dengan hasil dari beberapa penulis terdahulu [3-5]. Namun demikian kurva-pancaran untuk setiap puncak dapat dievaluasi dengan cara integrasi area di bawah setiap puncak.

Tanggapan PTTL terhadap berbagai dosis radiasi gamma dapat dilihat pada Gambar 4. Pada gambar itu, tampak setiap puncak PTTL memiliki tingkat linearitas yang serupa antara satu puncak dengan yang lainnya. Tingkat linieritas dapat dicapai dengan selang dosis antara 10 sampai dengan 100 MGy.

Jika dibandingkan dengan tanggapan TL, tanggapan PTTL menunjukkan tingkat linieritas yang lebih baik. Hal ini bisa dimengerti mengingat PTTL menggali informasi dari elektron yang terperangkap pada perangkap elektron yang dalam (>500 °C). Mudah dimengerti pula bahwa perangkap yang dalam bersifat lebih stabil dibanding dengan perangkap yang lebih dangkal. Perlu dijelaskan di sini bahwa elektron pada perangkap dangkal lebih tidak stabil dalam hal pemudaran (*fading*), lihat referensi [3] dan [5].

Gambar 5 menyajikan karakteristik PTTL dengan beberapa kali pengulangan masing-masing sampel kuarsa. Tanggapan PTTL menurun cukup drastis sampai dengan pengulangan yang ke-5 untuk semua puncak TL. Hal ini dapat dijelaskan bahwa persediaan elektron yang terperangkap semakin menipis setelah setiap proses PTTL. Namun demikian tanggapan PTTL masih baik sampai dengan pengulangan yang ke-5. Setelah itu, walaupun stabil, tanggapan PTTL relatif rendah, sehingga kurang baik untuk digunakan. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh referensi [3].

Ditinjau dari segi linearitas pada karakteristik TL pada kuarsa – apalagi PTTL – antara 10 dan 108 Gy maka kuarsa dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi tingkat industri, seperti pada proses radiasi. Hal ini juga dapat mengacu pada McLAUGHLIN dkk. yang tertulis pada referensi [1] dan [6] yang menyajikan bahwa rentang dosis proses radiasi terletak antara 1 dan 106 Gy untuk berbagai keperluan, mulai dari mutasi biji-bijian sampai dengan sterilisasi dan penelitian bahan semikonduktor. Namun demikian untuk menambah keyakinan penggunaan kuarsa dalam dosimetri proses radiasi perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut dengan menekankan penggunaannya di lapangan. Di samping itu, walaupun dari segi linieritas dosis - respons TLD sudah terbukti, perlu juga dilakukan studi perbandingan dengan dosimeter acuan untuk proses radiasi seperti kamar pengionan. Secara ekonomi, penggunaan

kuarsa mungkin tergolong paling murah diantara semua dosimeter proses radiasi yang ada. Hal ini sangat menjanjikan dan dapat dibandingkan.

KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen dan analisis di atas, dapat memberi kesimpulan bahwa karakteristik linieritas dosis - respons TL pada quartz dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi tingkat proses radiasi dengan rentang dosis antara 10 - 10⁵ Gy. Namun demikian, sifat pemucatan "fading" TL quartz sebaiknya juga mendapat perhatian.

Pemucatan dan karakteristik linieritas dosis - respons PTTL pada quartz menunjukkan sifat yang lebih baik. Pemucatan PTTL quartz dapat dikatakan tidak ada, mengingat "trap" yang digunakan sangat stabil. Sementara itu, linieritas PTTL pada quartz adalah sangat baik dengan rentang dosis antara 10 - 10⁸ Gy.

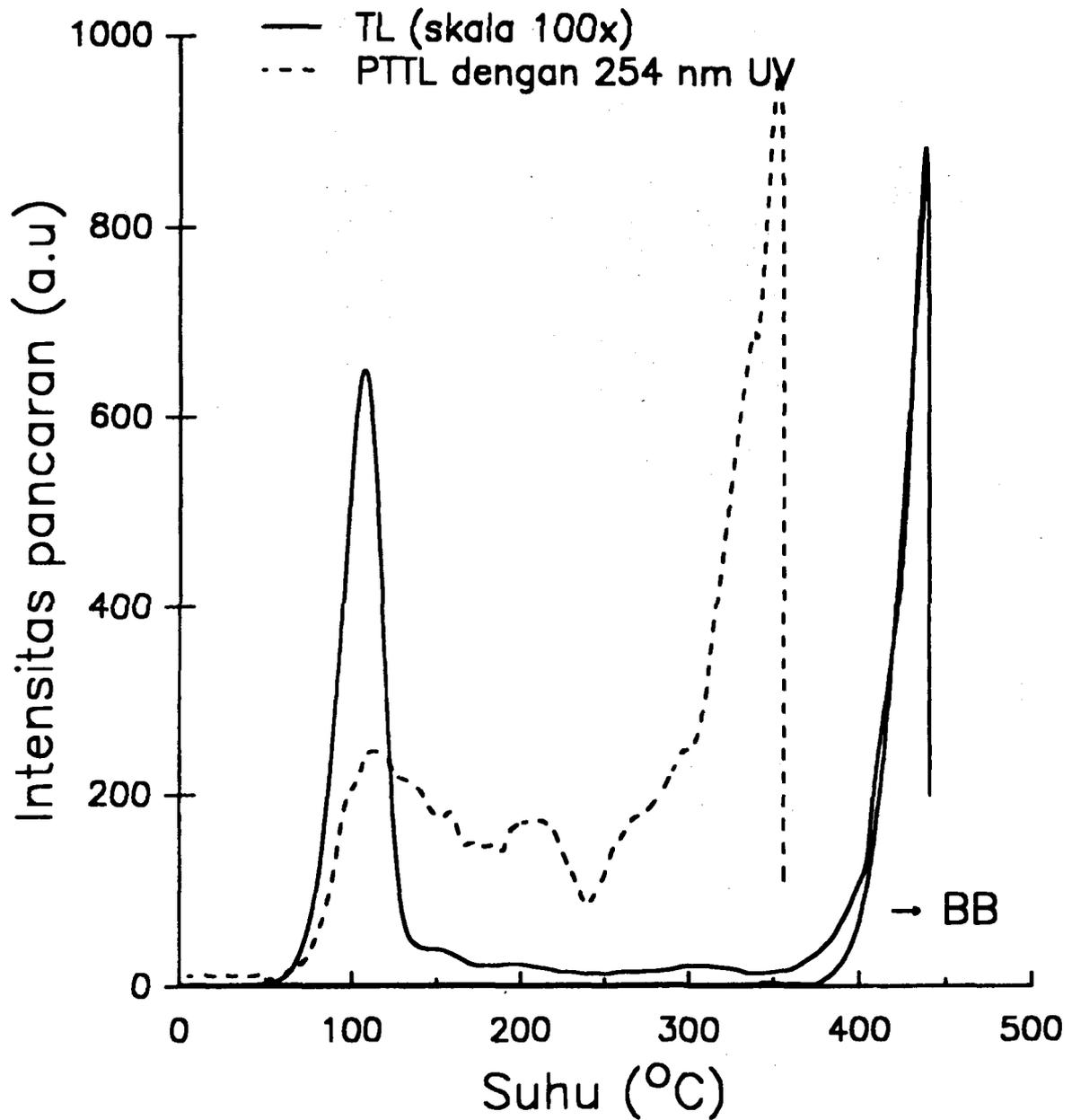
Secara umum, quartz – menggunakan metode TL dan PTTL – dapat digunakan untuk dijadikan dosimeter relatif pengukur dosis pada proses radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

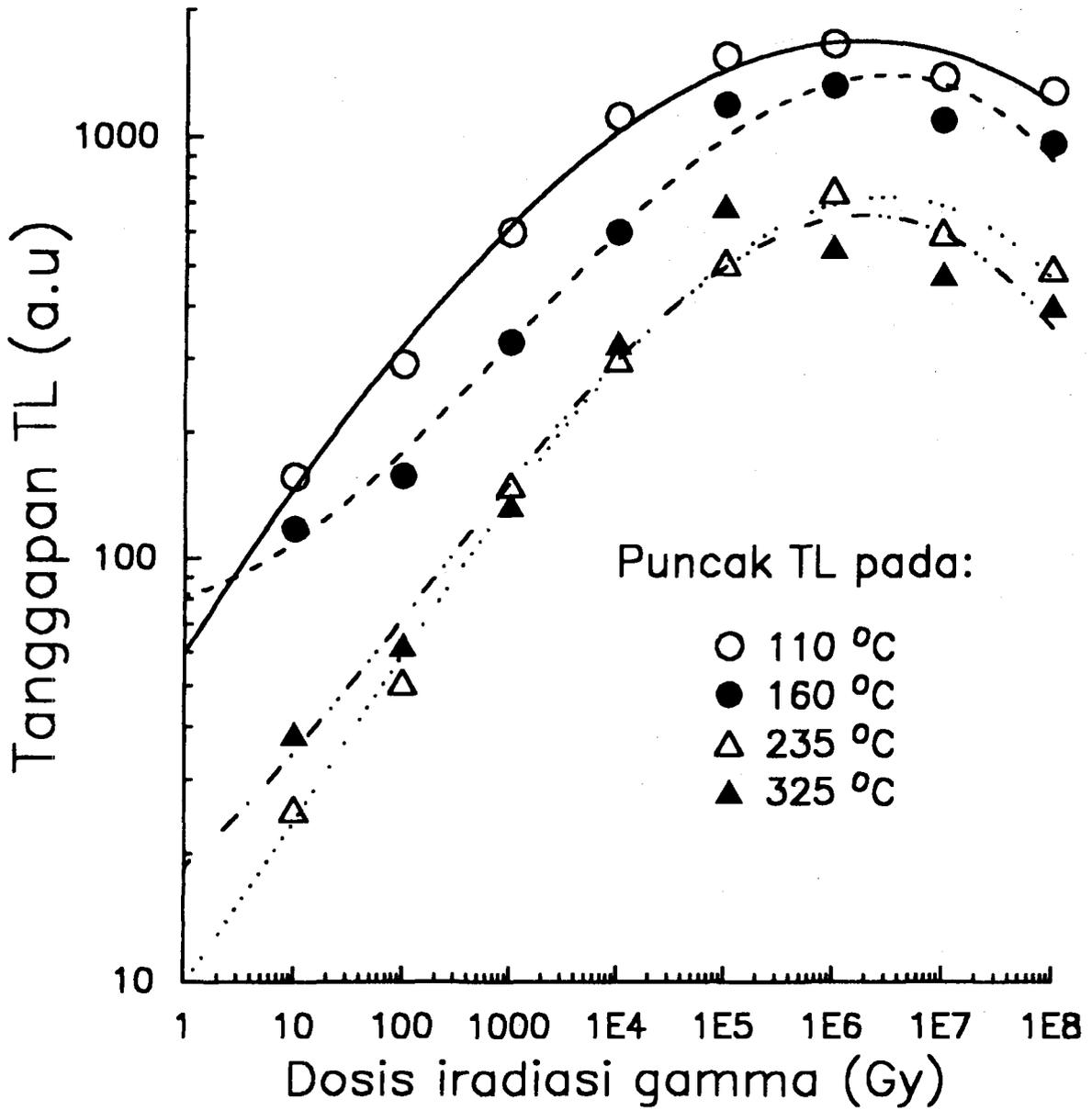
Penulis mengucapkan terima kasih kepada OFP-WB BPPT atas beasiswa, serta Batan atas izin, yang diberikan untuk studi ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. S. A Durrani dan Dr. G.F. Alfrey dari University of Birmingham, UK, atas diskusi dan saran yang sangat bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

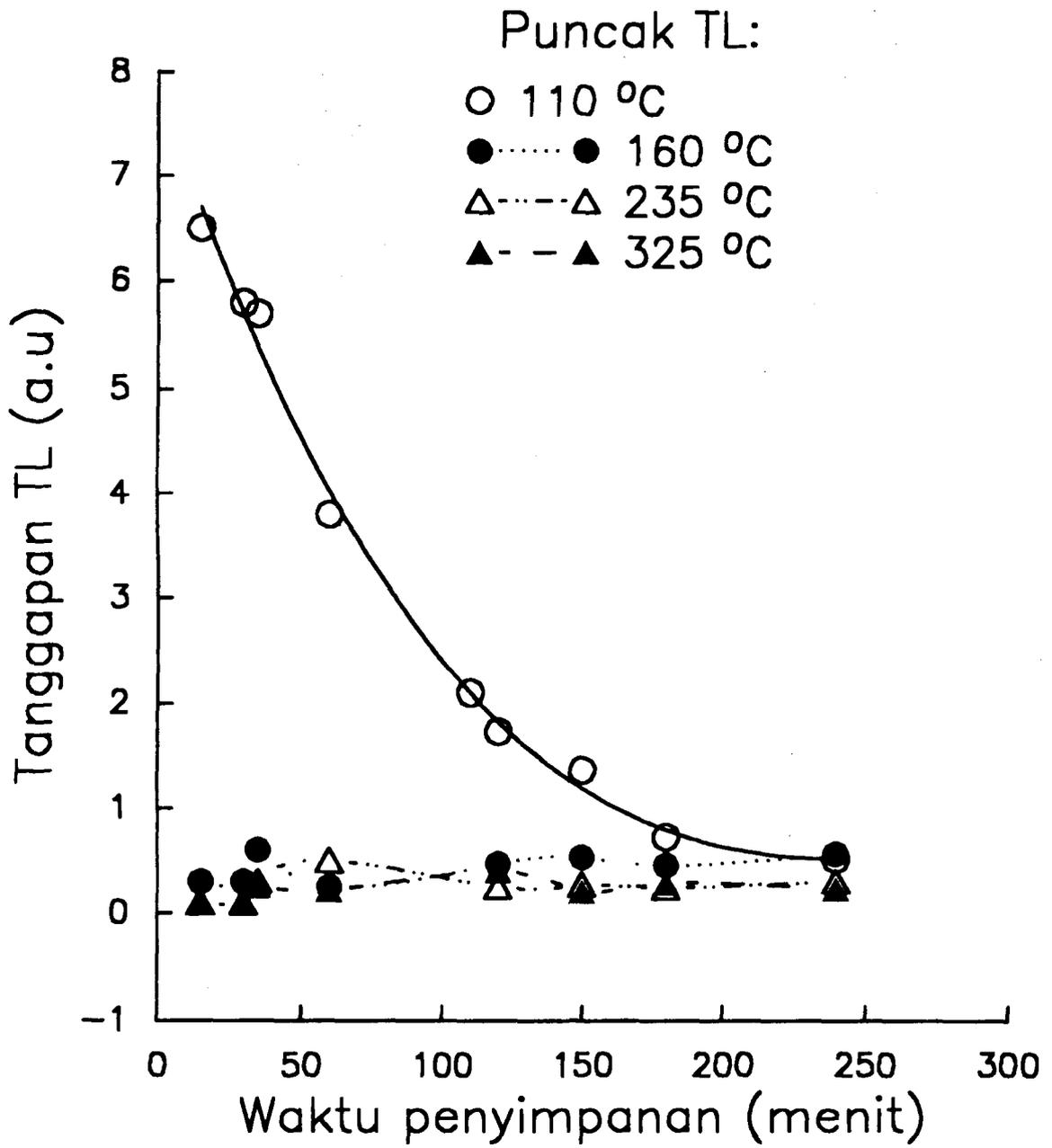
1. McLAUGHLIN, W.L., BOYD, A.W., CHADWICK, K.H., McDONALD, J.C., and MILLER, A., *Dosimetry for Radiation Processing*, Taylor & Francis, London (1989).
2. EHLERMANN, D.A.E., *Selection of dosimeter systems for radiation processing of food*, Proc. of Symp. on High Dose Dosimetry for Radiation Processing, Vienna 5-9 November (1990), 45.
3. FATHONY, M., PhD Thesis, University of Birmingham, England (1992).
4. FATHONY, M. and DURRANI, S.A., *TL and PTTL of quartz irradiated with Au heavy ions*, GSI Report 92-1, Darmstadt, Germany (1991) 249.
5. McKEEVER, S.W.S., *Thermoluminescence in quartz and silica*, Radiat. Protect. Dosim. **8**, (1984) 81.
6. McLAUGHLIN WL., *Novel radiation dosimetry systems*, Proc. of Symp. on High Dose Dosimetry for Radiation Processing, Vienna 5-9 November (1990), 3.



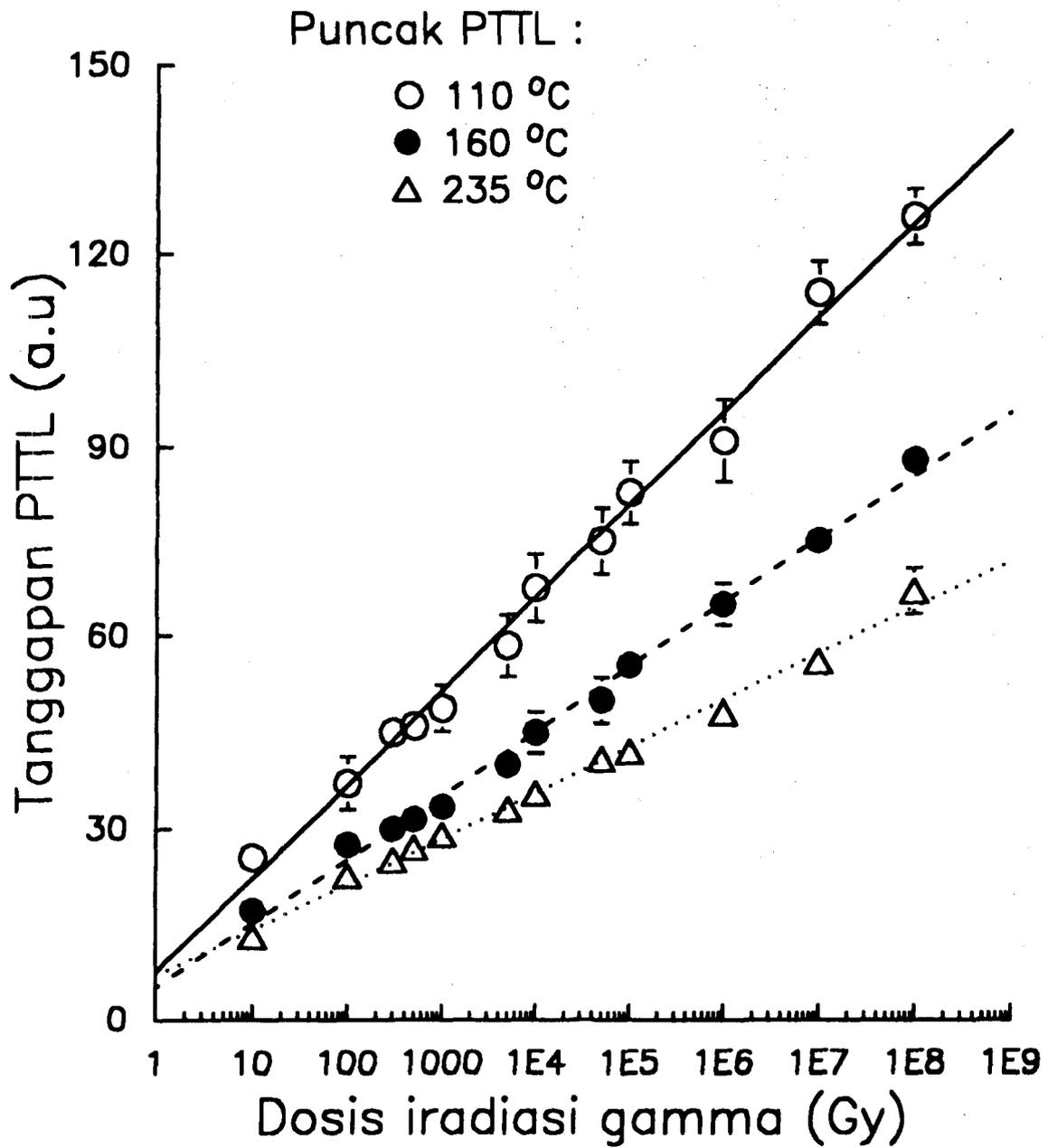
Gambar 1. Kurva pancaran kuarsa yang diberikan "test dose" 10 Gy sinar gamma dari ^{60}Co . Garis penuh adalah kurva pancaran TL, serta garis putus-putus adalah kurva pancaran PTTL. PTTL dilakukan dengan menyinari sampel (setelah proses TL) dengan sinar ultra-violet berpanjang gelombang 254 nm.



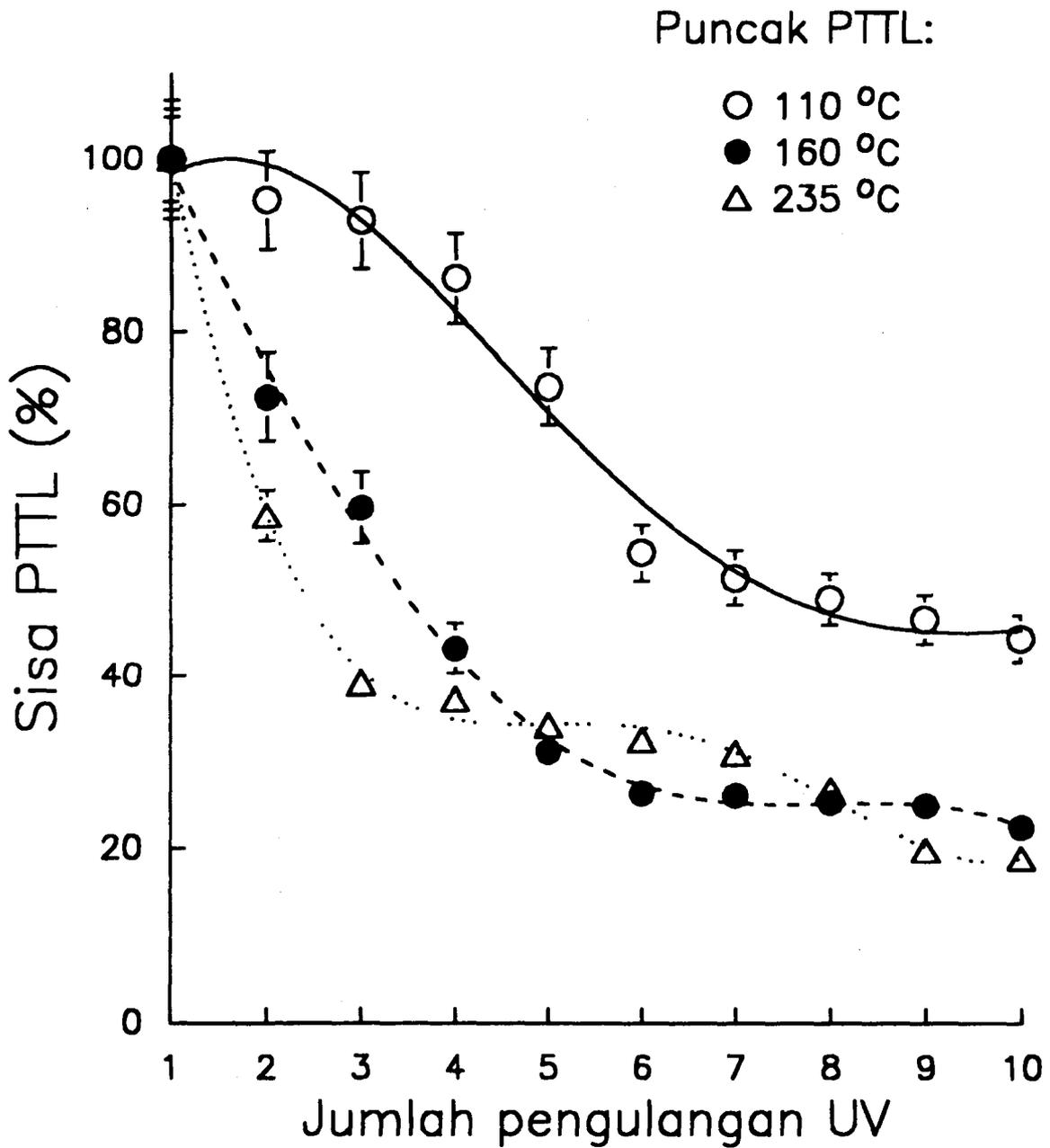
Gambar 2. Tanggapan TL pada kuarsa terhadap berbagai dosis gamma antara 10 - 10⁸ Gy. Tanggapan tampak linear antara dosis 10 - 10⁵ Gy, lalu menurun setelah jenuh.



Gambar 3. Pemucatan ("fading") TL pada kuarsa. Tampak hanya puncak 110 °C yang mengalami pemucatan yang berarti, sementara puncak-puncak lainnya stabil.



Gambar 4. Tanggapan PTTL pada kuarsa terhadap berbagai dosis iradiasi gamma antara 10 dan 10⁸ Gy. Tanggapan PTTL tampak linear antara dosis 10 - 10⁸ Gy. "Radiation damage" yang terjadi pada TL tidak berpengaruh pada PTTL.



Gambar 5. Karakteristik tanggapan PTTL pada beberapa proses pengulangan masing-masing sampel dengan sinar UV. Tampak tanggapan PTTL berkurang banyak pada pengulangan UV sampai dengan 5 x pengulangan. Setelah itu PTTL tampak stabil.

DISKUSI

RINDY P. TANHINDARTO

1. Bagaimana ketelitian dan kestabilan dosimeter yang dibuat ?
2. Berapa lama masa inkubasinya dosimeter setelah iradiasi. Apakah bisa langsung diukur ?
3. Kondisi pengukuran dilakukan pada suhu kamar atau suhu rendah ?

M. FATHONY

1. Ketelitian < 5 % dan sangat stabil.
2. Dosimeter dapat langsung dibaca setelah radiasi, asal seragam waktunya.
3. Pengukuran dapat dilakukan pada suhu kamar, jika/ terutama suhu stabil.

RAHAYU Ch.

1. Suhu tambah tinggi, tanggapan TL tambah rendah, pertimbangan apa Anda memilih suhu 110°C dll, seperti yang Anda teliti ?
2. Quartz yang dari alam impuritiesnya sangat bervariasi, bagaimana dengan kondisi ini, apabila teknologi ini akan diaplikasikan ?
3. Sampel yang Anda gunakan, impuritiesnya berapa persen ?

M. FATHONY

1. Suhu tinggi intensitas TL rendah, karena jumlah elektron pada "trap" yang dangkal lebih banyak daripada "trap" yang dalam. Ingat ! "trap" S dengan suhu baca TL.
2. Jika Quartz alam digunakan, maka harus distandarkan berasal dari daerah mana, karena komposisi tergantung asal Quartz.
3. Sampel saya impuritiesnya 80 - 10.000 ppm Fe 10.000.

PENENTUAN LOKASI REMBESAN PADA DASAR BENDUNGAN DENGAN TEKNIK RADIOISOTOP DI BENDUNGAN NGANCAR, WONOGIRI

Wibagiyo, Indroyono, Alip, Bungkus. P, dan Haryono

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000146

ABSTRAK

PENENTUAN LOKASI REMBESAN PADA DASAR BENDUNGAN DENGAN TEKNIK RADIOISOTOP DI BENDUNGAN NGANCAR, WONOGIRI. Teknik radiosotop telah digunakan pada penelitian kebocoran yang terjadi pada dasar bendungan Ngancar, Wonogiri. Dengan menggunakan perunut ^{198}Au dalam senyawa AuCl_3 yang larut dalam air, perunut $^{198}\text{AuCl}_3$ akan terdispersi dan mengalir ke arah rembesan bersama-sama air. Bila ^{198}Au tersebut bersentuhan dengan media padat maka akan menempel pada media tersebut, dan dari banyaknya ^{198}Au yang menempel pada media padat di sekitar rembesan dapat diketahui lokasi dari rembesan di dasar bendungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi kebocoran di Bendungan Ngancar melalui dasar bendungan terutama pada litologi batugamping koral di depan saluran pelimpah.

ABSTRACT

LEAKAGE INVESTIGATION USING RADIOISOTOPE TECHNIQUE AT NGANCAR DAM, WONOGIRI. Radioisotope technique was used to investigate the occurrence of leakage on the floor of Ngancar dam, Wonogiri. Radioisotope ^{198}Au in $^{198}\text{AuCl}_3$ solution was used as a tracer in this study. The injected tracer will disperse and flow along with the flow of water. When the tracer passed through the solid matrix it will be adsorbed on the surface of the solid matrix where the leakage has occurred. By detecting the anomaly of radioactivity, the location of the leakage can be found. This study shows that the location of leakage on Ngancar dam is through the floor of the dam, especially those with coral limestone lithology in front of the spillway.

PENDAHULUAN

Bendungan hampir selalu tak dapat terhindar dari masalah kebocoran atau rembesan. Hal tersebut sangat banyak disebabkan oleh kondisi geologi batuan yang menjadi dasar bendungan ataupun kondisi konstruksi bendungan itu sendiri. Kondisi geologi yang mempengaruhi terjadinya rembesan atau kebocoran adalah **struktur geologi, dan jenis batuan (litologi)** pada dasar bendungan atau *basement* dari dam. Kondisi struktur geologi yang menyebabkan terjadinya rembesan adalah adanya patahan (*fault*), dan rekahan (*joint*). Bila dijumpai adanya patahan ataupun rekahan pada suatu bendungan tentu perlu penanganan lebih lanjut. Kondisi geologi lain sebagai penyebab rembesan atau kebocoran bendungan adalah jenis batuan (litologi). Pada dasar bendungan, jika jenis batumannya memiliki permeabilitas yang tinggi atau mudah terkikis oleh air, maka akan mempermudah terjadinya kebocoran.

Penelitian rembesan pada bendungan, merupakan langkah awal dalam rangka menjaga kelestarian bendungan itu sendiri. Setelah didapatkan informasi tentang kepastian lokasi rembesan maka pekerjaan teknis dapat mencapai hasil yang maksimal.

Bendungan Ngancar yang dibangun pada tahun 1944 dan dikembangkan lagi pada tahun 1966, terletak lebih kurang 15 km sebelah timur kota Baturetno, Wonogiri (Gambar 1). Tinggi tanggul adalah 14,25 m atau 250 m diatas permukaan laut, dengan luas bendungan pada kondisi penuh lebih kurang 14 ha. Panjang dam bagian atas 165 m

terletak pada *basement* berupa breksi pada sayap kiri dan batu gamping pada sayap kanan bendungan sehingga tubuh bendungan berada di atas kontak antara breksi dan batugamping koral. Kontak tersebut diduga sebagai patahan, karena dijumpainya breksi sesar pada bagian bawah bendungan, sehingga dapat diduga tubuh bendungan terletak pada zona sesar.

Bendungan Ngancar merupakan bendungan penampung air hujan yang diharapkan pada musim kemarau dapat digunakan sebagai cadangan air untuk persawahan/pertanian. Akan tetapi, penurunan muka air waduk berlangsung secara cepat sebagai akibat adanya rembesan/kebocoran sehingga bendungan tersebut tidak dapat berfungsi secara maksimal.

Kebocoran dapat diamati secara visual pada musim kemarau karena mataair yang berada di bawah bendungan akan kering jika air waduk telah kering. Beberapa mataair di bawah bendungan banyak dijumpai pada sayap kanan yang mempunyai litologi batugamping koral. Sifat litologi batugamping yang mudah larut terhadap air menyebabkan terjadinya lubang-lubang. Pada awalnya lubang-lubang tersebut kecil, tetapi karena pelarutan berlangsung terus-menerus maka semakin lama lubang-lubang akan membesar bahkan akan terjadi saling berhubungan antarlubang sehingga air semakin mudah melaluinya. Semakin banyaknya lubang yang terdapat pada litologi batugamping koral pada dasar bendungan menyebabkan sulit untuk menentukan dimana lubang yang menyebabkan kebocoran.

Penelitian dengan teknik radioisotop ini diharapkan dapat memberikan informasi yang jelas tentang lokasi kebocoran pada dasar bendungan, sehingga pekerjaan teknis dapat menekan biaya yang tinggi dan dapat efisien.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Perunut yang digunakan adalah radioisotop ^{198}Au dengan aktivitas 2 Ci. Peralatan yang digunakan adalah alat positioning BTM sebanyak 2 unit, peralatan detektor sintilasi kedap air IPP4 buatan Prancis, serta Rate Meter dan Scaler. perahu karet kapasitas 6 orang.

Metode. Perunut radioisotop ^{198}Au (Aurum=emas) pemancar radiasi γ mempunyai energi 0,41 MeV dengan waktu paruh 2,7 hari. Dalam bentuk senyawa AuCl_3 dapat larut dalam air, selungga apabila larutan tersebut disebarkan ke dalam air waduk, maka akan terdispersi dan terbawa aliran air yang bergerak melalui lubang-lubang bocoran. Sebagian perunut akan menyentuh media padat di dasar bendungan terutama di sekitar lubang-lubang bocoran, dan menempel pada media tersebut.

Radioisotop ^{198}Au dapat dideteksi dengan menggunakan detektor radiometris kedap air jenis sintilasi. Pelacakan anomali radiasi pada dasar bendungan dilakukan dari atas perahu. Selama detektor bergerak bersama-sama perahu untuk mendeteksi radiasi di dasar bendungan, posisi perahu ditentukan dengan alat positioning (BTM) dari darat, sehingga titik lokasi detektor pada dasar bendungan dapat dipetakan.

Penyebaran anomali radiasi yang tercacah pada dasar bendungan yang mempunyai harga cacahan sama dihubungkan dengan garis kontur, maka akan tergambarkan pola rembesan/bocoran pada dasar bendungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada waktu dilakukan penyebaran perunut radioisotop, tinggi muka air waduk 7,78 m, hingga diperkirakan volume air bendungan sebesar 1 juta m^3 (Gambar 2). *Maximum Permissible Concentration* (MPC) untuk radioisotop $^{198}\text{Au} = 5 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$ dan Limit Deteksi $= 1 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$.

Aktivitas radioisotop yang disebarkan sebesar 2 Ci, dan diperkirakan perunut radioisotop akan terdispersi dalam air waduk hingga mencapai 0,5 volume bendungan, sehingga konsentrasi perunut radioisotop yang menyebar diperkirakan :

$$\frac{2 \text{ Ci}}{500.000 \text{ m}^3} = \frac{2 \times 10^6 \mu\text{Ci}}{5 \times 10^5 \times 10^6 \text{ ml}} = 0,4 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$$

Nilai tersebut masih lebih rendah dari nilai MPC $5 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$, dan juga masih lebih tinggi dari nilai LDC (limit Detection Concentration) $1 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$.

Dari perhitungan tersebut maka penyebaran radioisotop dalam air waduk dinilai aman terhadap masyarakat dan lingkungan.

Pendeteksian radioisotop dilakukan dari atas perahu dengan cara memasukkan detektor kedap air sampai dasar bendungan, kemudian dilakukan pencacahan tingkat radiasinya. Posisi perahu pada waktu pendeteksian ditentukan dari dua arah dengan alat Teodolit.

Dengan pendeteksian yang berpindah-pindah maka hasil pencacahan tingkat radiasi pada dasar bendungan dapat dipetakan dengan garis kontur yang menghubungkan nilai cacahan yang sama melalui interpolasi.

Penyebaran radioisotop dilakukan pada tanggal 28 Maret 1997 jam 08.00 WIB, kemudian pendeteksian dilakukan pada tanggal 29, dan 30 Maret, serta 1, dan 3 April 1997. Hasil kontur cacahan dapat dilihat pada Gambar 3,4,5,6.

Pada Gambar 3, hasil pendeteksian tanggal 29 Maret 1997 dengan tinggi muka air waduk 7,68 m. Peta kontur cacahan menunjukkan penyebaran radioisotop terkonsentrasi kuat di depan saluran pelimpah (spillway) dengan batuan dasar berupa batugamping koral. Sebagian lagi terkonsentrasi sedang dengan areal yang luas di sebelah kanan bendungan dengan dasar bendungan juga berupa batugamping koral.

Pada Gambar 4, hasil pendeteksian tanggal 30 Maret 1997 dengan tinggi muka air waduk 7,58 m. Kontur cacahan menunjukkan penyebaran radioisotop masih terkonsentrasi pada daerah yang sama seperti sebelumnya yaitu di depan saluran pelimpah dan sebelah kanan bendungan dengan dasar berupa batugamping koral.

Pada Gambar 5, hasil pendeteksian tanggal 1 April 1997 dengan tinggi muka air waduk 7,38 m. Pada kontur cacahan terlihat pola penyebaran yang sama dengan pola sebelumnya, tetapi penumpukan konsentrasi radioisotop terlihat pada daerah sebelah kanan bendungan yaitu di daerah yang terletak di atas batugamping koral, sedangkan di daerah sebelah kiri bendungan radioisotop menunjukkan kontur yang relatif kecil dan merata.

Pada Gambar 6, hasil pendeteksian terakhir menunjukkan bahwa radioisotop memiliki pola yang tak banyak berubah dari pola sebelumnya, bahkan di depan pelimpah (spillway) terdapat lubang yang dapat dilihat dengan mata dimana air waduk masuk ke dalam lubang tersebut. Ini merupakan salah satu lubang bocoran yang dapat dilihat secara visual sebagai akibat penurunan muka air waduk. Di sebelah kiri bendungan konsentrasi radioisotop semakin menghilang, sehingga dapat diperkirakan bahwa daerah ini aman terhadap bocoran.

KESIMPULAN

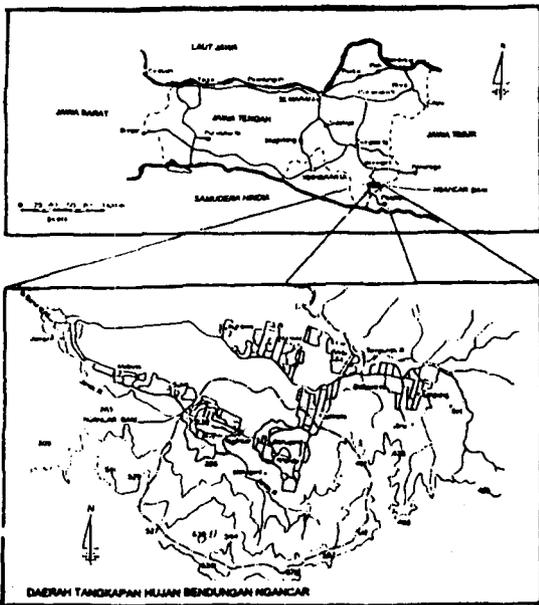
Dari hasil pengamatan lapangan serta analisis peta kontur cacahan radiasi dari pola penyebaran radioisotop dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Daerah sebelah kanan bendungan dengan dasar bendungan berupa batugamping koral merupakan daerah yang potensial terhadap rembesan/bocoran.

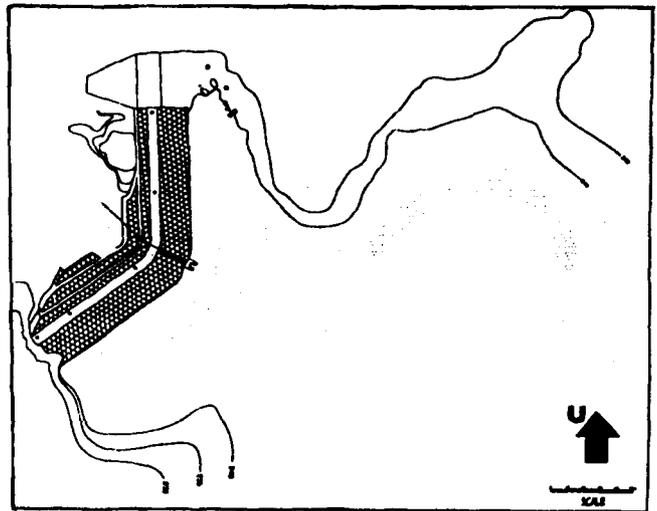
2. Pada daerah sebelah kiri bendungan dengan dasar bendungan berupa breksi tidak terjadi rembesan/bocoran.
3. Daerah batugamping di depan saluran pelimpah sangat potensial terhadap rembesan/bocoran dengan cakupan daerah yang sempit, sedangkan daerah batugamping pada daerah yang lebih jauh cukup potensial dengan cakupan daerah yang cukup luas.

DAFTAR PUSTAKA

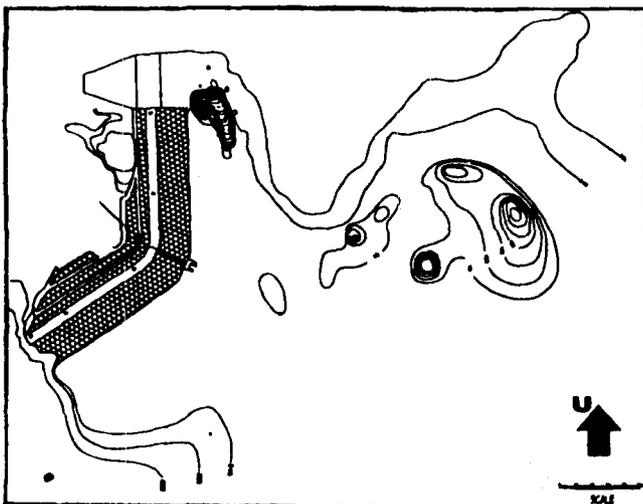
1. PATRICK, A. DOMINICO and FRANKLIN W. SCHWARTZ, Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, (1990).
2. FRITZ, P. and FONTES, J.Ch, Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, vol. 1, (1980).



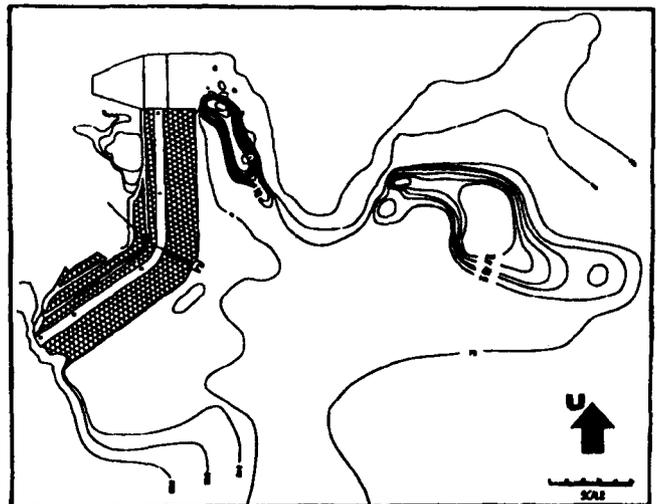
Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.



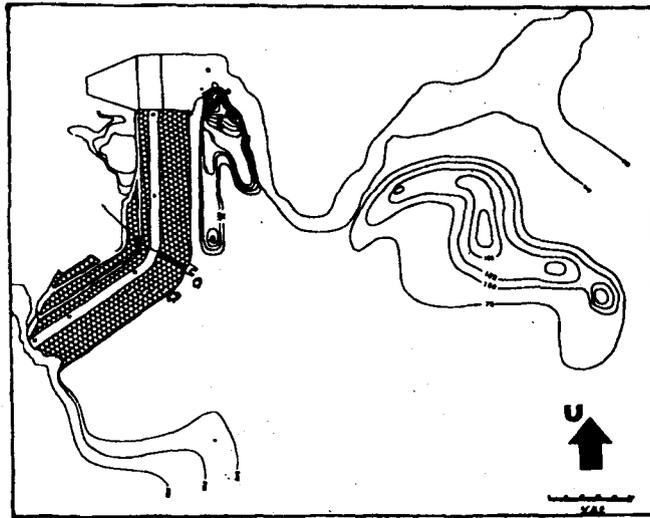
Gambar 2. Peta pelepasan radioisotop di Waduk Ngancar.



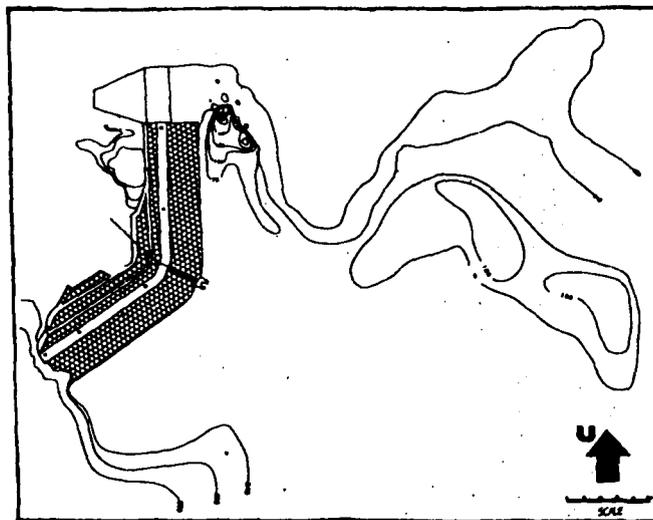
Gambar 3. Peta kontur hasil cacahan tanggal 29 Maret 1997.



Gambar 4. Peta kontur hasil cacahan tanggal 30 Maret 1997.



Gambar 5. Peta kontur hasil cacahan tanggal 1 April 1997.



Gambar 6. Peta kontur hasil cacahan tanggal 3 April 1997.

SUSUNAN PANITIA

- I Pengarah**
1. Prof. Dr. Azhar Djaleis
 2. Dr. Mirzan Thabrani Razzak
 3. Ir. Munsiah Maha
 4. Dr. F. Suhadi
 5. Dr. Ir. Moch. Ismachin
 6. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D
 7. Ir. Elsje L. Sisworo, MS
 8. Ir. Wandowo
 9. Dr. Made Sumatra, MS
 10. Dr. Ir. Mugiono

II Penyelenggara

- Ketua : Dr. Yanti Sabarinah Soebianto
 Wakil Ketua I : Drs. Muchjar
 Wakil Ketua II : drh. Sigit Witjaksono, M. Biomed
 Sekretaris : M. Ilmi, SE, M.Ec
 Wakil Sekretaris : Achmad Djaelani, S.Sos
 Bendahara : Agus Nirwono, SH

Seksi-seksi

- Persidangan :
 1. Drs. Suhari
 2. Drs. Sri Tumulyo
 3. Moch. Nasih Maman
 4. Herman Lukman, S.Sos
 5. Suparti, B.Sc
- Dokumentasi dan Publikasi :
 1. Saroji
 2. Madrois
 3. Darwono
- Perlengkapan/Akomodasi :
 1. Drs. Sumanto
 2. Sunardi
- Transportasi : Slamet Sutikno
- Konsumsi :
 1. Lestari Sumartono, Bc.An
 2. Lilis Suryani
- Protokol : Linda Purnamarani, B.Sc
- Pengamanan : Aryono AR

KETUA SIDANG

Sidang Pleno I	: Dr. Wuryanto	PSPKR - BATAN
Sidang Pleno II	: Ir. Wandowo	PAIR - BATAN
Sidang Pleno III	: Dr. Mirzan T. Razzak	PAIR - BATAN

Kelompok Pertanian

Sidang I	: Dr. Ir. Mugiono	PAIR - BATAN
Sidang II	: Ir. Haryanto, M.Sc	PAIR - BATAN
Sidang III	: Dr. Ir. Soeranto Human	PAIR - BATAN
Sidang IV	: Ir. M. Mitrosuhardjo	PAIR - BATAN

Kelompok Peternakan, Biologi

Sidang I	: Dr. Ishak	PAIR - BATAN
Sidang II	: Ir. Suharyono, M.Rur.Sci	PAIR - BATAN
Sidang III	: Ir. A.N. Kuswadi, M.Sc	PAIR - BATAN
Sidang IV	: Drs. Totty Tjiptosumirat, M.Rur.Sci	PAIR - BATAN

Kelompok Kimia, Lingkungan

Sidang I	: Dra. Suwirna Syamsu, MS	PAIR - BATAN
Sidang II	: Dra. Emlinarti	PSPKR - BATAN
Sidang III	: Drs. Hendig Winarno, M.Sc	PAIR - BATAN

Kelompok Proses Radiasi, dan Industri

Sidang I	: Dr. M. Fathony	PSPKR - BATAN
Sidang II	: Drs. Sutarman	PSPKR - BATAN
Sidang III	: Ir. Sugiarto Danu	PAIR - BATAN

DAFTAR PESERTA

A. Peserta Pembawa Makalah

Ir. Iyos R. Subky, M.Sc	Dirjen BATAN
Dr. RTM. Sutamihardja	Asmen Lingkungan Global, KLH
Dr. Made Sumatra, M.Si	PAIR - BATAN
Ir. Munsiah Maha	PAIR - BATAN
Dr. F. Suhadi	PAIR - BATAN
Dr. M. Natsir	PAIR - BATAN
Dra. A.M. Riyanti S.	PAIR - BATAN
Drs. Rivaie Ratna	PAIR - BATAN
Havid Rasjid	PAIR - BATAN
Ir. Haryanto, M.Sc	PAIR - BATAN
Ir. Johannis Wemay	PAIR - BATAN
Idawati, M.Sc	PAIR - BATAN
Ir. Ita Dwimahyani	PAIR - BATAN
Ir. M. Mitrosuhardjo	PAIR - BATAN
Dra. S. Gandanegara	PAIR - BATAN
Dr. Soeranto Human	PAIR - BATAN
Ir. Oktavia S. Padmini	UPN Yogyakarta
Ir. ETTY Hendrarti, MS	Univ. Borobudur
Dra. Ismiyati Sutarto, MS	Balitbu, Solok
Ir. Darmawi	PAIR - BATAN
Ir. Bintoro Hersasangka	PAIR - BATAN
Dra. Suharni Sadi	PAIR - BATAN
Dra. Adria P.M. Hasibuan	PAIR - BATAN
Dra. Dameria Hutabarat	PAIR - BATAN
Dra. M. Sulistiyati	PAIR - BATAN
drlh. Muchson Arifin	PAIR - BATAN
Ir. Kumala Dewi	PAIR - BATAN
Drs. Harsojo	PAIR - BATAN
Dra. Rosmiarty A. Wahid	PPTN - BATAN
Ir. Didik Wisnu Widjayanto	UNDIP
Subiyakto	Balittas, Malang
Ir. Suharyono, M.Rur.Sci	PAIR - BATAN
Ir. Sukardji Partodihardjo	PAIR - BATAN
Azri Kusuma Dewi	PAIR - BATAN
Dra. Winarti Andayani	PAIR - BATAN
Dra. Ermin K. Winarno	PAIR - BATAN
Drs. Zainal Abidin	PAIR - BATAN
Dra. Evarista Ristin P.I.	PAIR - BATAN
Ir. Nita Suhartini	PAIR - BATAN
P. Sidauruk, MCE.PhD	PAIR - BATAN
Yumiarti, B.Sc	PAIR - BATAN
Dra. Nazaroh	PSPKR - BATAN
June Mellawati, S.Si	PAIR - BATAN
Dra. Emlinarti	PSPKR - BATAN
Dra. Ulfa T. Syahrir	PAIR - BATAN
Ir. Sugiarto Danu	PAIR - BATAN
Drs. Erizal	PAIR - BATAN
Marsongko	PAIR - BATAN
Made Sumarti Kardha, B.Sc	PAIR - BATAN
Ir. Rindy P. Tanhindarto	PAIR - BATAN
Isni Marliyanti, B.Sc	PAIR - BATAN
Kadarijah	PAIR - BATAN
Darsono, B.Sc	PAIR - BATAN
Nurhidayati	PAIR - BATAN

Ir. Gatot Suhariyono	PSPKR - BATAN
Drs. Sutarman	PSPKR - BATAN
Dr. Muhammad Fathony	PSPKR - BATAN
Ir. Wibagyo	PAIR - BATAN

B. Peserta Peninjau

Dr. Mirzan T. Razzak	PAIR - BATAN
Drs. Endrawanto M.App.Sc.	PAIR - BATAN
Dra. Rahayuningsih Chosdu	PAIR - BATAN
Dr. Singgih Sutrisno	PAIR - BATAN
Dr. Masrizal	PAIR - BATAN
Kicky LTK	PAIR - BATAN
Ir. Wandowo	PAIR - BATAN
Ir. Elsje L. Sisworo, MS	PAIR - BATAN
Dr. Yanti S. Soebianto	PAIR - BATAN
drh. Sigit Witjaksono, M.Biomed.	PAIR - BATAN
Dra. Nazly Hilmy, Ph.D.	PAIR - BATAN
Drs. Sutjipto Sudiro	PAIR - BATAN
Drs. Hendig Winarno, M.Sc.	PAIR - BATAN
Dra. Maria Lina R.	PAIR - BATAN
Dadang Sudrajat, B.Sc.	PAIR - BATAN
Drs. Erry Anwar	PAIR - BATAN
Anik Sunarni, B.Sc.	PAIR - BATAN
Dr. Ishak, M.Sc.	PAIR - BATAN
Wiwiek Sofiarti, B.Sc.	PAIR - BATAN
Agustin S., Dipl.KA	PAIR - BATAN
Dra. Rosalina Sinaga	PAIR - BATAN
Syafalni, Dipl.H.M.Sc.	PAIR - BATAN
Drs. Satrio	PAIR - BATAN
Drs. Sudrajat Iskandar	PAIR - BATAN
Drs. Edih Suwadji	PAIR - BATAN
A.N. Kuswadi, M.Sc.	PAIR - BATAN
M. Soewarsono, B.Sc.	PAIR - BATAN
Aryanti, B.Sc.	PAIR - BATAN
Dr. Ir. Mugiono	PAIR - BATAN
Drs. Ali Rahayu	PAIR - BATAN
Dra. Sofni M. Chaerul	PAIR - BATAN
Ir. Gatot T. Rekso	PAIR - BATAN
Dra. Jenny M. Umar	PAIR - BATAN
Ir. Herwinarni	PAIR - BATAN
Lilik Harsanti, Ssi.	PAIR - BATAN
Dra. Krisna M.L., M.Sc	PAIR - BATAN
Dra. Rosmina DLT	PAIR - BATAN
Drs. Indrojono	PAIR - BATAN
Ir. Zubaidah Irawati	PAIR - BATAN
Ir. Basril Abbas	PAIR - BATAN
Drs. Nada Marnada, M.Sc	PAIR - BATAN
Djiono	PAIR - BATAN
Tita Puspitasari, B.Sc	PAIR - BATAN
Drs. Pugh Martiyasa, M.Eng	PAIR - BATAN
Alip	PAIR - BATAN
Bungkus P.	PAIR - BATAN
Satrio	PAIR - BATAN
Drs. Totty T., M.Rur.Sci	PAIR - BATAN
Dadang Sudrajat, B.Sc	PAIR - BATAN
Ir. Surtipanti S.	PAIR - BATAN
Drs. Barokah A., M.Eng.	PAIR - BATAN
Drs. Yulizon Menry	PAIR - BATAN

Drs. Ambyah Suliwarno	PAIR - BATAN
Ir. Sri Harti Syaukat	PAIR - BATAN
Drs. Sugeng Harjoso	BPKST - BATAN
Ir. Trijono	UPT-MPIN - BATAN
Drs. Edison S.	PRSG - BATAN
Lukman Umar	PPTN - BATAN
Dr. Ir. Umiyati Atnomarsono	UNDIP
Dr. Ir. Sri Murni Ardiningsari, M.Sc.	UNDIP
Ir. Tarwito	UNDIP
Dra. Entin Daningsih, M.Sc.	UNDIP
Yunianta	UNIBRAW
Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim	UNAND
Ir. Anni Yuniarti	UNPAD
Ir. Oktavia S. Padmini	UPN Yogyakarta
Dr. Ir. Nizar Nasrullah	IPB, Bogor
Ir. Rini Andrida	PUSLITBANG BULOG
Ir. Farida Liestijati	PUSLITBANG BULOG
Dra. Natalini Nova K.	BALITTAN
Dra. Deliah Seswita	BALITTAN
Ir. Luqman Erningpraja, MS	PUSLIT KELAPA SAWIT
Drs. Davidson A. Muis	PT. Perkasa Sterilindo
Drs. Husni Azhar, Apt.MBA	PT. PFIZER INDONESIA
J. Verlie Letor, SSI.Apt.	PT. PFIZER INDONESIA
Irene Pranata	PT. PFIZER INDONESIA
Drs. Dwi Adi Sumarto	Balittas, Malang
Dr. Ir. Novianti S.	Balitbio, Bogor
Ir. Widiati H. Adil, M.Sc.	Balitbio, Bogor
Ir. Sri Hutami, MS.	Balitbio, Bogor
Ir. Yati Supriati, MS.	Balitbio, Bogor
Ir. Ragapadmi Purnamaningsih	Balitbio, Bogor
Suci Rahayu, S.Si.	Balitbio, Bogor
Yadi Rusyadi, S.Si	Balitbio, Bogor
Ika Roostika, T.SP.	Balitbio, Bogor
Dr. Ika Mariska	Balitbio, Bogor
Dra. Endang Gati Lestari	Balitbio, Bogor
Drs. Ali Husni	Balitbio, Bogor
Dr. Ir. Maharani Hasanah	Balitro, Bogor
Ir. Devi Rusmin	Balitro, Bogor
Ir. Ismail BP	Balipa, Sukamandi
Ir. Sunarmani, MS	Balithi, Jakarta
Dra. Pudji Kusumaning Utami, MS	Balithi, Jakarta
Dra. Frida Tri Hadiati	Departemen Kesehatan