

## **BAB 8**

### **INDUSTRI SEMEN**

#### **Pengantar**

Dalam perkembangan peradaban manusia khususnya dalam hal bangunan, tentu kerap mendengar cerita tentang kemampuan nenek moyang merekatkan batu-batu raksasa hanya dengan mengandalkan zat putih telur, ketan atau bahan lainnya. Alhasil, berdirilah bangunan fenomenal, seperti Candi Borobudur atau Candi Prambanan di Indonesia ataupun jembatan di China yang menurut legenda menggunakan ketan sebagai perekat. Ataupun menggunakan aspal alam sebagaimana peradaban di Mahenjo Daro dan Harappa di India ataupun bangunan kuno yang dijumpai di Pulau Buton. Benar atau tidak, cerita, legenda tadi menunjukkan dikenalnya fungsi semen sejak zaman dahulu. Sebelum mencapai bentuk seperti sekarang, perekat dan penguat bangunan ini awalnya merupakan hasil percampuran batu kapur dan abu vulkanis.

Pertama kali ditemukan di zaman Kerajaan Romawi, tepatnya di Pozzuoli, dekat teluk Napoli, Italia. Bubuk itu lantas dinamai *pozzuolana*. Meski sempat populer di zamannya, nenek moyang semen *made in* Napoli ini tak berumur panjang. Menyusul runtuhnya Kerajaan Romawi, sekitar abad pertengahan (tahun 1100 - 1500 M) resep ramuan *pozzuolana* sempat menghilang dari peredaran. Baru pada abad ke-18 (ada juga sumber yang menyebut sekitar tahun 1700-an M), John Smeaton - insinyur asal Inggris - menemukan kembali ramuan kuno berkhasiat luar biasa ini. Dia membuat adonan dengan memanfaatkan campuran batu kapur dan tanah liat saat membangun menara suar Eddystone di lepas pantai Cornwall, Inggris. Ironisnya, bukan Smeaton yang akhirnya mematenkan proses pembuatan cikal bakal semen ini. Adalah Joseph Aspdin, juga insinyur berkebangsaan Inggris, pada 1824 mengurus hak paten ramuan yang kemudian dia sebut semen portland. Dinamai begitu karena warna hasil akhir olahannya mirip tanah liat Pulau Portland, Inggris. Hasil rekayasa Aspdin inilah yang sekarang banyak dipajang di toko-toko bangunan. Sebenarnya, adonan Aspdin tak beda jauh dengan Smeaton. Dia tetap mengandalkan dua bahan utama, batu kapur (kaya akan kalsium karbonat) dan tanah lempung yang banyak mengandung silika (sejenis mineral berbentuk pasir), aluminium oksida (alumina) serta oksida besi. Bahan-bahan itu kemudian dihaluskan dan dipanaskan pada suhu tinggi sampai terbentuk campuran baru.

#### **Pengertian Semen**

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku: batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Bila semen dicampurkan dengan air, maka terbentuklah beton. Beton nama asingnya, *concrete*-diambil dari gabungan prefiks bahasa Latin

*com*, yang artinya bersama-sama, dan *crescere* (tumbuh), yang maksudnya kekuatan yang tumbuh karena adanya campuran zat tertentu.

Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: silika oksida (SiO<sub>2</sub>), aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan magnesium oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

Dalam pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeraskan dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Abu vulkanis dan batu bata yang dihancurkan yang ditambahkan pada batu kapur yang dibakar sebagai agen pengikat untuk memperoleh suatu pengikat hidrolik yang selanjutnya disebut sebagai “cementum”. Semen yang digunakan dalam konstruksi digolongkan kedalam semen hidrolik dan semen non-hidrolik.

Semen hidrolik adalah material yang menetap dan mengeras setelah dikombinasikan dengan air, sebagai hasil dari reaksi kimia dari pencampuran dengan air, dan setelah pembekuan, mempertahankan kekuatan dan stabilitas bahkan dalam air. Pedoman yang dibutuhkan dalam hal ini adalah pembentukan hidrat pada reaksi dengan air segera mungkin... Kebanyakan konstruksi semen saat ini adalah semen hidrolik dan kebanyakan didasarkan pada semen Portland, yang dibuat dari batu kapur, mineral tanah liat tertentu, dan gypsum, pada proses dengan temperatur yang tinggi yang menghasilkan karbon dioksida dan berkombinasi secara kimia yang menghasilkan bahan utama menjadi senyawa baru. Semen non-hidrolik meliputi material seperti batu kapur dan gypsum yang harus tetap kering supaya bertambah kuat dan mempunyai komponen cair. Contohnya adukan semen kapur yang ditetapkan hanya dengan pengeringan, dan bertambah kuat secara lambat dengan menyerap karbon dioksida dari atmosfer untuk membentuk kembali kalsium karbonat.

Penguatan dan pengerasan semen hidrolik disebabkan adanya pembentukan air yang mengandung senyawa-senyawa, pembentukan sebagai hasil reaksi antara komponen semen dengan air. Reaksi dan hasil reaksi mengarah kepada hidrasi dan hidrat secara berturut-turut. Sebagai hasil dari reaksi awal dengan segera, suatu pengerasan dapat diamati pada awalnya dengan sangat kecil dan akan bertambah seiring berjalannya waktu. Setelah mencapai tahap tertentu, titik ini diarahkan pada permulaan tahap pengerasan. Penggabungan lebih lanjut disebut penguatan setelah mulai tahap pengerasan.

### **Jenis-jenis Semen**

1. **Semen Abu** atau semen *Portland* adalah bubuk/*bulk* berwarna abu kebiru-biruan, dibentuk dari bahan utama batu kapur/gamping berkadar kalsium tinggi yang diolah dalam tanur yang bersuhu dan bertekanan tinggi. Semen ini biasa digunakan sebagai perekat untuk memplester. Semen ini berdasarkan prosentase kandungan penyusunannya terdiri dari 5 tipe, yaitu tipe I sampai tipe V.

2. **Semen Putih** (*gray cement*) adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), seperti sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.
3. **Oil Well Cement** atau semen sumur minyak adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai.
4. **Mixed & Fly Ash Cement** adalah campuran semen abu dengan *Pozzolan* buatan (*fly ash*). *Pozzolan* buatan (*fly ash*) merupakan hasil sampingan dari pembakaran batubara yang mengandung *amorphous* silica, aluminium oksida, besi oksida dan oksida lainnya dalam variasi jumlah. Semen ini digunakan sebagai campuran untuk membuat beton, sehingga menjadi lebih keras.

Berdasarkan prosentase kandungan penyusunnya, semen Portland terdiri dari 5 tipe yaitu :

1. *Semen Portland tipe I*

Adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah:  
55% (C<sub>3</sub>S); 19% (C<sub>2</sub>S); 10% (C<sub>3</sub>A); 7% (C<sub>4</sub>AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO<sub>3</sub>); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.

2. *Semen Portland tipe II*

Dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat dan lain-lain. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah:  
51% (C<sub>3</sub>S); 24% (C<sub>2</sub>S); 6% (C<sub>3</sub>A); 11% (C<sub>4</sub>AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO<sub>3</sub>); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.

3. *Semen Portland tipe III*

Dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, misal bangunan dipinggir laut, bangunan bekas tanah rawa, saluran irigasi, dam-dam. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah:  
57% (C<sub>3</sub>S); 19% (C<sub>2</sub>S); 10% (C<sub>3</sub>A); 7% (C<sub>4</sub>AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.

4. *Semen Portland tipe IV*

Dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misal untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan bertingkat, bangunan-bangunan dalam air. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah:  
28% (C<sub>3</sub>S); 49% (C<sub>2</sub>S); 4% (C<sub>3</sub>A); 12% (C<sub>4</sub>AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

5. *Semen Portland tipe V*

Dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah:

38% (C<sub>3</sub>S); 43% (C<sub>2</sub>S); 4% (C<sub>3</sub>A); 9% (C<sub>4</sub>AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

Semakin baik mutu semen, maka semakin lama mengeras atau membatunya jika dicampur dengan air, dengan angka-angka hidrolitas yang dapat dihitung dengan rumus:

$$(\% \text{ SiO}_2 + \% \text{ Al}_2\text{O}_3 + \% \text{ Fe}_2\text{O}_3) : (\% \text{ CaO} + \% \text{ MgO})$$

Angka hidrolitas ini berkisar antara <1/1,5 (lemah) hingga >1/2 (keras sekali). Namun demikian dalam industri semen angka hidrolitas ini harus dijaga secara teliti untuk mendapatkan mutu yang baik dan tetap, yaitu antara 1/1,9 dan 1/2,15.

## Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen dapat dibedakan menurut :

### 1. Proses basah

Pada proses basah semua bahan baku yang ada dicampur dengan air, dihancurkan dan diuapkan kemudian dibakar dengan menggunakan bahan bakar minyak, bakar (*bunker crude oil*). Proses ini jarang digunakan karena masalah keterbatasan energi BBM.

### 2. Proses kering

Pada proses kering digunakan teknik penggilingan dan *blending* kemudian dibakar dengan bahan bakar batubara. Proses ini meliputi lima tahap pengelolaan yaitu :

1. Proses pengeringan dan penggilingan bahan baku di *rotary dryer* dan *roller meal*.
2. Proses pencampuran (*homogenizing raw meal*) untuk mendapatkan campuran yang homogen.
3. Proses pembakaran *raw meal* untuk menghasilkan terak (*clinker* : bahan setengah jadi yang dibutuhkan untuk pembuatan semen).
4. Proses pendinginan terak.
5. Proses penggilingan akhir di mana *clinker* dan *gypsum* digiling dengan *cement mill*.

Dari proses pembuatan semen di atas akan terjadi penguapan karena pembakaran dengan suhu mencapai 900 derajat Celcius sehingga menghasilkan : residu (sisa) yang tak larut, sulfur trioksida, silika yang larut, besi dan aluminium oksida, oksida besi, kalsium, magnesium, alkali, fosfor, dan kapur bebas.



Secara garis besar proses produksi semen melalui 6 tahap, yaitu :

**1. Penambangan dan penyimpanan bahan mentah**

Semen yang paling umum yaitu semen portland memerlukan empat komponen bahan kimia yang utama untuk mendapatkan komposisi kimia yang sesuai. Bahan tersebut adalah kapur (batu kapur), silika (pasir silika), alumina (tanah liat), dan besi oksida (bijih besi). Gypsum dalam jumlah yang sedikit ditambahkan selama penghalusan untuk memperlambat pengerasan.

**2. Penggilingan dan pencampuran bahan mentah**

Semua bahan baku dihancurkan sampai menjadi bubuk halus dan dicampur sebelum memasuki proses pembakaran.

**3. Homogenisasi dan pencampuran bahan mentah**

**4. Pembakaran**

Tahap paling rumit dalam produksi semen portland adalah proses pembakaran, dimana terjadi proses konversi kimiawi sesuai rancangan dan proses fisika untuk mempersiapkan campuran bahan baku membentuk klinker. Proses ini dilakukan di dalam *rotary kiln* dengan menggunakan bahan bakar fosil berupa padat (batubara), cair (solar), atau bahan bakar alternatif. Batubara adalah bahan bakar yang paling umum dipergunakan karena pertimbangan biaya.



## 5. Penggilingan hasil pembakaran

Proses selanjutnya adalah penghalusan klinker dengan tambahan sedikit gipsum, kurang dari 4%, untuk dihasilkan semen portland tipe 1. Jenis semen lain dihasilkan dengan penambahan bahan aditif posolon atau batu kapur di dalam penghalusan semen.

## 6. Pendinginan dan pengepakan

Reaksi-reaksi yang terjadi

Reaksi alite dengan air :

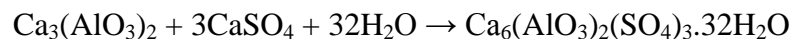


Reaksi ini relatif cepat, menyebabkan penetapan dan perkembangan penguatan pada beberapa minggu pertama.

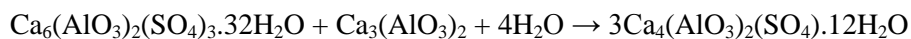
Reaksi dari belite :



Reaksi ini relatif lambat, dan berperan untuk meningkatkan penguatan setelah satu minggu. Hidrasi trikalsium aluminat dikontrol oleh penambahan kalsium sulfat, yang dengan seketika menjadi cairan pada saat penambahan air. Pertama-tama, etringit dibentuk dengan cepat, menyebabkan hidrasi yang lambat.



Sesudah itu etringit bereaksi secara lambat dengan trikalsium aluminat lebih lanjut untuk membentuk "monosulfat".



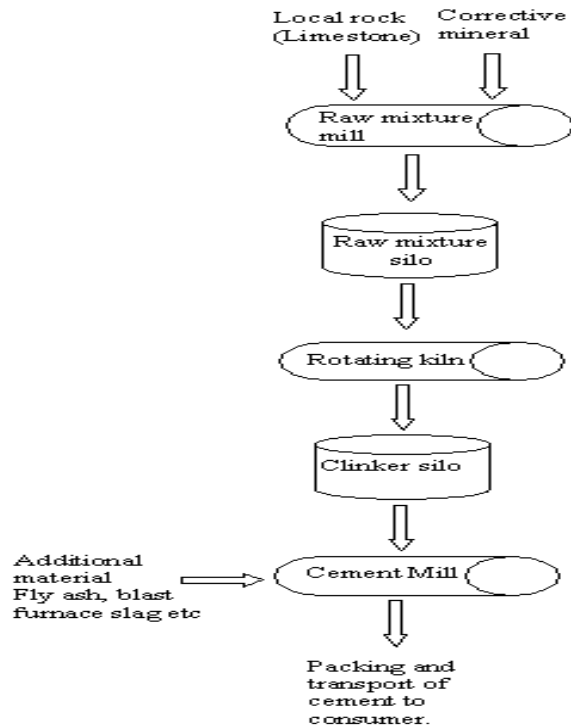
Reaksi ini akan sempurna setelah 1-2 hari. Kalsium aluminoforit bereaksi secara lambat karena adanya hidrasi besi oksida.



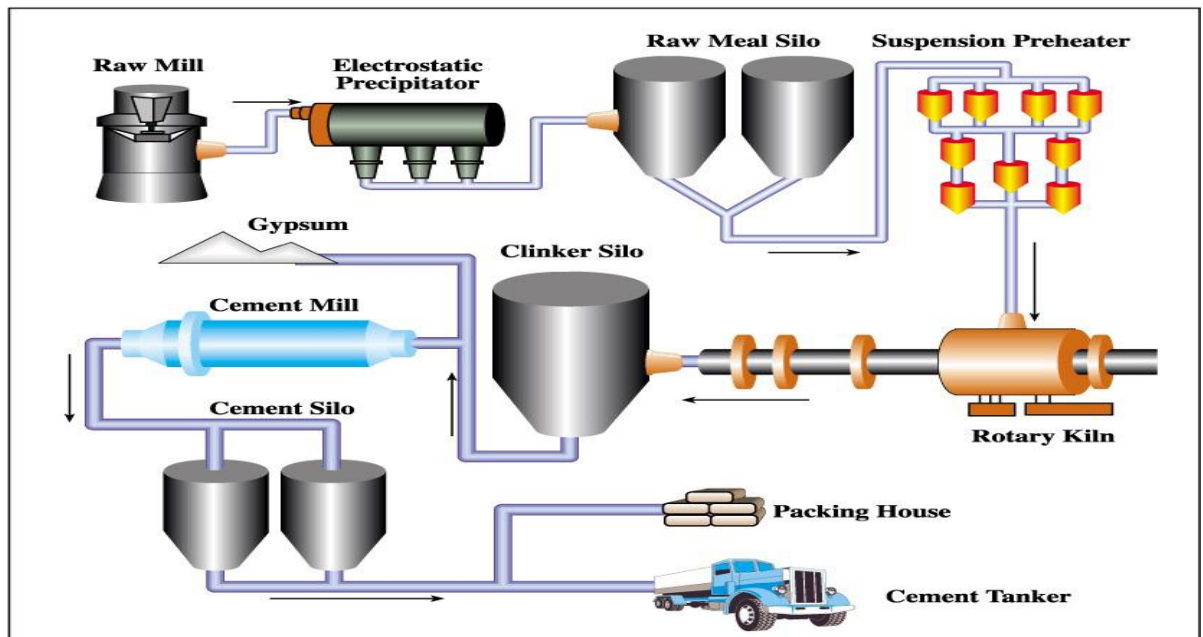
**Tabel 1**  
**Klinker pada semen**

<i>Typical constituents of Portland clinker and Portland cement. Cement industry style notation in italics:</i>			
<b>Clinker</b>	<b>Mass%</b>	<b>Cement</b>	<b>Mass%</b>
<u>Tricalcium silicate</u> <i>(CaO)<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>S</i>	45-75%	Calcium oxide, CaO, <i>C</i>	61-67%
<u>Dicalcium silicate</u> <i>(CaO)<sub>2</sub>.SiO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>S</i>	7-32%	Silicon oxide, SiO <sub>2</sub> , <i>S</i>	19-23%
<u>Tricalcium aluminate</u> <i>(CaO)<sub>3</sub>.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>A</i>	0-13%	Aluminium oxide, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , <i>A</i>	2.5-6%
<u>Tetracalcium aluminoferrite</u> <i>(CaO)<sub>4</sub>.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>AF</i>	0-18%	Ferric oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , <i>F</i>	0-6%
Gypsum CaSO <sub>4</sub>	2-10%	Sulfate	

**Skema Produksi Semen**



## Cement Production Process



Secara singkat, proses dari pembuatan semen ini adalah semua bahan mentah dicampurkan, bahan-bahan mentah ini harus bebas debu. Debu yang dihasilkan dari bahan mentah ini akan ditangkap oleh penangkap debu, agar debu-debu tersebut tidak mencemari udara. Bahan-bahan ditampung. Setelah ditampung, bahan-bahan ini kemudian dimasukkan ke dalam suspensi preheater. Suspensi preheater ini berfungsi untuk memanaskan dengan cara menyemprotkan udara panas. Kemudian bahan-bahan dimasukkan ke dalam rotary kiln (oven besar yang berputar) dan dibakar pada suhu  $\pm 1400^{\circ}\text{C}$  sehingga menghasilkan butiran-butiran kecil berwarna hitam yang disebut *clinker* (bahan setengah jadi). Clinker kemudian ditampung di dalam clinker silo. Dari clinker silo kemudian masuk ke dalam semen mill. Semen mill ini adalah suatu tempat dimana terjadi proses pencampuran dengan gipsum. Setelah dari semen mill, masuk ke dalam semen silo. Tahap akhir dari proses pembuatan semen ini adalah pengepakan, yang selanjutnya semen akan di distribusikan ke pasaran.

### Dampak Industri Semen terhadap Lingkungan

Berdasarkan bahan baku dan bahan bakar yang digunakan serta proses produksi, industri semen menyebabkan dampak lingkungan sebagai berikut :

#### a) Lahan

Penurunan kualitas kesuburan tanah akibat penambangan tanah liat.

Perubahan tata-guna tanah akibat kegiatan penebangan dan penyerapan lahan serta pembangunan fasilitas lainnya, menyebabkan penurunan kapasitas air tanah yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kuantitas air sungai di sekitarnya. Hal ini akan menyebabkan keimbangan lingkungan setempat.



## 2. Air

Kualitas air menurun akibat limbah cair dari pabrik dalam bentuk minyak dan sisa air dari kegiatan penambangan. Menimbulkan lahan kritis yang mudah terkena erosi dan pendangkalan dasar sungai, yang pada akhirnya akan menimbulkan banjir pada musim hujan.

Kuantitas air atau debit air menjadi berkurang karena hilangnya vegetasi pada suatu lahan akan mengakibatkan penyerapan air hujan oleh tanah di tempat itu berkurang, sehingga persediaan air tanah menipis. Sungai menjadi kering pada musim kemarau dan banjir pada musim hujan karena tanah tidak mampu lagi menyerap air.

## 3. Udara

Debu yang dihasilkan pada waktu pengadaan bahan baku dan selama proses pembakaran dan debu yang dihasilkan selama pengangkutan bahan baku ke pabrik dan bahan jadi ke luar pabrik, termasuk pengantongannya. Debu yang secara visual terlihat di kawasan pabrik dalam bentuk kabut dan kepulan debu menimbulkan pencemaran udara serius. Suhu udara di sekitar pabrik naik. Gas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar minyak bumi dan batu bara, berupa gas CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan gas lainnya yang mengandung hidrokarbon dan belerang.

## 4. Dsb

### Penemuan Semen Terbaru

#### 1. EKOSEMEN

Jepang telah berhasil mengubah sampah menjadi produk semen yang kemudian dinamakan ekosemen. Kata ekosemen sendiri diambil dari penggabungan kata “ekologi” dan “semen”. Diawali penelitian di tahun 1992, para peneliti Jepang (yang tergabung dalam NEDO) telah meneliti kemungkinan abu hasil pembakaran sampah dan endapan air kotor sebagai bahan semen. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa abu hasil pembakaran sampah mengandung unsur yang sama dengan bahan dasar semen pada umumnya. Pada tahun 2001, pabrik pertama di dunia yang mengubah sampah menjadi semen resmi beroperasi di Chiba.

Di Jepang, sampah terbagi menjadi tiga macam, salah satunya adalah sampah terbakar (terdiri atas sampah organik, kertas, dll) dan sampah tidak terbakar (plastik, dll). Setiap tahunnya, penduduk Jepang membuang sekitar 37 juta ton untuk sampah terbakar. Kemudian sampah tersebut dibakar (diinsenerasi) dan menghasilkan abu (inceneration ash) mencapai 6 ton/tahunnya. Dari abu inilah kemudian dijadikan sebagai bahan dari pembuatan ekosemen. Abu ini dan endapan air kotor mengandung senyawa-senyawa dalam pembentukan semen biasa yaitu senyawa-senyawa oksida seperti CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Oleh karena itu, abu insenerasi ini dapat berfungsi sebagai pengganti clay (tanah liat) yang digunakan dalam pembentukan semen biasa.

- Proses pembuatan ekosemen

Pada pembuatan ekosemen, secara prinsip sama dengan pembuatan semen biasa. Perbedaannya terletak pada abu insenerasi, sewage sludge, dan limbah lainnya yang digunakan sebagai pengganti clay dan sebagian limestone. Adapun prosesnya sebagai berikut :

1. **Reprocessing**  
Raw material (inceneration ash dan endapan air kotor rumah tangga) diproses terlebih dahulu, seperti dengan pengeringan (drying), crushing, dan logam yang masih terkandung dalam raw material dipisahkan dan didaur ulang.
2. **Raw Material Drying and Pulverizing**  
Setelah dikeringkan, raw material dihancurkan pada raw grinding/drying mills bersamaan dengan natural raw material.
3. **Raw Material Mixing**  
Kemudian dimasukkan ke dalam homogenizing tank bersamaan dengan fly ash (abu yang dihasilkan dari pembangkit listrik batubara) dan blast furnace slag (limbah yang dihasilkan industri besi). Dua homogenizing tank ini dimasukkan untuk memperoleh penentuan komposisi kimia yang diinginkan.
4. **Firing**  
Setelah itu dimasukkan ke dalam rotary kiln untuk kemudian dibakar pada suhu diatas 1350°C. Pada proses ini, dioksin dan senyawa berbahaya lainnya yang terkandung pada inceneration ash akan terurai dengan aman. Gas limbah dari rotary kiln kemudian didinginkan secara cepat hingga suhu 200°C untuk mencegah terbentuknya dioksin kembali. Pada proses ini pula logam berat yang masih terkandung dipisahkan dan dikumpulkan ke dalam bag filter sebagai debu yang mengandung klorin. Debu ini kemudian dialirkan ke Heavy Metal Recovery Process. Pada proses ini, klorin yang masih terkandung akan dihilangkan dan menghasilkan sebuah artificial ore seperti tembaga dan timbal yang kemurniaannya mencapai 35% atau lebih. Pada proses firing ini akan menghasilkan clinker yang kemudian dikirim ke clinker tank.
5. **Product Pulverizing Process**  
Gypsum ditambahkan bersama clinker dan campuran tersebut akan dihancurkan pada finish mills yang kemudian akan menghasilkan produk ekosemen.

Hingga saat ini terdapat dua macam tipe ekosemen (berdasarkan penambahan alkali dan kandungan klorin) yaitu tipe biasa dan tipe pengerasan cepat. Ekosemen tipe biasa mempunyai kualitas yang sama baiknya dengan semen portland biasa. Tipe semen ini digunakan sebagai bahan campuran beton. Sedangkan ekosemen tipe kedua memiliki kekuatan beton dan pengerasan yang lebih cepat dibanding semen portland tipe high early strength. Ekosemen tipe ini digunakan pada *architectural block, exterior wall material, roof material, wave dissipating concrete block, dll.*

Yang menjadi masalah adalah kandungan Cl yang begitu tinggi pada abu insenerasi dan logam berat yang dikandung yang dapat mengakibatkan masalah pada sistem operasi dan mengurangi kualitas dan pengamanan material pada

semen. Sedangkan kandungan CaO yang masih kurang pada abu insenerasi dapat dicukupi dengan penambahan batu kapur. Dalam pembuatan ekosemen ini, klorin dan logam berat yang terkandung pada abu insenerasi akan diekstrak menjadi bijih tiruan yang kemudian didaur ulang.

Plastik vinil yang terdapat dalam sampah pada proses pembakaran akan mengakibatkan kekuatan kronkit ekosemen akan berkurang. Hal ini diakibatkan oleh adanya gas Cl<sub>2</sub> hasil penguraian plastik vinil yang dapat mempengaruhi kekuatan konkrit ekosemen. Sehingga pemisahan sampah sangatlah penting, khususnya sampah plastik

### **Manfaat Ekosemen**

Dengan adanya pengubahan sampah menjadi semen, menambah alternatif pengolahan sampah yang lebih bernilai ekonomis, dan biaya pengolahan sampah di Jepang menjadi lebih murah. Selain itu, teknologi ekosemen juga ramah lingkungan. Pada pembuatan ekosemen, sebagian CaO diperoleh dari abu insenerasi sehingga mengurangi penggunaan batu kapur yang selama ini menjadi polusi gas CO<sub>2</sub>.

### **Semen Pozolan**

Jenis semen alternatif yang harganya relatif murah dan teknologi proses pembuatannya sederhana adalah *semen pozolan*. Semen ini dibuat dari campuran bahan pozolan dan kapur padam dengan tidak melalui proses pemanasan. Bahan pozolan berasal dari batuan produk gunungapi dan biasanya batuan tersebut telah mengalami pelapukan baik pelapukan fisik maupun kimia. Sedangkan kapur padam berasal dari batugamping dengan melalui proses pembakaran menghasilkan kapur tohor. Kemudian pada kapur tohor tersebut ditambahkan air sehingga terbentuk kapur padam. Potensi batuan produk gunungapi dan batugamping sangat melimpah di Indonesia.

Di era Otonomi Daerah, pengembangan industri semen pozolan sangat tepat untuk diaplikasikan daerah-daerah yang mempunyai potensi bahan pozolan dan batu kapur (batugamping). Manfaat yang akan diperoleh daerah yaitu meningkatkan PAD, memberikan kesempatan peluang kerja, mengurangi pengangguran dan urbanisasi, dan meningkatkan pemanfaatan sumberdaya mineral di daerah. Untuk mendukung terealisasinya otonomi daerah, Direktorat TPSM melalui Proyek Pengembangan Teknik Terapan dan Teknologi Pengolahan Bahan Mineral pada tahun anggaran 2000 telah melakukan kegiatan evaluasi cadangan bahan baku semen pozolan di Daerah Tunggilis, Kabupaten Ciamis.

Daerah Kabupaten Ciamis memiliki potensi bahan baku semen pozolan yang besar berupa batukapur (batugamping) dan zeolit. Pengolahan batukapur telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat setempat dengan cara pembakaran untuk menghasilkan kapur tohor dan kapur padam.

Pada kegiatan evaluasi bahan baku semen pozolan telah dilakukan pekerjaan pemetaan topografi dan geologi serta pemboran pada endapan bahan pozolan berupa zeolit dengan tujuan untuk mengetahui volume bahan bakunya.

Zeolit merupakan senyawa alumino-silikat terhidrasi yang secara fisik dan kimia mempunyai kemampuan sebagai bahan penyerap (adsorpsi), penukar kation dan katalis. Unsur utama mineral zeolit terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. Zeolit terbentuk karena proses diagenetik, proses hidrotermal dan proses sedimentasi batuan produk gunungapi (batuan piroklastik) berukuran debu pada lingkungan danau yang bersifat alkali. Mineral-mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu gunungapi yang telah mengalami proses alterasi. Mineral-mineral utama pembentuk zeolit hanya ada sembilan jenis, yaitu analsim, kabasit, klinoptilolit, Erionit, mordenit, ferrierit, heulandit, laumontit dan fillipsit. Di Indonesia jenis mineral zeolit yang terbanyak adalah klinoptilolit dan mordenit.

### **Geopolimer Semen**

Akhir-akhir ini, industri semen dan beton semakin sering disorot, khususnya oleh para pecinta lingkungan. Ini disebabkan emisi karbon dioksida, komponen terbesar gas rumah kaca, yang dihasilkan dari proses kalsinasi kapur dan pembakaran batu bara. Isu lingkungan ini tampaknya akan memainkan peran penting dalam kaitan dengan isu pembangunan berkelanjutan di masa mendatang.

Dari Konferensi Bumi yang diselenggarakan di Rio de Janeiro, Brasil tahun 1992 dan di Kyoto, Jepang tahun 1997 dinyatakan bahwa emisi gas rumah kaca ke atmosfer yang tak terkendali tidak bisa lagi diterima dari sudut pandang kepentingan sosial dan kelestarian lingkungan dalam kerangka pembangunan yang berkelanjutan. Gas rumah kaca yang menjadi sorotan utama adalah gas karbon dioksida karena jumlahnya yang jauh lebih besar dari gas lainnya seperti oksida nitrat dan metan.

Dalam produksi satu ton semen Portland, akan dihasilkan sekitar satu ton gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Dari data tahun 1995, jumlah produksi semen di dunia tercatat 1,5 miliar ton. Hal ini berarti industri semen melepaskan karbon dioksida sejumlah 1,5 miliar ton ke alam bebas.

Menurut International Energy Authority: World Energy Outlook, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 miliar ton. Angka itu menunjukkan produksi semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan berbagai sumber. Tampaknya proporsi ini akan terus bertahan atau bahkan meningkat sesuai dengan peningkatan produksi semen kalau tidak ada perubahan berarti dalam teknologi produksi semen atau didapatkan bahan pengganti semen. Pada tahun 2010, diperkirakan total produksi semen di dunia mencapai angka 2,2 miliar ton.

Merujuk pada besarnya sumbangan industri semen terhadap total emisi karbon dioksida, perlu segera dicarikan upaya untuk bisa menekan angka produksi gas yang mencemari lingkungan ini. Tampaknya perbaikan teknologi produksi semen tidak terlalu bisa diharapkan dapat menekan produksi karbon dioksida

secara signifikan. Penggantian sejumlah bagian semen dalam proses pembuatan beton, atau secara total menggantinya dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan menjadi pilihan yang lebih menjanjikan.

Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada, VM Malhotra, memelopori riset penggunaan abu terbang (fly ash) dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65 persen dari total semen Portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan beton. Sebelumnya banyak peneliti menggunakannya hanya dalam proporsi kecil.

Abu terbang adalah abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Adanya kalsium hidroksida dalam beton selama ini ditengarai sebagai sumber perusak beton sebelum waktunya, khususnya bila beton berada di lingkungan yang agresif. Karenanya, penambahan atau penggantian sejumlah semen dengan abu terbang berpotensi menambah keawetan beton tersebut. Selama ini abu terbang tidak dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, sehingga memiliki potensi mencemari lingkungan.

Upaya yang dipelopori Malhotra dan kawan-kawan ini tampaknya memberikan hasil menjanjikan. Beton yang dihasilkan ternyata menunjukkan tenaga tekan tinggi serta memiliki sifat keawetan (durability) lebih baik dibanding beton biasa yang sepenuhnya menggunakan semen Portland. Upaya ini dikembangkan lebih lanjut dengan pemanfaatan bahan-bahan sisa lainnya yang mempunyai kandungan oksida silika tinggi seperti silica fume, slag atau bahkan abu sekam dan jerami.

Dari konferensi Concrete 2001 yang diselenggarakan di Perth, Australia, belum lama ini, dilaporkan penggunaan HVFA (high volume fly ash) concrete atau beton dengan kandungan abu terbang tinggi pada sejumlah proyek infrastruktur, demikian pula penggunaan bahan buangan lain seperti slag. Beton tersebut dilaporkan menunjukkan hasil memuaskan di lapangan. Dalam waktu singkat di masa mendatang, penggunaan beton jenis ini diperkirakan akan meningkat dengan cepat. Selain lebih ramah lingkungan, mengurangi jumlah energi yang diperlukan karena berkurangnya pemakaian semen, lebih awet dan lebih murah, bahan ini juga tetap menunjukkan perilaku mekanik memuaskan.

Perkembangan mutakhir yang menjanjikan adalah penggunaan abu terbang sepenuhnya sebagai pengganti semen lewat proses yang disebut polimerisasi anorganik (kadang disebut geopolimer) yang dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Prof. Joseph Davidovits, sekitar 20 tahun lalu.

Geopolimer semen, demikian nama yang diberikan, menjadi harapan utama mereduksi penggunaan semen untuk keperluan pembangunan infrastruktur. Setidaknya untuk pembuatan beton pracetak. Walaupun tahapan yang harus dilalui untuk memasalkan penggunaan teknologi ini masih jauh, setidaknya hasil riset yang ada selama ini menunjukkan hasil menjanjikan. Saat ini, riset beton geopolimer giat dilakukan di sejumlah lembaga riset atau universitas khususnya di Prancis, Amerika Serikat dan Australia.

Tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Cina (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton) dan India (40 miliar ton). Produksi abu ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Cina sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu di tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton.

Tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Abu terbang ini sendiri, kalau tidak dimanfaatkan juga bisa menjadi ancaman bagi lingkungan. Karenanya dapat dikatakan, pemanfaatan abu terbang akan mendatangkan efek ganda pada tindak penyelamatan lingkungan, yaitu penggunaan abu terbang akan memangkas dampak negatif kalau bahan sisa ini dibuang begitu saja dan sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland dalam pembuatan beton.

Mengingat terbatasnya bahan baku dan kondisi lingkungan hidup yang makin merosot, maka diperlukan inovasi untuk menghasilkan material konstruksi yang murah, hemat energi dalam proses produksinya, memiliki sifat keawetan yang tinggi serta sedikit menghasilkan karbon dioksida atau bahan-bahan berbahaya lainnya.

Pembuatan semen geopolimer dapat mereduksi hingga 80 persen jumlah karbon dioksida yang dihasilkan dari proses pembuatan semen biasa (semen Portland). Bahkan para peneliti dari Universitas Melbourne, Australia, di bawah pimpinan Prof. J Van Deventer mengemukakan hasil riset mereka bahwa beton geopolimer dapat dimanfaatkan untuk memasung ('immobilise') bahan-bahan berbahaya yang mengandung radioaktif maupun bahan-bahan beracun lain, seperti tailing. Dalam laporan penelitian disebutkan hampir semua bahan buangan industri yang mengandung unsur-unsur silika dan alumina bisa dibuat menjadi semen geopolimer.

Kenyataan bahwa semen geopolimer dapat diproduksi dari bahan-bahan buangan atau limbah industri, mengurangi emisi karbon dioksida secara amat signifikan, memiliki sifat keawetan unggul dan mampu memasung bahan-bahan beracun, mengukuhkannya sebagai material konstruksi masa depan.

Saat ini belum semua sifat fisik dan mekaniknya dipahami dengan baik. Sehingga para peneliti berupaya mengenali perilakunya lewat sejumlah riset yang dilakukan. Bila perilaku fisik dan mekaniknya telah dikenali dengan baik, produk-produk aplikasinya di bidang infrastruktur dapat diwujudkan dengan mudah.

### **Daftar Pustaka**

1. Anonim. 2007. Semen. [online]: "<http://id.wikipedia.org/wiki/Semen>"
2. Anonim. 2007. Cement. [online]: "<http://en.wikipedia.org/wiki/Cement>"
3. Anonim. 2007. Portland Cement. [online]: "[http://en.wikipedia.org/wiki/Portland\\_cement](http://en.wikipedia.org/wiki/Portland_cement)"
4. Anonim. 2007. Production Line. [online]: "[www.cimnat.com.lb/Production](http://www.cimnat.com.lb/Production)"

- a. Anonim. 2000. Kajian Terhadap Semen Sebagai Calon Barang Kena Cukai Dalam Rangka Ekstensifikasi Obyek BKC. [online]:”<http://www.beacukai.go.id/library/data/Semen>”
5. Dedy Eka. P. 2007. Semen Dari Sampah. [online]:”<http://www.pmiij.org>”

-----