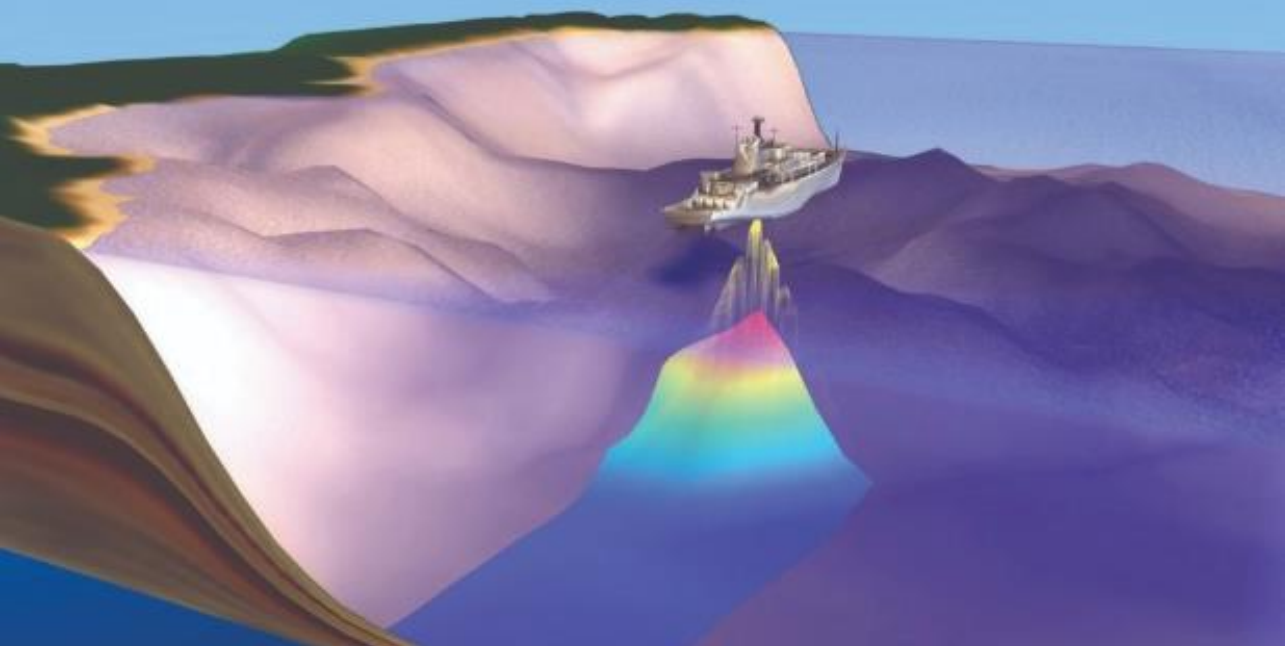


Survei Pencarian Bawah Laut



Poerbandono &
Gabriella Alodia

Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-undang
Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang mengutip Sebagian ataupun seluruh buku ini dalam bentuk
apa pun tanpa izin dan penulis dan penerbit.

Survei Pencarian Bawah Laut

Penulis : Poerbandono & Gabriella Alodia
Penyunting : Feri Anugerah
Pewajah Isi & Sampul : Anggoro

KATALOG DALAM TERBITAN (KDT)

Survei Pencarian Bawah Laut / Poerbandono & Gabriella Alodia;
Feri Anugerah (peny.).—Ed.1.—Cet.1.—Bandung;
ITB Press, 2018
(xi, 87 hlm.); 17,6 x 25 cm

ISBN: 978-602-5417-21-4



Gedung Perpustakaan Pusat ITB, Lantai Basemen
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Jawa Barat
Telp. 022 2504257. Fax. 022 2534155
e-mail : office@itbpress.itb.ac.id
web : www.itbpress.itb.ac.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA(1)
APPTI No. 005.062.1.10.2018

PENGANTAR

Buku ini berasal dari kumpulan bahan paparan dan catatan pelatihan yang berisi gagasan, istilah, dan penjelasan tentang pengetahuan hidrografi yang disusun bagi para perwira siswa di Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan (BASARNAS) Republik Indonesia pada tahun 2015 dan 2016. Untuk menjadikannya sebuah buku banyak perbaikan yang dilakukan terhadap kumpulan bahan paparan dan catatan tersebut, seperti penambahan informasi pelengkap dan penyusunan paragraf-paragraf transisi, termasuk gambar-gambar baru yang dilakukan sedemikian rupa agar cerita menjadi lebih mengalir dan pengetahuan yang disampaikan menjadi lebih utuh.

Penulis berkeinginan agar dengan buku ini para pembaca dapat mengenali hal-hal (istilah, definisi, dan konsep) dalam survei dan pemetaan laut, khususnya penentuan posisi horisontal dan penentuan kedalaman dasar perairan dan prinsip-prinsip dasar, sistem, dan cara kerja peralatan pendukung survei, pengukuran, dan pemetaan laut, khususnya sistem sonar aktif, serta teknologi penentuan posisi, pemeruman, dan pencitraan.

Hal lain yang menjadi informasi kunci dalam buku ini adalah ilustrasi penggunaan pengetahuan dan teknologi hidrografi dalam operasi pencarian di laut yang muncul pada beberapa bagian tulisan. Ilustrasi tersebut disusun sebagai hasil dari pelajaran yang dipetik oleh rekan-rekan dan tim dari Asosiasi Kontraktor Survei Laut Indonesia (AKSLI) berdasarkan pengalaman (*lesson learned*) mendukung misi pencarian dan penyelamatan yang dilaksanakan BASARNAS di awal tahun 2015 yang lalu.

Untuk memastikan pemahaman yang lebih baik, tulisan ini dilengkapi juga dengan skema, gambar, atau diagram untuk menggamblangkan penjelasan. Secara khusus, penulis berharap bahwa para pembaca dapat memperoleh penjelasan secara konseptual tentang langkah-langkah kerja pemanfaatan peta laut dan peralatan survei dan pemetaan laut untuk menentukan posisi objek di peta dari koordinat yang diketahui, diberikan, atau diperkirakan, dan merekonstruksi posisi di peta untuk ditemukan di lapangan (*stake out*), serta menginterpretasi objek berdasarkan data dan/atau informasi yang diperoleh dari peralatan-peralatan survei bawah air, khususnya perum gema dan *side scan sonar*.

Labih jauh, penulis menyarankan agar para pembaca buku ini sebaiknya adalah mereka yang telah memiliki pengetahuan pendahulu, khususnya dalam penentuan posisi, survei, dan pemetaan. Atau, mereka yang telah melakukan pekerjaan terkait penentuan posisi, survei, dan

pemetaan yang memerlukan penyegaran pengetahuan dan konsep tentang metode yang telah diterapkan di lapangan.

Bandung & Leeds, 17 Agustus 2018

Poerbandono & Gabriella Alodia

UCAPAN TERIMA KASIH

Buku ini lahir karena campur tangan banyak pihak yang menyemangati penulis untuk mengumpulkan bahan, menyusun kalimat, membuat gambar, menata letak, menguji baca, mencetak coba, dan menerbitkannya dengan dukungan Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB) di Institut Teknologi Bandung (ITB). Penulis menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan dan pihak-pihak yang telah banyak terlibat baik langsung maupun tidak terhadap terbitnya buku ini. Secara khusus ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan perwira siswa BASARNAS atas pertanyaan dan keingintahuannya dalam kesempatan beberapa kali pelatihan. Terima kasih juga disampaikan untuk sejawat di PT Mahakarya Geo Survey di Jakarta atas organisasi penyelenggaraan yang memungkinkan penulis berinteraksi dengan para praktisi survei pencarian di laut.

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Ucapan Terima Kasih	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
1 Pendahuluan	1
2 Survei dan Pemetaan Laut	5
2.1. Posisi di Laut: Sistem Koordinat dan Proyeksi	9
Sistem Koordinat Geodetik	9
Sistem Proyeksi <i>Mercator</i>	13
Sistem Proyeksi <i>Universal Transverse Mercator</i>	14
2.2. Kedalaman: Sistem Tinggi dan Muka Surutan	18
Sistem Tinggi	18
Muka Surutan	20
2.3. Peta Laut	22
Kedalaman di Peta Laut	24
Posisi Horisontal di Peta Laut	27
3 Teknologi Survei	31
3.1. Penentuan Posisi Horisontal di Laut	34
Jarak Elektromagnetik	34
GPS (<i>Global Positioning System</i>)	36
Kompas Giro (<i>Gyrocompass</i>)	37
IMU (<i>Inertial Measurement Unit</i>)	39

3.2. Pengukuran Kedalaman dan Pencitraan Dasar	
Perairan.....	41
Jarak Akustik.....	41
Perum Gema (<i>Echo Sounder</i>).....	43
Sonar Pemindai Sisi (<i>Side Scan Sonar</i>).....	45
USBL (<i>Ultra Short Base Line</i>).....	47
4 Instalasi Peralatan	51
5 Operasi Survei.....	57
5.1. Survei Batimetri.....	61
5.2. Survei SSS.....	65
5.3. Survei Pencarian	69
6 Penyajian Data dan Interpretasi Informasi	75
6.1. Data Batimetri.....	77
6.2. Citra Dasar Laut.....	79
6.3. Interpretasi Objek Bawah Air	81
Daftar Pustaka	85
Tentang Penulis.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Letak benda tenggelam pada posisi xy dan kedalaman d di bawah kedudukan kapal di muka laut	3
Gambar 2	Sistem koordinat geodetik: X-Y-Z, $\lambda\phi h$, dan ENU	9
Gambar 3	Posisi ujung tiang perahu P dalam sistem koordinat ENU	10
Gambar 4	Bangun elipsoid yang digunakan untuk menyatakan kedudukan titik P dalam λ dan ϕ	12
Gambar 5	Proyeksi peta dengan bantuan bangun silinder tegak; Titik P di muka bumi dipindahkan menjadi P' di bidang proyeksi silinder tegak	14
Gambar 6	Proyeksi peta dengan bantuan bangun silinder <i>Transverse Mercator</i> ; Titik-titik di muka bumi yang berada di meridian sentral menempel pada bidang proyeksi silinder tidur.....	15
Gambar 7	Pembagian zona proyeksi <i>Universal Transverse Mercator</i>	16
Gambar 8	Sistem koordinat proyeksi <i>Universal Transverse Mercator</i>	17
Gambar 9	Permukaan bumi dan hubungannya dengan muka laut rata-rata (MSL), geoid, dan elipsoid...	19
Gambar 10	Konfigurasi pemeruman untuk memperoleh data kedalaman	21
Gambar 11	Lembar Peta Laut Indonesia Nomor 79 pemutakhiran tahun 2010.....	23
Gambar 12	Contoh informasi garis pantai, kedalaman perairan, dan objek lainnya di dasar laut pada Peta Laut Indonesia Nomor 79 pemutakhiran tahun 2010	25
Gambar 13	Hubungan antara kedudukan kedalaman perairan di peta laut dan benda yang terapung di	

	muka laut dengan sistem tinggi dan muka surutan	26
Gambar 14	Penyajian posisi objek di peta laut	27
Gambar 15	Prinsip penentuan posisi horisontal dalam navigasi laut.....	29
Gambar 16	Pangkal teknologi pendukung hidrografi (Poerbandono, 2015a).....	32
Gambar 17	Jarak elektromagnetik R terpengaruh oleh penandaan waktu, lintasan orbit, dan atmosfer ...	35
Gambar 18	Unsur-unsur sistem penentuan posisi GPS menggunakan koreksi diferensial.....	36
Gambar 19	Prinsip kerja kompas giro (dimodifikasi dari Encyclopedia Britannica, 2011).....	38
Gambar 20	Gerakan dan putaran wahana terhadap sumbu-sumbu x , y , dan z	40
Gambar 21	Selang waktu suara dan gema dipakai untuk deteksi jarak, sedangkan tenaga gema (EL) dipakai untuk menduga kekasaran dan kekerasan target (TS).....	42
Gambar 22	Perum gema	44
Gambar 23	<i>Towfish</i> SSS.....	46
Gambar 24	Pencitraan dasar perairan dengan SSS yang menghasilkan terang-gelap yang berbeda untuk jenis pemantul yang berbeda pula.....	46
Gambar 25	Transiver dan transponder.....	47
Gambar 26	Sistem penentuan posisi bawah air	48
Gambar 27	USBL dilekatkan pada target di bawah air untuk penentuan posisi objek bawah air relatif terhadap posisi kapal.....	50
Gambar 28	Contoh diagram <i>offset</i> horisontal dan vertikal kapal; <i>Center of Gravity</i> (CoG) pada diagram ini berada di tengah kapal	53
Gambar 29	Contoh diagram integrasi peralatan survey; <i>Topside</i> : bagian dari instrumen yang diletakkan di ruang survei. <i>Time-stamp port</i> : menyamakan interval pengamatan seluruh peralatan ukur. <i>Network switch</i> : menghubungkan seluruh peralatan ukur dengan komputer.	54
Gambar 30	Kesalahan-kesalahan pengukuran	56

Gambar 31	Ketidakpastian data pengukuran posisi horisontal dan vertikal pada rentang kedalaman 0-100 m dengan orde survei yang berbeda.....	60
Gambar 32	Contoh desain lajur perum pada daerah pelabuhan.....	62
Gambar 33	Pengambilan data kedalaman pada suatu lajur perum.....	63
Gambar 34	Garis kontur kedalaman yang ditarik dari sebaran data kedalaman	64
Gambar 35	Model dasar laut.....	64
Gambar 36	Kedalaman SSS dan posisinya terhadap kapal	65
Gambar 37	Pendugaan tinggi target dengan SSS	66
Gambar 38	Rencana lajur survei SSS (AKSLI, 2015)	67
Gambar 39	Mosaik citra SSS (AKSLI, 2015).....	68
Gambar 40	Gerakan SSS di buritan kapal berpengaruh pada hasil survei	68
Gambar 41	Anomali kedalaman	70
Gambar 42	Cakupan minimum untuk survei pencarian bawah air dengan MBES dan SSS	71
Gambar 43	Perancangan lajur pencarian dari dugaan posisi benda yang dicari (Poerbandono, 2015b)	72
Gambar 44	Perkiraan tinggi objek anomali kedalaman (Poerbandono, 2015b).....	74
Gambar 45	Angka-angka yang merupakan data yang menunjukkan kedalaman.....	76
Gambar 46	Visualisasi data kedalaman untuk keperluan interpretasi	76
Gambar 47	Data dan titik-titik kedalaman dari MBES	78
Gambar 48	Anomali kedalaman yang divisualisasikan sebagai <i>point cloud</i> (AKSLI, 2015)	78
Gambar 49	Garis citra SSS dari pindaian objek, bayangan objek, dan sedimen sekitarnya	80
Gambar 50	Tanda kontak sonar pada sebuah mosaik citra SSS (AKSLI, 2015)	80
Gambar 51	Deteksi jarak dan kekerasan objek bawah air dengan sonar	82

1

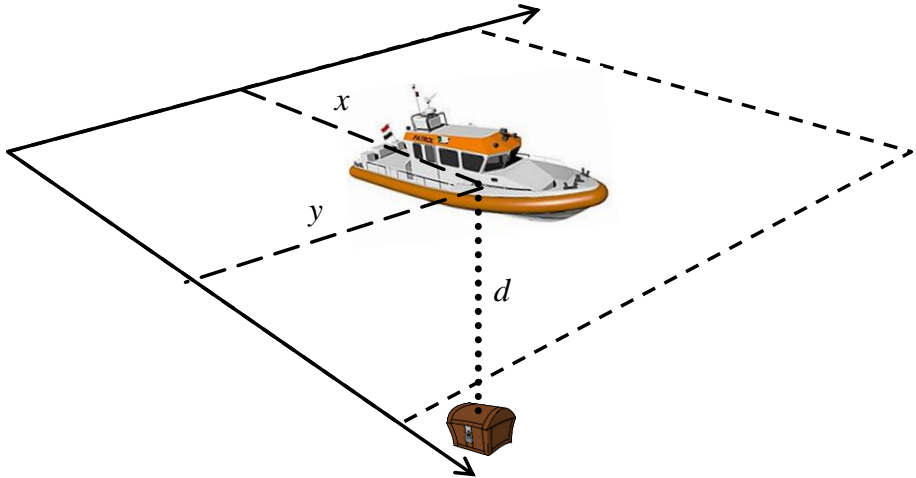
PENDAHULUAN



Di laut, manusia memiliki keterbatasan dalam berkegiatan, karena laut bukanlah habitat alaminya. Teknologi, khususnya pengindera (sensor) dan wahana apung, diciptakan dan dikembangkan untuk mendukung kegiatan manusia dalam mengeksplorasi laut serta mengeksploitasi sumber dayanya. Untuk kepentingan eksplorasi, pengetahuan tentang bagian bumi yang ditutupi laut, adalah informasi kunci dalam mengungkap karakteristik dasar laut, dinamika kolom air di atasnya, dan perilaku muka laut. Karenanya, kinerja teknologi sensor, khususnya untuk deteksi objek-objek bawah perairan secara akurat perlu dipahami dengan baik. Pemahaman tentang kinerja teknologi sensor memerlukan pengetahuan tentang konsep penginderaan (*sensing*) bawah air beserta sub-sistem teknologi lainnya yang terkait dalam sistem perekayasaan eksplorasi laut.

Sistem pengindera bawah air utamanya mengandalkan teknik hidroakustik (penggunaan gelombang suara dalam air) untuk melakukan deteksi. Ada dua tugas penting deteksi bawah air dengan teknik hidroakustik, yakni: (1) pengukuran jarak dan (2) pengamatan intensitas. Integrasi pengukuran jarak akan memberikan informasi tentang posisi dan bentuk suatu objek di bawah air. Intensitas akustik yang diterima sensor akan memberikan informasi tentang jenis objek yang dideteksi. Kombinasi hasil dari kedua tugas hidroakustik tersebut akan memberikan gambaran yang utuh tentang objek bawah air yang tidak 'terlihat' secara visual. Perolehan gambaran ini masih belum bisa ditandingi oleh teknologi lainnya, seperti deteksi dengan sensor elektromagnetik. Oleh karena itu, untuk sebuah misi pencarian di bawah laut, hingga kini teknologi hidroakustik masih sangat diandalkan karena efektivitasnya yang baik.

Sebuah misi operasi pencarian bawah laut bertujuan untuk menemukan posisi benda yang tenggelam di bawah permukaan air dan tergeletak di dasar laut (Gambar 1). Benda tersebut tidak terlihat dari atas permukaan laut. Melalui kegiatan survei pencarian, diharapkan letak benda tenggelam yang dimaksud dapat ditentukan dengan menetapkan kedalaman dari dan kedudukannya di muka laut.



Gambar 1 Letak benda tenggelam pada posisi xy dan kedalaman d di bawah kedudukan kapal di muka laut

Selain itu, survei pencarian juga harus memastikan bahwa benda tenggelam yang letaknya ditentukan tersebut merupakan benda yang dicari. Proses menemukan, menentukan lokasi, dan memastikan benda tenggelam yang dicari memerlukan dukungan sumber daya manusia, teknologi peralatan (termasuk wahana apung dan sensor-sensor), organisasi lapangan, dan dukungan logistik. Oleh karena itu, penguasaan prosedur dan teknologi pencarian bawah air akan menjadi salah satu kunci yang menentukan kecepatan sebuah misi operasi pencarian bawah laut.

Komunitas survei laut di Indonesia pernah mendapatkan pengalaman yang sangat berharga dari sebuah peristiwa sedih di pergantian tahun 2014 dan 2015 yang lalu di Laut

Jawa. Setelah tujuh hari pencarian (termasuk dua hari perjalanan dari Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta), di bawah koordinasi Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan (BASARNAS) tim survei laut multi-nasional berhasil mendekati lokasi jatuhnya sebuah pesawat komersial yang dinyatakan hilang sejak akhir Desember 2014. Selama sembilan hari berikutnya, tim pencari mendapatkan tanda-tanda penting dari sensor-sensor sonar (yang bekerja dengan prinsip-prinsip hidroakustik) yang mengarah pada petunjuk menuju lokasi-lokasi bagian-bagian pesawat yang dinyatakan hilang (Poerbandono, 2015c). Pengalaman ini menjadi pengetahuan penting yang melahirkan ‘prosedur’ dalam misi operasi pencarian bawah air yang akan diulas menjelang bab terakhir (Bab 5) di buku ini.

Sebelum menuju ke prosedur dalam misi operasi pencarian bawah air, buku ini dimulai dengan bagian pendahuluan (di bab ini) yang dilanjutkan dengan uraian singkat tentang survei (dan pemetaan) laut (Bab 2), yang kemudian diikuti oleh ringkasan tentang teknologi survei (Bab 3), dan instalasi peralatan survei pada wahana apung (Bab 4). Menutup buku ini, pada bab terakhir (Bab 6) diuraikan bagian puncak dari sebuah misi operasi pencarian, yakni interpretasi data yang diperoleh dari sensor-sensor sonar.

2

SURVEI DAN PEMETAAN LAUT



Bagi sebuah negara pantai seperti Indonesia, sektor industri survei laut merupakan penjamin bagi keselamatan dan keamanan investasi untuk pembangunan industri maritim. Definisi dan lingkup sektor kegiatan di laut – yang melibatkan hidrografi di dalamnya– memperlihatkan implikasi yang kuat akan produk-produk survei dan pemetaan laut terhadap kegiatan kemaritiman.

Survei laut merupakan kegiatan untuk mendapatkan data tentang karakteristik bagian-bagian laut. Data yang didapatkan dari survei digunakan untuk menjelaskan fenomena bagian laut yang disurvei. Salah satu tujuan survei laut adalah untuk memetakan laut. Hasil yang

diperoleh dari survei untuk tujuan pemetaan laut adalah peta yang menggambarkan bentuk dasar perairan. Informasi tentang bentuk dasar perairan tersebut dapat pula dilengkapi dengan informasi lainnya, seperti jenis dasar perairannya dan objek-objek penting di atas dasar perairan misalnya pipa dan kabel laut atau bangkai kapal tenggelam yang dapat membahayakan kapal yang berlayar di atasnya.

Survei laut merupakan kegiatan rutin otoritas nasional yang berkewenangan untuk memetakan bagian-bagian perairan di wilayah yurisdiksi perairan negara yang bersangkutan dan/atau memperbaharui peta-peta laut yang sudah ada. Pembaharuan peta diperlukan mengingat dengan berjalannya waktu, bentuk dasar perairan dapat berubah. Secara akademik, pelaksana pekerjaan survei laut untuk tujuan pemetaan memerlukan sumber daya manusia dengan latar belakang disiplin ilmu terapan hidrografi.

Oleh *International Hydrographic Organization (IHO)*, hidrografi didefinisikan sebagai *branch of applied sciences which deals with the measurements and description of the physical features of oceans, seas, coastal areas, lakes and rivers, as well as with the prediction of their change over time, for the primary purpose of safety of navigation and in support of all other marine activities, including economic development, security and defence, scientific research, and*

environmental protection (<http://iho.int>). Produk utama survei untuk kegiatan pemetaan dalam hidrografi adalah informasi tentang kedudukan benda yang dinyatakan sebagai posisi.

Kegiatan hidrografi melingkupi sekurang-kurangnya tujuh sektor kegiatan di laut sebagai berikut:

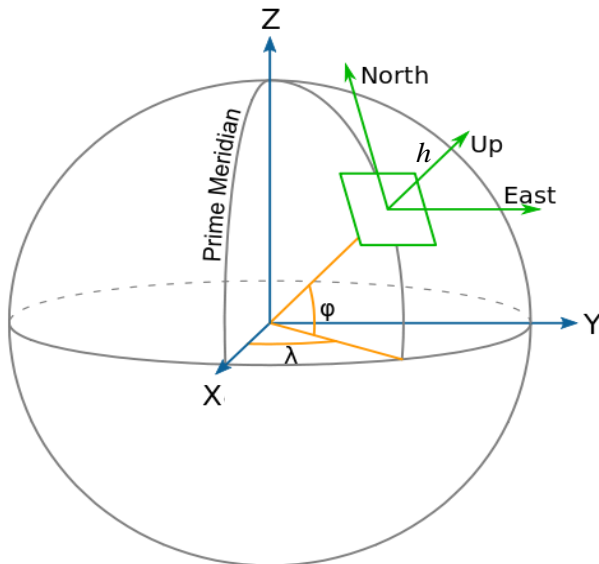
1. Pemetaan navigasi laut (*nautical charting*) – Peta navigasi laut (*nautical chart*) adalah produk resmi negara yang –di Indonesia– otoritasnya ditugaskan oleh negara kepada Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI-AL (Pushidrosal). Bidang ini merupakan keahlian khusus bagi para perwira TNI-AL Profesi Hidrografi;
2. Hidrografi militer (*military hydrography*) – Hidrografi militer ditujukan sebagai pendukung pendaratan amfibi, invasi marinir, operasi kapal selam, dan *underwater counter-measure* atau deteksi kapal selam lawan;
3. Pemetaan perairan pedalaman (*inland water mapping*) – Pemetaan perairan pedalaman meliputi pemodelan sistem keairan Daerah Aliran Sungai dan pemetaan navigasi sungai-sungai besar yang digunakan untuk pelayaran;

4. Pendukung pengelolaan pesisir dan pelabuhan (*support to port and coastal management*) – Bidang ini merupakan pemasok data dan informasi untuk kepentingan perencanaan dan pemeliharaan pantai dan pelabuhan;
5. Penginderaan jauh (*remote sensing*) – Penginderaan jauh hidrografi diutamakan untuk penyelenggaraan infrastruktur muka laut khususnya pemanfaatan data satelit altimetri untuk penentuan datum hidrografi;
6. Survei seismik (*seismic survey*) – Dalam survei seismik, surveyor hidrografi berperan sebagai pemandu navigasi (*pilot*) untuk penentuan posisi teliti penginderaan dan interpretasi seismik;
7. Survei industri lepas pantai (*offshore industrial survey*) – Bidang ini mendukung perencanaan operasi laut dan perancangan infrastruktur lepas pantai termasuk kegiatan pengawasan, perbaikan, dan pemeliharaan struktur bawah air.

2.1. Posisi di Laut: Sistem Koordinat dan Proyeksi

Sistem Koordinat Geodetik

Posisi sebuah benda di laut didefinisikan menurut suatu sistem koordinat geodetik. Sistem koordinat geodetik yang perlu diketahui untuk digunakan dalam mendefinisikan posisi dapat berupa (1) sistem koordinat tiga dimensi yang berpusat di pusat massa bumi XYZ, (2) sistem koordinat $\lambda\phi h$ (Lintang-Bujur-Tinggi) dan (3) sistem koordinat toposentrik ENU (*East, North, Up*) (Gambar 2).



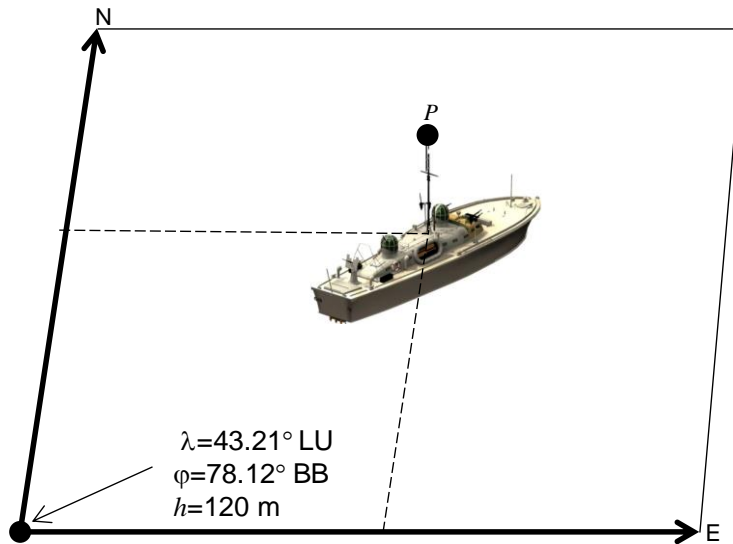
Gambar 2 Sistem koordinat geodetik: X-Y-Z, $\lambda\phi h$, dan ENU

Jika misalnya, posisi sebuah benda hendak didefinisikan posisinya pada sistem koordinat ENU, maka titik pusat sistem koordinat ENU tersebut harus terlebih dahulu didefinisikan. Pada Gambar 3 ditunjukkan posisi ujung tiang perahu P pada sistem koordinat ENU dengan titik pusat pada sistem koordinat $\lambda\phi h$ sebagai $\lambda = 43.21$ Lintang Utara (LU), $\phi = 78.12$ Bujur Barat (BB), dan $h = 120$ m. Jika P didefinisikan dalam sistem koordinat XYZ, ENU, dan $\lambda\phi h$ akan diperoleh posisi-posisi sebagai berikut:

$X = 958506,01$ m, $Y = 4556367,36$ m, $Z = 4344627,16$ m

$E = 10$ m, $N = 10$ m, $U = 4$ m

$\lambda = 43,21009^\circ$ LU, $\phi = 78,120123^\circ$ BB, $h = 124$ m

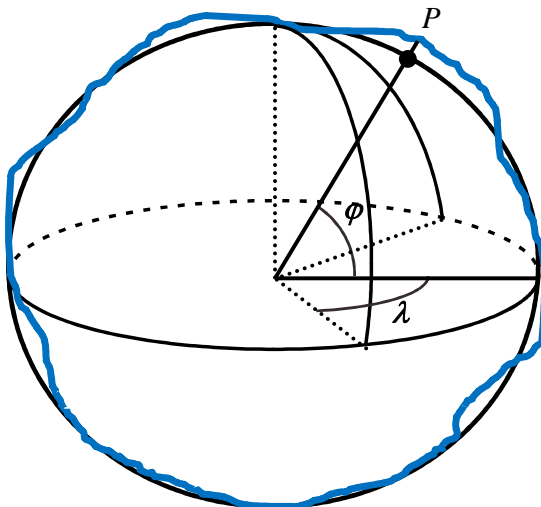


Gambar 3 Posisi ujung tiang perahu P dalam sistem koordinat ENU

Untuk kepentingan praktis, posisi objek yang dinyatakan dalam sistem koordinat $\lambda\phi h$ lebih disukai karena kesederhanaan pendefinisian dan kemudahan penggunaannya. Sistem koordinat ini memanfaatkan meridian utama (*prime meridian*) atau meridian nol, yaitu meridian yang melalui Greenwich dan ekuator (*equator*), sebagai acuan untuk mendefinisikan lintang dan bujur (Gambar 2). Lintang geodetik dari suatu titik (misalnya P) adalah sudut dari bidang ekuator ke arah vertikal dari garis normal yang melalui titik tersebut. Bujur geodetik suatu titik adalah sudut antara meridian utama dan suatu bidang meridian yang melalui titik, yang keduanya tegak lurus bidang ekuator.

Dengan demikian, setiap kedudukan benda di muka bumi dapat dinyatakan posisinya. Untuk itu, diperlukan suatu bangun menyerupai bola (seperti yang ditunjukkan di Gambar 2) untuk menyatakan kedudukan sebuah benda di permukaan bumi dalam λ , ϕ , dan h . Bangun yang menyerupai bola tersebut harus sedekat mungkin bentuknya dengan bumi yang sebenarnya. Karenanya digunakanlah elipsoid, yakni bangun yang dibentuk dari elips yang diputar dengan pusat bangun yang berimpit dengan pusat sistem koordinat XYZ (Gambar 4). Elipsoid yang disepakati untuk digunakan dalam penentuan posisi global adalah *World Geodetic System 1984 (WGS84)*.

Dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan perencanaan dan pemantauan kegiatan-kegiatan manusia yang berhubungan dengan posisi-posisi benda-benda di muka bumi, digunakanlah peta. Peta adalah gambaran atau penyajian sebagian atau seluruh karakteristik dan sumber daya permukaan bumi. Peta biasanya disajikan kepada pengguna dalam bentuk tercetak pada kertas yang disebut dengan lembar peta. Karena elipsoid mempunyai permukaan yang melengkung, maka untuk membuat lembar peta, diperlukan pemindahan posisi benda dari bidang yang melengkung tersebut ke bidang yang mendatar pada peta. Pemindahan ini disebut dengan proyeksi.

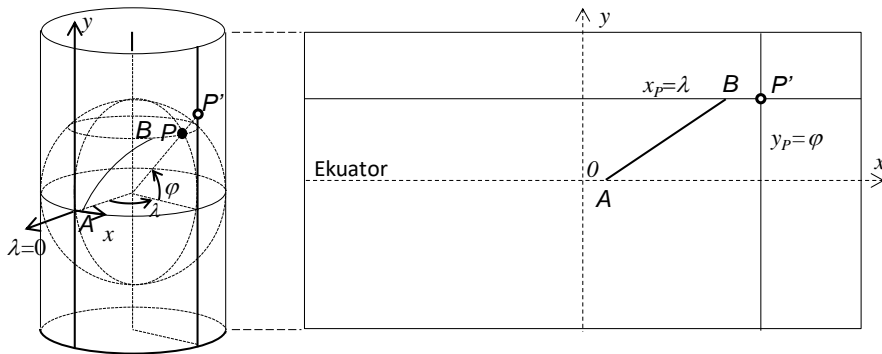


Gambar 4 Bangun elipsoid yang digunakan untuk menyatakan kedudukan titik P dalam λ dan ϕ

Sistem Proyeksi *Mercator*

Untuk pekerjaan-pekerjaan di laut, khususnya navigasi, peta dibuat dengan memanfaatkan bangun tabung (silinder) yang diselubungkan ke elipsoid. Jika tabung tersebut dibelah secara tegak, maka akan dapat diperoleh bidang mendatar yang kemudian dibuat menjadi lembar peta. Proyeksi semacam ini disebut dengan *Mercator* (Gambar 5). Titik P di permukaan elipsoid diproyeksikan ke permukaan tabung yang menyelubunginya menjadi P' (Gambar 5a). Jika tabung yang menyelubungi itu dibelah ke arah tegak, akan diperoleh bidang mendatar yang memperlihatkan posisi P' dalam x dan y . Pada lembar peta xy dapat dinyatakan gratikul yang menggunakan konvensi penamaan sistem koordinat $\lambda\phi$ dengan x sebagai bujur dan y sebagai lintang.

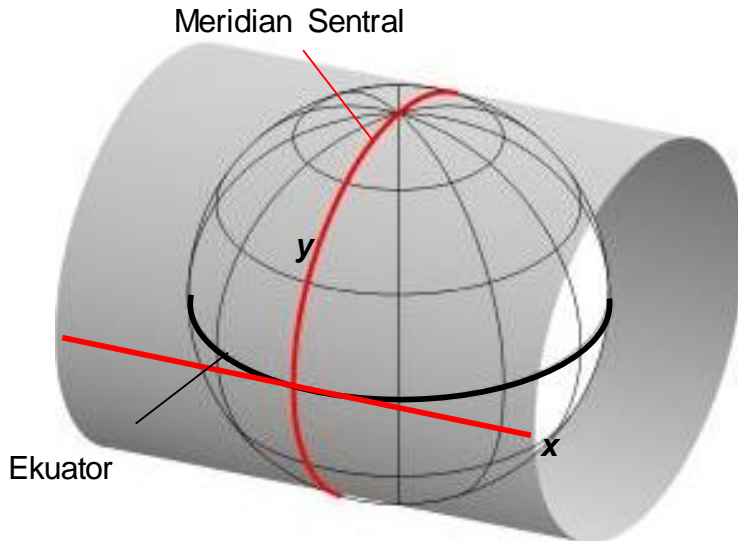
Di atas peta, proyeksi *Mercator* dapat menggambarkan *loxodrome* (lintasan yang menghubungkan dua titik di permukaan elipsoid dengan jarak terpendek) sebagai garis lurus (Gambar 5). Lintasan yang menghubungkan dua titik tersebut akan membentuk sudut terhadap garis sumbu y yang merupakan proyeksi lingkaran meridian. Sudut tersebut disebut dengan azimuth. Azimut digunakan oleh kapal pada saat berlayar untuk melintasi garis rencana jalur antar dua *waypoints* dengan cara mempertahankan haluan.



Gambar 5 Proyeksi peta dengan bantuan bangun silinder tegak; Titik P di muka bumi dipindahkan menjadi P' di bidang proyeksi silinder tegak

Sistem Proyeksi *Universal Transverse Mercator*

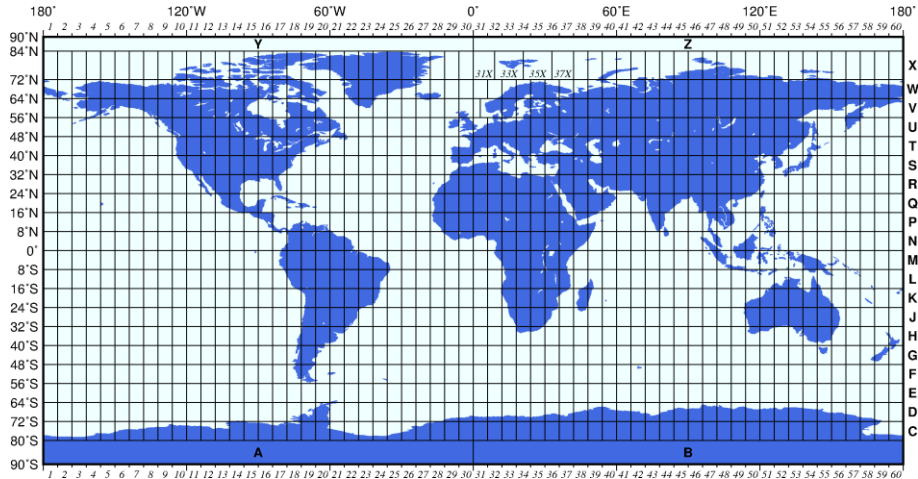
Sistem proyeksi lain yang juga lazim digunakan dalam survei dan pemetaan adalah *Universal Transverse Mercator* (UTM). Sistem proyeksi UTM menyajikan lembar peta dengan memanfaatkan bangun silinder *Mercator* yang direbahkan. Garis sentuh bangun silinder dan elipsoid diletakkan pada suatu lingkaran meridian, yakni 3° , 9° , dan seterusnya hingga 177° , sedemikian rupa sehingga setiap silinder akan menggambarkan bagian elipsoid selebar 6° (Gambar 6). Dengan demikian, seluruh permukaan elipsoid akan terbagi menjadi 60 zona. Proyeksi UTM menghasilkan konvensi lembar peta yang seragam untuk seluruh dunia (kecuali di daerah kutub). Wilayah pemakaian proyeksi UTM hanya meliputi hingga 84° LU (Lintang Utara) sampai 80° LS (Lintang Selatan).



Gambar 6 Proyeksi peta dengan bantuan bangun silinder *Transverse Mercator*; Titik-titik di muka bumi yang berada di meridian sentral menempel pada bidang proyeksi silinder tidur

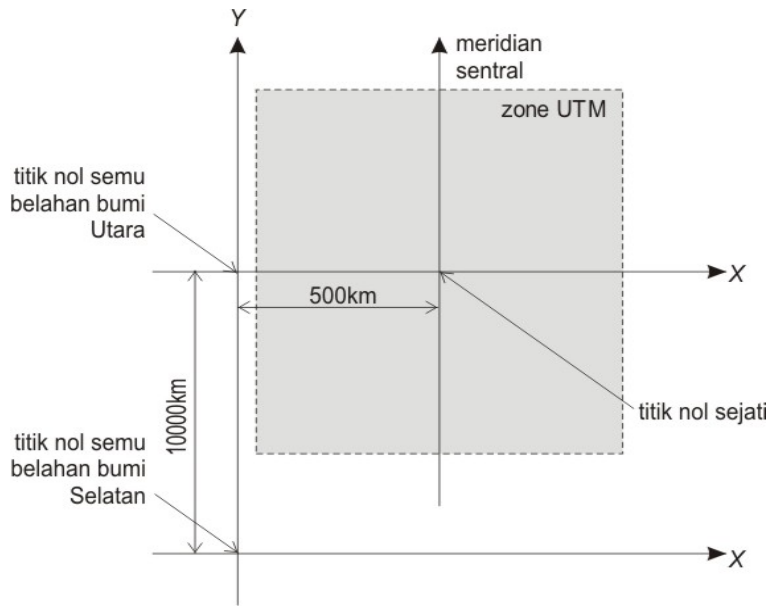
Proyeksi UTM mempunyai pembagian, penomoran dan penentuan posisi zona, faktor skala, dan sistem koordinat yang telah dibakukan untuk seluruh dunia. Penomoran zona, dimulai dari 180° BB (Bujur Barat) kemudian bergeser ke Timur sampai 180° BT (Bujur Timur) (Gambar 7). Sebagai koordinat proyeksi, ditetapkan sumbu x sebagai proyeksi lintang nol (ekuator) dan sumbu y sebagai proyeksi dari meridian sentral di setiap zona yang disebut dengan sistem koordinat yang mengacu pada titik nol sejati. Koordinat UTM dinyatakan terhadap titik nol semu, dengan $x_{SEMU} = x_{SEJATI} + 500.000$ m dan $y_{SEMU} = y_{SEJATI}$ untuk belahan bumi bagian Utara dan $y_{SEMU} =$

$y_{SEJATI} + 10.000.000$ m untuk belahan bumi bagian Selatan (Gambar 8). Konsep titik nol semu ini digunakan agar tidak ada koordinat yang bernilai negatif.



Gambar 7 Pembagian zona proyeksi *Universal Transverse Mercator*

Dengan penyajian seperti ini, maka proyeksi UTM menampilkan posisi dengan angka yang selalu positif (tidak ada penanda negatif untuk Selatan dan Barat) dan satuan koordinat posisi dalam satuan metrik yang memudahkan penghitungan jarak dengan sistem *grid* berbentuk bujur sangkar. Proyeksi UTM digunakan di Indonesia untuk menyajikan peta-peta rupabumi (*topographic maps*) dalam berbagai skala yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial.



Gambar 8 Sistem koordinat proyeksi *Universal Transverse Mercator*

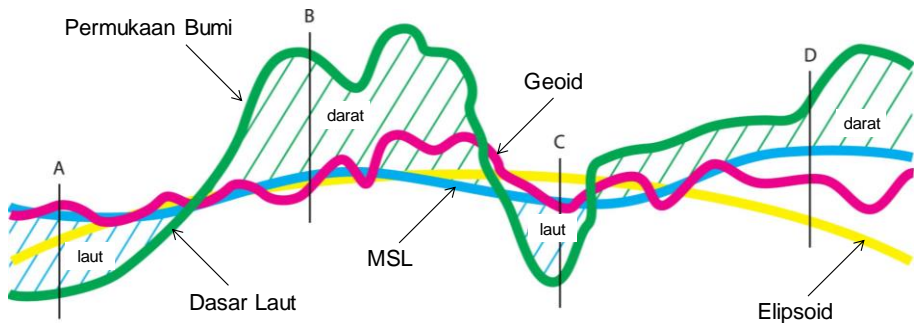
2.2. Kedalaman: Sistem Tinggi dan Muka Surutan

Sistem Tinggi

Sistem tinggi mendefinisikan acuan kedudukan benda pada sumbu 'atas-bawah'. Dalam penentuan posisi di laut, kedalaman dapat dilihat sebagai dimensi ke-3 atau h pada sistem koordinat $\lambda\phi h$ dan U pada sistem koordinat ENU. Kedalaman perairan di laut (dan ketinggian tanah di darat) mengacu ke muka laut rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL). Kedudukan MSL di suatu titik dengan posisi $\lambda\phi$ pada elipsoid tidak harus selalu berada di permukaan elipsoid tersebut. Karena, elipsoid adalah bangun matematis yang dipakai untuk mendekati bentuk bumi, sedangkan MSL adalah karakteristik fisik muka laut yang dipengaruhi banyak proses oseanografis dan meteorologis.

Ketika MSL digunakan sebagai acuan dalam pengukuran untuk penentuan beda ketinggian, maka digunakanlah bidang-bidang ekuipotensial untuk membedakan dua posisi yang berbeda ketinggiannya. Bidang ekuipotensial adalah suatu permukaan dengan gravitasi potensial yang seragam. Pada suatu bidang ekuipotensial, air tidak akan mengalir. Air akan mengalir karena bidang ekuipotensial yang berbeda. Sebagai acuan tinggi permukaan di bumi, digunakanlah bidang ekuipotensial yang secara global berimpit dengan MSL, yang disebut sebagai geoid.

Pada Gambar 9 diperlihatkan hubungan antara elipsoid, MSL, dan geoid dengan permukaan bumi (dan permukaan dasar laut). Di suatu lokasi, MSL diperoleh dengan cara pengamatan tinggi muka laut. Geoid didapatkan dari survei gravitasi dan penyesuaian ke tinggi muka laut rata-rata global. Elipsoid didefinisikan sebagai bangun terbaik yang menyerupai geoid yang dapat diidentifikasi dari data yang diperoleh dari pengamatan GNSS. Di lokasi-lokasi yang berbeda (A, B, C, dan D; Lihat: Gambar 9), akan ditemui situasi yang berbeda pula dalam hal kedudukan MSL relatif terhadap elipsoid dan geoid. Bahkan, dapat saja MSL pun tidak berimpit dengan geoid. Selisih antara MSL dengan geoid disebut dengan *Sea Surface Topography* (SST) atau *Dynamic Ocean Topography* (DOT).



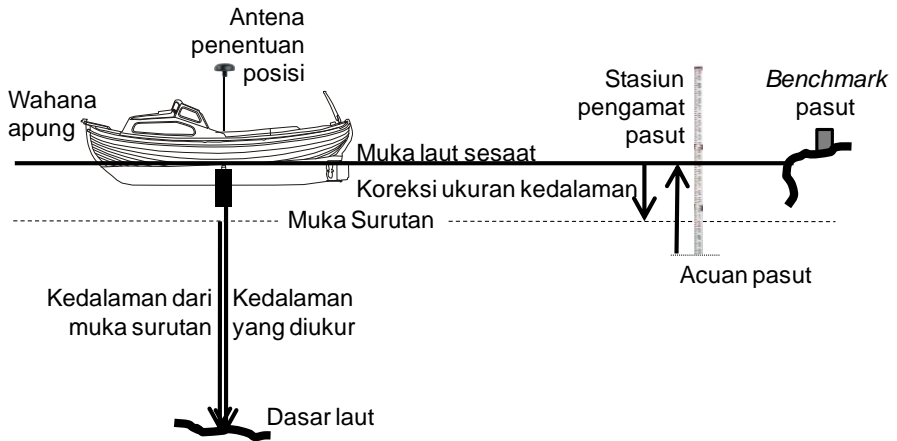
Gambar 9 Permukaan bumi dan hubungannya dengan muka laut rata-rata (MSL), geoid, dan elipsoid

Muka Surutan

Muka laut bergerak naik dan turun secara berkala (sehari sekali atau dua kali) karena pengaruh gravitasi bulan dan matahari serta benda-benda langit lainnya. Peristiwa naik dan turunnya muka laut seperti ini disebut dengan pasut. Oleh karenanya, MSL sebaiknya dihitung dari data muka laut sepanjang mungkin melalui pengamatan secara terus menerus.

Karena kedalaman ditetapkan dari muka laut sebagai acuannya dan agar kedalaman tidak berubah karena berubahnya tinggi muka laut karena pasut, maka ditetapkanlah suatu bidang acuan sebagai acuan kedalaman atau kedalaman nol. Bidang acuan kedalaman ini disebut dengan muka surutan atau *Chart Datum* (CD). Muka surutan dipilih dari kedudukan pasut terendah pada keadaan meteorologis yang biasa (normal), sedemikian rupa sehingga akan sangat jarang muka laut aktual melewatinya (jatuh di bawah kedudukan CD).

Pada Gambar 10 diperlihatkan hubungan antara kedudukan muka laut sesaat, muka surutan, dan kedalaman yang diukur (baik dari muka laut sesaat maupun dari muka surutan). Stasiun pengamat pasut memberikan informasi koreksi ukuran kedalaman untuk kedalaman yang diukur. Kedalaman terhadap muka surutan inilah yang akan ditampilkan pada lembar peta.



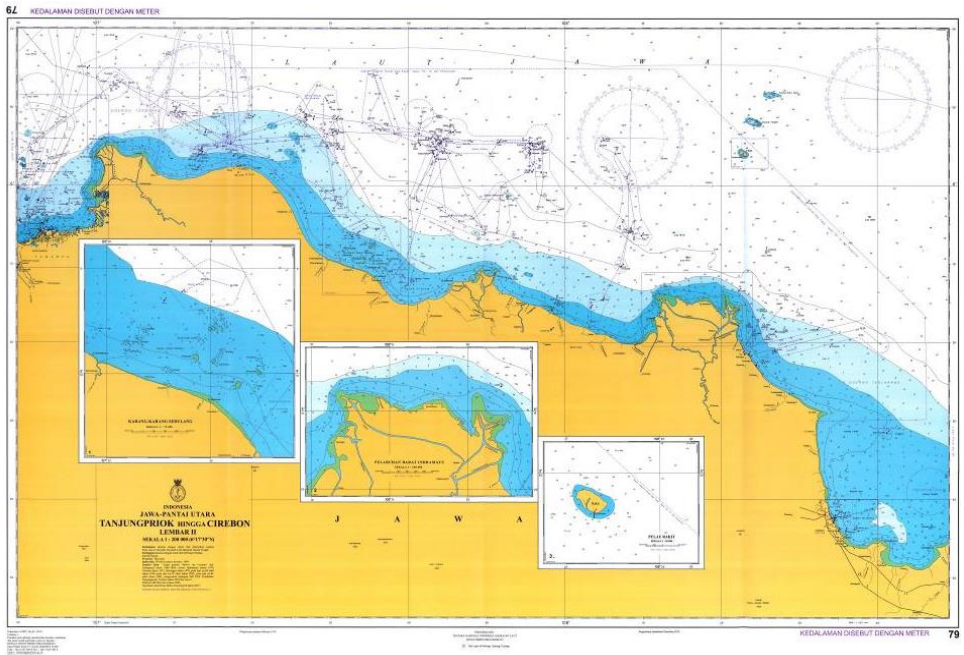
Gambar 10 Konfigurasi pemeruman untuk memperoleh data kedalaman

Untuk mendapatkan kedalaman, dilakukan pengukuran jarak tegak dari muka laut (sesaat) ke dasar perairan melalui sebuah kegiatan survei. Pada saat survei berlangsung, data kedalaman diperoleh pada suatu kedudukan muka laut sesaat. Koreksi hasil pengukuran kedalaman harus diberikan untuk memindahkan kedalaman pengukuran ke kedalaman terhadap muka surutan. Karenanya, saat pemeruman berlangsung, perubahan tinggi muka air karena pasut harus selalu diketahui.

2.3. Peta Laut

Peta navigasi laut (*nautical chart*), yang kemudian disebut sebagai peta laut, adalah pustaka kerja utama untuk semua kegiatan kemaritiman. Peta laut merupakan produk hidrografi yang proses pembuatan dan penyajiannya diseragamkan di seluruh dunia. Setiap negara pantai memiliki lembaga hidrografi nasional yang berkewenangan dalam penerbitan peta laut. Oleh karenanya peta laut merupakan sumber informasi yang resmi.

Pada Gambar 11 diperlihatkan sebuah contoh satu lembar peta laut, yaitu Peta Laut Nomor 79 untuk Pantai Utara Jawa yang mencakup Tanjungpriok hingga Cirebon. Di Gambar 11 tersebut terkandung informasi nomor lembar peta, judul peta yang memberikan keterangan tentang wilayah perairan yang dicakup, penggunaan satuan, kompas arah, kedalaman perairan, alat bantu navigasi, garis pantai, alur pelayaran, bahaya pelayaran, acuan (posisi horisontal dan kedalaman perairan), sumber data peta dan pemutakhirannya, nama-nama geografis, skala peta, gratikul (penanda posisi horisontal baik lintang dan bujur di tepi-tepi peta), dan identitas pembuat peta.



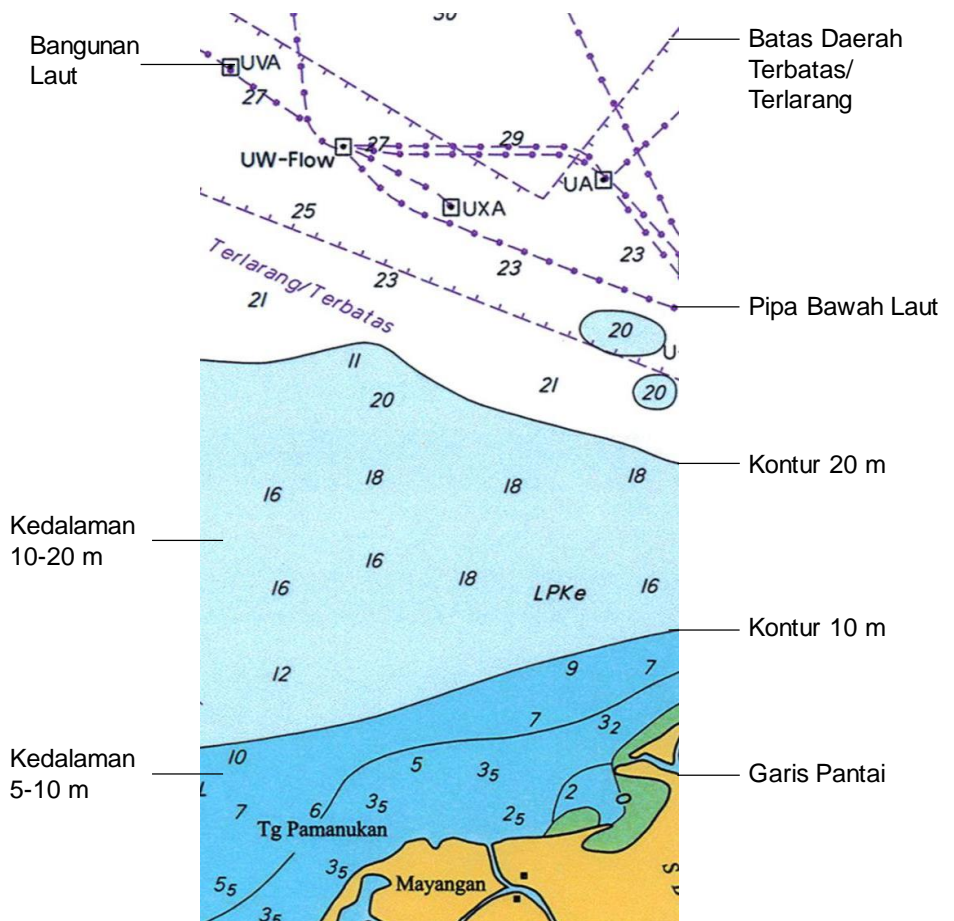
Gambar 11 Lembar Peta Laut Indonesia Nomor 79 pemutakhiran tahun 2010

Untuk dapat mengartikan simbol dan singkatan yang tampil di peta laut, pengguna harus selalu menggunakan Peta Laut Nomor 1 yang berisi arti simbol-simbol dan singkatan-singkatan tersebut. Melengkapi informasi yang tersaji di peta laut, lembaga hidrografi nasional juga menerbitkan beberapa publikasi lainnya seperti daftar pasang surut, buku pelabuhan, berita pelaut, dan terbitan-terbitan nautika lainnya. Seperti halnya peta laut, publikasi-publikasi tersebut juga dimutakhirkan secara berkala.

Kedalaman di Peta Laut

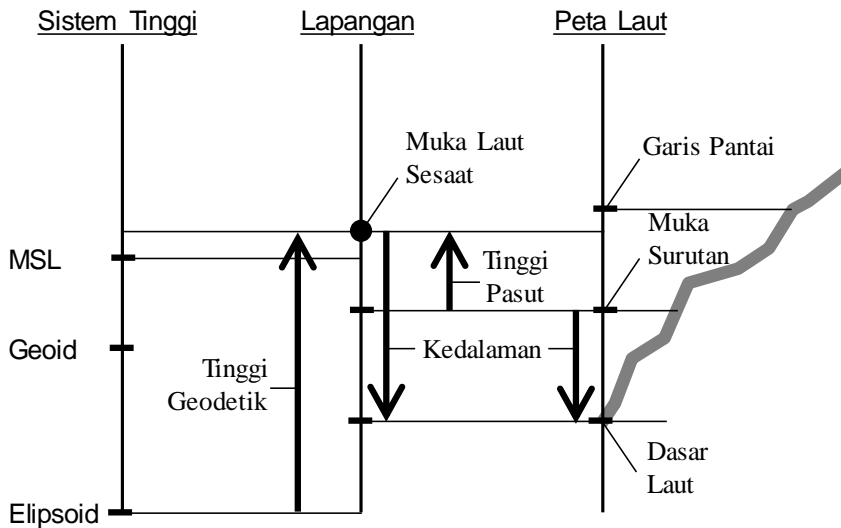
Kedalaman pada peta laut ditampilkan sebagai garis-garis kontur (2 m, 5 m, 10 m, 20 m, dan 30 m) dan angka-angka dalam satuan meter terhadap muka surutan. Pada kebanyakan peta-peta laut Indonesia, kedudukan pasut Air Rendah Perbani (ARP) atau *Low Water Spring* (LWS) dipilih sebagai muka surutan. Kedudukan pasut lain yang juga digunakan sebagai muka surutan adalah pasut astronomis terendah atau *Lowest Astronomical Tide* (LAT) dan Muka Laut Rendah Terendah atau *Lowest Low Water Level* (LLWL). Informasi tentang muka surutan diberikan sebagai jarak tegak dari muka laut rata-rata (duduk tengah) atau *Mean Sea Level* (MSL). Dengan demikian, dapat selalu dipastikan bahwa kedalaman yang tertera di peta laut merupakan jarak tegak dari muka laut ke dasar perairan saat keadaan muka laut yang terendah.

Pada Gambar 12 diperlihatkan potongan muka peta laut yang menunjukkan beberapa contoh bagian. Garis-garis kontur menyatakan kedalaman yang sama. Bagian perairan dengan kedalaman hingga 10 m diberi warna biru tua, bagian perairan dari 10 m hingga 20 m diberi warna biru muda, dan bagian perairan dengan kedalaman 20 m atau lebih diberi warna putih. Bagian daratan diberi warna kuning dengan garis pantai warna hitam yang merupakan pembatas wilayah daratan dan perairan. Garis pantai diperoleh dari kedudukan muka laut saat pasang tinggi.



Gambar 12 Contoh informasi garis pantai, kedalaman perairan, dan objek lainnya di dasar laut pada Peta Laut Indonesia Nomor 79 pemutakhiran tahun 2010

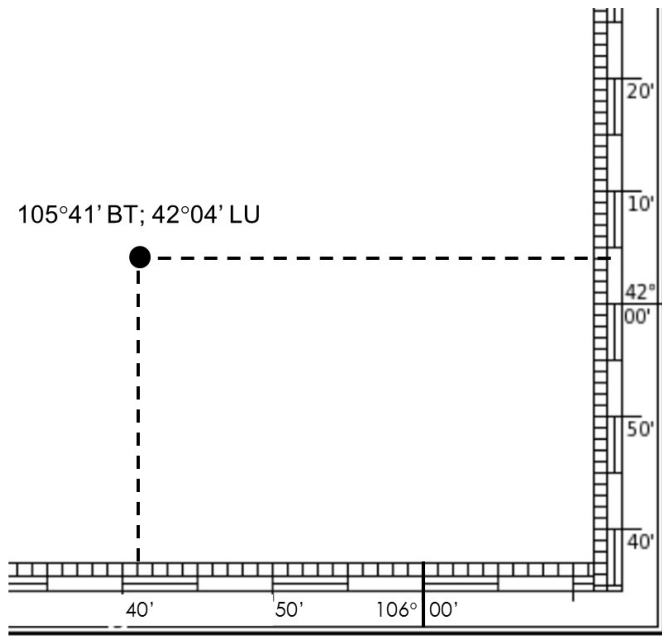
Gambar 13 memperlihatkan hubungan antara kedudukan kedalaman perairan di peta laut dan benda yang terapung di muka laut dengan sistem tinggi dan muka surutan. Di lapangan kita akan selalu melihat muka laut sesaat yang kedudukannya hampir selalu berada di atas muka surutan. Kedalaman sesaat (lihat Gambar 13) akan mengacu pada muka laut sesaat yang jika dilihat di peta laut akan selalu lebih besar dibandingkan dengan yang terbaca di peta laut. Jika ketinggian muka laut dapat diukur di lapangan dengan bantuan GNSS maka pada sistem tinggi, ketinggian tersebut mengacu ke elipsoid.



Gambar 13 Hubungan antara kedudukan kedalaman perairan di peta laut dan benda yang terapung di muka laut dengan sistem tinggi dan muka surutan

Posisi Horizontal di Peta Laut

Peta menunjukkan posisi-posisi objek dalam sistem koordinat tertentu. Ketelitian posisi objek di peta akan bergantung pada skala peta yang dibuat. Peta laut dibuat menggunakan sistem proyeksi Mercator. Posisi di peta laut dapat dibaca dengan menarik garis-garis yang tegak lurus dengan skala gradikuler yang ada di sisi-sisi muka peta hingga memotong titik yang ditentukan posisinya. Gambar 14 adalah bagian sudut dari tepi sebuah peta laut yang memperlihatkan gradikuler untuk penyajian posisi.

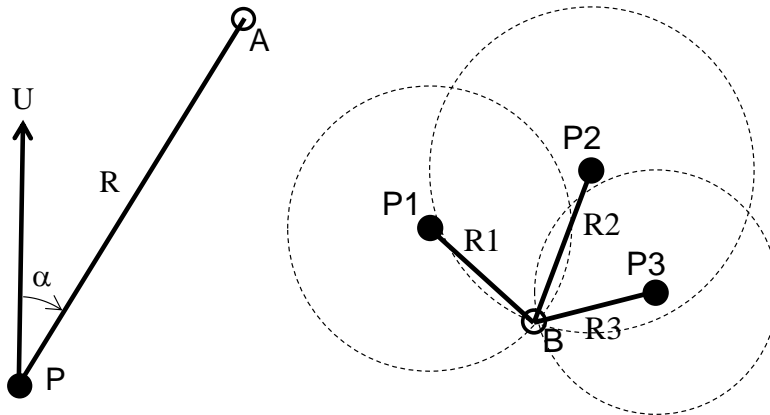


Gambar 14 Penyajian posisi objek di peta laut

Jarak di peta laut menggunakan satuan mil laut atau *Nautical mile* (Nm). Satu Nm sama dengan satu menit pada lingkaran meridian yang dalam satuan metrik panjangnya sekitar 1.852 meter. Dalam penggunaan peta laut untuk keperluan navigasi, yakni kegiatan memantau dan mengendalikan gerakan wahana apung dari suatu tempat ke tempat yang lain, posisi ditentukan dengan penggunaan azimut-jarak dan jarak-jarak. Azimut adalah sudut yang dibentuk oleh garis bujur dengan garis yang menghubungkan dua posisi, sedangkan jarak adalah garis yang menghubungkan dua titik posisi.

Pada Gambar 15a diperlihatkan posisi titik A yang ditentukan dari posisi P (yang telah diketahui) berdasarkan azimut (α) dan jarak (R), serta pada Gambar 15b ditunjukkan posisi titik B yang ditentukan berdasarkan jarak-jarak dari posisi P1, P2, dan P3 (yang masing-masing telah diketahui sebagai R1, R2, dan R3).

Jika A dapat dihitung dari P dengan menggunakan α dan R, sebaliknya jarak antar dua posisi (misalnya P dan A) dapat diperoleh berdasarkan penghitungan dari dua posisi yang diketahui koordinatnya. Selain itu, Jarak antar dua posisi dapat diperkirakan berdasarkan kecepatan wahana apung dan waktu tempuh antar dua posisi tersebut. Dengan bantuan peta laut, jarak dapat pula diperkirakan dengan mengalikan pembilang skala peta dengan jarak yang diukur di atas peta.



(a) Posisi A ditentukan berdasarkan azimuth α dan jarak-jarak R dari P
 (b) Posisi B ditentukan berdasarkan jarak-jarak R1, R2, dan R3 masing-masing dari P1, P2, dan P3

Gambar 15 Prinsip penentuan posisi horisontal dalam navigasi laut

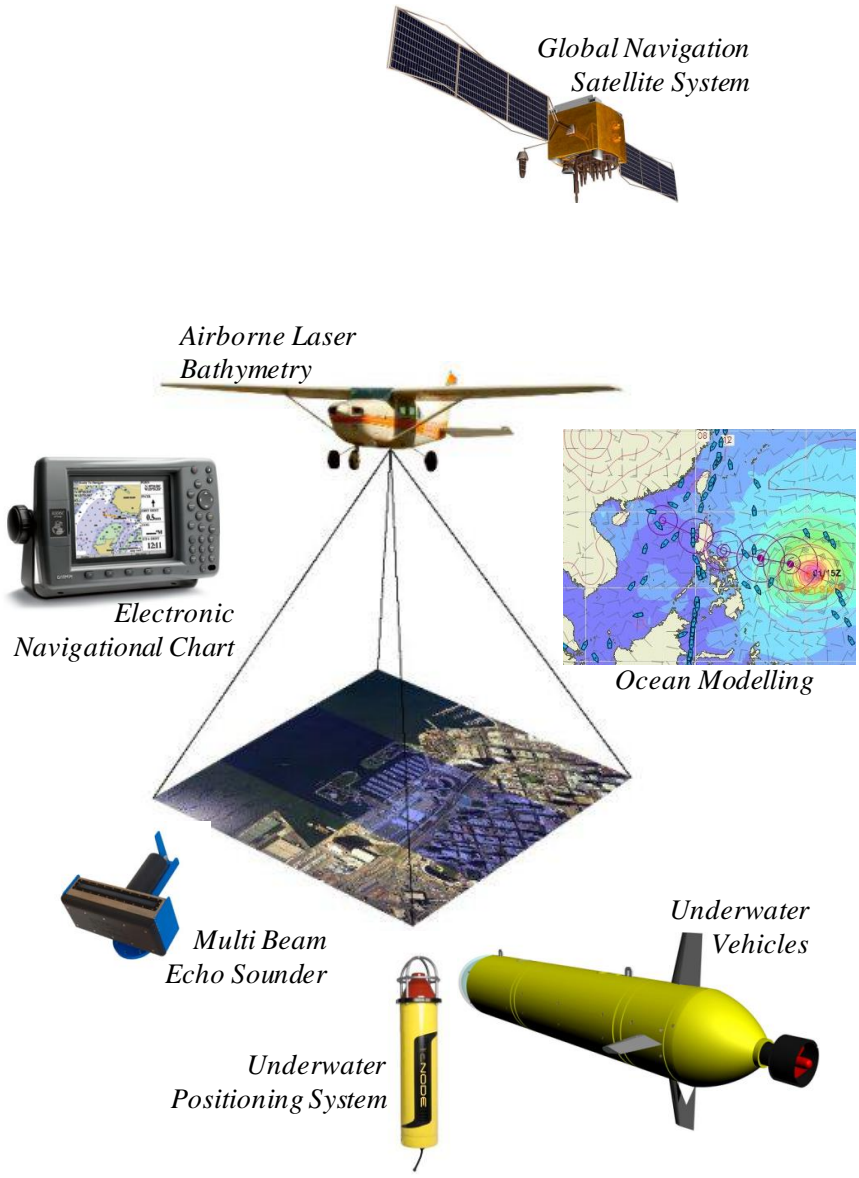
Dalam perencanaan navigasi untuk sebuah operasi pencarian, posisi wahana apung dan posisi objek yang ingin dituju diletakkan atau ditandai di atas muka peta laut. Selanjutnya, jarak ditarik dari kedua posisi tersebut. Jalur layar kemudian ditentukan berdasarkan tempat-tempat yang dapat dilayari, dengan menghindari wilayah terlarang atau berbahaya. Dengan mengetahui kecepatan kapal, waktu tempuh menuju objek yang ingin dituju dapat diketahui. Selama pelayaran berlangsung, posisi dan kecepatan wahana apung dipantau secara berkala.

3

TEKNOLOGI SURVEI



Survei laut adalah kegiatan terpenting dalam menghasilkan informasi hidrografi. Dewasa ini, kegiatan survei laut harus didukung oleh pangkal teknologi (*technological back end*) yang meliputi penentuan posisi berbantuan satelit navigasi global, batimetri dengan laser dari udara, peta navigasi elektronik, pemodelan laut, pemeruman dengan alat perum berpancaran jamak, penentuan posisi bawah air, dan wahana bawah air (Gambar 16). Data yang diperoleh dari survei menggunakan teknologi-teknologi tersebut di atas nantinya disajikan sebagai informasi dalam bentuk peta dan non-peta, serta disusun dalam bentuk basis data kelautan.



Gambar 16 Pangkal teknologi pendukung hidrografi (Poerbandono, 2015a)

Di bab ini, peralatan survei yang akan dibahas ialah peralatan penentuan posisi (dengan GNSS untuk mendapatkan koordinat geodetik dan dengan *gyro* untuk mendapatkan azimuth) dan pengukuran kedalaman (dengan perum gema). Posisi yang ditentukan dengan bantuan GNSS dan kedalaman yang ditentukan dengan perum gema memberikan data kuantitatif kedudukan sebuah benda dalam sistem koordinat geodetik $\lambda\phi h$. Dalam hal ini yang dimaksud dengan h adalah kedalaman dari muka laut.

Untuk melengkapi kebutuhan dalam melaksanakan pencarian dan penyelamatan di laut, dilakukan pencitraan bawah air (*underwater imaging*) menggunakan teknologi *side scan sonar* (SSS), yang penentuan posisinya didukung oleh teknologi *Ultra Short Baseline* (USBL). Citra SSS akan melengkapi data posisi yang ditentukan dengan GNSS dan perum gema dengan menyajikan wajah dasar perairan yang memungkinkan kita mengidentifikasi jenis objek yang disurvei. Sementara itu, untuk mendukung kebutuhan penentuan posisi wahana-wahana mandiri, seperti *Remotely Operated Vehicle* (ROV), *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV), atau *side scan sonar* yang ditunda dari buritan kapal digunakan sebuah alat tambahan lain yang disebut sebagai *Inertial Measurement Unit* (IMU) untuk membantu kemampuan penentuan posisi.

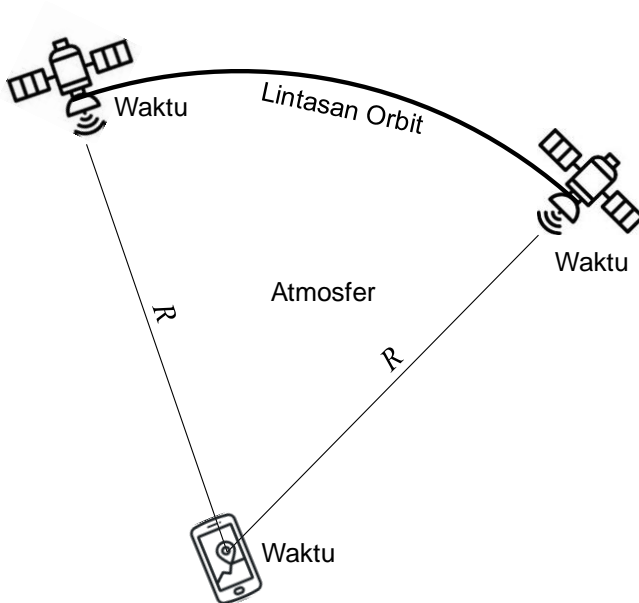
3.1. Penentuan Posisi Horizontal di Laut

Jarak Elektromagnetik

Dengan bantuan gelombang elektromagnetik, jarak dapat dihitung dengan mengalikan waktu tempuh dan cepat rambat gelombang melalui atmosfer. *Global Navigation Satellite System* (GNSS) memanfaatkan perpotongan jarak dari posisi-posisi beberapa satelit yang diketahui koordinatnya ke objek yang ingin diketahui posisinya (lihat: Gambar 14b). Prinsip ini digunakan oleh teknologi GNSS, misalnya GPS (*Global Positioning System*), Galileo, GLONASS (*Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema*), atau Beidou. Pada GNSS, koordinat-koordinat satelit-satelit selalu diketahui posisinya. Pengguna atau penerima sinyal GNSS menentukan jarak-jarak ke sekurang-kurangnya empat satelit yang berada dalam ruang pengamatannya untuk mendapatkan posisinya.

Untuk memastikan ketepatan penghitungan jarak, koreksi karena kesalahan penentuan waktu, lintasan orbit, dan medium atmosfer dari setiap satelit harus dikenali (Gambar 17). Ketidakselarasan penandaan waktu di satelit dan penerima, ketepatan penghitungan perubahan posisi akibat perubahan kedudukan satelit dalam lintasan orbitnya, dan perlambatan atau percepatan laju gelombang karena pengaruh medium atmosfer merupakan hal-hal

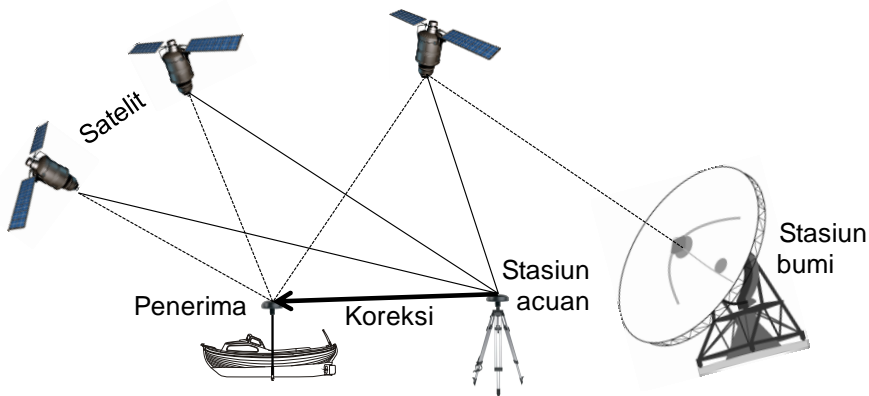
yang dapat menyebabkan ketidaktepatan penghitungan jarak elektromagnetik. Penggunaan penanda waktu yang sangat teliti, pemodelan lintasan orbit satelit, dan pengetahuan tentang pengaruh sifat atmosfer terhadap perilaku gelombang merupakan upaya-upaya untuk memastikan ketepatan penghitungan jarak elektromagnetik. Ketepatan penghitungan jarak elektromagnetik akan menjamin ketepatan (*accuracy*) penentuan posisi dengan teknologi GNSS.



Gambar 17 Jarak elektromagnetik R terpengaruh oleh penandaan waktu, lintasan orbit, dan atmosfer

GPS (Global Positioning System)

GPS adalah sistem satelit navigasi global untuk penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola Amerika Serikat. Sistem ini dirancang untuk memberikan posisi secara menerus di seluruh dunia, kepada banyak pengguna secara bersamaan. GPS terdiri atas (i) bagian angkasa (*space segment*) yang terdiri dari satelit-satelit, (ii) sistem kendali (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemantau dan pengatur, dan (iii) pemakai (*user segment*) yaitu pengguna dan alat penerimanya (Gambar 18).



Gambar 18 Unsur-unsur sistem penentuan posisi GPS menggunakan koreksi diferensial

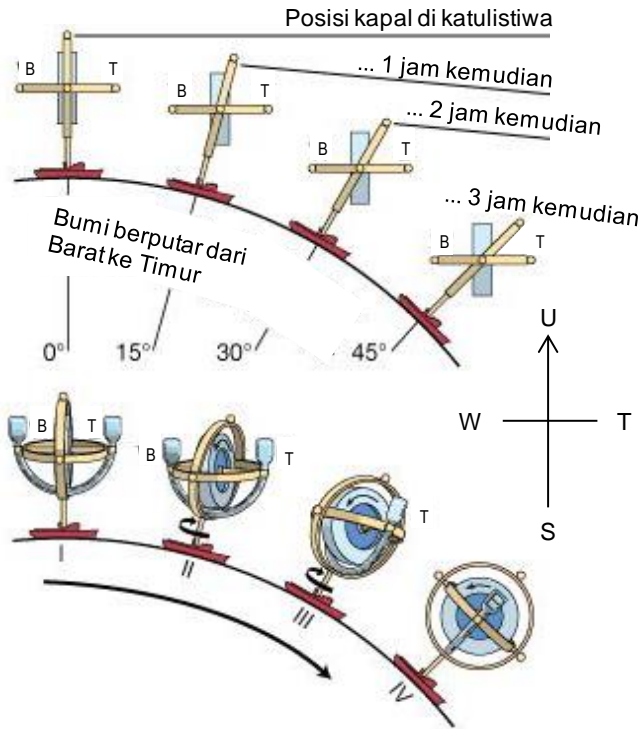
Posisi geodetik yang diperoleh dengan GPS dan teknologi GNSS pada umumnya dinyatakan terhadap elipsoid referensi *World Geodetic System 1984* (WGS84). Ketelitian penentuan posisi yang dapat diperoleh berkisar

antara beberapa meter untuk alat penerima (*receiver*) *stand alone* hingga beberapa desimeter untuk alat penerima dengan tambahan bantuan sistem diferensial.

Penentuan posisi objek-objek yang bergerak biasa dilakukan dengan sistem diferensial atau *Differential GPS* (DGPS). Sistem diferensial ini memungkinkan pemberian koreksi untuk memperbaiki ketelitian penentuan posisi. Dengan sistem semacam ini, ketelitian posisi yang dapat dicapai berkisar antara 3 hingga 1 m. Dengan ketelitian setingkat itu, sistem DGPS ini umum digunakan pada survei-survei kelautan.

Kompas Giro (*Gyrocompass*)

Kompas giro (*gyrocompass*) atau biasa disebut *gyro* adalah alat penentuan azimuth. *Gyro* bekerja secara non magnetik berdasarkan cakram yang berputar cepat pada rangka dengan tiga derajat kebebasan. Putaran cakram yang cepat tersebut membuat *gyro* berada dalam posisi tetap yang bebas dari gerak sistem yang berada di luarnya. Dengan demikian, setiap perubahan orientasi rangka di luar cakram akan selalu dapat dideteksi selisihnya terhadap orientasi cakram tersebut. Gambar 19 memperlihatkan bahwa cakram yang berputar cepat tetap mempertahankan kedudukannya terhadap orientasi tertentu.



Gambar 19 Prinsip kerja kompas giro (dimodifikasi dari Encyclopedia Britannica, 2011)

Jika pada suatu lokasi tertentu kedudukan cakram tersebut dikunci, misalnya agar berorientasi ke arah Utara, maka setiap perubahan lokasi akan selalu dapat dideteksi kemiringan rangkanya yang kemudian dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan arah. *Gyro* banyak digunakan untuk navigasi laut (juga kendaraan-kendaraan lainnya) untuk memberi koreksi arah kompas magnetik karena tidak terpengaruh oleh medan magnet akibat atraksi lokal di sekitarnya. Keberadaan alat-alat survei serta

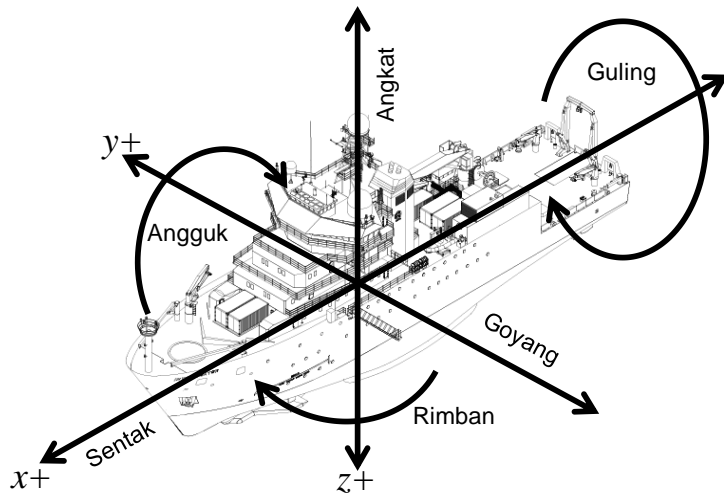
pendukungnya (yang bahannya umumnya bersifat feromagnetik) tidak akan mengganggu pembacaan arah selama survei berlangsung.

IMU (*Inertial Measurement Unit*)

IMU (*Inertial Measurement Unit*) merupakan komponen utama dari penentuan posisi yang bekerja berdasarkan sifat kelembaman dari sebuah benda. Sifat lembam berarti bahwa sebuah benda akan terus menerus diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Kelembaman merupakan kecenderungan sebuah benda fisik (dalam hal ini, wahana) untuk menolak perubahan terhadap keadaan geraknya. IMU mengukur perubahan kecepatan (percepatan), perubahan orientasi, dan perubahan gaya gravitasi dari sebuah wahana. Alat ini memanfaatkan gabungan tiga arah akselerometer (pendeteksi percepatan) dan tiga orientasi giroskop di dalamnya. IMU biasa digunakan untuk wahana-wahana mandiri, seperti AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) atau ROV (*Remotely Operated Vehicle*).

Penentuan posisi dengan bantuan IMU dilakukan dengan merekam perubahan kecepatan dari wahana secara tiga dimensi, pada garis-garis lintasan gerak x , y , dan z , serta perubahan orientasi yang dideteksi dari rotasi (putaran) wahana terhadap ketiga (garis) x , y , dan z tersebut. Ilustrasi gerak dan putar wahana ditampilkan pada

Gambar 20. Jenis perubahan gerak pada lintasan garis x , y , dan z disebut dengan goyang (*sway*), sentak (*drift*), dan angkat (*heave*). Jenis perubahan orientasi pada garis sumbu x , y , dan z disebut dengan angguk (*sway*), guling (*drift*), dan rimban (*yaw*). Penentuan posisi menggunakan IMU melengkapi kebutuhan penentuan posisi yang dilakukan oleh GNSS, sehingga posisi dari wahana yang bersangkutan dapat tetap ditentukan ketika sinyal GNSS tidak tersedia pada lokasi-lokasi dan waktu tertentu.



Gambar 20 Gerakan dan putaran wahana terhadap sumbu-sumbu x , y , dan z

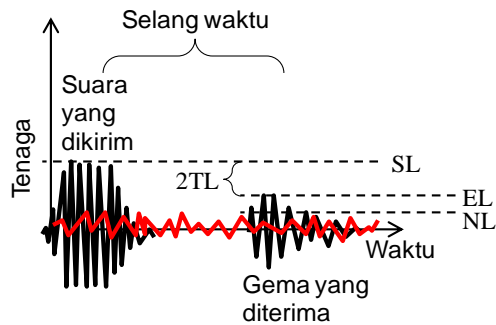
3.2. Pengukuran Kedalaman dan Pencitraan Dasar Perairan

Jarak Akustik

Jarak akustik ditentukan di bawah air dengan bantuan sonar (*sound navigation and ranging*). Sonar adalah istilah yang diberikan pada penggunaan gelombang suara untuk melakukan pengukuran-pengukuran bawah air. Sonar bekerja dengan pembangkitan gelombang suara oleh transduser dan perambatan gelombang suara tersebut di dalam air menuju ke suatu target dan tergemakan kembali merambat ke transduser. Sistem sonar yang demikian disebut sebagai sistem sonar aktif (menghasilkan bunyi dan mendengarkan kembali gemanya). Sonar mengukur jarak dengan menandai selang waktu antara saat suara dikirim melalui transduser dan saat gemanya terdengar kembali oleh transduser.

Pada Gambar 21 diperlihatkan ilustrasi gelombang akustik yang dibangkitkan untuk mengirim suara dan gema yang ditangkap kembali. Jarak diperoleh dari mengalikan selang waktu (antara saat suara dikirim dengan saat gema diterima) dengan kecepatan suara di dalam air. Kecepatan suara di dalam air harus diketahui dengan pasti untuk menjamin ketepatan penghitungan jarak. Deteksi selang waktu adalah konsep dasar pengukuran jarak bawah air

yang digunakan oleh peralatan-peralatan hidroakustik (alat-alat survei yang bekerja dengan pemanfaatan pembangkitan dan perambatan suara di dalam air). Konsep ini digunakan utamanya oleh alat-alat perum gema dan penentuan posisi bawah air.



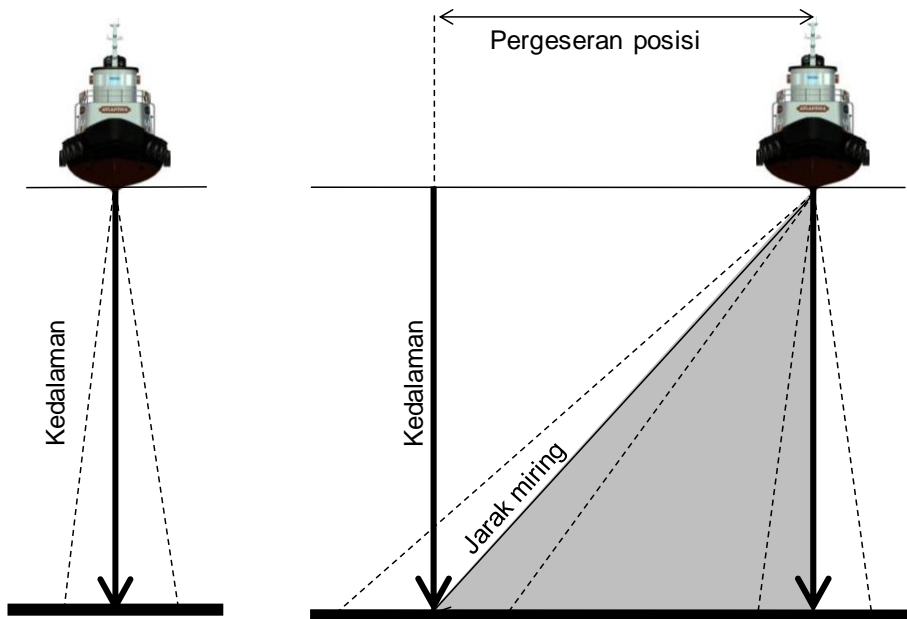
Gambar 21 Selang waktu suara dan gema dipakai untuk deteksi jarak, sedangkan tenaga gema (EL) dipakai untuk menduga kekasaran dan kekerasan target (TS)

Tenaga gema yang kembali ke transduser bermanfaat menduga kekasaran dan kekerasan target. Deteksi tenaga gema adalah konsep dasar pencitraan (*imaging*) dan penampangan (*profiling*) bawah air. Konsep ini digunakan utamanya oleh peralatan pemindai dan pencitra dasar laut. Untuk memastikan bahwa transduser dapat mengenali gema dari suara yang dikirim (*Source Level* - SL), maka kekuatan gema (*Echo Level* - EL) harus lebih tinggi dibanding kehilangan intensitas (*Transmission Loss* - TL) dan derau (*Noise Level* - NL).

Perum Gema (*Echo Sounder*)

Teknologi survei yang lazim digunakan untuk mendapatkan kedalaman laut adalah pemeruman (*echosounding*) menggunakan alat perum gema (*echo sounder*). Pemeruman memerlukan wahana apung (perahu atau kapal) sebagai alat bantu yang memuat peralatan survei, pengawak, dan anak buah kapal. Perum gema (*echo sounder*) terdiri atas unit transduser dan unit utama perum gema yang berfungsi sebagai pengendali, perekam data, dan penampil data.

Melalui transduser, perum gema mengirimkan gelombang akustik yang terpusatkan ke dasar perairan dan menerima kembali gemanya dari dasar perairan. Saat gelombang akustik terkirim dan diterima kembali ditandai untuk mendapatkan waktu tempuh gelombang. Cepat rambat gelombang akustik di air harus diketahui untuk digunakan dalam menghitung jarak tempuh gelombang. Berdasarkan waktu tempuh dan cepat rambat gelombang akustik, perum gema menghitung jarak dari transduser ke dasar perairan yang tidak lain adalah kedalaman perairan relatif terhadap transduser. Perum gema (Gambar 22) yang digunakan dalam pemeruman dapat berupa *Single Beam Echo sounder* atau *Multibeam Echo Sounder*.



(a) *Single Beam Echo Sounder*

(b) Salah satu sisi sapuan *Multi Beam Echo Sounder* di lambung kanan

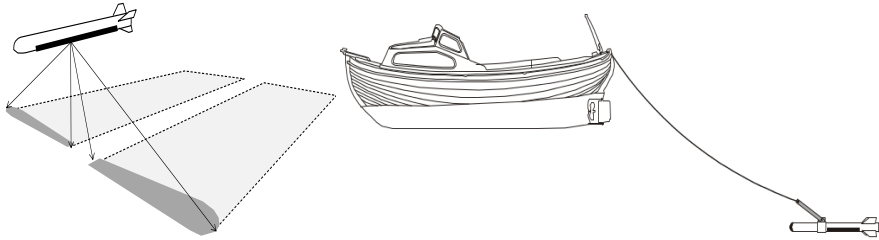
Gambar 22 Perum gema

SBES (Gambar 22a) menggunakan gelombang akustik tunggal yang terfokus pada garis yang searah dengan sumbu transduser, sedangkan MBES (Gambar 22b) menggunakan gelombang akustik yang dipancarkan membentuk kipas sehingga menyapu lantai dasar perairan pada satu garis tegak lurus arah gerak wahana apung. SBES memberikan akurasi yang lebih baik, sedangkan MBES memberikan resolusi yang lebih tinggi dan cakupan yang lebih luas. Lebar sapuan dasar laut dengan

MBES bergantung pada kedalaman perairan dan sudut sapu. Hubungan antara lebar sapuan dengan dengan kedalaman perairan akan menjadi dasar dalam perencanaan jarak antar lajur dalam survei laut dengan MBES.

Sonar Pemindai Sisi (*Side Scan Sonar*)

Sonar pemindai sisi atau *side scan sonar* (SSS) adalah alat dengan transduser yang menangkap kuat-lemahnya gema yang terhamburkan balik dari dasar perairan. SSS digunakan untuk mendapatkan citra dasar perairan. Kekuatan gema yang diterima SSS menandakan jenis dasar perairan yang bergantung pada kekasaran dan kekerasan sedimen atau unsur-unsur lain baik yang alami maupun buatan. SSS membedakan kuat atau lemahnya gema tersebut. Target yang lebih dekat ke SSS atau yang materinya lebih padat akan lebih kuat mengembalikan gema ke SSS. Sebaliknya, target yang lebih jauh atau yang materinya lebih renggang akan lebih lemah mengembalikan gema ke SSS. Pada SSS, gelombang akustik dikirimkan melalui transduser yang terletak di sisi-sisi *towfish* (Gambar 23a). *Towfish* adalah unit SSS yang ditunda dari kapal atau perahu survei (Gambar 23b). SSS akan mendapatkan citra dasar perairan dari daerah yang dikenai gelombang terkirim.

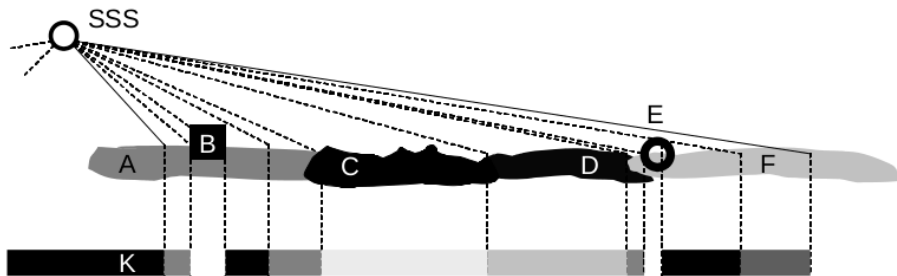


(a) Sapuan SSS

(b) SSS yang ditunda kapal survei

Gambar 23 Towfish SSS

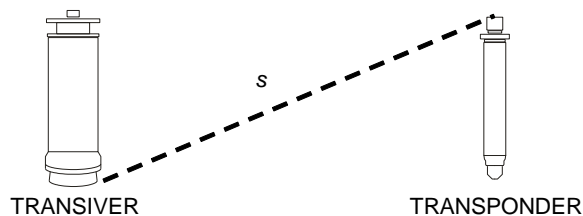
Pada Gambar 24 diperlihatkan terang-gelap yang berbeda pada salah satu sisi citra SSS karena perbedaan kekuatan gema dari sedimen padat (A), rumpon beton (B), batuan keras (C), batuan lunak (D), pipa logam (E), dan sedimen lunak (F). Daerah yang tidak dikenai gelombang terkirim (K pada Gambar 24) adalah bagian kosong yang tidak tercipta oleh SSS.



Gambar 24 Pencitraan dasar perairan dengan SSS yang menghasilkan terang-gelap yang berbeda untuk jenis pemantul yang berbeda pula

USBL (*Ultra Short Base Line*)

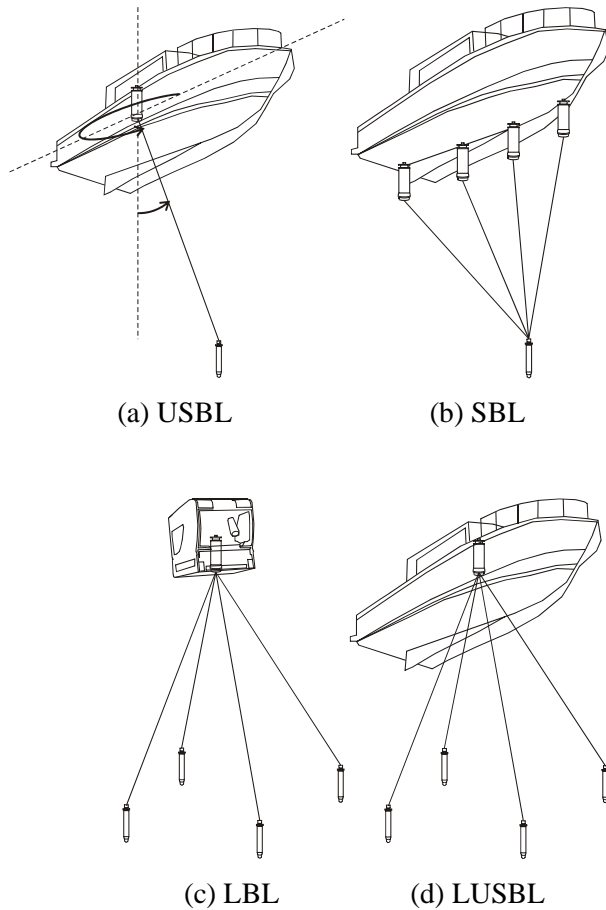
Posisi objek bawah air ditentukan dengan alat penentu posisi bawah air, salah satunya ialah USBL (*Ultra Short Base Line*). USBL disebut juga sebagai SSBL (*Super Short Base Line*). Teknik ini memanfaatkan pengukuran jarak antara transiver (*transmitter* dan *receiver-transceiver*) dan transponder (*transmitter* dan *responder-transponder*) Gambar 25. Teknik ini juga memanfaatkan pengukuran sudut yang dibentuk oleh sumbu vertikal (atas-bawah) dan horisontal (depan-belakang) wahana apung terhadap garis arah dari transiver ke transponder. Transiver adalah unit pengirim gelombang akustik, sedangkan transponder adalah unit penerima gelombang akustik dari transiver yang akan memancarkan gelombang akustik kembali ke transiver sebagai reaksi atas gelombang yang diterima dari transiver.



Gambar 25 Transiver dan transponder

Dengan transiver dan transponder, penentuan posisi bawah air dapat dilakukan dengan USBL (*Ultra Short Baseline*), SBL (*Short Baseline*), LBL (*Long Baseline*) atau LUSBL

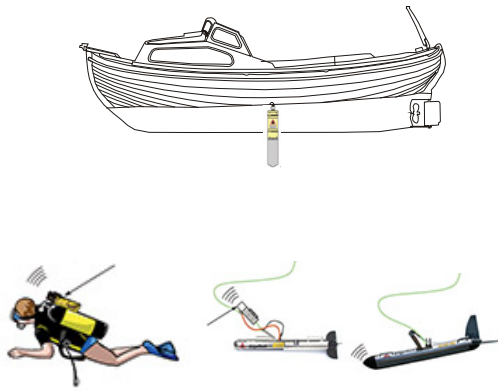
(*Long Ultra Short Baseline*). Gambar 26 menunjukkan ilustrasi konsep penentuan posisi bawah air dengan hidroakustik.



Gambar 26 Sistem penentuan posisi bawah air

Di Gambar 26, garis yang menghubungkan transponder kapal dan target adalah jarak antar keduanya, sedangkan sudut-sudut yang diukur adalah kemiringan jarak tersebut terhadap sumbu tegak dan orientasi posisi objek yang dibentuk oleh garis penghubung kapal dan target terhadap bidang mendatar. USBL membantu menentukan posisi target di bawah air relatif terhadap posisi kapal.

Penentuan posisi bawah air secara hidroakustik digunakan untuk melokasi posisi-posisi gerakan ROV (*Remotely Operated Vehicle*) relatif terhadap wahana ROV (*ROV vessel*) atau konstruksi bawah air relatif dari kapal survei. Wahana yang mengoperasikan ROV atau kapal survei hidrografi modern dan dilengkapi dengan USBL atau sejenisnya, biasanya mempunyai fasilitas *Dynamic Positioning* (DP). DP memungkinkan kapal survei untuk mempertahankan posisi dan haluan saat berhenti tanpa lego jangkar, dengan bantuan propeler-propeler dan kendali secara terkomputerisasi. Untuk operasi-operasi khusus, misalnya inspeksi bawah air atau penyelaman, transponder target dapat pula dilekatkan pada unit bawah air, misalnya ke SSS atau ke peralatan di badan penyelam (Gambar 27).



Gambar 27 USBL dilekatkan pada target di bawah air untuk penentuan posisi objek bawah air relatif terhadap posisi kapal

4

INSTALASI PERALATAN

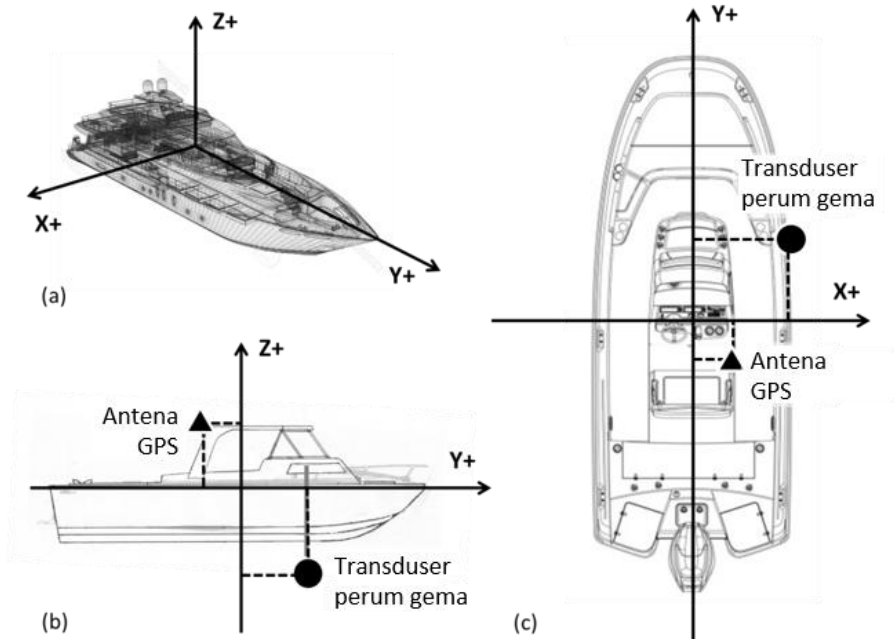


Pada sebuah survei, data yang bersumber dari berbagai jenis alat harus dipadukan. Pemaduan ini diperlukan untuk menjamin mutu data. Dengan demikian, data yang berasal dari alat yang berbeda dipastikan berasal dari satu waktu, satu posisi, dan satu kedalaman. Alat penentuan posisi (misalnya GPS) harus merekam koordinat tepat di saat alat perum gema (misalnya MBES) merekam kedalaman di waktu dan posisi tersebut. Pada saat yang sama, alat pendeteksi perubahan orientasi (misalnya IMU) harus pula merekam angguk (*pitch*), guling (*roll*), dan rimban (*yaw*). Ketidakselarasan perekaman dari alat yang berbeda akan menghasilkan data yang keliru. Pada saat survei berlangsung, akan ada banyak sekali peralatan utama dan peralatan-peralatan tambahan, termasuk perangkat lunak

(*software*), pasokan tenaga listrik (*electrical power supply*), dan kabel-kabel penghubung, baik untuk menyalurkan listrik maupun untuk memasok data. Konfigurasi yang rumit semacam ini menjadikan instalasi sistem dalam teknologi survei harus dilakukan dengan sangat seksama. Kekeliruan menghubungkan kabel atau memperantarakan peralatan akan berakibat pada kegagalan total sebuah sistem teknologi survei.

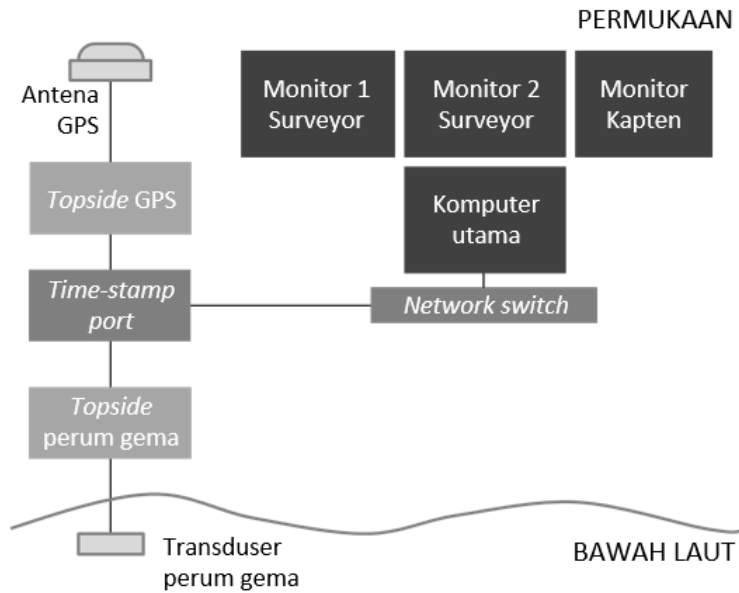
Peletakan sensor-sensor (GPS, MBES, SSS) yang merupakan bagian penting dari peralatan survei harus diperhatikan dengan seksama. Hal ini juga menyangkut peletakan sensor-sensor tersebut di wahana apung. Jika antenna alat penentuan posisi tidak terletak pada sumbu yang sama dengan sensor kedalaman (transduser) alat perum gema, maka posisi horisontal yang direkam tidak berada di tempat yang sama dengan kedalaman yang diukur.

Jika peletakan IRM relatif terhadap transduser MBES tidak diketahui dengan baik, maka kompensasi perubahan orientasi pengukuran kedalaman akan menjadi salah. Oleh karenanya, posisi setiap alat harus diukur relatif terhadap satu titik yang dianggap 'titik nol' kapal atau *Center of Gravity* (CoG). Posisi relatif ini mencakup posisi horisontal dan vertikal (Gambar 28) yang disebut sebagai *offset*.



Gambar 28 Contoh diagram *offset* horisontal dan vertikal kapal; *Center of Gravity (CoG)* pada diagram ini berada di tengah kapal

Setelah instalasi alat dilaksanakan, seluruh interaksi dan integrasi antar alat akan terkendali dari sebuah perangkat lunak navigasi. Integrasi ditujukan untuk memastikan bahwa surveyor mendapatkan seluruh data dari semua alat yang ada di kapal pada saat dan selang waktu yang sama. Interaksi antar alat harus digambarkan dalam diagram (Gambar 29) untuk memudahkan pelacakan masalah dan penyelesaiannya.

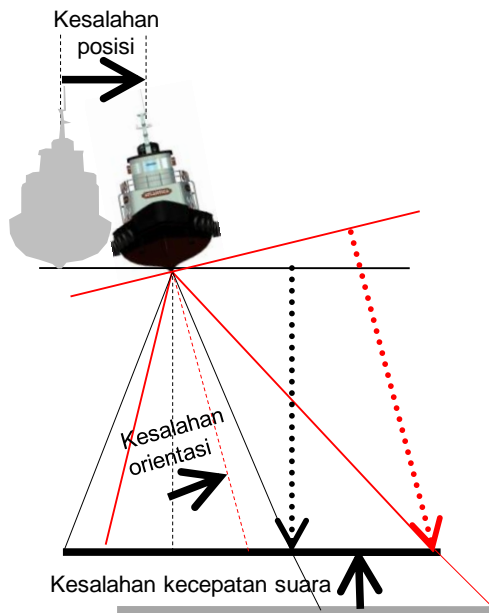


Gambar 29 Contoh diagram integrasi peralatan survey; *Topside*: bagian dari instrumen yang diletakkan di ruang survei. *Time-stamp port*: menyamakan interval pengamatan seluruh peralatan ukur. *Network switch*: menghubungkan seluruh peralatan ukur dengan komputer.

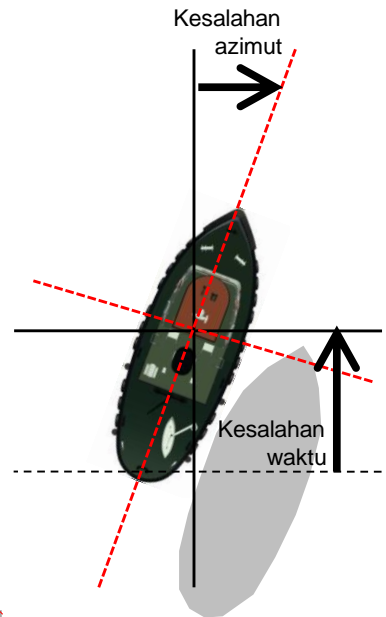
Surveyor harus menguji kelaikan seluruh alat yang akan digunakan. Uji kelaikan ini memastikan perolehan data yang benar dari peralatan tersebut. Proses pengujian dilakukan dengan cara kalibrasi atau verifikasi. Kalibrasi adalah proses pembetulan ketepatan pengukuran, sedangkan verifikasi adalah proses mengetahui bahwa alat ukur bekerja dengan semestinya. Baik kalibrasi maupun verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil ukuran dengan nilai yang benar atau yang dianggap benar.

Pada kalibrasi, dilakukan campur tangan pada proses kerja atau proses penghitungan alat sedemikian rupa hingga data yang dihasilkan alat menjadi benar. Pada verifikasi, data yang diperoleh dari alat dibandingkan kesamaannya dengan data yang diperoleh dari alat lain yang bekerja dengan konsep yang berbeda. Verifikasi dapat pula dilakukan dengan menerapkan prosedur untuk mengenali pola dan kejegan data yang diperoleh. Pada Gambar 30 diperlihatkan kesalahan-kesalahan (*errors*) pengukuran yang dapat terjadi karena ketidaklaikan alat untuk menghasilkan data yang benar.

Kesalahan penentuan posisi dari satelit mengakibatkan pergeseran posisi kapal pada bidang horisontal. Kesalahan orientasi karena kemiringan kapal yang diakibatkan gerak kapal saat berlayar adalah penyebab kesalahan pengukuran kedalaman dan posisi pada MBES. Kesalahan penentuan kecepatan gelombang suara berakibat pada kesalahan pengukuran bawah air, baik dalam pengukuran kedalaman perairan, jarak atau tinggi target, maupun posisi. Kesalahan azimut menyebabkan kekeliruan penempatan kedudukan objek relatif terhadap kapal. Kegagalan penyatuan penandaan waktu akan membuat ketidakselarasan perekaman data posisi dan kedalaman serta kedudukan kapal.



(a) Kesalahan pengukuran karena ketaklaikan data posisi, orientasi kemiringan, dan kecepatan suara



(b) Kesalahan pengukuran karena ketaklaikan data azimuth dan waktu

Gambar 30 Kesalahan-kesalahan pengukuran

5

OPERASI SURVEI



Sebuah operasi survei hidrografi diluncurkan untuk tujuan mendapatkan data bawah air, khususnya posisi dan kedalaman dasar laut beserta unsur-unsurnya. Informasi yang diperoleh dari perum gema (SBES atau MBES) adalah batimetri yang menunjukkan bentuk dasar laut berdasarkan kumpulan data kedalaman. Untuk mendapatkan citra dasar perairan digunakan *side scan sonar* (SSS). Mutu data menjadi ukuran keberhasilan sebuah survei yang padat investasi dan teknologi.

Untuk itu, survei hidrografi harus memenuhi akurasi baku mutu yang ditetapkan IHO dalam *Special Publication 44* (S-44). Baku mutu IHO memberikan toleransi ketelitian posisi horisontal dan kedalaman yang ditunjukkan pada Tabel 1. Semua toleransi di Tabel 1 dinyatakan dalam tingkat kepercayaan 95%, yang menyatakan keyakinan

mendapatkan data yang terletak dalam batas-batas kepercayaan 0,95, yakni sebesar $\pm 1,96$ kali kesalahan baku (*standard error*) dari data yang diambil.

Tabel 1 Baku mutu survei hidrografi menurut S-44

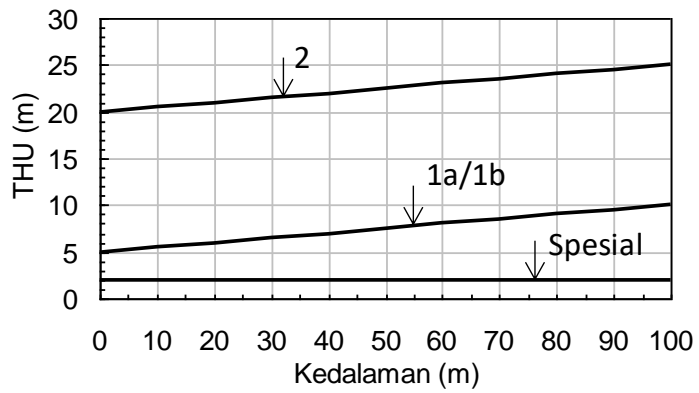
Orde survei	Khusus	1a	1b	2
Penjelasan tentang daerah survei	Navigasi, kedalaman <40 m	Navigasi, kedalaman <100 m	Kedalaman <100 m	Kedalaman >100 m
Ketidaktepastian horizontal	2 m	5 m + 5% kedalaman	5 m + 5% kedalaman	20 m + 5% kedalaman
Ketidaktepastian vertikal	Beberapa desimeter	Desimeter hingga beberapa meter	Desimeter hingga beberapa meter	Beberapa meter
Deteksi unsur-unsur bawah air	Hingga sekitar 1 m	Hingga sekitar 2 m	–	–
Jarak antar lajur survei	Harus mencakup seluruh dasar laut	Harus mencakup seluruh dasar laut	3 × kedalaman atau 25 m	4 × kedalaman
Posisi alat bantu navigasi	2 m	2 m	2 m	5 m
Posisi garis pantai dan topografi	10 m	20 m	20 m	20 m
Posisi bantu navigasi apung	10 m	10 m	10 m	20 m

Subuah rencana operasi disusun sebelum survei dilaksanakan dengan menentukan batas-batas daerah yang akan disurvei termasuk jalur layar menuju daerah survei dengan pertimbangan pasokan logistik dan karakteristik laut karena cuaca dan aktivitas kemaritiman lainnya.

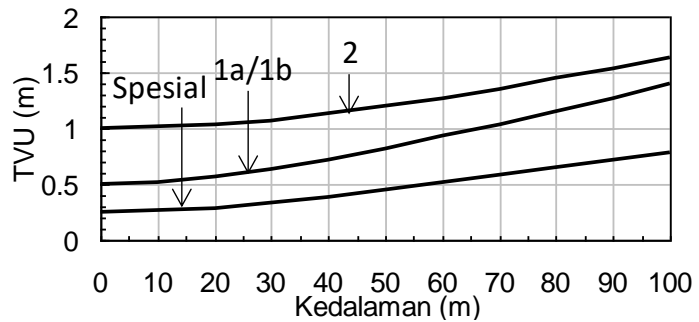
Dengan mengetahui tujuan survei, orde survei dapat dipilih yang kemudian menjadi dasar untuk pertimbangan penentuan teknologi, tim, dan wahana apung yang akan digunakan. Survei orde khusus dan orde 1a menuntut penggunaan MBES dan penentuan posisi dengan teknik diferensial. Survei orde 1b dan 2 dapat dilakukan dengan SBES.

Tabel 1 merupakan standar survei hidrografi yang digunakan dalam menghasilkan peta laut. Di Gambar 31 diperlihatkan grafik ketidakpastian posisi horisontal dan ketidakpastian posisi vertikal menurut kedalaman hingga 100 m pada orde survei yang berbeda-beda. Orde spesial merupakan standar survei yang paling ketat dan dipersyaratkan untuk kondisi dasar perairan yang sangat kritis bagi pelayaran. Survei orde spesial mengharuskan ketidakpastian posisi horisontal hingga 2 m pada kedalaman berapa pun. Di kedalaman 40 m survei orde spesial mengharuskan ketidakpastian posisi vertikal (kedalaman) hingga 0,39 m. Kolam pelabuhan, alur masuk pelabuhan, dan jalur pelayaran yang padat merupakan wilayah yang membutuhkan survei dengan orde spesial.

Wilayah perairan yang relatif dalam dan hampir tidak dilayari akan cukup disurvei dengan orde 1b atau bahkan orde 2. Dengan orde 2, ketidakpastian yang diperbolehkan adalah 1,13 m untuk posisi vertikal (kedalaman) dan 22 m untuk posisi horisontal di kedalaman 40 m.



(a) Ketidakpastian posisi horisontal



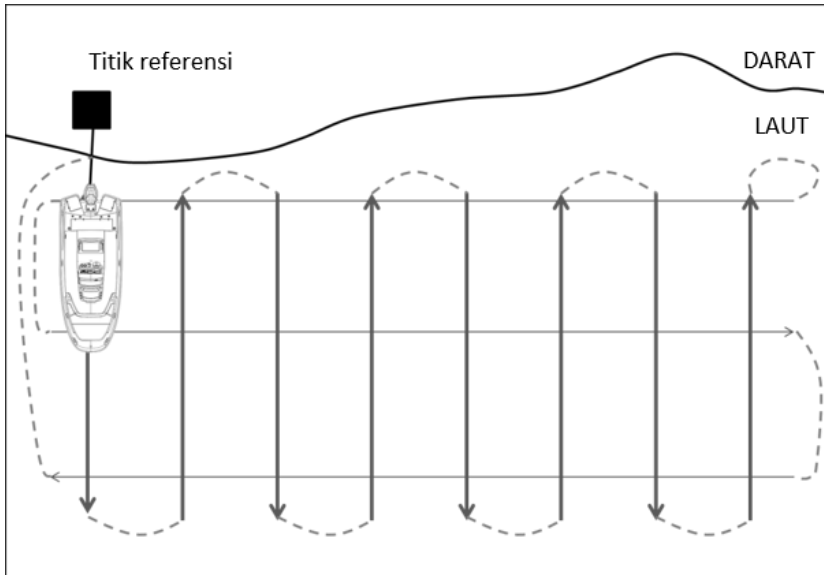
(b) Ketidakpastian posisi vertikal

Gambar 31 Ketidakpastian data pengukuran posisi horisontal dan vertikal pada rentang kedalaman 0-100 m dengan orde survei yang berbeda

5.1. Survei Batimetri

Survei batimetri adalah sebuah rangkaian kegiatan untuk mendapatkan gambaran dasar perairan. Rangkaian kegiatan survei batimetri ini meliputi pengumpulan, pengolahan, hingga penyajian data. Rangkaian tersebut juga termasuk kegiatan perencanaan survei dan pelaporan hasil survei. Bagian perencanaan survei yang terpenting adalah perancangan lajur survei yang disebut dengan lajur perum. Ketentuan tentang lajur perum mengikuti ketentuan baku S-44 IHO tentang lajur survei (lihat: Tabel 1). Rancangan lajur-lajur perum harus memperhatikan kecenderungan bentuk dan topografi pantai sekitar perairan yang akan disurvei, serta konstruksi buatan manusia lainnya. Contoh rancangan lajur perum dapat dilihat pada Gambar 32.

Pengukuran kedalaman dan posisi horisontal dilakukan sepanjang lajur perum yang telah direncanakan. Pada pelaksanaan pemeruman harus juga dilakukan pencatatan waktu (saat) pengukuran untuk penerapan koreksi pengukuran kedalaman karena pasut. Pasut sepanjang waktu pemeruman harus diketahui dengan melakukan pengukuran. Gambar 32 menunjukkan rancangan lajur-lajur perum untuk pengambilan data kedalaman pada suatu lokasi survei.

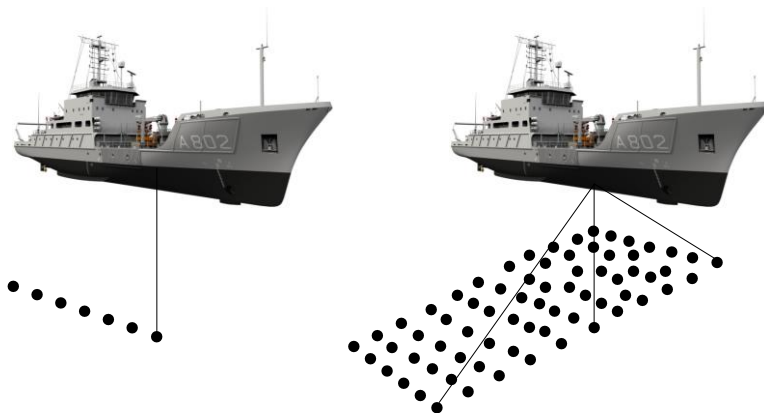


Gambar 32 Contoh desain lajur perum pada daerah pelabuhan

Dari pemeruman, akan didapatkan sebaran titik-titik kedalaman dari daerah survei. Seperti ditunjukkan pada Gambar 33, pemeruman dengan MBES memberikan data jauh lebih banyak dibandingkan data yang diambil oleh SBES. Berdasarkan sebaran data (angka-angka) tersebut, batimetri perairan yang disurvei dapat diperoleh dengan menarik garis-garis kontur kedalaman (Gambar 34) dan/atau model tiga dimensi dari dasar laut yang bersangkutan (Gambar 35).

Kontur kedalaman dibuat dengan menarik garis yang menghubungkan kedalaman-kedalaman yang sama.

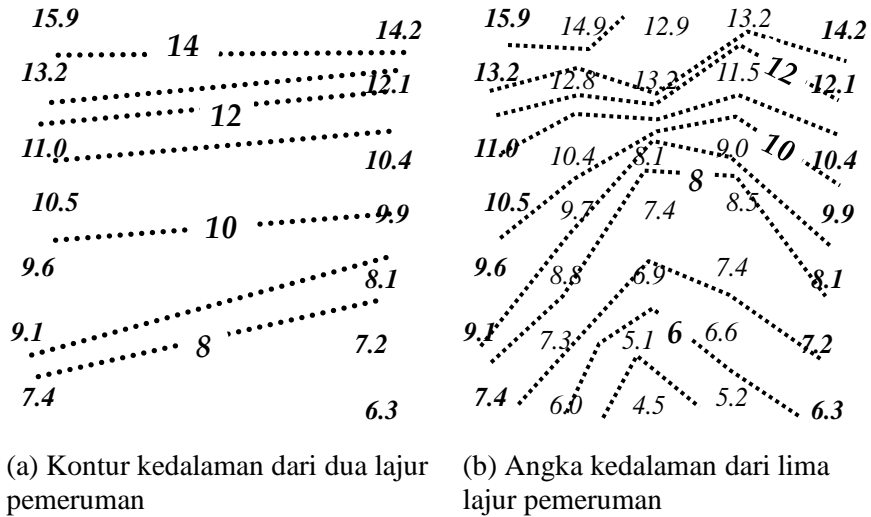
Kedalaman yang tidak terukur diperkirakan dari sebaran data ukuran menggunakan teknik interpolasi. Untuk itu, model tiga dimensi permukaan dasar laut dibentuk dengan terlebih dahulu menyusun *grid*, yakni baris dan kolom posisi yang tersusun secara teratur.



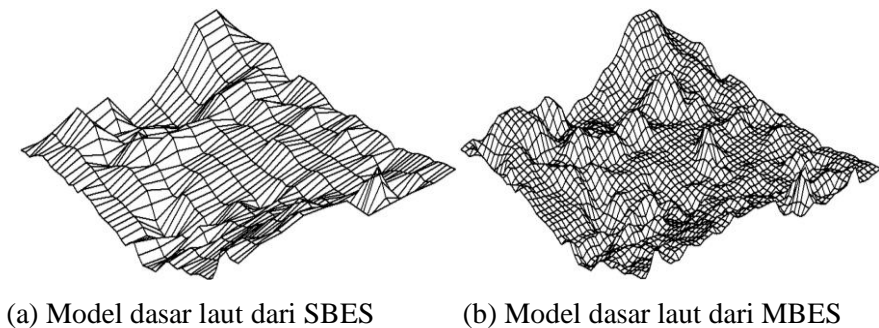
(a) Lajur pemeruman SBES (b) Titik-titik (*point clouds*) pemeruman MBES

Gambar 33 Pengambilan data kedalaman pada suatu lajur perum

Di Gambar 34 dan 35 diperlihatkan beda kerapatan dan hasil pengolahan data yang disajikan dalam garis kontur dan model tiga dimensi, yang diperoleh dari survei dengan SBES dan MBES. Data yang diperoleh dari survei dengan MBES (Gambar 34b) membentuk model dasar laut yang lebih halus dan memperlihatkan lebih banyak detail. Sementara itu, Gambar 35a memperlihatkan lebih banyak detail yang hilang dibandingkan dengan Gambar 35b.



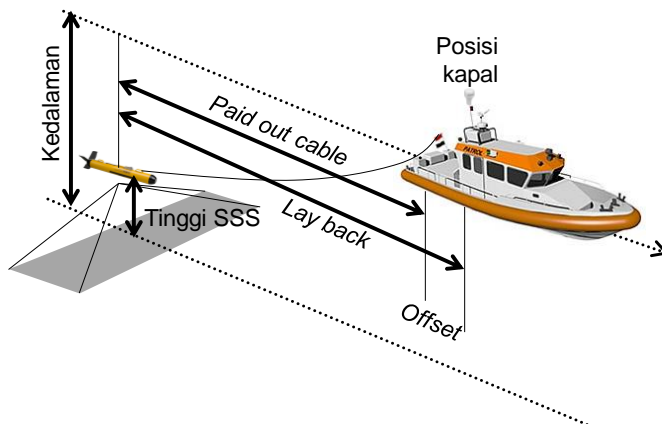
Gambar 34 Garis kontur kedalaman yang ditarik dari sebaran data kedalaman



Gambar 35 Model dasar laut

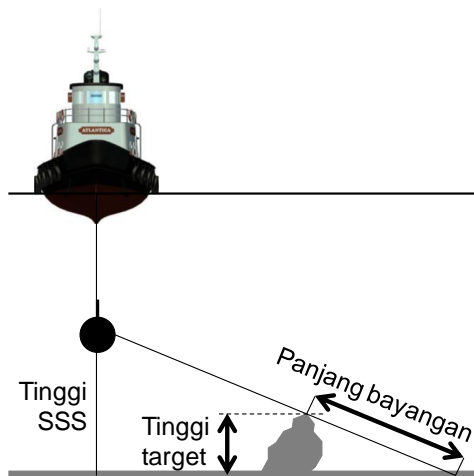
5.2. Survei SSS

Dalam survei hidrografi, SSS digunakan untuk mendapatkan citra dasar laut. Dari citra dasar laut dapat diinterpretasi unsur-unsur yang membentuk dasar laut tersebut, baik unsur-unsur alami (misalnya: sedimen, batuan, atau kerut-kerut di wajah dasar laut) maupun unsur-unsur buatan (misalnya: bangkai kapal, pipa dan kabel bawah laut, atau benda-benda tenggelam tidak alami lainnya). Dalam sebuah survei hidrografi, SSS ditunda dari buritan kapal (Gambar 36) dengan kabel yang sekaligus berfungsi sebagai sarana untuk mengalirkan listrik dan data.



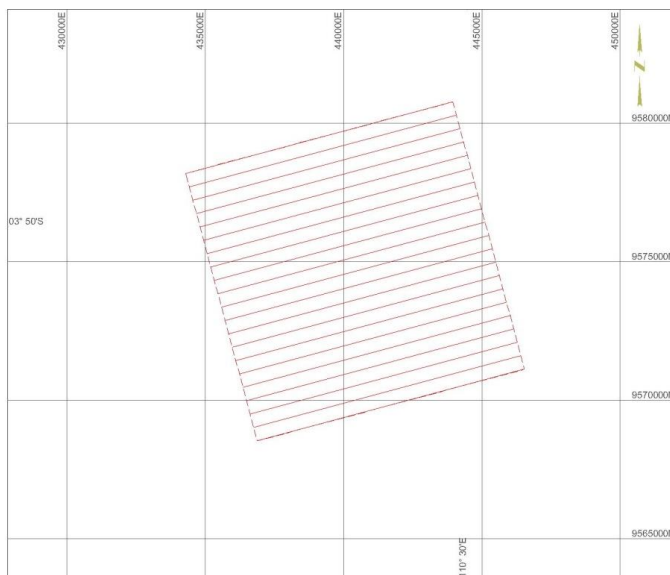
Gambar 36 Kedalaman SSS dan posisinya terhadap kapal

Posisi objek yang dicitra diperkirakan berdasarkan kedudukan relatif objek tersebut terhadap SSS. Posisi SSS relatif terhadap kapal diperkirakan berdasarkan jarak miring dari buritan kapal ke SSS melalui pendekatan panjang kabel, azimut (dengan asumsi bahwa SSS berada pada garis sumbu panjang mendatar kapal), dan tinggi SSS di atas dasar laut yang diperoleh dari kedalaman SSS di bawah muka laut. SSS tidak langsung dapat memberikan jarak ke target atau kedalaman target dalam bentuk angka. Tinggi target yang dicitra diduga dari kesebangunan antara panjang bayangan dengan jarak miring SSS ke titik citra terjauh di sisi-sisinya dan antara tinggi target dengan tinggi SSS di atas dasar laut (Gambar 37).



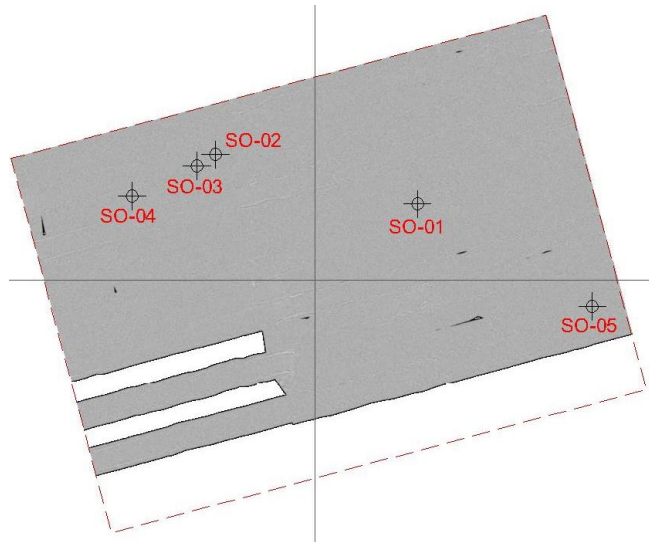
Gambar 37 Pendugaan tinggi target dengan SSS

Sebelum melaksanakan survei SSS, batas-batas wilayah survei terlebih dahulu harus diketahui untuk dapat memperkirakan kedalamannya berdasarkan peta laut atau peta batimetri yang telah ada. Pada Gambar 38 diperlihatkan lajur-lajur rencana survei SSS yang menghasilkan mosaik citra dasar perairan di Gambar 39.

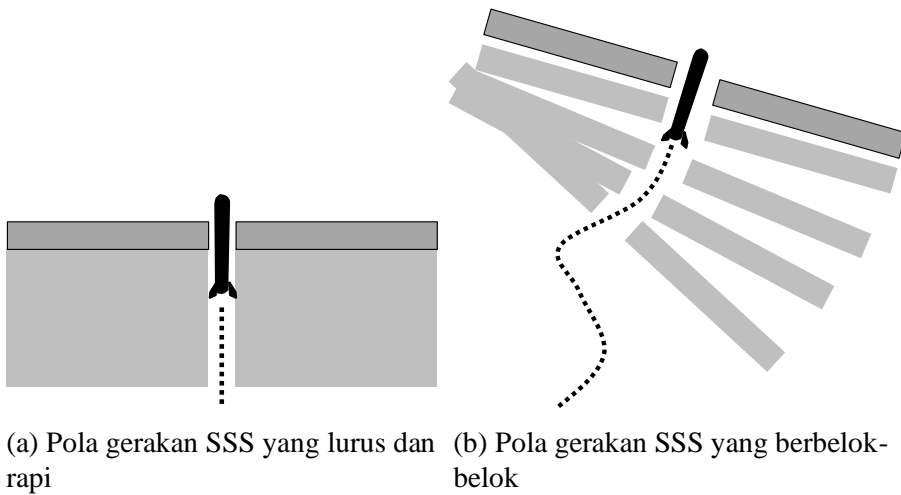


Gambar 38 Rencana lajur survei SSS (AKSLI, 2015)

Selama pengambilan data, surveyor harus memastikan bahwa kapal bergerak rapi sepanjang lajur survei (Gambar 40). Hal ini akan memastikan keutuhan mosaik citra dasar laut pada lokasi survei. Pola gerakan SSS yang tidak rapi akan berakibat pada kegagalan pemosaikan citra dasar laut akibat bagian-bagian yang terpotong atau hilang.



Gambar 39 Mosaik citra SSS (AKSLI, 2015)

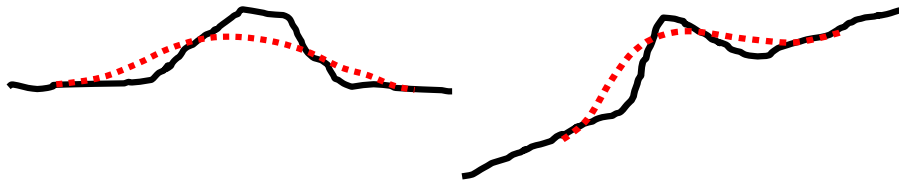


Gambar 40 Gerakan SSS di buritan kapal berpengaruh pada hasil survei

5.3. Survei Pencarian

Tujuan survei pencarian adalah melakukan pemetaan dasar laut untuk menemukan bagian utama atau potongan bagian yang hilang misalnya dari sebuah pesawat terbang yang mengalami kecelakaan dan jatuh ke laut atau kapal yang tenggelam ke dasar laut. Pemetaan dimaksudkan untuk membedakan objek-objek atau target-target yang mempunyai sifat-sifat yang berbeda (*anomalous properties*) dari sifat-sifat dasar laut di sekitarnya. Objek atau target dengan sifat yang berbeda tersebut dapat saja diduga sebagai benda buatan yang bisa jadi merupakan bagian dari benda yang sedang dicari.

Dalam pemeruman, perubahan kedalaman yang tiba-tiba disebut anomali. Hal ini didasari oleh teori kesetimbangan, yaitu alam senantiasa menyetimbangkan bentuk dan perilakunya. Di dasar laut, perpindahan sedimen adalah proses penyetimbangan yang membentuk dasar laut menjadi halus. Pada Gambar 41 ditunjukkan anomali kedalaman pada dataran dan pada kemiringan. Dalam survei hidrografi, penandaan posisi anomali kedalaman merupakan tugas penting untuk memastikan bahwa bahaya-bahaya navigasi di jalur-jalur pelayaran di perairan yang dangkal dikenali.



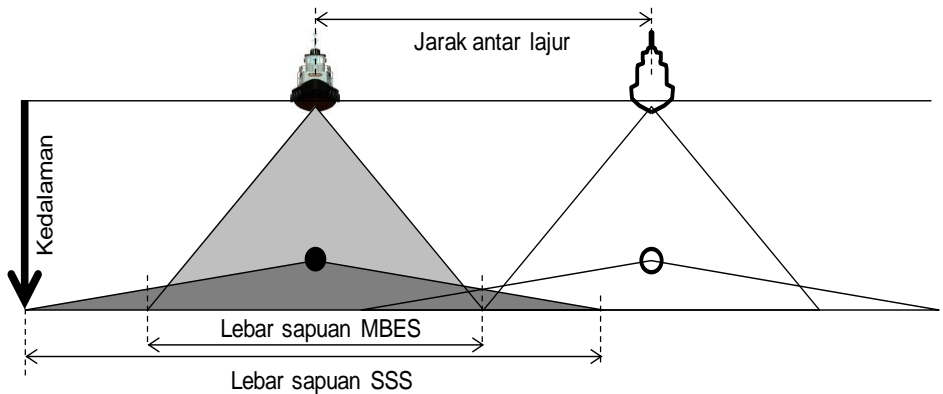
(a) Anomali di dasar laut yang datar (b) Anomali di dasar laut yang miring

Gambar 41 Anomali kedalaman

Pencarian objek di dasar laut dapat dianalogikan dengan survei anomali kedalaman. Penggunaan MBES dan SSS diperlukan untuk menyapu dasar laut dalam upaya menemukan anomali tersebut. Rencana lajur-lajur perum harus dibuat sedemikian rupa sehingga seluruh dasar perairan yang disurvei dapat tercakup. Di Gambar 42 diperlihatkan syarat sapuan selebar dua kali kedalaman perairan. Syarat ini memerlukan peralatan dengan spesifikasi yang sesuai dengan kedalaman perairan yang akan disurvei. Jarak antar lajur dibuat sedemikian rupa sehingga tidak ada bagian dasar laut yang tidak tersapu oleh MBES.

Persoalan penentuan posisi objek dalam survei pencarian terletak pada ketepatan informasi posisi tentang dugaan lokasi jatuhnya pesawat terbang atau tenggelamnya kapal. Saat menerima perintah (dari pusat kendali) untuk melakukan survei pada suatu lokasi, maka rencana lajur perum disusun dengan mempertimbangkan ketidaktepatan

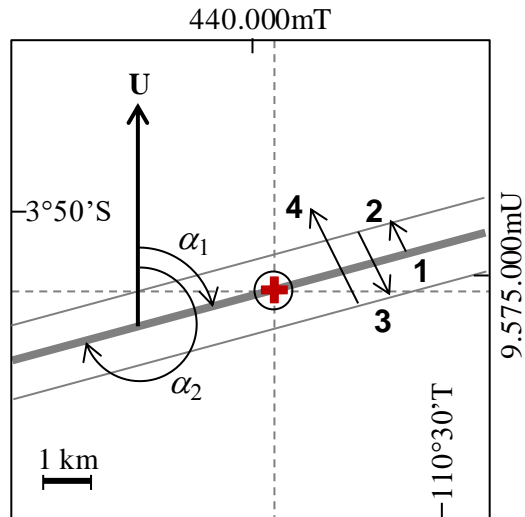
dugaan posisi tersebut. Karenanya, survei pencarian dilakukan dalam suatu radius terhadap posisi terduga. Koordinat lokasi yang diperintahkan menjadi titik pusat pencarian. Lajur-lajur pemeruman dirancang untuk melingkupi kisaran koordinat lokasi yang diperintahkan.



Gambar 42 Cakupan minimum untuk survei pencarian bawah air dengan MBES dan SSS

Gambar 43 memperlihatkan cara perancangan lajur survei yang dimulai dari lajur yang memotong koordinat lokasi (+). Orientasi lajur survei dibuat dengan memperhatikan keadaan cuaca dan perairan. Pada contoh di Gambar 44, azimuth-azimuth lajur survei α_1 dan α_2 dibuat dengan mengikuti arah arus, sehingga dalam pelayarannya meniti lajur survei, arus akan selalu berada di haluan (kapal menentang arus) atau buritan (kapal mengikuti arus). Kemudian, lajur-lajur survei selanjutnya (ke-2, ke-3, ke-4, dan seterusnya) dirancang di sebelah-sebelah lajur survei

pertama yang nantinya akan dilayari. Jarak antar lajur survei dirancang agar tidak ada bagian dasar laut yang tidak tersapu (lihat Gambar 39).



Gambar 43 Perancangan lajur pencarian dari dugaan posisi benda yang dicari (Poerbandono, 2015b)

Selama survei pencarian berlangsung, prosedur yang diterapkan untuk mengelola data yang diperoleh adalah:

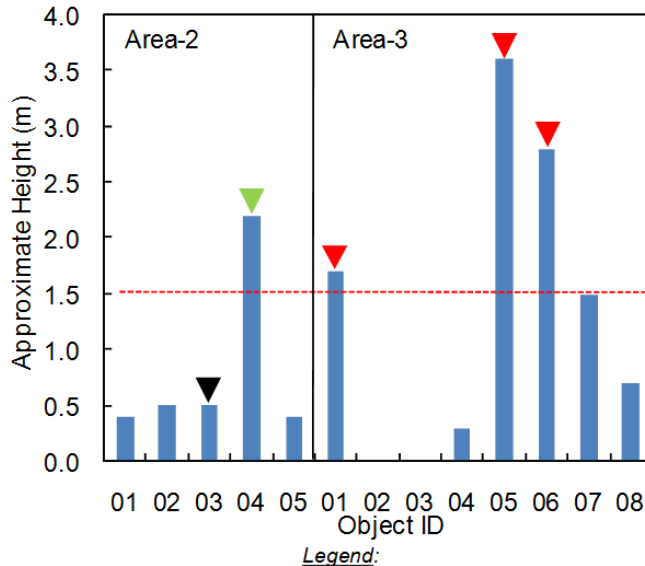
1. Deteksi: Deteksi dimaksudkan untuk mengumpulkan tanda-tanda kontak sonar di daerah yang disurvei. Hal ini dilakukan dengan SSS. Tanda-tanda kontak sonar didefinisikan sebagai citra akustik suatu objek di dasar laut dengan kekuatan hamburan balik yang lebih tinggi dari keadaan citra akustik di sekitarnya.

Perkiraan posisi (koordinat) dan dimensi (yaitu panjang, lebar, tinggi) dari tanda kontak sonar diperoleh menggunakan SSS.

2. Interpretasi: Semua tanda-tanda kontak sonar dari SSS selanjutnya melewati tahap interpretasi. Interpretasi dilakukan dengan memperkirakan dimensi objek dari data MBES. Berdasarkan perkiraan dimensi tersebut, dapat diidentifikasi sifat objek yang dicurigai terhadap lingkungan sekitarnya. Dalam hal ini, jika objek tersebut merupakan anomali kedalaman (secara ukuran) atau anomali kecerahan citra akustik, maka tahap selanjutnya dilakukan verifikasi melalui identifikasi visual.
3. Verifikasi: Verifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa objek yang terdeteksi sebagai tanda kontak sonar serta merupakan anomali (dalam hal dimensi terhadap lingkungan sekitarnya) merupakan bagian dari benda yang sedang dicari. Verifikasi dilakukan dengan bantuan ROV. Untuk keadaan laut yang bersahabat di perairan yang cukup dangkal (≤ 40 m), pemeriksaan manual dengan mengirimkan penyelam dapat pula dilakukan.

Berdasarkan pengalaman AKSLI (Gambar 44), objek-objek yang dapat diduga sebagai benda hilang yang

sedang dicari adalah anomali-anomali kedalaman dengan ketinggian 1,5 meter di atas dasar laut. Objek-objek ini yang kemudian perlu diverifikasi secara visual.



Legend:
 ▼ = control object; ▼ = coral covered wreck; ▼ = parts of Air Asia QZ 8501

Gambar 44 Perkiraan tinggi objek anomali kedalaman (Poerbandono, 2015b)

Sepanjang kegiatan pencarian, prosedur deteksi, interpretasi, dan verifikasi terus menerus dilangsungkan. Untuk memelihara kecepatan dan ketepatan pelaksanaan dan pencapaian prosedur tersebut, pengolahan data survei dan penyajian (penggambaran) hasilnya harus terus dikerjakan. Selain itu, selama survei berlangsung, surveyor harus pula mencatat setiap peristiwa yang terjadi.

6

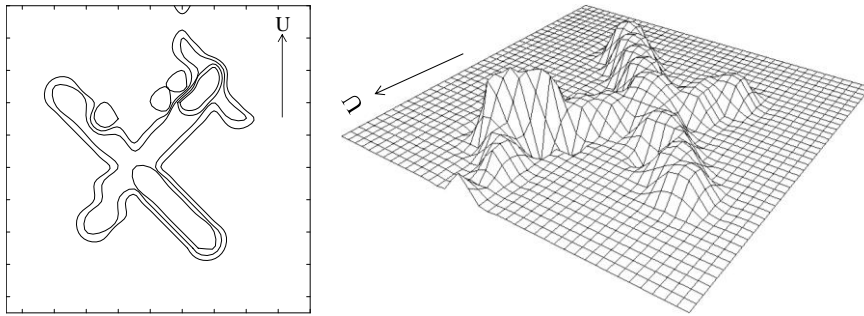
PENYAJIAN DATA DAN INTERPRETASI INFORMASI



Dari peralatan survei, diperoleh data dalam bentuk angka (Gambar 45). Agar data dapat dimaknai (diinterpretasi), maka pengolahan data harus dilakukan dengan menyusun, meringkas, atau menampilkan kembali data tersebut dengan cara yang berbeda untuk menemukan pola, kecenderungan, atau hubungan antar data dari suatu objek yang diukur. Cara efektif untuk menyajikan data adalah dengan visualisasi atau penggambaran. Data di Gambar 45 menjadi berarti untuk diinterpretasi ketika disajikan secara visual di Gambar 46.

20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 18 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 18 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 18 18 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 18 15 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 18 18 20 20 20 20 20 20 22 15 15 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 18 18 18 20 20 20 20 22 15 15 18 18 20 20 20 20 20
 20 20 20 18 18 22 20 20 20 18 18 18 20 18 18 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 18 18 18 20 18 18 18 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 18 18 18 18 18 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 18 17 17 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 18 18 17 17 17 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 18 18 20 17 17 17 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 18 18 18 20 20 17 17 17 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 18 18 20 20 20 17 17 17 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 17 17 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20

Gambar 45 Angka-angka yang merupakan data yang menunjukkan kedalaman



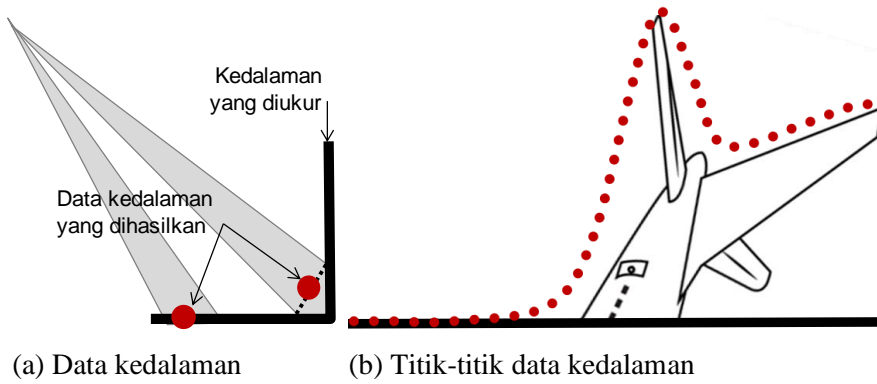
(a) Kontur kedalaman (b) Model batimetri tiga dimensi

Gambar 46 Visualisasi data kedalaman untuk keperluan interpretasi

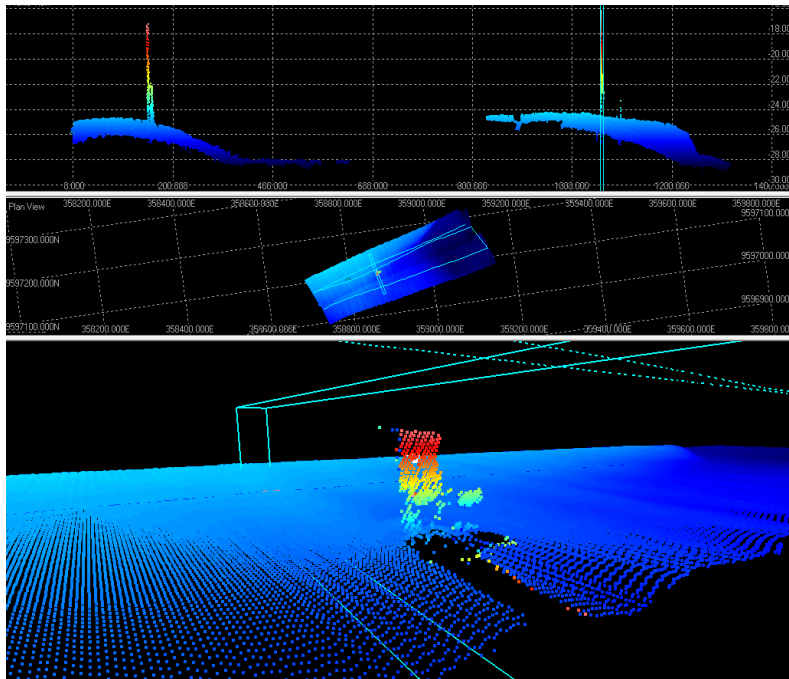
6.1. Data Batimetri

MBES menentukan kedalaman sebuah objek dengan resolusi lateral yang bergantung pada spesifikasi transduser dalam menghasilkan pancaran gelombang akustik. Spesifikasi yang dimaksud adalah kemampuan teknis yang mengatur sudut lebar pancaran gelombang akustik. Pada Gambar 47a ditunjukkan bahwa kedalaman yang diperoleh dari satu pancaran gelombang akustik adalah nilai rata-rata data ukuran selebar pancaran gelombang akustik yang mengenai objek atau target yang diukur.

Data MBES tersebut kemudian disajikan sebagai *point cloud* atau titik-titik yang sangat banyak. Setiap titik pada *point cloud* mempunyai nilai posisi dan kedalaman. Pada Gambar 47b diperlihatkan sebuah objek akan dideteksi oleh MBES sebagai tonjolan dengan dua puncak di atas dasar perairan. Gambaran dasar perairan dapat disajikan dalam garis-garis kontur atau model permukaan digital. Gambar 48 memperlihatkan sebuah anomali kedalaman yang divisualisasikan sebagai *point cloud*. Anomali tersebut mempunyai ketinggian hingga beberapa meter di atas dasar perairan. Anomali semacam ini cukup berarti untuk diduga kuat sebagai objek bawah air yang sedang dicari.



Gambar 47 Data dan titik-titik kedalaman dari MBES

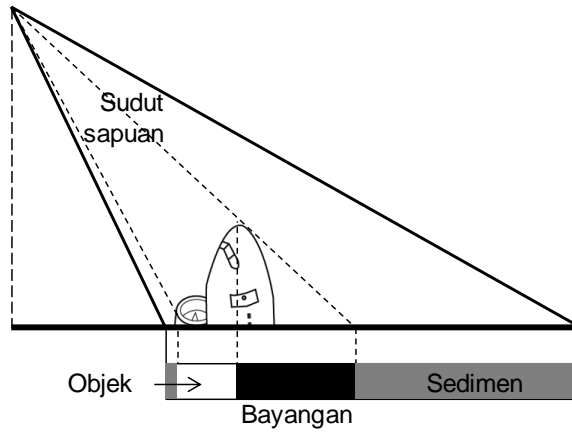


Gambar 48 Anomali kedalaman yang divisualisasikan sebagai *point cloud* (AKSLI, 2015)

6.2. Citra Dasar Laut

SSS menampilkan wajah dasar laut yang dipindai dalam visualisasi sebagai citra hitam putih atau gelap terang. Warna citra yang lebih terang (cerah) menandakan gema dari objek yang dipindai yang lebih kuat dibandingkan dengan warna citra yang lebih gelap (kusam). Pada Gambar 49 diperlihatkan bahwa gema yang dipantulkan oleh objek di dasar laut yang menonjol dan lebih keras dibandingkan sedimen di sekitarnya memberikan warna yang lebih terang pada citra SSS. Bagian yang membelakangi arah datangnya gelombang sonar menjadi bayangan objek yang muncul sebagai warna gelap pada citra SSS. Sedimen muncul dengan warna keabu-abuan yang menandakan kekerasan yang lebih lemah dibanding objek.

Data kecerahan citra pada SSS biasanya dinyatakan sebagai *Digital Number* (DN) dalam skala angka 0 (paling gelap) hingga 255 (paling terang) dan tersusun dalam bentuk *grid*. Gambar 50 memperlihatkan sebuah tanda kontak sonar yang terlihat sebagai kecerahan dengan bayangan yang panjang. Tanda kontak sonar seperti ini terlihat sebagai anomali di dasar laut, sehingga dapat diduga kuat sebagai objek di bawah air yang sedang dicari.



Gambar 49 Garis citra SSS dari pindaian objek, bayangan objek, dan sedimen sekitarnya



Gambar 50 Tanda kontak sonar pada sebuah mosaik citra SSS (AKSLI, 2015)

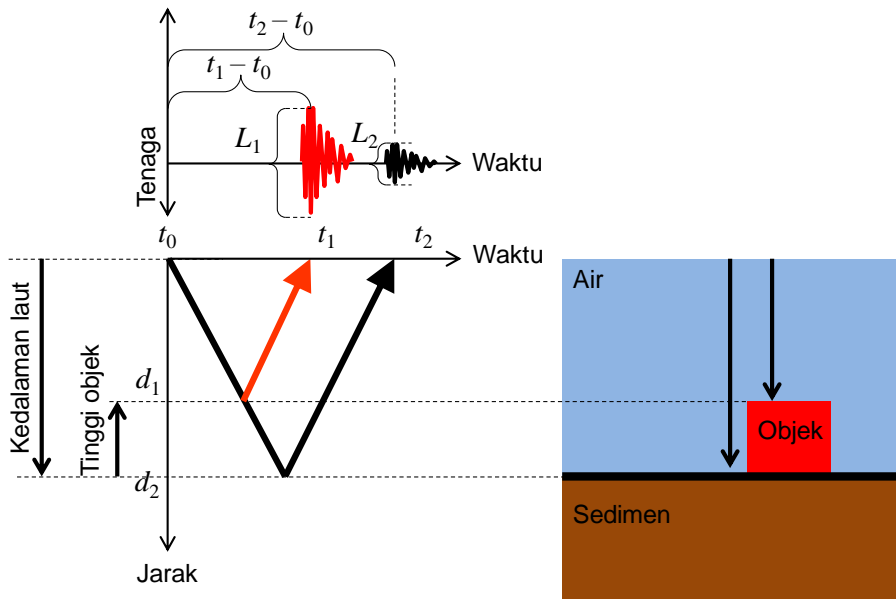
6.3. Interpretasi Objek Bawah Air

Dengan sonar, sebuah objek di bawah air dideteksi berdasarkan waktu diterimanya kembali gema dan kekuatan gema yang diterima tersebut. Berdasarkan waktu diterimanya kembali gema, jarak terhadap objek yang dideteksi dapat dihitung. Pemanfaatan waktu tempuh ini merupakan konsep penentuan kedalaman dengan MBES. Berdasarkan kekuatan gema yang diterima, kekerasan objek terhadap objek lain yang berada di sekitarnya dapat dibandingkan. Pemanfaatan kekuatan gema ini merupakan konsep pencitraan dasar laut dengan SSS.

Pada Gambar 51 diperlihatkan sebuah objek yang terletak di dasar laut. Kedalaman objek diperoleh berdasarkan selang waktu t_1 terhadap t_0 . t_0 adalah waktu pada saat sonar dikirim dari transduser. Kedalaman dasar laut diperoleh berdasarkan selang waktu t_2 terhadap t_0 . Tinggi objek dapat diperoleh sebagai selisih kedalaman objek terhadap kedalaman perairan. Kecerahan objek terekam dari kekuatan gema objek (L_1) yang lebih tinggi dibanding kekuatan gema dari dasar laut sekitarnya (L_2).

Dengan gabungan interpretasi dimensi dan kekerasan objek dasar laut, sebuah survei pencarian mempunyai dasar pertimbangan untuk menentukan langkah kerja

selanjutnya, yaitu verifikasi objek secara langsung untuk mendapatkan bukti-bukti visual. Verifikasi objek secara langsung dilakukan dengan menurunkan penyelam atau *Remotely Operated Vehicle* (ROV) dari wahana apung. Melalui survei bawah air yang teliti dan akurat, maka upaya verifikasi objek secara langsung dapat diminimasi sekaligus ditingkatkan efektivitasnya.



Gambar 51 Deteksi jarak dan kekerasan objek bawah air dengan sonar

Berdasarkan pengalaman AKSLI (lihat Gambar 44), survei pencarian bawah laut berhasil memisahkan lima dari 13 objek bawah air yang dicurigai. Keberhasilan ini

memperlihatkan bahwa penggunaan teknologi survei hidrografi mampu mengidentifikasi objek bawah air dengan ketepatan melebihi 60%. Di tempat pencarian yang tepat, verifikasi objek secara langsung hanya diperlukan di tiga dari delapan objek yang dicurigai. Ketiga objek yang diverifikasi tersebut kesemuanya adalah benda hilang yang dicari.

DAFTAR PUSTAKA

- AKSLI, 2015. Search and Rescue of Air Asia QZ8501 by Using Side Scan Sonar, Multi Beam Echo Sounder and Remotely Operated Vehicle, Java Sea and Karimata Strait, Indonesia. Corporate Social Responsibility Survey and Seafloor Mapping Community for Nation. Survey Report. Asosiasi Kontraktor Survei Laut Indonesia (AKSLI). Jakarta, Indonesia.
- Pushidros TNI-AL 2010. Peta Laut Indonesia Nomor 79.
- Encyclopedia Britannica 2011. Physics: Magnetic field. www.britannica.com.
- IHO 2008. *S-44: Standards for Hydrographic Surveys*. International Hydrographic Organization. Monaco.
- Poerbandono 2015a. Kewenangan Pengelolaan Profesi dan Keabsahan Penyelenggaraan Informasi Hidrografi: Pengetahuan Hidrografi bagi Kedaulatan Maritim NKRI. Peringatan Hari Hidrografi Dunia. Dinas Hidro-oseanografi TNI-AL. Jakarta.
- Poerbandono 2015b. *Seafloor Swathe Survey for Search and Rescue Mission of Air Asia QZ8501*. Article of the Month - March. International Federation of Surveyors.
- Poerbandono 2015c. Underwater detection of crashed airplane: Hydrography for SAR mission of Air Asia QZ8501 in Indonesia. *Hydro International* **19**(5). 16-19.

Poerbandono, Djunarsjah E 2005. *Survei Hidrografi*.
Refika Aditama, Bandung.

TENTANG PENULIS

POERBANDONO*

(*Dr.rer.nat.*, Assoc. Prof., Surveyor A *Hons.*, Ir.)

Dosen di Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika,
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

GABRIELLA ALODIA

(M.Sc., FIG/IHO/ICA IBSC Category A Hydrographic Surveyor)

Mahasiswa Program Doktor di *Institute of Applied Geosciences*,
School of Earth and Environment, University of Leeds.

*Sub Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika
Program Studi Program Profesi Insinyur - Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, INDONESIA
T +62(0)22 253 0701, F +62(0)22 253 0702
E hydrography@gd.itb.ac.id, W <http://www.gd.itb.ac.id>



Melalui buku ini, para pembaca dapat mengenali hal-hal (istilah, definisi, dan konsep) dalam survei dan pemetaan laut, khususnya penentuan posisi horisontal dan penentuan kedalaman dasar perairan dan prinsip-prinsip dasar, sistem, dan cara kerja peralatan pendukung survei, pengukuran, dan pemetaan laut, khususnya sistem sonar aktif, serta teknologi penentuan posisi, pemeruman, dan pencitraan.

Untuk memastikan pemahaman yang lebih baik, buku ini juga dilengkapi dengan skema, gambar, atau diagram untuk menggambarkan penjelasan. Secara khusus, penulis berharap bahwa para pembaca dapat memperoleh penjelasan secara konseptual tentang langkah-langkah kerja pemanfaatan peta laut dan peralatan survei dan pemetaan laut untuk menentukan posisi objek di peta dari koordinat yang diketahui, diberikan, atau diperkirakan, dan merekonstruksi posisi di peta untuk ditemukan di lapangan (*stake out*), serta menginterpretasi objek berdasarkan data dan/atau informasi yang diperoleh dari peralatan-peralatan survei bawah air, khususnya perum gema dan *side scan sonar*.



Gedung Perpustakaan Pusat ITB, Lantai Basemen
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Jawa Barat
Telp. 022 2504257. Fax. 022 2534155
e-mail : office@itbpress.itb.ac.id
web : www.itbpress.itb.ac.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA(1)
APPTI No. 005.062.1.10.2018



ISBN: 978-602-5417-21-4

