

## **BAB II**

### **PERUBAHAN KEDALAMAN DENGAN DATA MULTIBEAM ECHOSOUNDER**

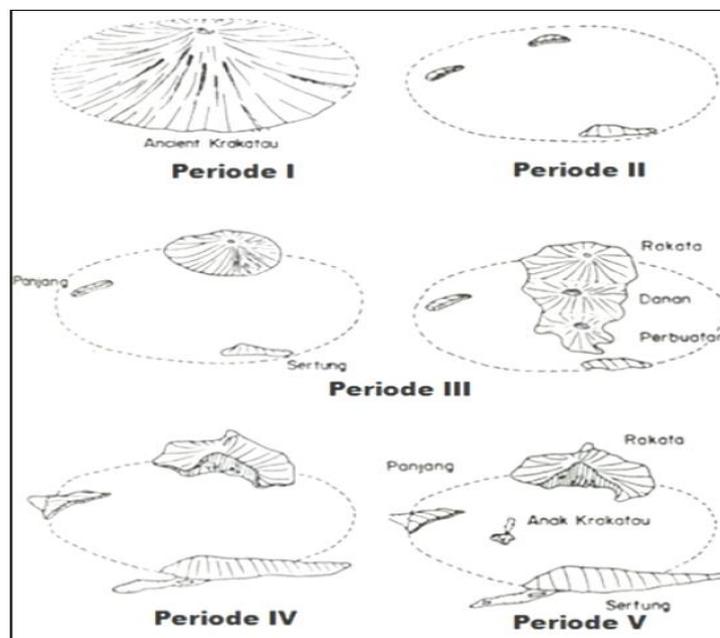
#### **2.1 Gunung Anak Krakatau**

Gunung Anak Krakatau merupakan anak dari Gunung Krakatau yang pernah meletus dahsyat pada tahun 1883. Krakatau merupakan kompleks gunung api sebagai hasil penghancuran dari letusan Gunung Krakatau Purba. Penyelidikan geologi Krakatau yang dilakukan pada 1982 menghasilkan Peta Geologi Krakatau. Stratigrafi di kompleks Krakatau mewakili evolusi Krakatau yang terbagi menjadi lima periode. Beberapa bencana alam yang terjadi akibat aktifitas Gunung Anak Krakatau diantaranya adalah erupsi, gempa bumi, serta tsunami atau gelombang tinggi.

##### **2.1.1 Evolusi Gunung Anak Krakatau**

Periode I adalah pembentukan gunung api tunggal, yang disebut sebagai Krakatau Purba diperkirakan mempunyai ketinggian sekitar 2000 m. Diameter gunung api ini di permukaan laut diperkirakan mencapai 15 km, sekitar setengah diameter dari Gunung Merapi [1]. Periode II adalah periode penghancuran Krakatau Purba. Catatan sejarah yang dihimpun oleh de Neve (1984) menyebutkan bahwa letusan besar (katastrofik) terjadi pada 416 M yang menghasilkan *collapse caldera*. Kaldera yang terbentuk mempunyai lebar sekitar 10 km dan menyisakan empat pulau yang kemudian dikenal dengan Sertung, Rakata (Krakatau), Panjang dan Cupu [1]. Periode III dimulai dengan pembentukan Gunung Rakata (Krakatau), gunung api dengan ketinggian 800 m yang kaya akan material basaltis, di bagian tenggara - tepi kaldera. Letusan yang terjadi di Rakata kemudian membentuk Gunung Danan dan Perbuatan, yang kaya akan material andesitis (Willumsen, 1997). Kerucut andesitis Danan dan Perbuatan menyatu dengan kerucut basaltis Rakata membentuk sebuah

pulau [1]. Periode IV adalah periode penghancuran Danan, Perbuatan dan sebagian Rakata pada letusan 1883 yang membentuk Kaldera 1883 dengan diameter sekitar 7 km [1]. Periode V merupakan periode pembangunan Gunung Anak Krakatau setelah pembentukan Kaldera 1883. Periode ini dimulai dengan kegiatan vulkanik di bawah laut pada 29 Desember 1927. Dua tahun kemudian pada 20 Januari 1929, sebuah dinding kawah terbentuk di sekitar pusat kegiatan. Dinding tersebut tersusun atas abu, lapili dan bongkahan-bongkahan lepas. Dinding kawah ini membentuk pulau yang dinamakan Anak Krakatau [1]. Sejak Agustus 1930, gunung api ini terbentuk secara permanen di atas muka laut, dan kegiatannya menerus sampai Oktober 1950. Pada September 1956, sebuah kerucut terbentuk di dalam kawah.

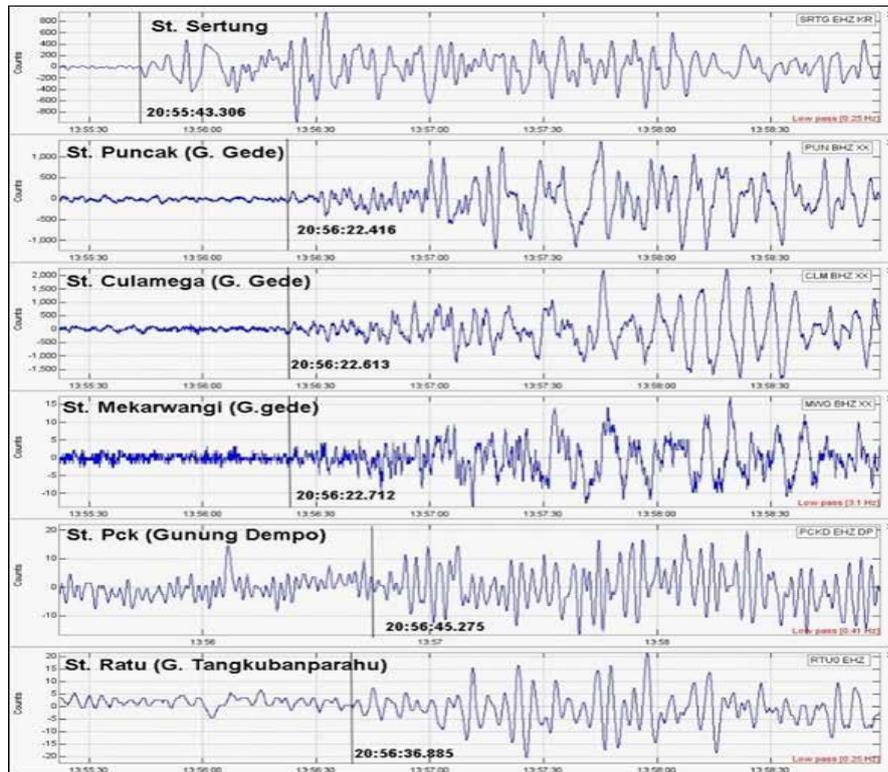


Gambar 2.1 Evolusi Krakatau [1]

### 2.1.2 Erupsi Gunung Anak Krakatau (22 Desember 2018)

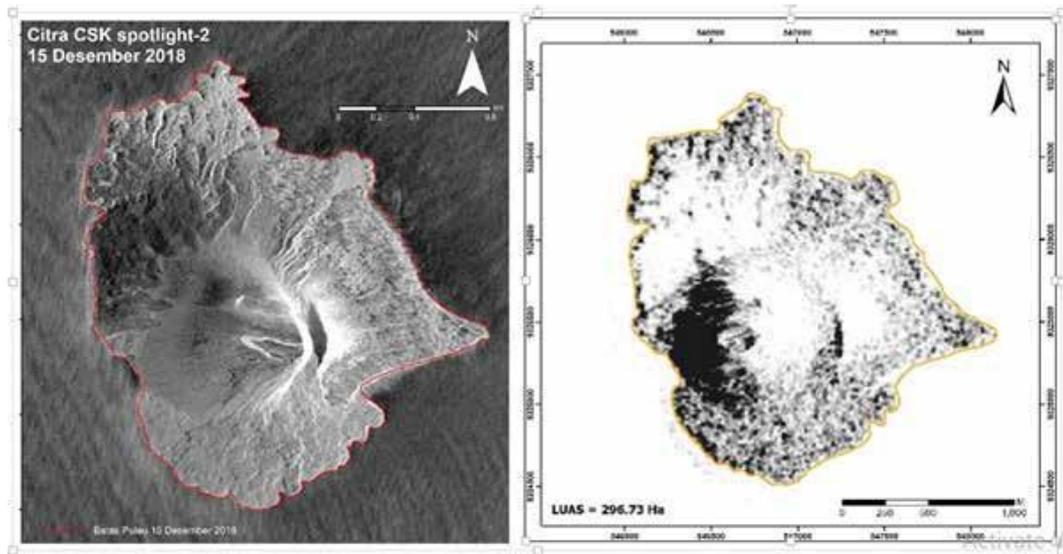
Peningkatan aktivitas Gunung Anak Krakatau terjadi mulai 29 Juni hingga pertengahan Desember 2018, awalnya perubahan tubuh Gunung Anak Krakatau hanya berupa penambahan dimensi karena pelamparan material letusan. Selanjutnya pada 22 Desember 2018 pukul 20:55 WIB terekam gempa tektonik jauh di Stasiun Puncak Gunung api Dempo (Sumatera Selatan),

Stasiun Sertung (Pulau Sertung, Selat Sunda), 3 stasiun seismik di Gunung api Gede (Jawa Barat), dan Stasiun Ratu Gunung api Tangkuban Parahu (Jawa Barat). Pada pukul 21.03 stasiun seismik di Pulau Anak Krakatau mulai tidak merekam gempa karena mengalami kerusakan akibat terkena letusan dan kemudian pemantauan kegempaan dialihkan ke stasiun seismik di Pulau Sertung.



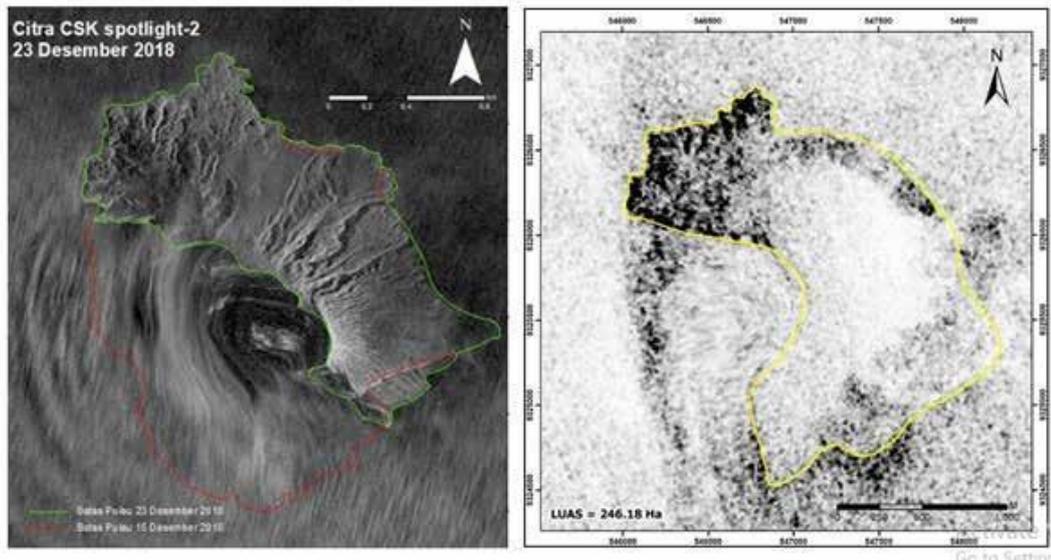
Gambar 2.2 Rekaman gempa tektonik pukul 20:55 WIB. Dari atas: Stasiun Pulau Sertung, Puncak, Culamega, dan Mekarwangi (Gunung Gede, Jawa Barat), Pck (Gunung Dempo, Sumatera Selatan), dan Ratu (Tangkuban Parahu, Jawa Barat) [1].

Analisis Citra CSK (COSMO SkyMed) Spotlight-2 tanggal 15 Desember 2018 menunjukkan luas tubuh Gunung Anak Krakatau mencapai 3.000.000  $m^2$ . Kondisi yang sama terekam pada citra Sentinel-1 tanggal 19 Desember 2018 [1].



Gambar 2.3 Citra CSK (*COSMO SkyMed*) *Spotlight-2* tanggal 15 Desember 2018 (kiri) dan citra *Sentinel-1* tanggal 19 Desember 2018 (kanan) [1].

Akan tetapi analisis Citra CSK (*COSMO SkyMed*) *Spotlight-2* tanggal 23 Desember 2018 memperlihatkan adanya jejak pelongsoran sebagian tubuh Gunung Anak Krakatau bagian barat daya-selatan. Sekitar  $1.090.000 \text{ m}^2$  atau 36,33% dari luas permukaan Gunung Anak Krakatau dan  $80.000.000 \text{ m}^3$  tubuh Gunung Anak Krakatau mengalami longsor, hal tersebut diduga berkaitan dengan peristiwa tsunami pada 22 Desember 2018. Kenampakan morfologi yang berbeda terlihat pada hasil pengolahan Citra *Sentinel-1* tanggal 25 Desember 2018 yang cenderung memperlihatkan pola longsor seperti tapak kuda yang terbuka ke arah barat-barat daya. Perbedaan analisis ini disebabkan karena tidak jelasnya objek tubuh Gunung Anak Krakatau yang terhalangi oleh material letusan ketika satelit melakukan perekaman data [1].



Gambar 2.4 Citra CSK (COSMO SkyMed) Spotlight-2 tanggal 23 Desember 2018 (kiri) dan citra Sentinel -1 tanggal 25 Desember 2018 (kanan) [1].

Bermula dari analisis tersebut maka perlu diadakan survei batimetri untuk mengetahui perubahan kedalaman yang terjadi akibat longsoran bagian tubuh Gunung Anak Krakatau yang jatuh ke laut. Dengan hipotesa awal adanya pendangkalan laut disekitar Gunung Anak Krakatau yang disebabkan oleh material longsoran dengan jumlah yang cukup besar jatuh ke laut tersebut [1].

## 2.2 Survei Batimetri

Pada SNI 7646-2010 Survei hidrografi yang diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pengertian batimetri adalah metode atau teknik penentuan kedalaman laut atau profil dasar laut dari hasil analisa data kedalaman [2]. Sedangkan survei batimetri adalah proses penggambaran garis-garis kontur kedalaman dasar perairan yang meliputi pengukuran, pengolahan, hingga visualisasinya. Pada survei batimetri akan didapatkan garis-garis kontur kedalaman, dimana garis-garis tersebut didapatkan dengan menginterpolasikan titik-titik pengukuran kedalaman yang tersebar pada lokasi yang dikaji [3].

Sekarang ini peta batimetri dapat divisualisasikan dalam tampilan dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D). Visualisasi tersebut dapat dilakukan karena perkembangan teknologi yang semakin maju, sehingga penggunaan

komputer untuk melakukan kalkulasi dalam pemetaan mudah dilakukan. Data batimetri dapat diperoleh dengan penggunaan teknik interpolasi untuk pendugaan kedalaman untuk daerah-daerah yang tidak terdeteksi merupakan hal mutlak yang harus diperhatikan. Teknik interpolasi yang sering digunakan adalah teori *Universal Kriging* dan teori IRFK (*Intrinsic Function of Order K*) [4].

Awalnya batimetri mengacu kepada pengukuran kedalaman samudera. Teknik-teknik awal batimetri menggunakan tali berat terukur atau kabel yang diturunkan dari sisi kapal. Keterbatasan utama teknik ini adalah hanya dapat melakukan satu pengukuran dalam satu waktu sehingga dianggap tidak efisien. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi pengukuran batimetri semakin canggih dan efisien. Saat ini terdapat dua metode dasar untuk pemetaan batimetri, yaitu dengan metode akustik dengan *echosounder* dan metode *altimetri* dengan satelit. Konsep dasar pada pengukuran batimetri yaitu mengukur kedalaman dengan menghitung jarak antara permukaan hingga kedasar perairan, jarak diukur dengan membandingkan waktu gelombang dipancarkan dan kemudian diterima kembali dengan kecepatan gelombang yang digunakan [5].

### **2.3 Multibeam Echosounder**

*Multibeam echosounder* adalah sebuah instrumen *hydrographic-acoustic* yang digunakan untuk meningkatkan cakupan area, konsekuensi dan produktifitas dalam pembuatan peta laut (*nautical chart*). Hal ini dikarenakan banyaknya *beam* yang ditembakkan dalam satu kali sapuan, dengan demikian akan terbentuk kolom-kolom yang saling bertampalan sehingga menghasilkan cakupan area yang luas. Meskipun mempunyai prinsip yang sama dengan *singlebeam echosounder*, namun akurasi pengukurannya tidak lebih baik, karena pada kenyataannya akurasi berkurang seiring dengan meningkatnya sudut sapuan [6].

#### **2.3.1 Konsep Dasar Echosounder**

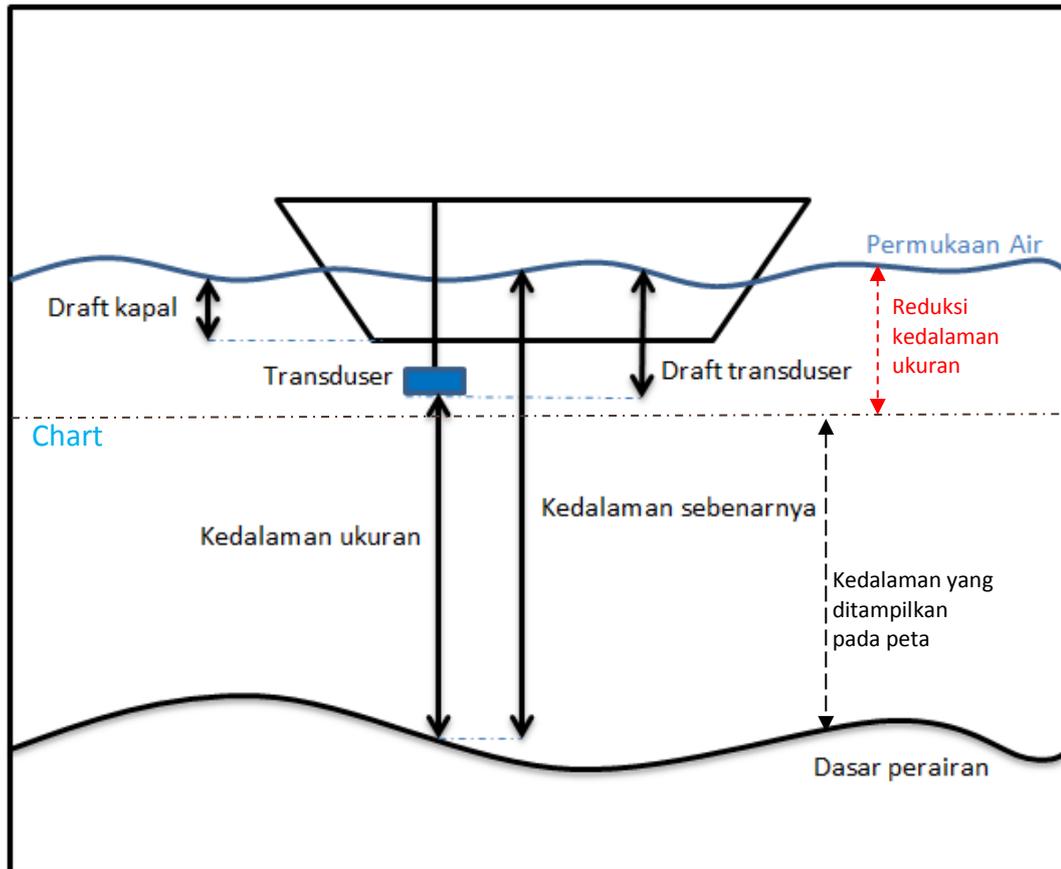
Gelombang akustik dengan frekuensi 5 kHz atau 100 Hz akan mempertahankan kehilangan intensitasnya hingga kurang dari 10% pada

kedalaman 10 km, sedangkan gelombang akustik dengan frekuensi 500 kHz akan kehilangan intensitasnya pada kedalaman kurang dari 100 m. Secara khusus, teknik ini dipelajari dalam hidro-akustik. Untuk pengukuran kedalaman, digunakan *echosounder* atau perum gema yang pertama kali dikembangkan di Jerman tahun 1920 [7]. Alat ini dapat dipakai untuk menghasilkan profil kedalaman yang kontinu sepanjang jalur perum dengan ketelitian yang cukup baik. Alat perum gema menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari *transducer*. *Transducer* adalah bagian dari alat perum gema yang mengubah energi listrik menjadi mekanik (untuk membangkitkan gelombang suara) dan sebaliknya. Gelombang akustik tersebut merambat pada medium air dengan cepat rambat yang relatif diketahui atau dapat diprediksi hingga menyentuh dasar perairan dan dapat dipantulkan kembali ke *transducer*. Perum gema menghitung selang waktu sejak gelombang dipancarkan dan diterima kembali ( $\Delta t$ ), sehingga jarak dasar perairan relatif terhadap *transducer* adalah :

$$Kedalaman = \frac{1}{2} V \Delta t \quad (2.1)$$

kedalaman ukuran dapat dihitung dengan mengukur selisih waktu dipancarkan dan waktu diterima kembali gelombang akustik sehingga di dapatkan nilai  $\Delta t$ . Sedangkan  $V$  merupakan kecepatan gelombang akustik pada medium air, dimana kecepatan gelombang tergantung kondisi kolom air yang dapat diukur dengan *sound velocity profiler*. Hasil pengukuran kedalaman akan direkam dan ditampilkan secara digital. Tampilannya adalah profil kedalaman perairan sepanjang jalur survei kapal (lajur perum). Hasil kedalaman yang didapat berupa kedalaman ukuran yang kemudian akan dikoreksi dengan *draft transducer* sehingga didapatkan kedalaman sebenarnya. Dari nilai kedalaman sebenarnya tersebut kemudian akan dilakukan koreksi pasut hingga mendapatkan nilai reduksi kedalaman dari *chart datum*. Kedalaman yang ditampilkan pada peta laut merupakan kedalaman dari dasar laut hingga *chart datum*. Jika pada titik-titik

tertentu ditandai saat pengukurannya dan pengukuran untuk penentuan posisi dilakukan secara kontinu dengan saat yang tercatat, maka hasil pencatatan waktu tersebut dapat digunakan untuk merekonstruksi posisi kapal saat melakukan pengukuran kedalaman dilakukan.



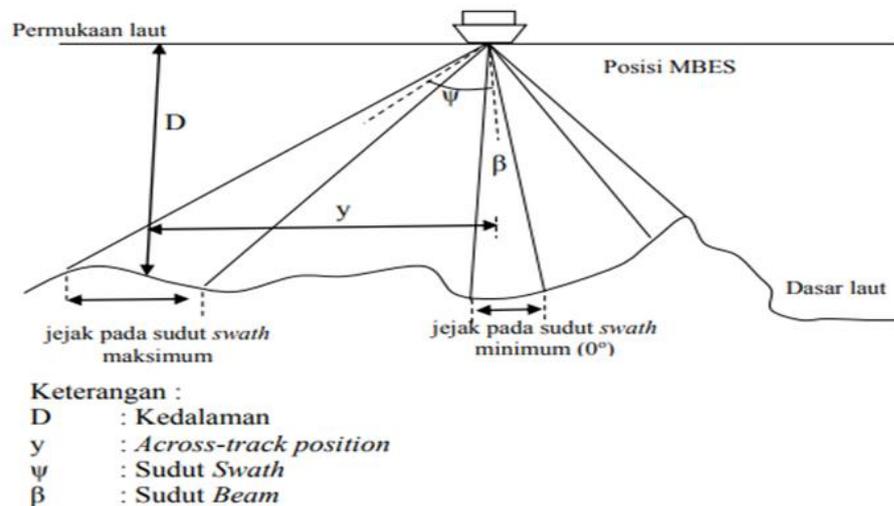
Gambar 2.5 Gambar sketsa posisi transduser dan prinsip dasar pengukuran kedalaman beserta reduksinya hingga ditampilkan pada peta laut

Kemudian pada tahun 1970 dimulai pengembangan dari sistem *echosounder* dengan membuat pancaran *beam* menjadi bentuk sapuan. Sistem ini dapat menghasilkan data dari wilayah yang luas secara akurat dan efektif, serta juga dapat dipergunakan untuk aplikasi oseanografi yang lain seperti pemetaan geologi serta investigasi ilmiah lainnya, survei ZEE dan survei untuk peletakan kabel bawah laut. Pada tahun 1990 sistem *multibeam echosounder* untuk area laut dangkal mulai dikembangkan secara pesat untuk keperluan survei laut dangkal seperti pembangunan dermaga serta survei konstruksi saluran air yang memerlukan 100% cakupan area dengan akurasi tinggi. Atas dasar keperluan

teknik konstruksi perairan yang berkembang, maka *multibeam echosounder* mulai dikembangkan secara pesat hingga saat ini.

*Multibeam echosounder* bekerja dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dapat merambat dengan baik di bawah air. Secara sederhana *multibeam echosounder* memancarkan gelombang akustik dan kemudian akan dipantulkan kembali ketika gelombang tersebut menyentuh material di dasar laut. Gelombang yang kembali dipantulkan akan diterima kembali oleh sensor dan akan dihitung beda waktu saat gelombang dipancarkan dan saat gelombang kembali diterima. Parameter inilah yang nanti akan diproses menjadi informasi mengenai kedalaman air.

*Multibeam echosounder* memancarkan *beam* dengan rentang frekuensi antara 12-500 kHz. Pola pancarannya melebar dan melintang terhadap badan kapal. Jika kapal bergerak maju maka hasil sapuan *multibeam echosounder* tersebut akan menghasilkan suatu luasan yang menggambarkan permukaan dasar laut [8].



Gambar 2.6 Prinsip Multibeam Echosounder [8]

Pada Gambar 2.6 area yang tegak lurus dengan jalur survei ini disebut *swath*. Dimensi dari *swath* yang melintang tegak lurus dengan badan kapal disebut dengan *swath width*, biasanya dimensi ini diukur dalam satuan derajat atau ukuran fisik yang biasanya berubah terhadap kedalaman [8].

### 2.3.2 Kalibrasi Pada *Multibeam Echosounder*

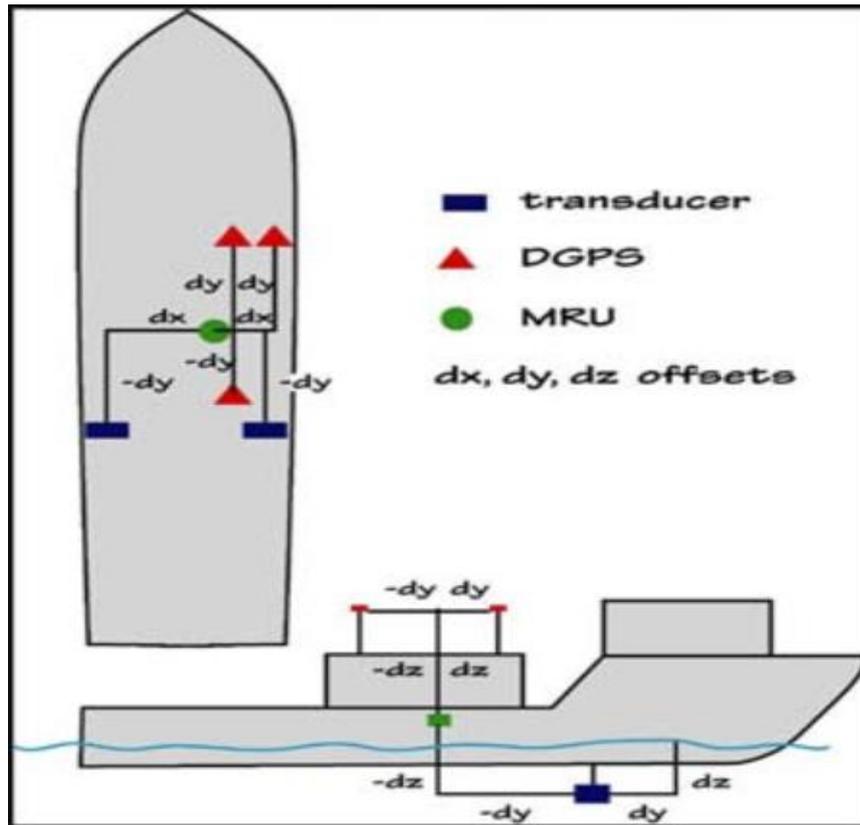
Pada pengukuran dengan menggunakan *Multibeam Echosounder* terdapat 2 (dua) kalibrasi yang harus dilakukan, yaitu kalibrasi *Offset* dan kalibrasi *Patch Test*.

#### 2.3.2.1 Kalibrasi *Offset*

Kalibrasi ini mulai dengan kelurusan dan *offset-offset* statis dari sensor-sensor yang disesuaikan kepada *centerline* dari kapal dan transduser. Kelurusan itu akan mengurangi koreksi statik dari tiap sensor dan dapat dilaksanakan dengan penerima GPS. Proses dari kelurusan secara fisik dari *platform* kapal (antenna GPS kapal), transduser, kompas giro, dan MRU dikenal sebagai *offset-offset* statis. *Offset-offset* statis dari sensor-sensor itu adalah jarak-jarak antara sensor-sensor dan titik referensi (CoG) terhadap antenna GPS, dll.

Untuk menentukan koordinat horizontal dipergunakan peralatan penentuan posisi dengan GPS. Sistem penentuan posisi yang digunakan menggunakan *Differential* GPS (DGPS) dengan metode *Real Time Differential* GPS (RTDGPS) dalam hal ini metode ini digunakan untuk objek yang bergerak (kapal). Alat yang digunakan DGPS C-Nav. Titik referensi yang digunakan secara otomatis dari stasiun referensi yang digunakan. RTDGPS merupakan sistem penentuan posisi real time secara differensial menggunakan data *pseudorange*. Untuk merealisasikan data yang *real time* maka *monitor station* mengirikan koreksi differensial ke kapal secara *real time* menggunakan sistem komunikasi data [3].

Sistem koordinat kapal digambarkan menggunakan sistem yang tegak lurus (siku-siku) yang dibentuk oleh sumbu X, Y dan Z sehingga salib ketiga sumbu tersebut saling tegak lurus antar kedua sumbunya dengan sistemnya sebagai berikut :



Gambar 2.7 Off-set posisi antar sistem peralatan dengan titik fix perum [9]

Pada gambar Gambar 2.7, sumbu X diambil dari arah haluan kapal, dihitung positif ke arah gerak majunya kapal. Sedangkan sumbu Y diambil dari arah kedua sisi kapal, dihitung positif ke arah sisi bagian kanan kapal. Untuk sumbu Z diambil dari kedalaman laut, dihitung positif sesuai dengan meningkatnya kedalaman laut. Titik pusat salib sumbu (X, Y, Z) merupakan *reference point* atau titik acuan. Sistem salib sumbu yang dibentuk oleh transduser ataupun titik di dasar laut mengacu pada titik acuan sebagai titik awal koordinat kapal. Sedangkan *Draft Transducer* merupakan kedalaman transduser terhadap permukaan laut dan *Water level* adalah permukaan laut yang diasumsikan sebagai bidang datar.

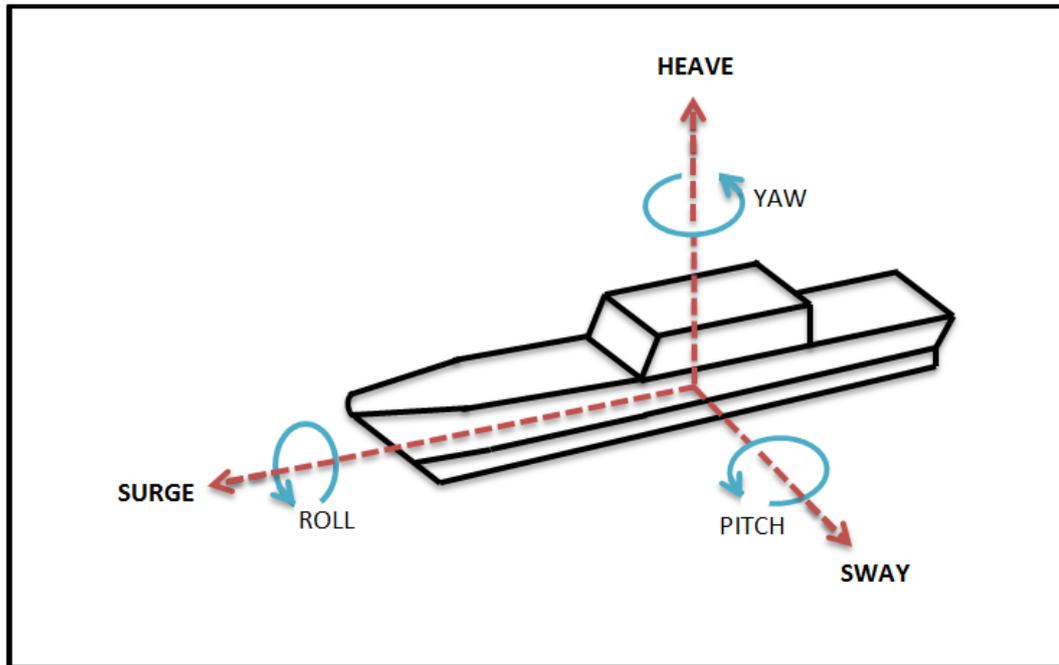
Untuk membuat sistem koordinat transduser relatif terhadap posisi kapal, maka pusat sistem koordinat kapal adalah salib sumbu antara arah kapal (*heading*) sebagai sumbu X, serta arah tegak lurus ke arah dasar laut sebagai sumbu Z. Lalu untuk menentukan posisi transduser yang terletak pada kapal oleh sensor antena GPS di kapal. Berdasarkan sistem koordinat

kapal ini, maka gerakan kapal dapat dinyatakan gerak rotasi terhadap sumbu-sumbu sistem koordinat kapal. Demikian pula posisi titik-titik kedalaman yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan alat *multibeam echosounder* dapat ditentukan. Pengukuran yang dilakukan sebelum melakukan survei dengan pita ukur adalah *draft* kapal yang semua titik seperti posisi antena DGPS yang dalam hal ini menentukan posisi kapal dalam sistem referensi global tertentu (WGS-84) serta posisi transduser yang dalam hal ini menentukan kedalaman di setiap titik kedalaman terhadap transduser, sehingga diikatkan terhadap pusat koordinat kapal yang dalam hal ini merupakan motion sensor (MRU) dan didapatkan pengukuran *offset* terhadap koordinat kapal ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ). Kemudian dilakukan transformasi koordinat yang dipengaruhi oleh translasi, rotasi serta skala.

### **2.3.2.2 Kalibrasi Olgan Kapal**

Sebelum melakukan *patch test* (tes pertampalan) sebaiknya dilakukan *quick survey*, yaitu untuk mengetahui atau menemukan kedangkalan/ gradien kedalaman yang dapat memenuhi persyaratan untuk melaksanakan *patch test*. Setelah *offset-offset* yang statis ditentukan, kemudian dilaksanakan kegiatan “*Patch test*”. Secara dalam keadaan dinamik penentuan posisi di kapal yang berada di permukaan air mengakibatkan kapal tidak stabil. Untuk mendeteksi keseimbangan kapal berdasarkan pergerakan rotasi ini (*roll*, *pitch*, *yaw*) maka dilakukan menggunakan alat *Motion Reference Unit* (MRU).

*Patch test* dalam kalibrasi lebih baik dan harus dilaksanakan secara hati-hati untuk memastikan bahwa data dikumpulkan dapat dipercaya dan berkualitas. Pelaksanaan uji *patch test* ini cukup pada suatu survei yang kecil saja dengan beberapa bentuk ketentuan sesuai dengan kalibrasi yang akan dilakukan yang bertujuan untuk memeriksa dan mengoreksi penyimpangan-penyimpangan sebagai berikut :



Gambar 2.8 Gerak olengan kapal

- **Kalibrasi *Pitch***

Pergerakan *Pitch* pada Gambar 2.8, yaitu gerakan rotasi kapal pada sumbu y (gerak rotasi depan belakang kapal). Sudut rotasi *Pitch* bernilai positif, jika bagian haluan/ sisi depan kapal berada di sebelah atas bidang horisontal (permukaan air). *Pitch* diukur dari dua pasang titik kapal dalam menentukan kedalaman terhadap suatu kemiringan pada dua kecepatan yang berbeda atau untuk mengkoreksi gerakan *heading* kapal. Hal penting dari kalibrasi *pitch* karena sepanjang penggantian jalur adalah sebanding terhadap kedalaman air. Jadi semakin dalam kedalaman air (mengarah pada perairan dalam) maka semakin kecil nilai kalibrasinya. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah melintasi satu lajur yang sama, dengan arah berlawanan, melintasi kedangkalan yang bergradien tajam, menggunakan kecepatan sama serta pancaran terdalam yang *overlap* digunakan untuk koreksi.

- **Kalibrasi *Roll***

Pergerakan *Roll* pada Gambar 2.8, yaitu gerakan rotasi kapal pada sumbu x (gerak rotasi sisi sebelah kiri-kanan bagian kapal). Sudut rotasi

*Roll* bernilai positif, jika bagian sisi sebelah kanan kapal diatas bidang horizontal (permukaan air). Secara umum, kalibrasi ini adalah paling mempengaruhi di perairan dalam dan harus secara hati-hati untuk diukur. Serta kalibrasi ini digunakan untuk mengkoreksi gerakan oleng kapal dalam arah sumbu X. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah melintasi satu lajur yang sama, dengan arah berlawanan, melintasi dasar laut relatif datar, menggunakan kecepatan sama serta pancaran terluar yang *overlap* digunakan untuk koreksi.

- **Kalibrasi *Yaw***

*Yaw* pada Gambar 2.8 merupakan gerakan kapal sepanjang sumbu z dengan naik turunnya kapal akibat gelombang laut saat survei. Nilai *heave/yaw* semakin besar sesuai dengan gerakan kapal ke bawah (kedalaman). Persyaratan yang harus dipenuhi adalah melintasi dua lajur yang sejajar dengan spasi 2 kali kedalaman, dengan arah yang sama, melintasi kedangkalan yang bergradien tajam, menggunakan kecepatan sama serta pancaran terdalam yang *overlap* digunakan untuk koreksi. Test ini terdiri dari suatu survei yang kecil beberapa bentuk yang kemudian dievaluasi untuk melihat kekonsistennannya dan lalu mengoreksinya. Uji dilakukan dengan cek yang akhir dari *offset-offset* dan penyimpangan-penyimpangan untuk memverifikasi apakah data tersebut ditemui serta telah sesuai persyaratan-persyaratan ketelitian untuk survei.

### **2.3.3 Koreksi Kedalaman *Multibeam Echosounder***

Pada tahap pemrosesan data harus dilakukan koreksi pada data yang diperoleh terhadap data pasang-surut ( pasang-surut) dan data SVP ( *Sound Velocity Profile* ).

### 2.3.3.1 Koreksi Pasut

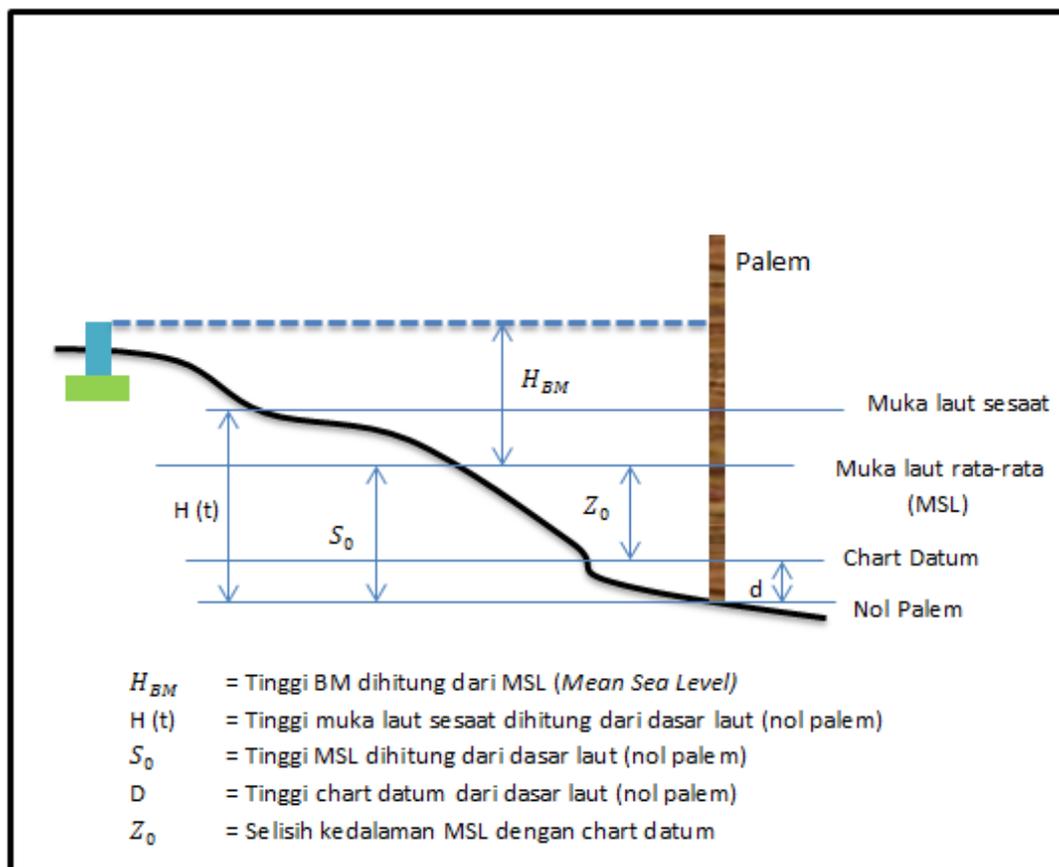
Dalam setiap pekerjaan survei batimetri akan dilakukan bersamaan dengan pengamatan pasang surut pada waktu yang sama dengan pekerjaan, atau dapat pula surveyor meminta data pada stasiun pengamatan terdekat dalam kurun waktu yang sama pada saat pekerjaan survei dilakukan. Namun terkadang, untuk mendapatkan nilai reduksi yang valid, pengamatan pasang surut akan dilakukan dalam waktu 15 sampai 30 hari dimana pada selang waktu tersebut mencakup hari dimana survei dilakukan. Dari data pengamatan pasang surut ini, nilai yang didapatkan akan digunakan sebagai koreksi pada hasil pekerjaan survei batimetri. Hal ini dilakukan karena waktu pekerjaan survei batimetri tidak hanya dilakukan dalam waktu singkat. Waktu pekerjaan survei ini dapat menempuh waktu sampai beberapa hari sehingga permukaan laut berubah seiring dengan berjalannya waktu dikarenakan oleh pengaruh pasang surut laut. Pasang surut laut sendiri merupakan gerakan periodik dari tubuh air yang disebabkan oleh diferensial gaya gravitasi dari benda-benda langit (yang lebih banyak berpengaruh matahari dan bulan) di berbagai belahan bumi yang berotasi. Pasang surut biasanya diamati sebagai gerakan vertikal naik dan turun dari lautan yang mempunyai periode 12,4 jam atau 24,8 jam [6].

Di seluruh perairan dunia terdapat empat macam jenis pasang surut yaitu :

1. Diurnal : memiliki satu puncak *high water* dan satu lembah *low water*.
2. Semi-Diurnal : memiliki 2 puncak *high water* dan 2 lembah *low water*.
3. Campuran, condong ke diurnal : mempunyai 2 puncak *high water* dan *low water* yang tidak penuh dengan spasi tidak tetap antar satu bulan penuh, atau hanya satu puncak *high water* dan *low water* dalam satu hari.
4. Campuran, condong ke semi-diurnal : memiliki 2 puncak *high water* dan *low water* antara satu bulan penuh dengan tinggi dan interval waktu yang tidak teratur

Dalam survei batimetri terdapat fungsi lain dari pasang surut selain untuk mengkoreksi nilai kedalaman akibat perubahan muka laut seiring

dengan bergulirnya waktu pengukuran. Pasang surut juga digunakan sebagai referensi untuk reduksi kedalaman, sehingga kedalaman yang didapat tidak hanya merupakan kedalaman lokal namun telah merujuk pada referensi tertentu. Referensi yang dipakai pada peta batimetri atau peta laut biasanya adalah *chart datum*, namun terkadang nilai *mean sea level* juga dapat digunakan sebagai referensi. *Chart datum* lebih banyak digunakan karena alasan keselamatan pelayaran, karena kedalaman yang di rujuk pada peta batimetri atau peta laut sudah pada keadaan muka surutan terendah sehingga kapal dengan aman melintasi perairan ketika laut dalam keadaan surut sekalipun.



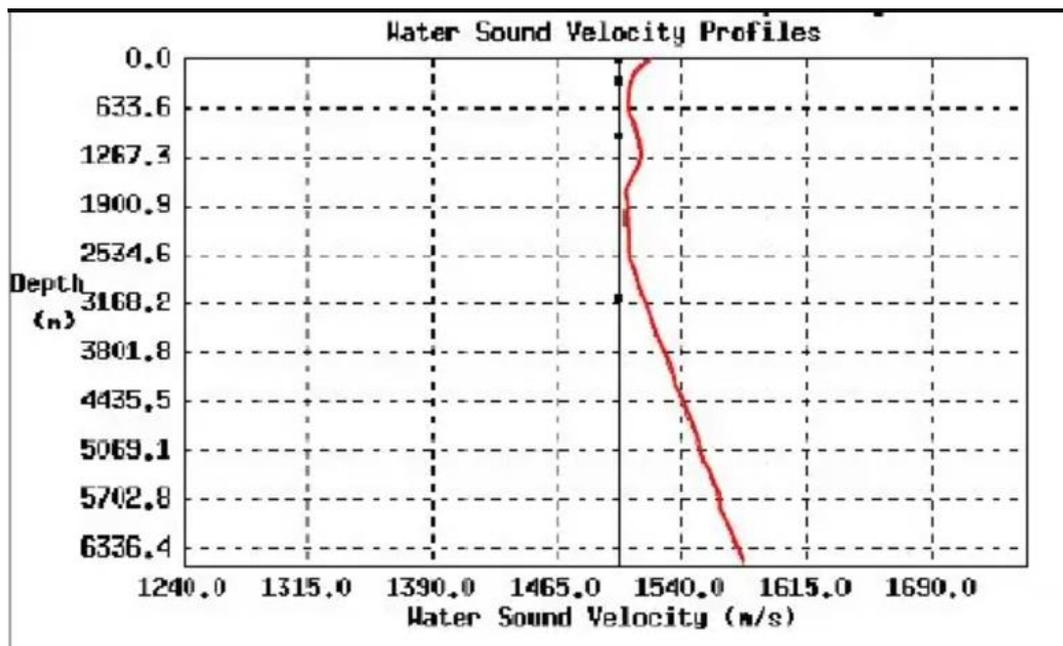
Gambar 2.9 Skema koreksi pasang surut

### 2.3.3.2 Koreksi *Sound Velocity*

*Multibeam echosounder* bekerja dengan menggunakan gelombang akustik yang ditembakkan ke perairan. Di dalam air gelombang akustik merambat dengan kecepatan normal sekitar 1500 m/s, namun dalam

beberapa kondisi kecepatan ini dapat berubah menjadi lebih lambat ataupun lebih cepat bergantung kepada kondisi fisik kolom air laut, karena alasan ini pada saat pemrosesan data multibeam harus didefinisikan nilai yang benar dari *sound velocity profile* pada saat pengukuran dilaksanakan.

*Sound Velocity Profile* (SVP) atau profil kecepatan suara merupakan gambaran perambatan gelombang akustik di dalam air. Di setiap perairan tentu memiliki SVP yang berbeda-beda tergantung dari salinitas, suhu serta tekanan yang ada pada perairan tersebut. Seperti yang telah disebutkan di atas, kecepatan suara umumnya merambat 1500 m/s di dalam air, nilai kecepatan ini meningkat seiring peningkatan salinitas, suhu dan tekanan. Kecepatan akan meningkat 3 m/s setiap kenaikan suhu, 1,2 m/s setiap kenaikan 1 *part per thousand* (ppt), dan akan naik 0,5 m/s setiap perubahan 30 meter kedalaman [10].



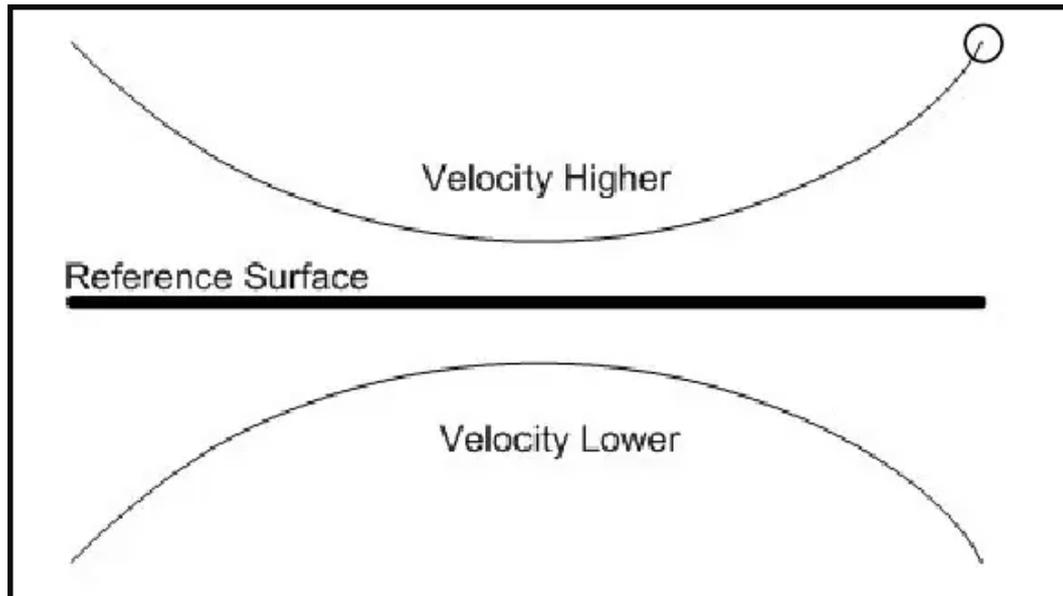
Gambar 2.10 Contoh grafik profil kecepatan suara terhadap kedalaman [10]

Pada suatu daerah survei yang memiliki variasi kolom kedalaman akan banyak mempengaruhi kecepatan dari gelombang akustik yang ditembakkan. Perbedaan kolom kedalaman akan menyebabkan perbedaan faktor yang mempengaruhi kecepatan gelombang suara yang telah disebutkan sebelumnya. Perbedaan kolom kedalaman akan menyebabkan

perbedaan salinitas temperatur dan suhu, semakin dalam maka nilai suhu semakin turun dan tekanan makin meningkat sedangkan salinitas bergantung dari komponen yang dikandung pada perairan tersebut. Setiap perambatan gelombang akustik disetiap kolom kedalaman akan mengalami perubahan kecepatan yang sangat kompleks dikarenakan pengaruh dari ketiga faktor tersebut, karena setiap penambahan kedalaman perubahan dari ketiga faktor tersebut tidaklah konstan.

Arah dari perambatan gelombang akustik dalam air akan berubah seiring dengan perubahan dari kecepatan gelombang akustik tersebut. Ketika gelombang suara merambat dari area dengan kecepatan yang tinggi mengarah ke kecepatan yang rendah maka arah dari gelombang akan membelok ke arah bawah dan begitu juga sebaliknya [8].

Dalam pemrosesan data *multibeam*, profil kecepatan suara sangatlah penting. Jika ada kesalahan pada profil kecepatan suara akan menyebabkan jalur menjadi tidak horizontal atau melengkung. Kesalahan ini dapat mengganggu penghitungan waktu dipancarkan dan penerimaan *beam*. Pada proses pengukuran kedalaman, transduser akan mengirimkan pulsa ke dasar perairan, kemudian pulsa tersebut akan dipantulkan kembali dan diterima oleh transduser. Transduser akan menghitung waktu penjalaran gelombang dalam air dari mulai dipancarkan hingga diterima kembali, jika profil kecepatan suara dihitung terlalu lambat maka nilai kedalaman bisa menjadi lebih dari yang sebenarnya dan jika terlalu cepat maka nilai kedalaman akan kurang dari yang sebenarnya.

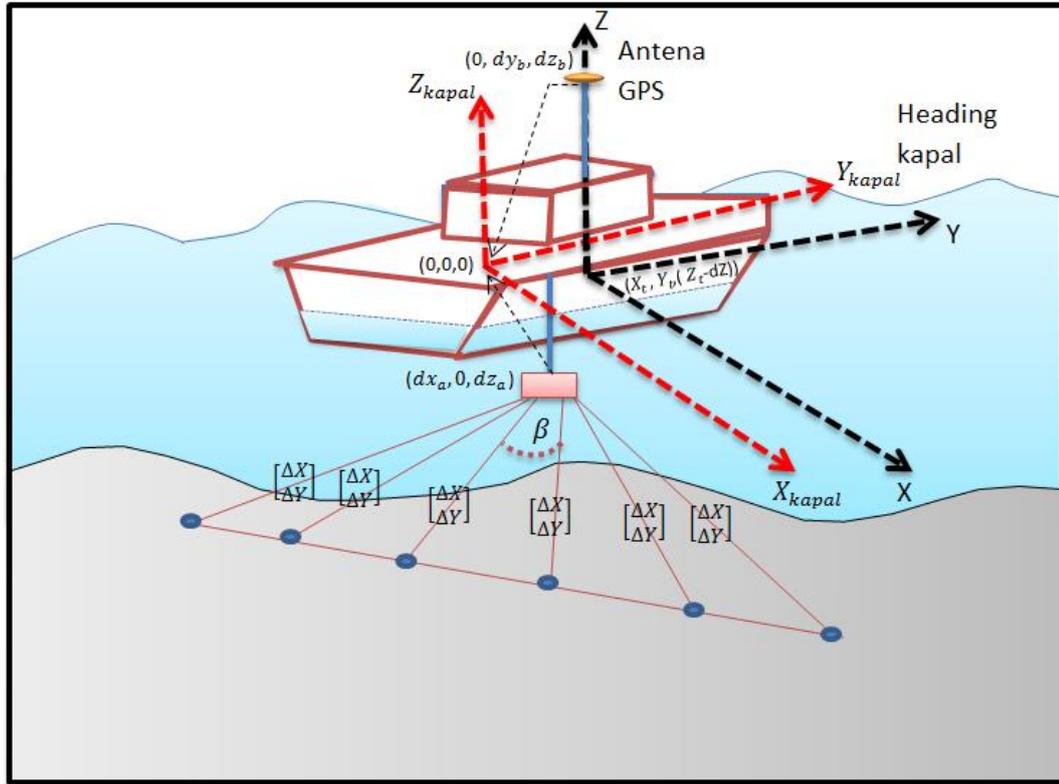


Gambar 2.11 Kenampakan jalur saat adanya kesalahan SVP [7]

Pada Gambar 2.11 bentuk “*smile*” atau bentuk figur setengah lingkaran yang menghadap ke atas menunjukkan bahwa nilai SVP terlalu besar, ini mengakibatkan kedalaman yang dihasilkan menjadi lebih pendek dari yang seharusnya, efek ini bisa dilihat pada ujung-ujung *beam* (yang dilingkari) menjadi lebih pendek dari yang seharusnya, begitu pula sebaliknya pada bentuk “*frown*” atau bentuk figur setengah lingkaran yang menghadap ke bawah.

#### 2.4 Penentuan Posisi dan Pergerakan Kapal

Secara dalam keadaan statik penentuan posisi di dasar laut yang dipengaruhi oleh kedudukan transduser dan kedudukan GPS sehingga dengan proses translasi serta berdasarkan resolusi sudut *beam* (bergantung pada kedalaman) maka dapat ditentukan posisi pada dasar laut. Seperti dapat dilihat pada gambar Gambar 2.12 sebagai berikut :



Gambar 2.12 Penentuan Posisi saat kapal dalam keadaan stabil/ideal

Pada Gambar 2.12 garis sumbu berwarna merah adalah sistem sumbu koordinat kapal, sedangkan garis sumbu berwarna hitam merupakan sistem sumbu koordinat universal. Pada sumbu koordinat universal jika sumbu X berimpit dengan *chart* datum maka pusat dari sumbu koordinat tersebut dapat ditentukan dengan GPS ( $X_t, Y_t, Z_t - dZ$ ). Nilai  $dZ$  merupakan ukuran jarak antenna terhadap pusat sumbu koordinat. Hasil ukuran *offset* statik antara transduser terhadap CoG (*Course Over Ground*) dari  $dx_a, 0, dz_a$  dan antenna GPS terhadap CoG ( $0, dy_b, dz_b$ ). Maka setelah didapat ukuran data posisi kapal dengan GPS UTM (*East, North*) dilakukan *offset* statik (*translasi*) dalam penentuan posisi adalah :

- Penentuan koordinat CoG berdasarkan koordinat GPS UTM

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{CoG} = \begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{GPS} - \begin{bmatrix} dy \\ dz \end{bmatrix}_b \quad (2.2)$$

- Penentuan koordinat MBES berdasarkan koordinat CoG

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{MBES} = \begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{CoG} + \begin{bmatrix} dx \\ dz \end{bmatrix}_a \quad (2.3)$$

- Penentuan koordinat posisi titik dasar laut berdasarkan koordinat MBES maka :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_n = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{MBES} - \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Keterangan :

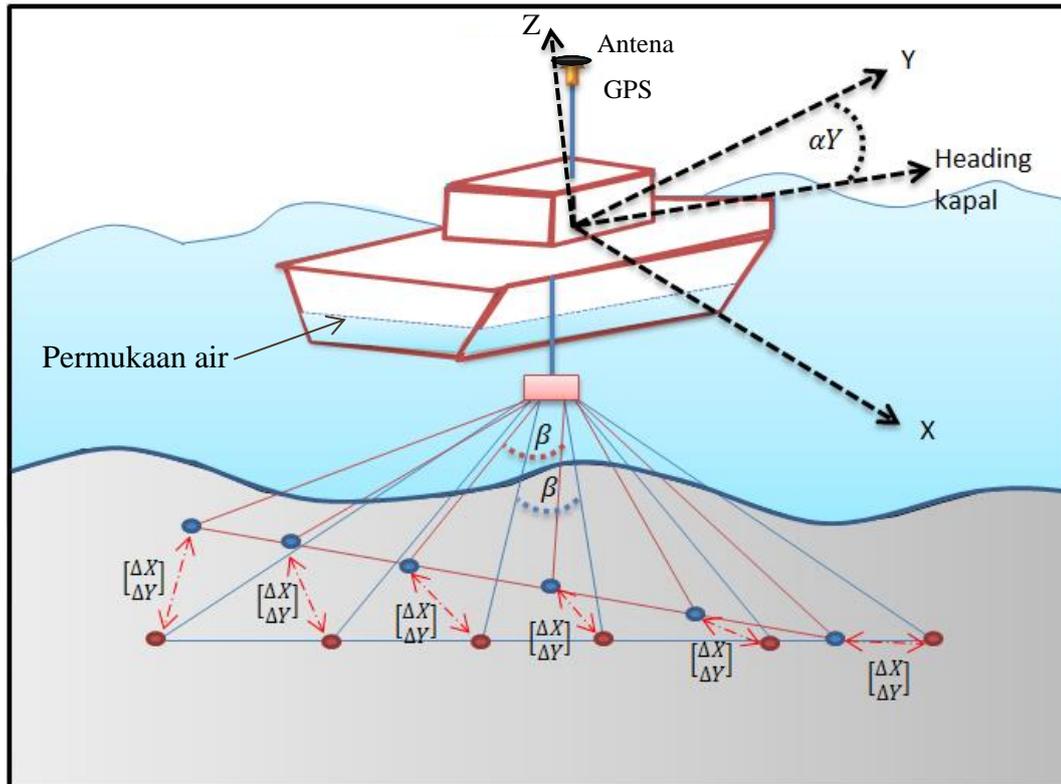
$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \text{Fungsi dari } h_n \text{ dan } \beta$$

$h_n$  = Kedalaman yang dipancarkan oleh masing-masing *beam*

$\beta$  = Resolusi sudut *multibeam*

n = *Beam* ke-n

Jika terdapat *heading* kapal berdasarkan gyrocompass sebesar  $\alpha$  maka posisi koordinat kedalaman mengalami perubahan (dalam hal ini *heading* kapal tidak sama dengan sumbu y) yang dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.13 sebagai berikut :



Gambar 2.13 Perubahan Titik Akibat Heading Kapal tidak lurus terhadap sumbu Y

Sama halnya mendapatkan posisi transduser, lalu diperoleh posisi titik-titik kedalaman dengan mengalami perubahan  $\Delta X$  serta  $\Delta Y$  dari secara statik dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_n = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{MBES} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}$  = Fungsi dari  $r_n$ , resolusi sudut *heading*

$r_n$  = Kedalaman yang dipancarkan oleh masing-masing *beam*

$\beta$  = Resolusi sudut *multibeam*

n = *Beam* ke-n

Karena yang didapat merupakan posisi titik-titik kedalaman dengan mengacu pada *gyrocompass*, maka secara sistem koordinat universal

(arahnya berlawanan dengan arah gyrocompass atau searah jarum jam) sehingga mengalami perubahan titik kedalaman (  $\Delta X$  serta  $\Delta Y$  ) adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \text{Fungsi dari } r_n, \quad (2.6)$$

$f(d, \alpha)$  = resolusi sudut dan sudut *heading*

## 2.5 Uji Ketelitian Pengukuran Batimetri

Dalam setiap survei batimetri harus mengikuti ketentuan standar yang dibuat dan diterbitkan oleh *International Hydrographic Organization* (IHO). IHO sebagai organisasi internasional resmi di bidang hidrografi mengeluarkan standardisasi atau pokok-pokok aturan bagi survei hidrografi yaitu IHO *Special Publication 44* (IHO S-44). Dari awal penerbitannya pada tahun 1968, IHO telah menerbitkan 5 edisi IHO S-44. IHO S-44 Edisi ke-5 yang diterbitkan pada tahun 2008 merupakan edisi paling baru dan telah disesuaikan dengan kondisi teknologi terbaru. Di Indonesia standar survei batimetri diatur pada SNI (Standar Nasional Indonesia) yang isinya telah merujuk pada ketentuan yang dibuat oleh IHO.

Tabel 2.1 Klasifikasi Survei Hidrografi (IHO S-44, Edisi ke-5)

Orde	Spesial	1a	1b	2
Akurasi Horizontal	2m	5 m + 5% dari kedalaman rata-rata	5 m + 5% dari kedalaman rata-rata	20 m + 5% dari kedalaman rata-rata
Deskripsi area	Area dimana wilayah di bawah kapal harus terpetakan seluruhnya	Area yang lebih dangkal dari 100 meter dan wilayah dibawah kapal tidak harus terpetakan seluruhnya	Area yang lebih dangkal dari 100 meter dan objek halangan di wilayah bawah kapal tidak perlu dipetakan	Area yang lebih dalam dari 100 meter dimana secara umum gambaran dasar laut dianggap memadai
Nilai TVU maksimum pada tingkat kepercayaan 95%	a = 0,25 meter b = 0,0075 meter	a = 0,5 meter b = 0,013meter	a = 0,5 meter b = 0,013meter	a = 1 meter b = 0,023 meter
Pemeriksaan dasar laut	Diperlukan	Diperlukan	Tidak diperlukan	Tidak diperlukan

Catatan:

- a dan b adalah variabel yang digunakan untuk menghitung ketelitian kedalaman.
- alat pemeruman harus dikalibrasi sebelum digunakan.

Pada setiap survei batimetri dengan menggunakan *multibeam echosounder* selalu terdapat area yang bertampalan, baik itu pertampalan setiap lajur utama ataupun pertampalan lajur utama dengan lajur silang. Untuk menjaga kualitas data tetap baik maka pada daerah yang bertampalan tersebut diuji kualitasnya dengan acuan yang telah ditetapkan oleh IHO dan SNI. Meskipun ketetapan ini berlaku untuk *singlebeam*, namun karena prinsipnya yang sama jadi acuan ini juga bisa dipakai untuk menguji kualitas data pada pertampalan lajur pada data *multibeam echosounder*.

Batas toleransi kesalahan antara lajur yang bertampalan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\pm\sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2} \quad (2.7)$$

Keterangan :

- a : kesalahan independen
- b : faktor kesalahan kedalaman yang dependen
- d : kedalaman rata – rata
- (b x d) : kesalahan kedalaman yang dependen

Uji ketelitian dilakukan dalam dua tahap yaitu, antara lajur utama yang saling bertampalan dan antar titik sekutu dari lajur utama dengan lajur silang. Uji ketelitian dilakukan dengan cara mengambil titik sampel (titik-titik sekutu) pada area yang bertampalan dari dua lajur. Titik yang diuji ini diambil dari 2 titik dari lajur yang berbeda dan memiliki posisi yang sama atau posisi titik berdekatan (dalam penelitian ini jarak terjauh dibuat 0,2m). Dua titik sampel tersebut biasa disebut dengan titik sekutu, dan titik sekutu diasumsikan memiliki kedalaman yang sama. Kemudian dari asumsi tersebut dicari selisih antara kedua titik tersebut. Dan dari selisih tersebut

dicari nilai rata-rata dan rata-rata absolut, kemudian nilai standar deviasinya. Berikut persamaan yang digunakan untuk uji ketelitian pada titik sekutu lajur utama dengan lajur utama :

- Persamaan untuk rata-rata beda kedalaman:

$$\bar{H} = \frac{\Sigma(H_n - \bar{H}_{n-1})}{n} \quad (2.8)$$

dengan :

- $\bar{H}$  : rata – rata
- $H_n$  : kedalaman lajur 2
- $\bar{H}_{n-1}$  : kedalaman lajur 1
- $n$  : banyaknya sampel

- Persamaan untuk standar deviasi :

$$s = \frac{\sqrt{\Sigma(H_i - \bar{H})^2}}{n - 1} \quad (2.9)$$

dengan :

- $s$  : standar deviasi
- $H_i$  : beda nilai kedalaman antara lajur 1 dan lajur 2
- $\bar{H}$  : rata – rata
- $n$  : banyaknya sampel

Dengan mengacu pada standar IHO S-44 Edisi ke-5, pada tingkat kepercayaan 95% dengan asumsi kesalahan distribusi normal maka toleransi untuk kedalaman ditentukan sebesar 1,96 x standar deviasi, sehingga data dianggap :

1. tidak memenuhi toleransi jika : 1,96 x standar deviasi >  $+\sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2}$  atau 1,96 x standar deviasi <  $-\sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2}$

2. memenuhi toleransi jika :  $-\sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2} < 1,96 \times \text{standar deviasi} < +\sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2}$

Apabila data tidak memenuhi toleransi dari IHO, maka harus dilakukan koreksi ulang. Dan jika dilakukan koreksi ulang tetapi data yang dihasilkan masih tidak memenuhi toleransi, maka harus dilakukan pengukuran ulang karena data tersebut dapat dikatakan tidak teliti. Untuk mendeteksi perubahan kedalaman ketelitian sangat penting karena fungsi utama pada uji ketelitian adalah memastikan data tersebut bagus dan sesuai dengan kondisi dasar laut sebenarnya.

Setelah didapatkan hasil uji ketelitian pada area pertampalan antara dua lajur utama, kemudian lakukan uji ketelitian pada titik sekutu di area pertampalan antara lajur utama dengan lajur silang. Berikut ketentuan yang digunakan :

1. Tentukan persentase hasil uji kedalaman ukuran  $> \sqrt{\alpha^2 + (b \times d)^2}$  dari keseluruhan titik sekutu.
2. Cari pada seluruh area pengukuran apakah terdapat *spike*, yaitu kedalaman yang menonjol ke permukaan dengan ketinggian lebih besar dari 10% kedalaman rata-ratanya, sehingga diperlukan pengukuran khusus pada lokasi tersebut.

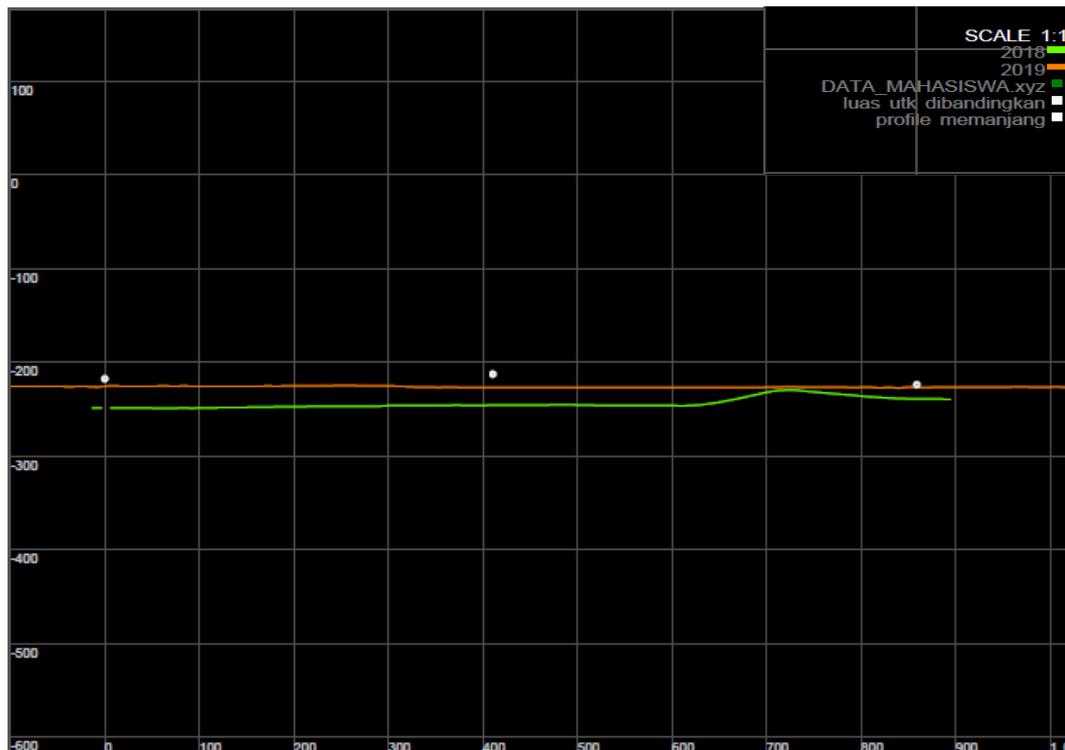
## 2.6 Perubahan kedalaman

Perubahan kedalaman pada suatu perairan dapat disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor manusia. Faktor alam diantaranya gelombang laut, arus laut, angin, sedimentasi sungai, kondisi tumbuhan pantai serta aktivitas tektonik dan vulkanik. Faktor manusia antara lain pembangunan pelabuhan dan fasilitas-fasilitasnya (misalnya *breakwater*), pertambangan, pengerukan, pertambangan, dan reklamasi. [11]

Aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau yang mengalami erupsi pada tanggal 22 Desember 2018 menyebabkan lereng gunung mengalami longsor. Material longsor tersebut masuk kedalam laut yang memungkinkan

terjadinya perubahan kedalaman laut pada area yang terdampak longsor. Beberapa cara dapat dilakukan untuk mengetahui perubahan kedalaman yang terjadi antara lain :

- Membuat profil memanjang dan melintang  
Profil memanjang dan melintang pada umumnya digunakan untuk mengetahui kemiringan dan/atau kelandaian suatu permukaan tanah. Untuk melihat perubahan kedalaman dapat dilakukan dengan membuat profil memanjang dan melintang pada jalur yang sama pada suatu area akan tetapi pada dua epoch yang berbeda. Dengan membandingkan kedua garis profil pada epoch yang berbeda dapat dilihat perubahan bentuk dasar laut, dan jika profil memanjang dan profil melintang dikorelasikan dengan data kedalaman maka selain dapat melihat perubahan bentuk dasar laut juga dapat diketahui sebesar apa perubahan kedalaman yang terjadi.

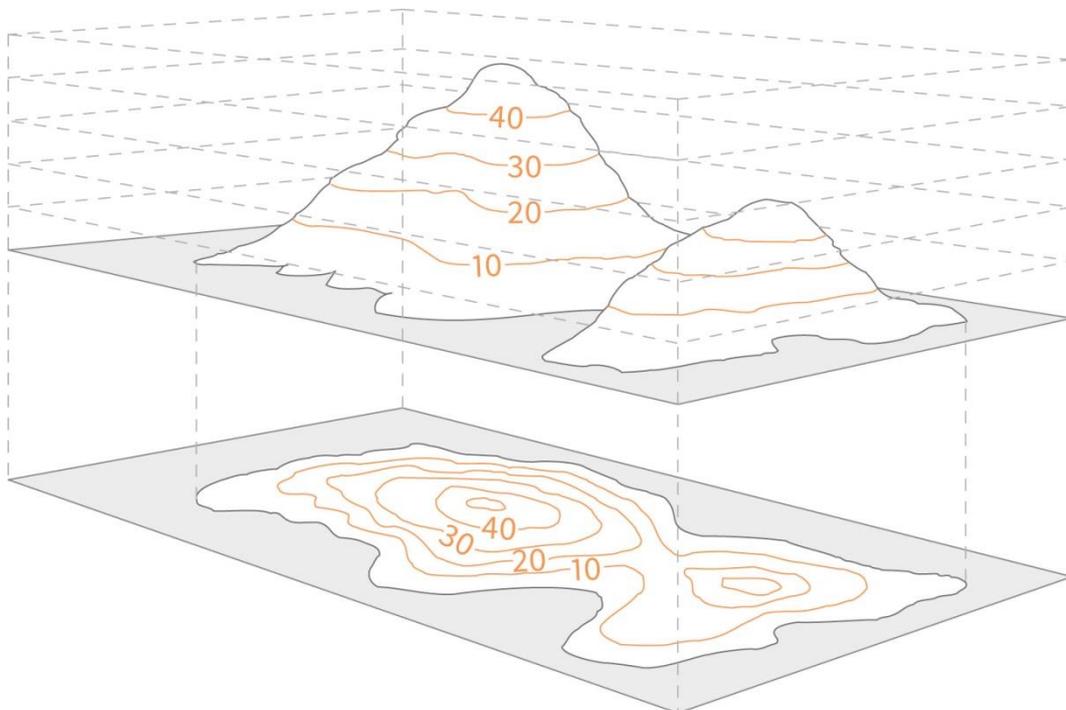


*Gambar 2.14 Contoh penarikan garis profil pada jalur yang sama tetapi pada dua epoch yang berbeda (warna hijau merupakan data awal dan warna jingga adalah data pengukuran berikutnya)*

Pada Gambar 2.14 dapat dilihat terdapat jarak antara garis berwarna jingga dengan garis berwarna hijau sebagai kedalaman awal, jarak antara keduanya merupakan besarnya perubahan kedalaman yang terjadi. Data tersebut dapat dikorelasikan dengan data pengukuran *Sub-Bottom Profiler* untuk mengetahui lapisan dan membedakan antara lapisan sedimen yang lama dengan lapisan sedimen dari material longsor. [12]

- Membandingkan kontur kedalaman secara visual

Peta kontur adalah peta yang menggambarkan sebagian bentuk-bentuk permukaan bumi yang bersifat alami dengan menggunakan garis-garis kontur. Sedangkan garis kontur adalah garis yang menghubungkan titik-titik pada peta yang mempunyai ketinggian sama. Garis kontur memiliki beberapa sifat yaitu, garis kontur yang lebih rapat lerengnya lebih curam, selalu horizontal, selalu membelok-belok dan akan mengikuti lereng dari suatu lembah, selalu tegak lurus jurusan air yang mengalir di permukaan, dan merupakan garis yang tertutup. Sedangkan fungsi dari garis kontur adalah menunjukkan tinggi suatu tempat, menunjukkan bentuk relief, menunjukkan lereng, dan menunjukkan besarnya kemiringan lereng.

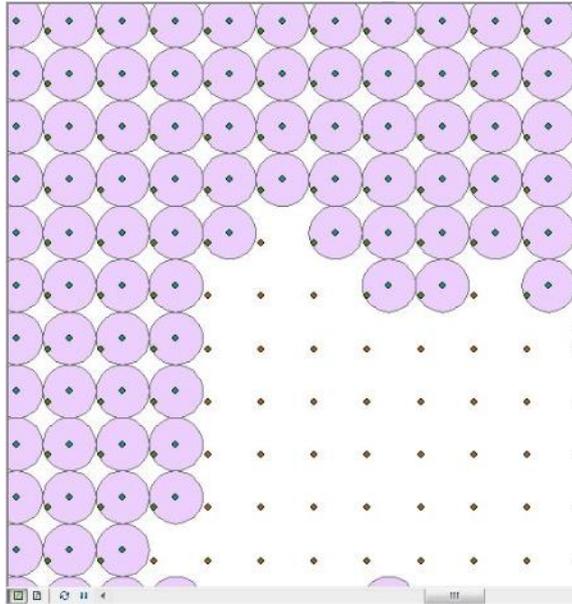


Gambar 2.15 Ilustrasi pembuatan garis kontur [14]

Dari sifat-sifat dan fungsi garis kontur yang telah disebutkan dapat digunakan untuk melihat bentuk suatu permukaan dasar laut. Kemudian dengan membandingkan peta kontur pada dua epoch yang berbeda dapat diketahui perubahan bentuk permukaan dasar laut baik mengalami pertambahan kemiringan semakin curam ataupun bertambah landai.

- Menghitung rata-rata perubahan kedalaman pada area tertentu

Rata-rata perubahan kedalaman dilakukan dengan merata-ratakan perubahan kedalaman dari setiap titik kedalaman hasil pengukuran multibeam echosounder dari dua epoch. Akan tetapi untuk menghitung rata-rata kedalaman tidak dapat dilakukan secara langsung karena setiap titik-titik kedalaman dari kedua epoch pasti memiliki koordinat yang berbeda, oleh sebab itu perlu dilakukan *spatial joint* untuk mencari dan menentukan titik-titik yang berdekatan dan diasumsikan titik yang memiliki koordinat berdekatan tersebut memiliki koordinat yang sama, sehingga dapat dibandingkan beda kedalamannya dengan jumlah titik yang sama dari kedua epoch pengukuran. *Spatial joint* adalah proses menggabungkan data tabular/atribut dengan fungsi join. Proses ini menggabungkan data tabular/atribut dari *feature/layer* yang akan digabungkan kemudian akan ditambahkan datanya dengan *feature/table* yang akan menjadi tambahannya. Proses ini akan menghasilkan data tabular/atribut baru yang merupakan hasil gabungan 2 tabel tersebut dengan menggunakan pilihan proses penggabungan. Untuk melakukan proses penggabungan sendiri dapat dilakukan dengan berbagai cara pada *software* ArcGIS, salah satunya adalah dengan melakukan *buffer* dengan menentukan jarak tertentu kemudian dilakukan *intersect*, sehingga data yang digabungkan akan otomatis terseleksi yaitu titik-titik yang berada pada radius *buffer* tersebut.



Gambar 2.16 Contoh proses *spatial joint* titik-titik yang berdekatan dengan pembuatan *buffer* untuk mendapatkan kedalaman yang terdekat untuk diperbandingkan

Pada Gambar 2.16 adalah merupakan contoh proses *spatial joint* yang dilakukan dengan cara membuat *buffer* pada salah satu epoch sehingga didapatkan titik-titik yang berdekatan pada epoch lainnya dalam radius *buffer* yang telah ditentukan. Setelah didapatkan titik-titik yang berdekatan dilakukan *intersect* untuk menggabungkan titik-titik yang berada pada radius *buffer* tersebut.