

## **BAB II**

### **PENGARUH KECEPATAN GELOMBANG SUARA TERHADAP KETELITIAN PENGUKURAN KEDALAMAN LAUT**

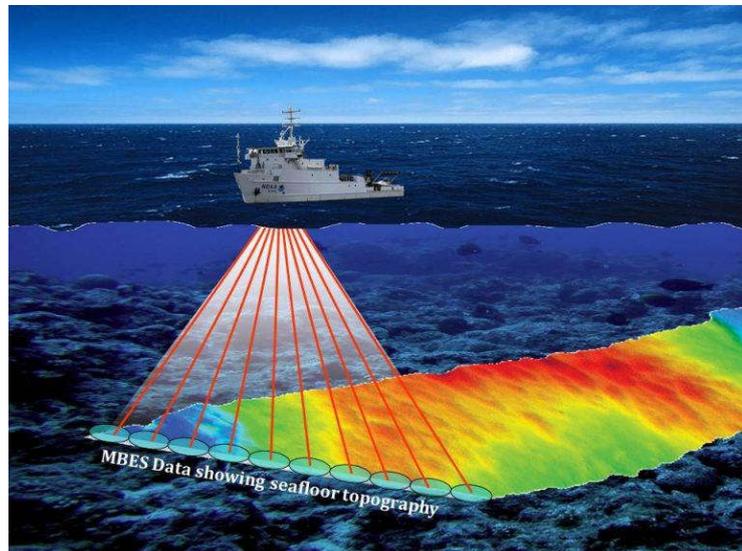
#### **2.1. Pengukuran *Multibeam Echosounder***

Kata hidrografi merupakan serapan dari bahasa Inggris “*hydrography*”. Secara etimologis, “*hydrography*” ditemukan dari kata sifat dalam bahasa Prancis abad pertengahan “*hydrographique*” sebagai kata yang berhubungan dengan sifat dan pengukuran badan air, misalnya kedalaman dan arus. Hingga sekitar akhir 1980- an, kegiatan hidrografi utamanya didominasi oleh survey dan pemetaan laut untuk pembuatan peta navigasi laut (*nautical chart*) dan survey untuk eksplorasi minyak dan gas bumi [3].

Pemeruman adalah proses dan aktivitas yang ditunjukkan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*). Proses penggambaran dasar perairan tersebut (sejak pengukuran, pengolahan hingga visualisasinya) disebut sebagai survei batimetri [4]. Dalam proses penggambaran bentuk dari topografi dasar perairan digunakan alat yang menggunakan gelombang suara (akustik), yaitu *echosounder*.

*Echosounder* merupakan alat elektronik dengan memanfaatkan gelombang suara yang berfungsi untuk mengukur kedalaman perairan, dan mengetahui bentuk dasar suatu perairan. *Echosounder* terbagi menjadi dua jenis yaitu, *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*. Perbedaan jenis *echosounder* ini terletak pada besaran *beam* yang dipancarkan dari kedua alat tersebut (*beam width*). *Singlebeam Echosounder* memancarkan satu *beam* dalam satu kali pancaran sinyal sedangkan *multibeam echosounder* memancarkan lebih dari satu *beam* dalam satu kali pancaran sinyal. *Multibeam echosounder* digunakan untuk mendapatkan cakupan area yang luas, meningkatkan produktivitas dan hasil pemeruman yang maksimal. Pada umumnya sistem pemancaran sinyal dari *multibeam echosounder* adalah

sistem *swath*, sistem *swath* bekerja dengan satu pancaran sinyal yang memiliki lebar dan panjang yang membentuk sebuah kolom [5]



Gambar 2.1 Pancaran beam multibeam echosounder [6]

*Multibeam Echosounder* mempunyai cakupan pemetaan yang luas sehingga dapat memetakan keseluruhan area yang masuk ke dalam jalur survei, lalu setelah itu akan dikoreksi kembali dengan data yang dihasilkan oleh *singlebeam echosounder* yang memiliki akurasi lebih tinggi, namun hanya memiliki daerah cakupan yang sempit yaitu hanya pada sepanjang jalur survei saja. Data – data yang bertampalan dari hasil survei antara *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder* akan divalidasi sehingga didapatkan data yang tingkat validitasnya tinggi. Semakin banyak data yang diperoleh, semakin banyak informasi hasil survei yang didapatkan.

## 2.2. Teknik Pengukuran Kedalaman

Pengukuran kedalaman merupakan bagian terpenting dari pemeruman yang menurut prinsip dan karakter teknologi yang digunakan dapat dilakukan dengan metode mekanik, optik atau akustik. Penggunaan gelombang akustik untuk pengukuran-pengukuran bawah air (termasuk: pengukuran kedalaman, arus, dan sedimen) merupakan teknik yang paling populer dalam hidrografi pada saat ini.

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 [7].

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 kontinyu sepanjang lajur perum dengan ketelitian yang cukup baik. Alat perum gema menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari transduser. Transduser adalah bagian dari alat perum gema yang mengubah energi listrik menjadi mekanik (untuk membangkitkan gelombang suara) dan sebaliknya untuk mendapatkan nilai ukuran.

Alat ini bekerja dengan menggunakan sifat – sifat perambatan gelombang akustik yang dipancarkan dengan arah vertikal dari permukaan laut ke dasar laut. Bila kemudian gelombang pantulnya (dipantulkan oleh dasar laut) diterima, dan dicatat waktu tempuhnya, maka kedalaman laut dapat ditentukan melalui hubungan pada persamaan berikut [8] :

$$d = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} v(t). dt \quad (2.1)$$

Dimana :

$d$  : kedalaman laut yang terukur pada saat pengukuran

$v(t)$  : cepat rambat gelombang suara di air

$t_1$  dan  $t_2$  : waktu pada saat gelombang suara dipancarkan dan saat penerimaan gelombang pantulnya

Pada kenyataannya  $v(t)$  sulit ditentukan. Untuk mengatasi hal ini, pada pengukuran kedalaman dengan alat perum gema telah ditentukan suatu harga cepat rambat gelombang suara rata-rata, biasanya sekitar 1500 m/detik. Dengan diketahuinya besaran cepat rambat standar dan selang waktu selama saat gelombang suara dipancarkan dengan saat penerimaan kembali gelombang pantulnya, maka kedalaman laut pada saat pengukuran dapat ditentukan berdasarkan hubungan [8]:

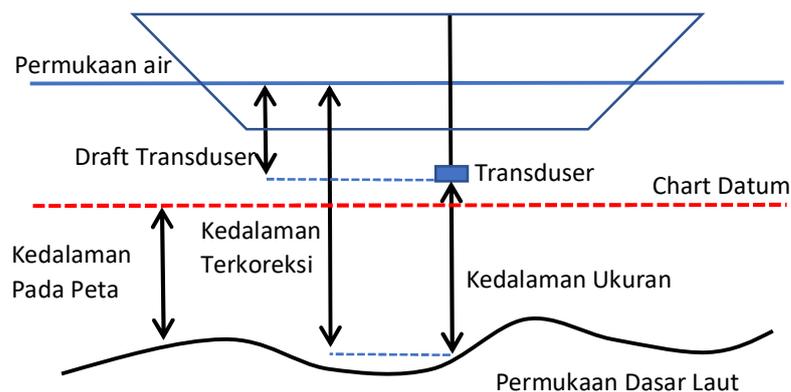
$$d = \frac{1}{2} (v \cdot \Delta t) \quad (2.2)$$

Dimana :

$d$  : kedalaman laut yang terukur pada saat pengukuran

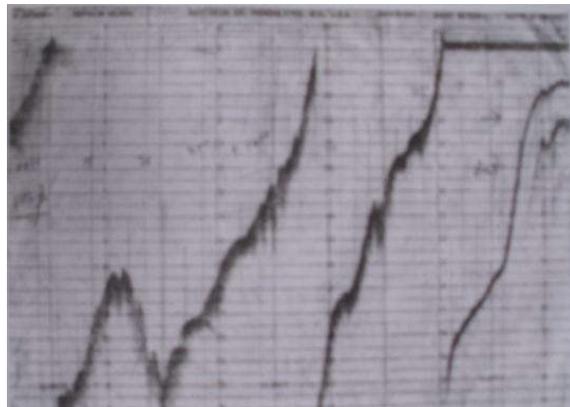
$v(t)$ : cepat rambat gelombang suara standar

$\Delta t$  : selang waktu antara saat gelombang suara dipancarkan dan saat penerimaan gelombang pantulnya



Gambar 2.2 Kedalaman diukur dari permukaan transduser ke dasar laut kemudian dilakukan koreksi terhadap permukaan air menjadi kedalaman terkoreksi dan dilakukan reduksi kedalaman terhadap referensi chart datum untuk dapat dicantumkan pada peta batimetri

Hasil pengukuran kedalaman akan direkam sekaligus ditampilkan pada suatu gulungan kertas (*roll paper*) yang disebut sebagai *echogram* (kertas perum) atau direkam dan ditampilkan secara digital. Pada kertas perum akan terlukis profil kedalaman perairan sepanjang lajur survei (lajur perum). Jika pada titik-titik tertentu ditandai saat (waktu) pengukurannya dan pengukuran untuk penentuan posisi dilakukan secara *continue* dengan saat tercatat, maka hasil pencatatan waktu tersebut dapat digunakan untuk merekonstruksi posisi kapal saat melakukan pengukuran kedalaman dilakukan.



*Gambar 2.3 Rekaman pengukuran kedalaman pada kertas perum menampilkan keterangan mengenai nomor fix perum sebagai argumen untuk korelasi posisi kedalaman, waktu perekaman kedalaman fix perum, serta gambar dasar grafik referensi bacaan kedalaman pada echogram [1]*

### **2.3. Kalibrasi *Multibeam Echosounder***

Wahana survei tidak pernah berhenti bergerak sewaktu survei dilaksanakan, baik karena faktor dinamika lautan maupun cuaca. *Multibeam Echosounder* yang terpasang pada wahana survei selalu membaca kedalaman dengan asumsi bahwa wahana survei diam sempurna, sehingga harus dilakukan kalibrasi agar nilai kedalaman tersebut valid. Proses kalibrasi yang dilakukan meliputi proses kalibrasi *offset static*, *patch test* (*pitch*, *roll*, *yaw*) serta kecepatan rambat akustik [9].

### 2.3.1. Kalibrasi *Offset*

*Offset* statis adalah perpindahan posisi dari yang seharusnya akibat dari posisi antenna GNSS tidak koinidens dengan transduser atau suatu kegiatan penentuan letak dari masing-masing alat atau sensor yang terpasang di wahana survei dan terhadap titik referensi wahana survei. Hasil yang didapat dari *offset* statis adalah suatu denah dengan koordinat x, y, dan z masing-masing sensor lainnya terhadap titik referensi wahana survei yang memiliki koordinat (0; 0; 0) [9].

*Offset* dinamis adalah perpindahan posisi dari yang seharusnya akibat dari pergerakan kapal yang mengakibatkan perubahan orientasi/azimuth *heading* kapal terhadap posisi masing – masing titik kedalaman.

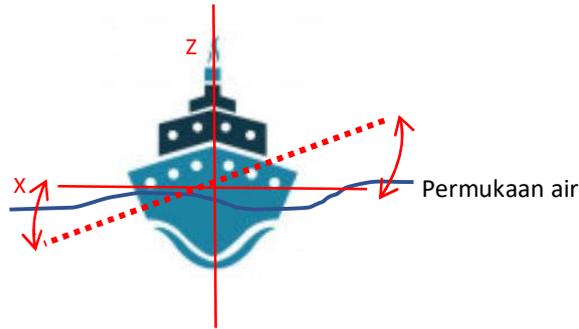
Kalibrasi ini dimulai dengan kelurusan dan *offset-offset* statis dari sensor-sensor yang disesuaikan kepada *center line* dari kapal dan transduser. Terdapat 3 jenis *offset* dalam keperluan pengukuran menggunakan *multibeam echosounder* yaitu sebagai berikut :

1. *Offset* akibat gerakan perubahan kapal terhadap kesalahan posisi kedalaman pengukuran

*Offset* ini merupakan kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh pengaruh gerakan kapal akibat dinamika laut sehingga membuat pengambilan data pengukuran oleh transduser tidak sesuai. Untuk dapat mengukur *offset* dari kesalahan akibat pergerakan kapal ini digunakan alat *Motion Reference Unit* (MRU). Terdapat 3 pergerakan yang diukur menggunakan MRU :

- a. Pergerakan *Roll*.

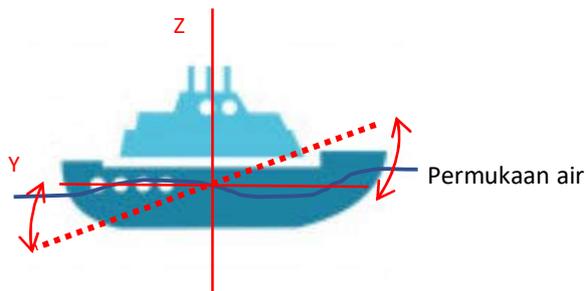
Merupakan gerakan rotasi kapal pada sumbu x (gerak rotasi sisi sebelah kiri - kanan bagian kapal). Sudut rotasi *roll* bernilai positif, jika bagian sisi sebelah kanan kapal diatas bidang horisontal (permukaan air).



*Gambar 2.4 Pergerakan kiri dan kanan kapal terhadap sumbu x disebut dengan pergerakan roll kapal, pengukuran offset tersebut digunakan sebagai data attitude kapal*

b. Pergerakan *Pitch*

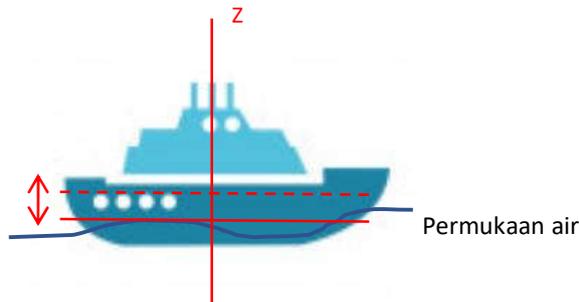
Merupakan gerakan rotasi kapal pada sumbu y (gerak rotasi depan belakang kapal). Sudut rotasi *pitch* bernilai positif, jika bagian haluan/ sisi depan kapal berada di sebelah atas bidang horisontal (permukaan air).



*Gambar 2.5 Pergerakan depan dan belakang kapal terhadap sumbu y disebut dengan pergerakan pitch kapal, pengukuran offset tersebut digunakan sebagai data attitude kapal*

c. Pergerakan *Heave*

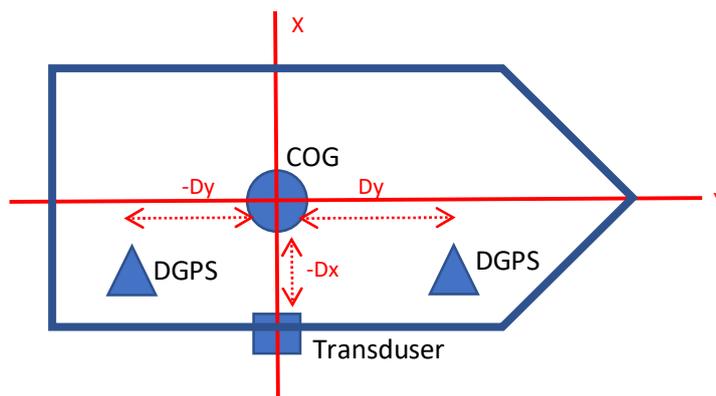
Merupakan gerakan kapal sepanjang sumbu  $Z$  dengan naik turunnya kapal akibat gelombang laut saat survei. Nilai *heave* semakin besar sesuai dengan gerakan kapal ke bawah (kedalaman).



Gambar 2.6 Pergerakan naik dan turun kapal terhadap sumbu  $z$  disebut dengan pergerakan *heave* kapal, pengukuran *offset* tersebut digunakan sebagai data attitude kapal

2. *Offset* Posisi

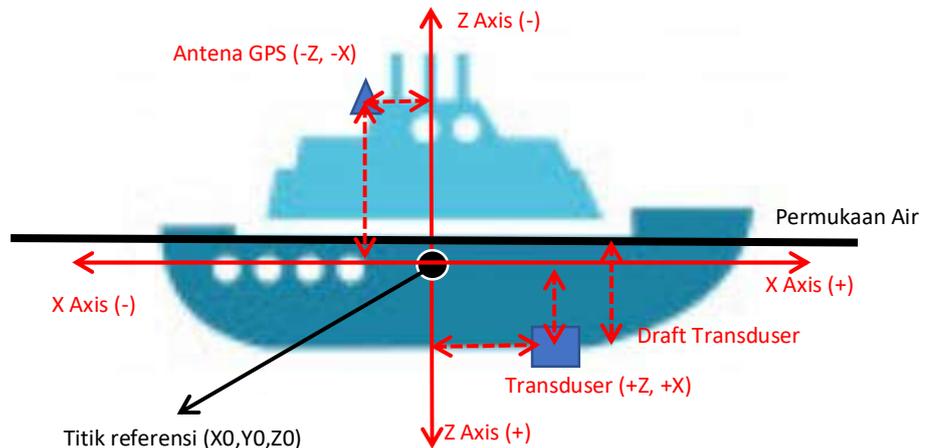
Pengukuran *offset* posisi merupakan jarak  $x$  dan jarak  $y$  dari sensor alat terhadap *center line* kapal dan transduser. Pengukuran ini dilakukan untuk dapat mengetahui letak (posisi) dari setiap sensor alat yang digunakan dalam pemeruman tersebut.



Gambar 2.7 Contoh pengukuran sensor alat terhadap Center Of Gravity kapal ( $X_0, Y_0$ )

### 3. *Offset Kedalaman*

Pengukuran *offset* kedalaman diperlukan untuk melihat sistem koordinat transduser relatif terhadap kapal secara vertikal.



*Gambar 2.8 Sistem koordinat kapal relatif, peletakan sensor gerakan pada Center of Gravity kapal adalah untuk menghindari/menyederhanakan koreksi posisi dan kedalaman ukuran sedangkan pusat sistem koordinat ukuran ada di transduser dan referensi kedalaman ukuran ada pada permukaan laut yg kemudian ditransformasi ke sistem referensi kedalaman peta laut chart datum.*

#### 2.3.2. *Patch Test*

*Patch test* adalah proses perhitungan nilai koreksi *pitch*, *roll*, dan *yaw* dari instalasi transduser yang tidak tepat, posisi transduser harus benar-benar lurus ke arah *heading* kapal dan datar, untuk mengkoreksi kesalahan posisi transduser maka perlu dilakukan *patch test*. *Patch test* dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan minimal pada 2 lajur survei sejajar dengan *overlap* data ukuran 50%, lajur survei pertama diukur dua kali dengan arah yang berbeda, dan kecepatan kapal yang sama, sedangkan lajur survei yang ke dua diukur sekali dengan kecepatan kapal yang sama dengan kecepatan kapal lajur survei pertama.

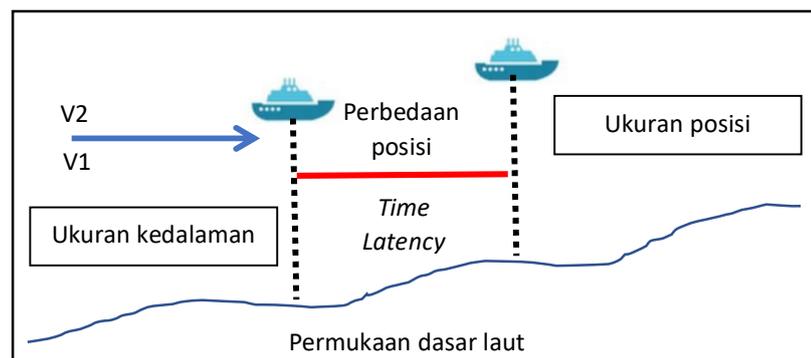
Pemilihan area survei untuk *patch test* harus ada area *slope* dan datar, area *slope* digunakan untuk menghitung koreksi *pitch* dan *yaw*, sedangkan area datar digunakan untuk menghitung koreksi *roll*. *Patch test* harus kembali dilakukan jika posisi transduser telah berubah, selama

posisi transduser tidak berubah, pengukuran masih bisa tetap dilanjutkan. Untuk keperluan kontrol di sarankan pada akhir survei melakukan *patch test*, akan terlihat apakah posisi transduser masih sama dengan awal survei.

*Patch test* termasuk mengumpulkan data dari berbagai tipe permukaan dasar laut dan pemrosesan data sampai pada ke proses *patch test* nya. Ada dua metode untuk memproses data yang digunakan: yaitu dengan pendekatan model dan pendekatan dari permukaan berulang yang sama. Pada perangkat lunak EIVA *Navisuite* fitur *patch test* meliputi *time latency*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*.

a. *Time Latency* (keterlambatan waktu)

*Time latency* merupakan kesalahan pengukuran yang terjadi akibat adanya perbedaan waktu yang dihasilkan dari alat perekaman posisi horizontal menggunakan GPS dengan *echosounder* pada saat melakukan pengukuran kedalaman. Kesalahan ini terjadi ketika pengukuran dilakukan pada suatu daerah *slope* (kemiringan) pada topografi dasar laut, *slope* yang besar berakibat kepada kesalahan kedalaman ukuran bukan posisi, *time latency* berakibat kepada posisi yg tercatat bukan pada posisi kedalaman yg terukur. Sehingga kemungkinan terjadi kesalahan pada kedua tempat tersebut berbeda, seperti pada dasar yg miring.



Gambar 2.9 Pengambilan data *Time Latency* menggunakan jalur dan arah yang sama namun kecepatan kapal yang berbeda

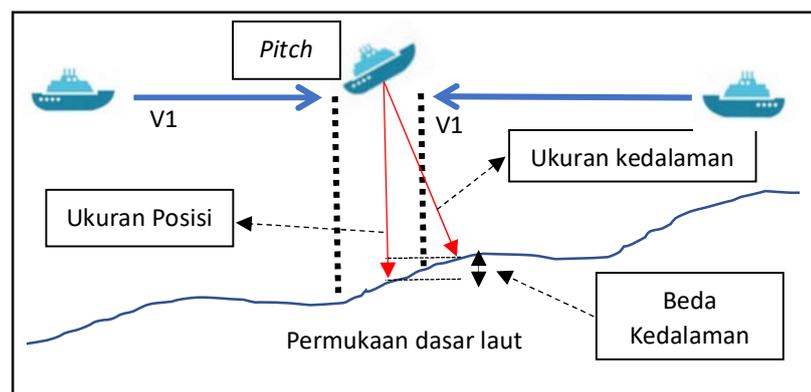
Pengambilan data *time latency* dilakukan dengan mengambil satu lajur pemeruman yang sama kemudian dilakukan dua kali

pengukuran dengan kecepatan kapal yang berbeda, dan topografi dasar laut yang diambil memiliki *slope* atau suatu objek untuk mendapatkan apabila terjadi pada posisi yang sama didapat kedalaman atau objek yang sama.

b. *Pitch*

*Pitch* adalah parameter lain yang sangat penting ketika melakukan pemeruman di laut dalam atau ketika *sounding* pada lereng. *Pitch* merupakan kesalahan yang timbul Ketika pemeruman dilakukan pada wilayah yang memiliki lereng. Perbedaan pengambilan posisi pada wilayah yang berlereng mengakibatkan penerimaan perbedaan sudut pada transduser sehingga lereng akan ditemukan pada posisi yang berbeda dari sebenarnya.

Untuk menentukan *pitch*, pilih area yang memiliki lereng 1:3 dan 1:5, Jika memungkinkan, pilih lereng yang dikelilingi oleh dasar laut yang datar. Pada umumnya, semakin curam lereng semakin akurat penentuan kesalahan *pitch*. Lakukan pada sebuah jalur dengan arah yang berlawanan di atas lereng dengan kecepatan yang sama.

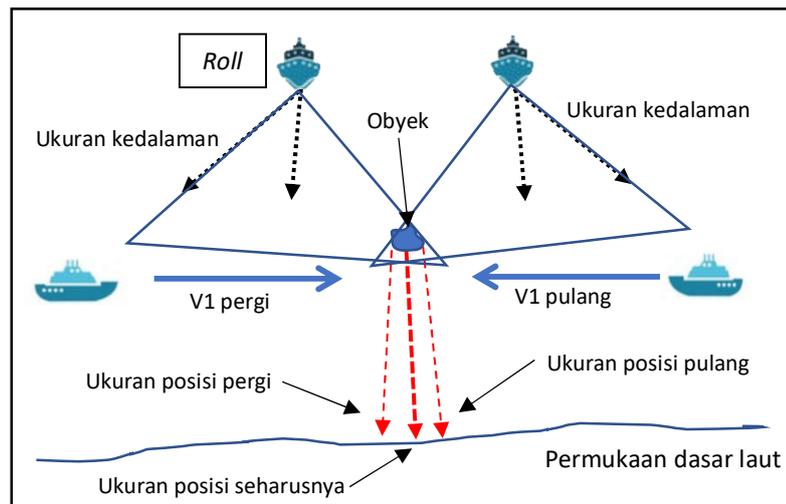


Gambar 2.10 Kesalahan *pitch* dan pengambilan data *pitch* dilakukan pada lajur perum dan kecepatan yang sama pada daerah kelerengan namun dengan arah yang berlawanan dan berakibat kepada kesalahan pada kedalaman ukuran

c. *Roll*

*Roll* merupakan kesalahan yang terjadi akibat sapuan atau biasa disebut *swath sounder* yang dihasilkan dari transduser tidak menyapu secara tegak lurus terhadap permukaan dasar laut, akibat dari kesalahan tersebut maka hasil dari kedalaman yang direkam oleh transduser membuat kedalaman tersebut tidak sesuai dengan kedalaman yang sebenarnya dan akan semakin salah pada daerah yang memiliki jarak paling jauh dari transduser.

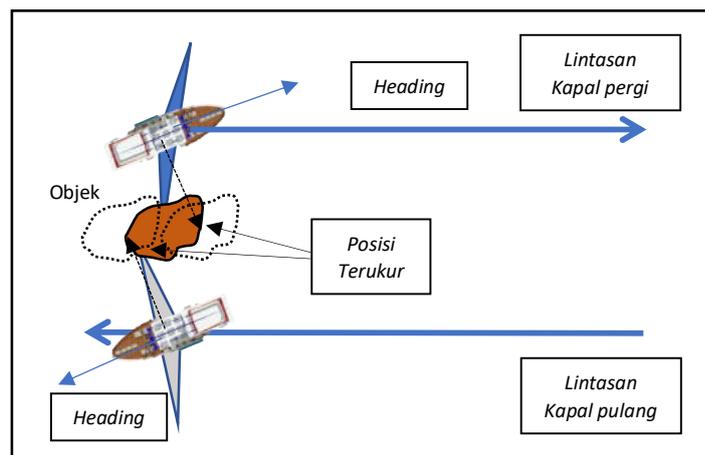
Pengambilan data untuk *roll* harus di permukaan dasar laut yang relatif datar dan diambil 2 kali pulang pergi dalam satu jalur. Ketika data ditampilkan dalam potongan memanjang, maka terlihat perbedaan antara kedua permukaan.



Gambar 2.11 Bentuk kesalahan *roll* terjadi akibat pergerakan kapal terhadap sumbu *y* sehingga terdapat kesalahan ukuran posisi pada pengukuran yang ditampilkan pada garis panah berwarna merah, ukuran posisi sebenarnya seharusnya tepat pada tengah objek pengukuran

d. *Yaw (Heading)*

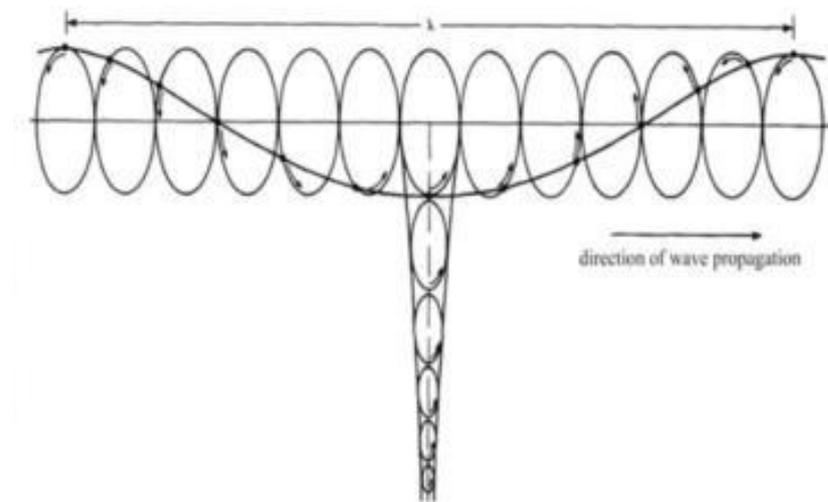
*Yaw* merupakan salah satu parameter *patch test* yang berhubungan dengan arah gerakan kapal (*heading*). Kesalahan pada *heading* kapal membuat daerah yang memiliki jarak terjauh dari nadir transduser memiliki bukaan sudut yang berbeda sehingga membuat kedalaman yang direkam oleh transduser bukan merupakan kedalaman yang sebenarnya. Pengambilan data *yaw* sangat sulit jika dibandingkan dengan tes lainnya. Dibutuhkan sebuah objek didasar laut yang diambil bukan tepat dibawah kapal, tetapi di tepi dari jangkauan *beam* yang dipancarkan, memungkinkan untuk mengetahui bahwa *slope* tidak tepat tegak lurus terhadap badan kapal. Untuk pengambilan data *yaw*, digunakan 2 jalur paralel dengan sama arah.



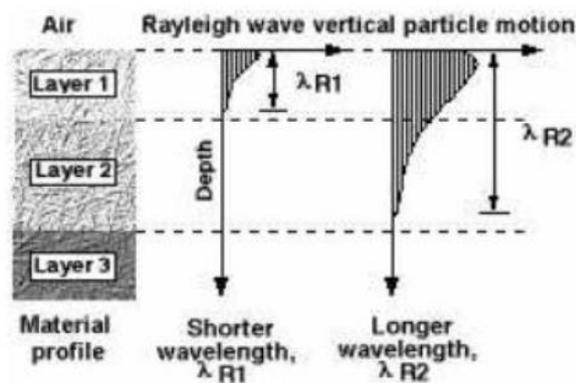
Gambar 2.12 Pengambilan data *yaw* dilakukan pada dua lajur perum yang sejajar dengan mengamati objek pada wilayah *beam* terjauh, terjadi perbedaan posisi terukur pada saat pengukuran lintasan pergi dan lintasan pulang dikarenakan oleh perubahan *heading* kapal

## 2.4. Konsep Muka Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh (*Groundroll*) merupakan gelombang yang merambat di permukaan dengan pergerakan partikel yang menyerupai elips dan bergerak mundur. Kecepatan gelombang rayleigh dalam medium homogen lebih kecil bila dibanding dengan kecepatan gelombang geser. Jika terdapat variasi sifat elastik terhadap kedalaman, gelombang rayleigh akan terdispersi, dimana panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan berbeda [10].



Gambar 2.13 Amplitudo gelombang Rayleigh berkurang terhadap kedalaman [11]



Gambar 2.14 Panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal, sedangkan gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah akan merambat lebih dalam [12]

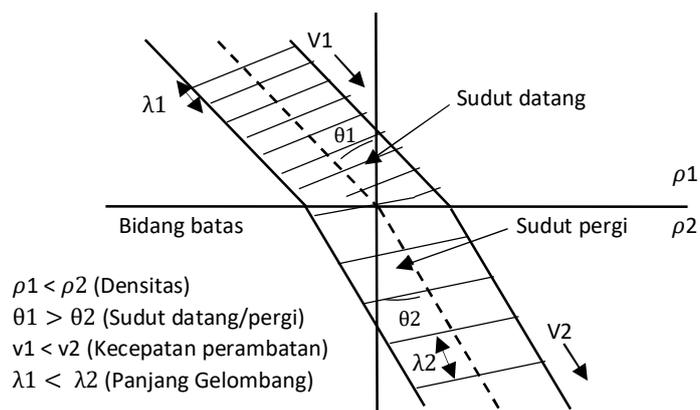
## 2.5. Propagasi Bawah Air

Laut merupakan media yang sangat kompleks dalam pengaruhnya terhadap perambatan / propagasi suara. Gelombang suara dalam air akan mengalami pembiasan, distorsi dan pelemahan. Beberapa faktor yang mempengaruhi propagasi adalah kecepatan, kehilangan energi dan *noise*.

Berikut merupakan faktor – faktor yang mempengaruhi propagasi gelombang suara dalam air :

### a. Refraksi

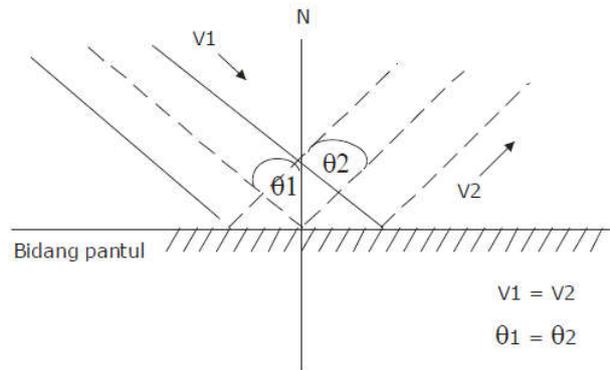
Refraksi adalah suatu fenomena dimana gelombang yang merambat melalui 2 medium yang berbeda akan mengalami pembelokan/ pembiasan.



Gambar 2.15 Pembiasan gelombang terjadi jika suatu gelombang melewati dua medium yang berbeda, arah pantulan gelombang tersebut dipengaruhi oleh sudut datang dari gelombang yang dipancarkan terhadap bidang batas akibat perubahan kecepatan yg berbeda antara kedua sisi muka gelombang

### b. Refleksi

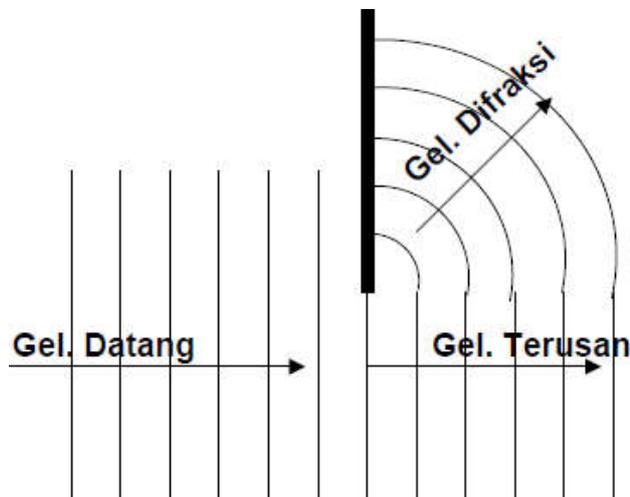
Refleksi merupakan fenomena pembelokan gelombang yang diakibatkan oleh suatu bidang pantul pada dasar laut. Arah pantulan gelombang tergantung dari permukaan bidang pantul, jika bidang pantul relatif datar maka arah gelombang pantul akan mengalami pantulan yang relatif seragam.



Gambar 2.16 Bidang pantul yang memiliki permukaan relatif datar akan membuat arah pantulan gelombang seragam dan menghasilkan sudut yang sama dari sudut datang gelombang [1]

c. Difraksi

Difraksi merupakan peristiwa penyebaran atau pembelokan gelombang pada saat gelombang tersebut melintas melalui bukaan atau mengelilingi ujung penghalang.

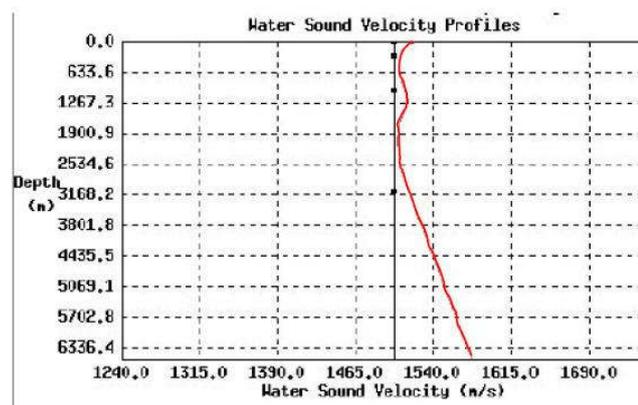


Gambar 2.17 Gelombang datang yang melewati suatu celah (penghalang), akan diteruskan dan menjadi sumber gelombang baru [1]

## 2.6. Profil Kecepatan Suara

*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, 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, gelombang akustik merupakan gelombang mekanik longitudinal yang terjadi karena adanya rapatan dan renggangan. Gelombang akustik dapat merambat dalam medium gas, cair, dan padat. Sifat dari gelombang akustik yaitu memerlukan medium dalam perambatannya. Pada setiap kolom perairan secara vertikal, nilai SVP yang terkandung didalamnya memiliki nilai 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. Karena hal tersebut perambatan gelombang akustik di dalam air tidak pernah konstan, seperti terlihat pada *Gambar 2.18* yang menampilkan contoh dari profil kecepatan suara secara vertikal.



*Gambar 2.18* Profil kecepatan suara terhadap kedalaman laut bergantung terhadap salinitas, densitas, suhu, dan kedalaman laut [13]

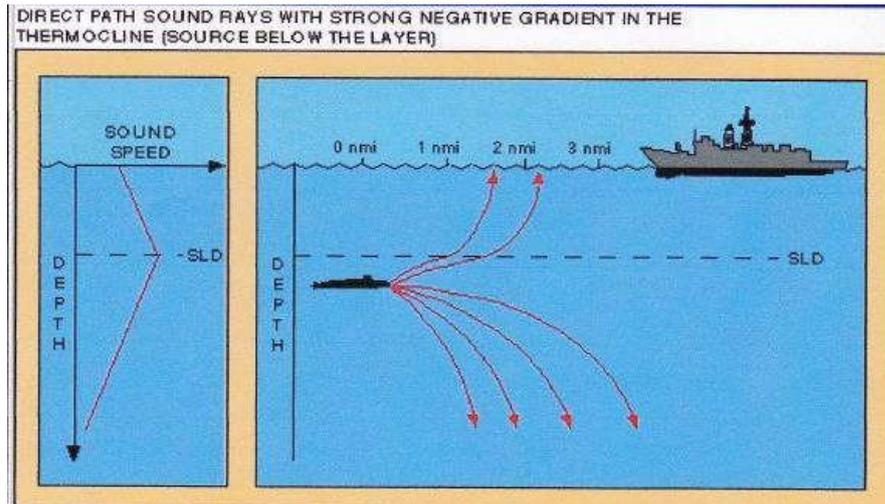
Dapat dilihat pada gambar tersebut ada perubahan bentuk setiap kenaikan kedalaman, dan agak sedikit melengkung di tengah biasanya

diakibatkan oleh perubahan suhu atau salinitas, untuk perubahan tekanan akan konstan seiring bertambahnya kedalaman. Pengaruh ketiga parameter diatas tidak bersifat konstan dalam setiap perairan dan akan dijelaskan mengenai pengaruh dari parameter tersebut terhadap SVP pada sub-bab selanjutnya.

Perbedaan salinitas bisa dikarenakan beberapa faktor misal, penumpukan sedimen dari sungai, atau pengaruh pasut yang menyebabkan penumpukan garam hal ini menyebabkan salinitas menjadi tinggi dan menaikkan kecepatan gelombang suara di dalam air. Sedangkan temperatur sendiri dipengaruhi oleh pemanasan oleh matahari, pendinginan saat malam hari atau pun pengaruh hujan sehingga temperatur dapat berubah-ubah. Jadi banyak faktor yang menyebabkan perbedaan SVP pada setiap perairan.

Dalam pemrosesan data *multibeam*, profil kecepatan suara sangatlah penting. Jika ada kesalahan pada SVP akan menyebabkan jalur menjadi tidak horisontal atau melengkung. Kesalahan ini dapat terjadi karena salah dalam menentukan nilai *sound velocity* dalam sebuah perairan yang dapat mengganggu penghitungan waktu tembakan dan penerimaan *beam*, akibatnya kedalaman yang tercatat menjadi tidak valid. Transduser memiliki *hydrophones* yang akan menembakkan gelombang akustik ke permukaan bawah laut dan akan memantul kembali sehingga gelombang tersebut akan diterima kembali oleh transduser.

Dari perjalanan gelombang tersebut *transduser* akan menerima sinyal gelombang dari lamanya waktu penjarangan gelombang dalam air, apabila terdapat kesalahan dalam menentukan kecepatan suara maka kedalaman yang akan dihitung menjadi salah pula, bila terlalu lambat maka nilai kedalaman bisa menjadi lebih dari yang sebenarnya dan bila terlalu cepat maka nilai kedalaman bisa saja kurang dari yang sebenarnya.



Gambar 2.19 Merupakan visualisasi propagasi gelombang akustik dengan sumber gelombang akustik berada dibawah profil kedalaman sonik [14]

Pada Gambar 2.19 dapat dilihat bahwa propagasi gelombang akustik dari sumber yang berada pada bawah lapisan sonik dibiaskan tajam ke bawah oleh gradien negatif yang kuat (karena termoklin). Sinar yang muncul ke lapisan campuran dibiaskan dengan tajam ke atas ke permukaan, menghasilkan rentang jalur langsung yang lebih pendek.

### 2.6.1. Faktor Karakteristik Laut terhadap Profil Kecepatan Suara

Menurut Clay dan Medwin [15], faktor - faktor yang mempengaruhi profil kecepatan suara di laut antara lain :

a. Suhu

Suhu merupakan salah satu karakter fisik dari air laut yang penting. Di wilayah lintang sedang dan rendah (dekat dengan wilayah tropis), suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi densitas dan kecepatan suara didalam air. Suhu di daerah tropis pada wilayah permukaan laut berkisar 26 – 29°C yang dipengaruhi oleh musim. Pada kondisi perairan laut yang mempunyai suhu berbeda – beda menimbulkan variasi kecepatan suara yang menyebabkan refraksi atau pembelokan perambatan gelombang suara. Perubahan suhu yang sangat cepat pada lapisan termoklin menyebabkan pembelokan

gelombang suara yang tajam dan pada lapisan ini bertindak sebagai bidang pantul.

b. Salinitas

Salinitas adalah jumlah zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut, dimana semua karbonat telah diubah menjadi oksida, bromide dan iodide diganti oleh klorid dan semua bahan organik telah dioksidasi sempurna. Pada umumnya perairan laut lepas memiliki kadar salinitas 35 psu, yang berarti dalam 1 kg air laut mengandung elemen-elemen kimia terlarut seberat 35 gram. Dimana komposisi air laut tersebut terdiri atas 3,5% elemen-elemen kimia terlarut dan 96,5% kandungan airnya.

c. Lapisan Termoklin

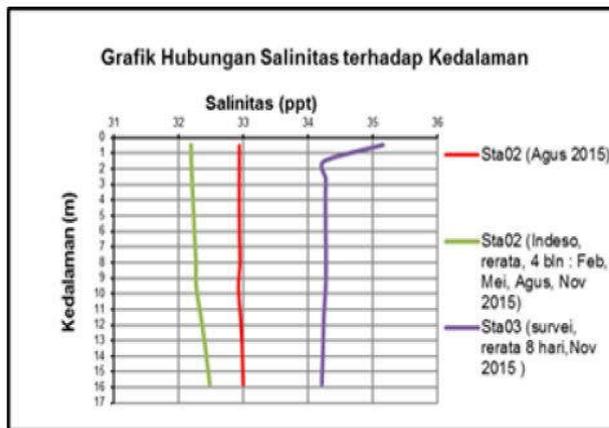
Lapisan termoklin merupakan lapisan yang berada dalam kolom perairan dilaut yang dimana pada lapisan ini mengalami perubahan suhu yang drastis dengan lapisan yang berada di bawah lapisan termoklin. Di laut, termoklin seperti lapisan yang membagi antara lapisan pencampuran (*mixing layer*) dan lapisan dalam (*deep layer*). Tergantung musim, garis lintang dan pengadukan oleh angin, lapisan ini bersifat semi permanen. Faktor yang menentukan ketebalan lapisan ini di dalam suatu perairan seperti variasi cuaca musiman, lintang, kondisi lingkungan suatu tempat (pasang surut dan arus). Penurunan suhu berbanding lurus dengan penambahan kedalaman dan salinitas. Pada daerah dimana terjadi penurunan suhu secara cepat inilah dinamakan lapisan termoklin. Lapisan termoklin mempunyai karakteristik mampu memantulkan dan membelokkan gelombang suara yang datang.

d. Kedalaman Perairan

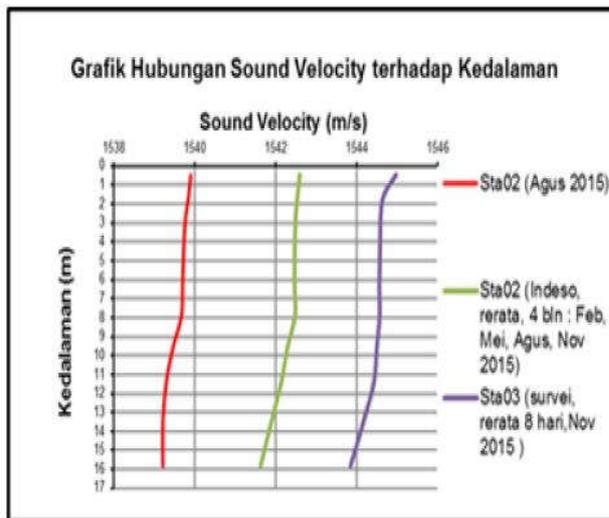
Kedalaman mempengaruhi cepat rambat suara di dalam air laut. Bertambahnya kedalaman, maka kecepatan suara akan bertambah karena adanya tekanan hidrostatik yang semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Rata-rata terjadi peningkatan kecepatan

suara sebesar 0,017m/detik setiap kedalaman bertambah 1 meter [15]

- e. Densitas merupakan salah satu parameter terpenting dalam mempelajari dinamika laut. Densitas air laut tergantung pada suhu (t) dan salinitas (s) sampel dan juga tekanan air laut sebagai hasil dari kompresibilitas air. Temperatur, salinitas dengan densitas memiliki hubungan yang sangat erat, densitas akan meningkat jika salinitas bertambah atau suhu berkurang. Akan tetapi, tidak selamanya densitas meningkat seiring dengan penurunan suhu, hal ini karena adanya sifat anomali air [16]



(a)

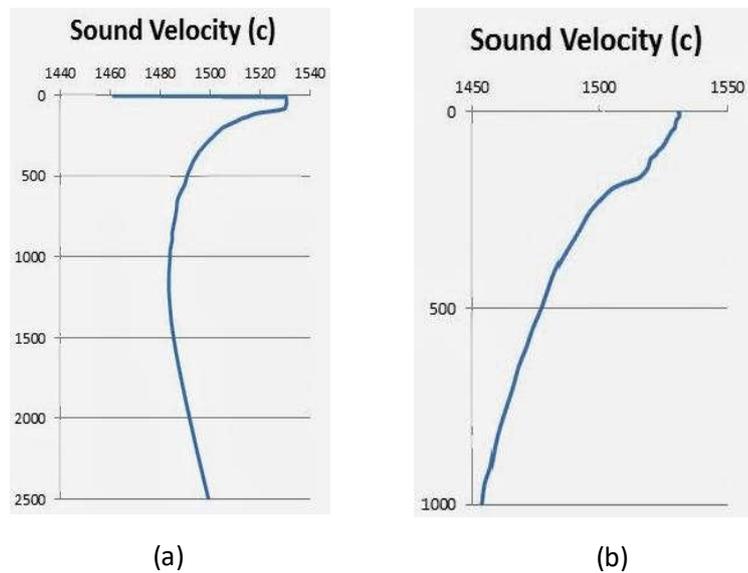


(b)

Gambar 2.20

Grafik (a) : merupakan grafik hubungan salinitas terhadap kedalaman, 3 garis warna yang berbeda menunjukkan perbedaan waktu pengambilan data yaitu garis merah bulan Agustus, garis hijau rerata 4 bulan, serta garis ungu pada bulan November. Profil yang digambarkan garis tersebut memiliki bentuk yang berbeda pada garis hijau, yaitu salinitas mengalami kenaikan seiring bertambahnya kedalaman sedangkan garis merah dan ungu memiliki profil yang relatif sama yaitu salinitas relatif tetap seiring bertambahnya nilai kedalaman

Grafik (b) merupakan grafik hubungan sound velocity terhadap kedalaman, 3 garis warna yang berbeda menunjukkan perbedaan waktu pengambilan data yaitu garis merah bulan Agustus, garis hijau rerata 4 bulan, serta garis ungu pada bulan November. Profil yang digambarkan pada 3 garis tersebut memiliki bentuk yang relatif sama yaitu sound velocity mengalami penurunan nilai seiring bertambahnya nilai kedalaman [17]



Gambar 2.21

Grafik (a) : menunjukkan hubungan sound velocity terhadap parameter waktu di musim dingin terjadi penambahan nilai sound velocity terhadap kedalaman

Grafik (b) : menunjukkan hubungan sound velocity terhadap parameter waktu di musim panas terjadi penurunan nilai sound velocity terhadap kedalaman [17]

## 2.6.2. Persamaan Kecepatan Suara dalam Air

Nilai kecepatan suara di dalam laut bervariasi terhadap kedalaman, musim, lokasi geografis, dan waktu (pada lokasi yang sama). Pengukuran terhadap kecepatan suara dalam air (laut) sudah banyak dilakukan baik secara alami maupun dalam skala laboratorium. Dari berbagai hasil pengukuran, diketahui bahwa secara umum variasi kecepatan suara dalam air ditentukan oleh faktor: temperatur, salinitas dan tekanan (kedalaman). Banyak persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara temperatur, salinitas dan kedalaman terhadap kecepatan rambat gelombang suara di laut. Persamaan untuk kecepatan suara di laut yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

$$C(Z, T, S) = 1449.05 + T[4.57 - T(0.0521 - 0.00023xT)] + [1.333 - T(0.0126 - 0.00009xT)](S - 35) + \Delta(Z) \quad (2.3)$$

Dengan :

T : Temperatur(°C) ;  $1^{\circ}\text{C} \approx 4,5 \text{ m/dt}$ .

S : Salinitas (ppt atau  $\text{0}/\text{00}$  ;  $1,3 \text{ m/dt} \approx 1 \text{ } \text{0}/\text{00}$

$\Delta(Z) \approx 16,3 Z + 0,18 Z^2$  ; Z : Kedalaman (kilometer)

## 2.7. Persamaan SONAR

Sonar merupakan sistem yang menggunakan gelombang suara bawah air yang dipancarkan dan dipantulkan untuk mendeteksi dan menetapkan lokasi objek di bawah laut atau untuk mengukur jarak bawah laut. Sejauh ini sonar telah luas digunakan untuk mendeteksi kapal selam dan ranjau, mendeteksi kedalaman, penangkapan ikan komersial, keselamatan penyelaman, dan komunikasi di laut.

Cara kerja perlengkapan sonar adalah dengan mengirim gelombang suara bawah permukaan dan kemudian menunggu untuk gelombang pantulan (*echo*). Data suara dipancar ulang ke operator melalui pengeras suara atau ditayangkan pada monitor.

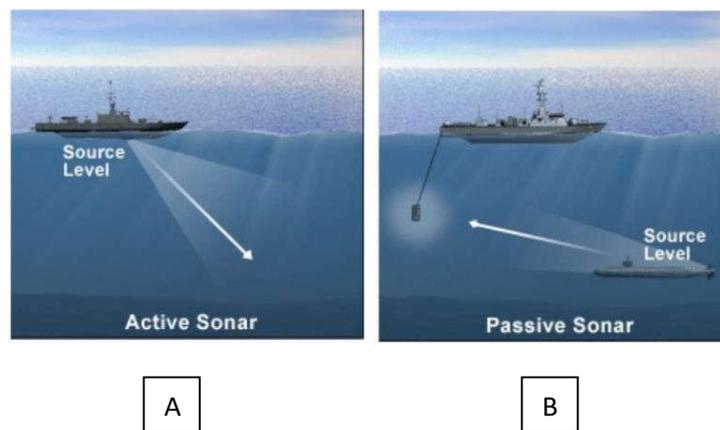
Dalam proses memancarkan gelombang, sonar memiliki persamaan sebagai berikut :

$$EE = SL - 2TL - (NL - DI) + BS - DT \quad (2.4)$$

Berikut merupakan penjelasan dari masing – masing parameter :

a. SL (*Source Level*) Sumber sinyal

Pada sonar aktif SL bersumber pada intensitas energi akustik yang dihasilkan oleh transduser sedangkan pada sonar pasif SL mengacu pada energi akustik yang berasal / dibangkitkan sendiri oleh sasaran



Gambar 2.22  
 Gambar A merupakan contoh dari sonar aktif yang sumber energinya berasal dari transduser pada kapal, sedangkan  
 Gambar B merupakan contoh penjelasan source level yang diperoleh dari luar  
 [13]

b. TL (*Transmission Loss*) Sinyal yang hilang

*Transmission Loss* merupakan fenomena dimana gelombang akan mengalami pelemahan intensitas saat gelombang tersebut dipancarkan

1. *Spreading Losses*

Hilangnya intensitas akibat perambatan gelombang ke segala arah, seperti pemekaran bola akibat perubahan luas bidang bola pada dekat gelombang yg menyebar semakin luas dengan bertambahnya jarak terhadap pusat sumber gelombang.

2. *Absorption losses*

Gelombang suara yang merambat di perairan mengalami kehilangan energi akibat proses penyerapan (absorpsi) yang terjadi, energi tersebut tidak hilang tetapi dikonversi menjadi panas, seperti pada konsep hukum kekekalan energi bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dihancurkan namun ia dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lain. Hal tersebut disebabkan, tekanan dari gelombang yang menurun secara eksponensial terhadap jarak  $x$  sepanjang jalur propagasi (perambatan) sehingga terjadi penyerapan oleh partikel medium atau perubahan energi mekanik ke energi panas.

### 3. *Scattering and Reverberation*

*Scattering* merupakan hamburan gelombang sinyal akustik yang disebabkan oleh permukaan dasar laut yang kasar, sehingga pantulan gelombang mengarah tidak menentu sedangkan *reverberation* merupakan hamburan balik dari gelombang sinyal akustik yang dipantulkan kembali menuju arah datangnya gelombang.

#### c. NL (*Noise Level*) Sinyal gangguan

*Noise level* adalah energi akustik yang dibangkitkan atau dihasilkan oleh suatu obyek, *noise level* terbagi atas :

##### 1. *Ambient noise*

*Ambient noise* merupakan gangguan sinyal yang terjadi akibat lingkungan di sekelilingnya, berikut merupakan contoh dari *ambient noise* :

- suara hewan bawah air
- suara mesin
- suara pendorongan/*propeller*
- energi akustik yang dipancarkan dari sonar lain

##### 2. *Self noise*

*Self noise* merupakan gangguan sinyal yang diakibatkan oleh pemancar gelombang itu sendiri, berikut contoh dari *self noise* :

- Sonar sendiri
- Mesin dan pendorongan sendiri
- *Noise* dari lambung akibat gesekan arus air dengan badan kapal

d. DI (*Direct Indirectivity*)

*Direct Indirectivity* dinyatakan sebagai kemampuan dari peralatan untuk membedakan arah datangnya *noise* yang tidak langsung ke *receiver*. Terdapat batasan *beam width* yang dapat diterima, oleh karena itu *noise* yang tidak sesuai dengan *beam width* akan dilakukan penolakan. Yang mempengaruhi *direct indirectivity* adalah :

1. Ukuran elemen pemancar

Semakin besar ukuran elemen, semakin sempit *beam width* dan mengakibatkan *directivity index* semakin baik

2. Jumlah dan spasi elemen pemancar

Semakin banyak dan semakin rapat semakin baik *directivity index*nya

3. Frekuensi energi akustik yang diterima

Semakin tinggi frekuensi, dan semakin kecil *beam width* maka semakin baik *directivity index*

e. BS (*Back Scattering*)

*Back scattering* merupakan pancaran gelombang sinyal yang dipantulkan dari permukaan laut dan partikel pada air laut atau benda lainnya terhadap arah datangnya gelombang tersebut.

f. DT (*Detection Threshold*) Intensitas batas sinyal minimal yang dapat diterima / didengar oleh *receiver*

Untuk menghitung besarnya deteksi sasaran berdasarkan rasio sinyal terhadap *noise* dari energi akustik yang diterima dikenal dengan istilah *detection threshold* yang didefinisikan sebagai rata – rata rasio sinyal terhadap *noise* yang dibutuhkan untuk memperoleh kemungkinan deteksi sebesar 50%.

## 2.8. Klasifikasi Ketelitian Survei Hidrografi

Dalam setiap survei atau pengukuran yang dilakukan selalu ada standar resmi yang telah ditetapkan untuk menjaga seluruh kualitas data hasil survei tetap baik. Ketetapan standar ini biasanya berskala nasional maupun internasional. Dalam keilmuan hidrografi, ketetapan internasional mengenai survei hidrografi diatur oleh *International Hydrographic Organization* (IHO). Di Indonesia sendiri standar survei ini diatur pada SNI yang isinya pun merujuk pada ketentuan dari IHO.

*International Hydrographic Organisation* (IHO) merupakan badan internasional yang mengatur mengenai standar, publikasi serta menyiapkan saran-saran dalam bidang-bidang survei hidrografi, organisasi ini mengatur pula mengenai produksi dari peta laut (SNI, 2010). 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). *Special publication 44* sendiri adalah sebuah petunjuk yang berisikan standar minimum untuk survei hidrografi agar data survei hidrografi yang sesuai dengan standar ini cukup akurat dengan ketidakpastian data spasial yang diukur cukup memadai untuk digunakan secara aman oleh pelaut (komersial, militer atau rekreasi) sebagai pengguna utama informasi ini [17].

Seiring dengan berjalannya waktu, teknologi dalam dunia hidrografi makin berkembang pula sehingga terjadi banyak revisi atau perubahan susunan maupun isi dari IHO S-44. Dari awal penerbitannya pada tahun 1968, IHO S-44 telah menerbitkan 5 edisi sampai pada tahun 2008. IHO S-44 yang diterbitkan pada tahun 2008 merupakan edisi paling baru yang telah disesuaikan dengan kondisi teknologi saat ini, dan panduan mengenai standar minimal survei yang harus dilakukan pun menjadi lebih baik.

Tabel 2.1 Klasifikasi Survei Hidrografi [18]

Orde	Spesial	1a	1b	2
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

Nilai dari kecepatan suara mempengaruhi nilai dari kedalaman suatu pemeruman, sehingga hasil nilai kedalaman tersebut mempengaruhi nilai ketelitian hasil pengukuran tersebut. Besar dan kecil perubahan kecepatan suara terhadap ketelitian pengukuran akan berbeda – beda bergantung terhadap karakteristik laut serta kedalaman yang diukur. Jika perubahan kecepatan suara besar maka hasil uji ketelitian pun menjadi besar sehingga menghasilkan data pengukuran yang ditolak.

## 2.9. Uji Ketelitian Data Pemeruman

Pada data *multibeam* terdapat daerah yang saling bertampalan, seperti pada lajur silang dengan lajur utama *singlebeam*, pada dasarnya nilai kedalaman pada daerah yang bertampalan antara lajur kanan dan kiri adalah sama. Pada kenyataannya pengukuran tidak ada yang sempurna pasti terdapat kesalahan di setiap pengukuran. 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*.

Acuan yang ditetapkan pada IHO dan SNI merupakan uji dengan tingkat kepercayaan 95%, persamaan yang digunakan adalah persamaan sebagai berikut :

$$\pm\sqrt{a^2 + (bxd)^2} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- a : kesalahan independent
- b : faktor kesalahan kedalaman yang dependen
- d : kedalaman rata – rata
- (bxd) : kesalahan kedalaman yang dependen

Uji ini dilakukan dengan mengambil perpotongan antara lajur utama dan lajur silang pada seluruh areal survei. Titik sampel ini diambil dari 2 titik beda lajur yang berdekatan ataupun pada posisi yang sama. Dari 2 titik sampel beda lajur yang berdekatan tersebut yaitu  $H_n$  dan  $H_{n-1}$  seharusnya memiliki kedalaman yang sama. Kemudian dari ketentuan tersebut dicari selisih antara  $H_n$  dan  $H_{n-1}$ . Dari selisih tersebut dicari nilai penentuan toleransi untuk menentukan nilai tersebut masuk kedalam toleransi atau diluar toleransi yang diizinkan. Pada persamaan (2.6) disajikan persamaan untuk rata-rata dan persamaan (2.7) adalah persamaan standar deviasi. Berikut ini adalah persamaan tersebut :

- a. Rata – rata

$$\hat{H} = \frac{\Sigma(H_n - H_{n-1})}{n} \quad (2.6)$$

- b. Standar deviasi

$$S = \frac{\sqrt{\Sigma(H_i - \hat{H})^2}}{n - 1} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$S$  : standar deviasi

$H_n$  : kedalaman lajur 2

$H_{n-1}$  : kedalaman lajur 1

$\hat{H}$  : rata – rata

$H_i$  : beda nilai kedalaman antara lajur 1 dan lajur 2

$n$  : banyaknya sampel

Dalam konteks standar IHO ini, dengan asumsi kesalahan distribusi normal maka tingkat kepercayaan 95% untuk kedalaman ditentukan sebesar 1,96 x standar deviasi [18], sehingga menurut acuan dari IHO data dapat diterima atau ditolak jika :

1. Ditolak jika :  $1,96 \times \text{standar deviasi} > + \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$  atau  $1,96 \times \text{standar deviasi} > - \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$
2. Diterima jika :  $-\sqrt{a^2 + (b \times d)^2} < 1,96 \times \text{standar deviasi} < + \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$

Jika terjadi penolakan dari hasil perhitungan uji ketelitian tersebut, hal itu disebabkan oleh adanya perbedaan nilai beda kedalaman antar titik lajur yang bertampalan akibat dari *noise* sehingga menghasilkan nilai standar deviasi yang besar. Pengolahan tersebut harus diulang dengan memperhatikan proses *cleaning* data secara manual dan teliti sehingga sehingga titik – titik yang dihasilkan merupakan titik yang sudah bebas dari *noise* dan dilanjutkan dengan uji ketelitian kembali.