BAB 2
LANDASAN TEORI

2.1 Sedimen Dasar Laut

Menurut Hutabarat dan Evans (2000) seluruh permukaan dasar laut ditutupi oleh partikel-partikel sedimen yang telah diendapkan secara perlahan-lahan dalam jangka waktu berjuta-juta tahun. Sedimen ini terutama terdiri dari partikel-partikel yang berasal dari hasil pembongkaran batu-batuan dan potongan-potongan kulit *(shell)* serta sisa rangka-rangka dari organisme laut.

Sedimen dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya maupun ukuran partikelnya. Menurut Thurman (1993) sumber sedimen berkaitan dengan asal mula material sedimen, yaitu batuan, air laut, atmosfer, dan organisme. Sedimen yang berasal dari batuan dinamakan *lithogenous*, pada umumnya mengandung mineral *feromagnesian* (seperti *olivine*, *augite*, dan *biotite*) dan *nonferomagnesian* (seperti *quartz*, *feldspar*, dan *muscovite*). Batuan ini mengalami proses pelapukan (secara kimiawi maupun fisika), partikel-partikelnya dilarutkan dan akhirnya diendapkan di dasar laut. Sedimen *lithogenous* biasanya berada di sekitar batas-batas benua *(continents)*. Sedimen *hydrogenous* adalah sedimen yang berasal dari reaksi kimia di dalam air laut, umumnya mengandung mineral mangan, fosfor, dan *glauconite*. Sedimen *cosmogenous* adalah sedimen yang berasal dari partikel kosmik yang mengenai permukaan bumi, mengalami suspensi dalam jangka waktu yang lama, dan akhirnya terlarut ke dalam air laut dan terendapkan. Material ini umumnya mengandung unsur besi. Sedimen *biogenous* adalah sedimen yang terbentuk dari sisa-sisa organisme, seperti: tulang, gigi dan cangkang, umumnya mengandung unsur *calcium carbonat* ($CaCO_3$) dan *silica* (SiO_2)

Ukuran partikel sedimen merupakan cara yang mudah untuk menentukan klasifikasi sedimen. Skala phi pada jenis sedimen didapat dari skala Wentworth (1922) dan dimodifikasi oleh Krumbein (1963) yang memiliki persamaan :

$$\phi = -\log_2 / \frac{D}{Do} \quad (1)$$

di mana :

Φ = skala phi Krumbein

D = diameter partikel sedimen

Do = referensi diameter, sama dengan 1 mm

Ukuran partikel sedimen dasar laut ini sangat ditentukan oleh sifat-sifat fisiknya sehingga berakibat terjadinya perbedaan sifat-sifat sedimen yang berada di berbagai belahan dunia. Menurut Hutabarat dan Evans (2000) sebagian besar dasar laut yang dalam ditutupi oleh jenis partikel yang kecil yang terdiri dari sedimen halus, sedangkan hampir semua pantai ditutupi oleh jenis partikel berukuran besar yang terdiri dari sedimen kasar.

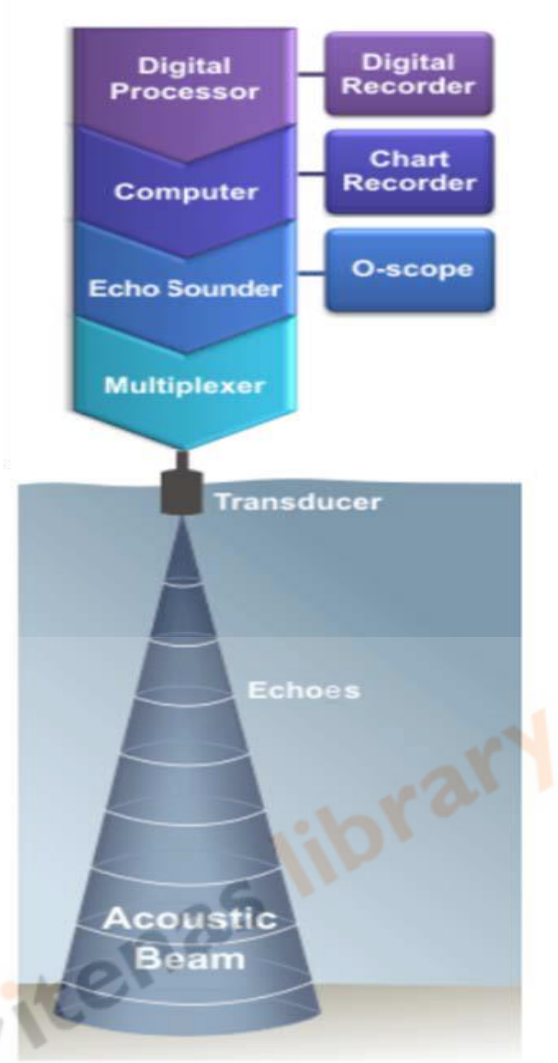
Thurman (1993) menyatakan bahwa ukuran partikel juga mengindikasikan tingkat energi pada saat proses pengendapan deposit sedimen. Deposit yang diendapkan di area yang bergelombang kuat (berenergi tinggi) akan tersusun terutama oleh partikel-partikel berukuran besar, seperti *cobble* dan *boulder*. Sedangkan partikel-partikel berukuran *clay* akan diendapkan di area yang memiliki tingkat energi rendah dan kekuatan arus lautnya minimal.

2.2 Teknik Hidroakustik

Lurton (2002) menyatakan dalam medium air gelombang akustik memiliki karakteristik transmisi yang lebih baik dibandingkan dalam medium udara. Kecepatan perambatannya mencapai empat hingga lima kali lebih besar dari cepat rambatnya dalam medium udara. Sehingga gelombang akustik mampu menempuh jarak yang jauh bahkan mampu menembus perlapisan batuan yang ada di bawah dasar laut. Berbagai informasi yang berasal dari bawah permukaan air *(underwater)* bisa diberikan oleh gelombang akustik.

Menurut Lurton (2002) berbagai kelebihan gelombang akustik tersebut kemudian dimanfaatkan oleh instrumen akustik bawah air *(underwater acoustic instrument)* untuk :

- Mendeteksi dan melokalisasi target bawah air. Hal ini merupakan fungsi utama dari sistem sonar yang banyak diaplikasikan dalam bidang militer dan perikanan.
- Mengukur *(measure)* karakteristik lingkungan laut, seperti topografi dasar laut dan kehidupan organisme bawah laut.
- Mentransmisikan sinyal, seperti data yang dibutuhkan oleh instrumentasi saintifik bawah air, serta pengiriman pesan antara *submarine* dan kapal permukaan.



Sumber : Hydroacoustic Technology Inc. (2011)

Gambar 2.1 Prinsip Hidroakustik

Prinsip dasar pengoperasian instrumen akustik bisa dijelaskan seperti Gambar 2.1. Energi gelombang akustik akan dipancarkan ke kolom perairan dalam bentuk pulsa suara melalui transduser. Pulsa suara ini akan merambat dalam medium air dengan kecepatan berkisar 1500 m/detik. Ketika pulsa suara mengenai suatu objek atau target seperti ikan ataupun dasar perairan, sebagian energinya akan dipantulkan kembali ke transduser dalam bentuk *echo*. Transduser akan mengubah *echo* menjadi energi listrik dan diteruskan ke *amplifier* yang berada dalam *echosounder* untuk diperkuat. Apabila transduser yang digunakan lebih dari satu maka digunakan *multiplexer*. Selanjutnya sinyal *echo* yang sudah diperkuat ini akan diteruskan ke *output device* seperti *digital recorder*, *chart recorder* ataupun *video display*.

2.3 Teori Akustik Bawah Air

2.3.1 Propagasi Akustik Bawah Air

Urick (1983) menyatakan propagasi akustik merupakan transmisi dari suatu energi akustik yang dipancarkan oleh MBES melalui media perantara air untuk menuju ke permukaan dasar perairan. Dalam perambatannya sonar MBES mengalami refraksi, refleksi, dan transmisi.

1. ***Geometrical Spreading Loss***

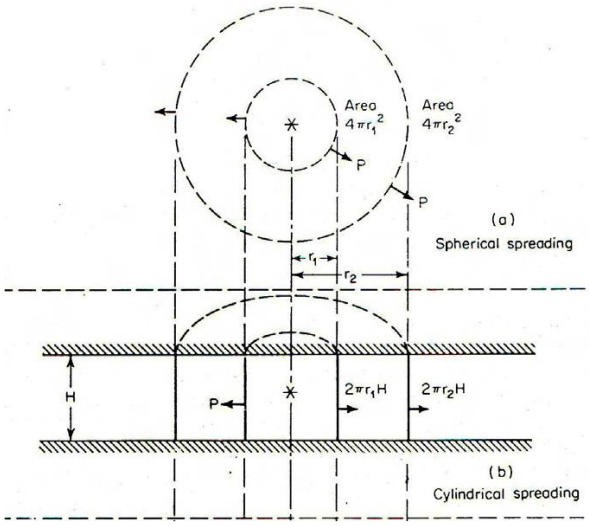
   Dalam proses perambatan gelombang akustik dari sebuah sumber suara yang berada dalam medium homogen, tak terbatas dan tanpa penyerapan *(lossless)*, daya *(power)* akan diradiasikan sama besar ke segala arah. Urick (1983) menyatakan bahwa daya yang menembus bola sferis dengan jari-jari yang makin membesar akan bernilai sama pada permukaan bola sferis manapun. Karena daya *(P)* sama dengan intensitas *(I)* dikalikan luas area *(A)* maka secara matematis dapat dituliskan:

   $$P = 4\pi r1^2 I1 = 4\pi r2^2 I2 = ... = 4\pi r^2 Ir \quad (2)$$

   Jika $r1$ = 1 m, maka *transmission loss (TL)* pada jarak $r2$ adalah

   $$TL = 10 \log I1/ I2 = 10 \log r2^2 = 20 \log r2 \quad (3)$$

   Hal ini dinamakan *spherical spreading* di mana intensitas berkurang sesuai dengan kuadrat jarak dan *transmission loss* bertambah sesuai dengan kuadrat jarak.



Sumber: Urick (1983)

Gambar 2.2 Spreading Loss

Jika sumber suara dibatasi oleh bidang-bidang paralel berjarak *H* meter, maka daya yang menembus permukaan silindris yang mengelilingi sumber suara dengan radius yang makin bertambah, tetap akan bernilai sama (*cylindrical spreading*), dinyatakan dengan persamaan

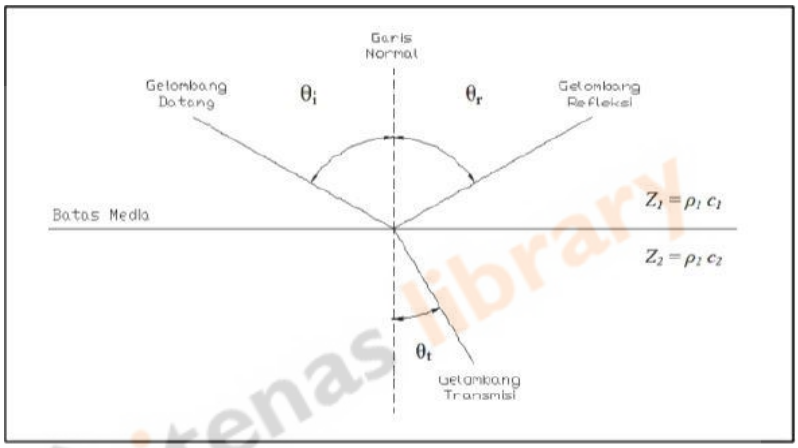
$$P = 2\pi r1HI1 = 2\pi r2HI2 = ... = 2\pi rHIr \quad (4)$$

Jika $r1$ = 1 m, maka *transmission loss (TL)* pada jarak $r2$

$$TL = 10 \log I1/ I2 = 10 \log r2 \quad (5)$$

2. Refleksi dan Transmisi

Propagasi akustik media air laut menyebabkan sebagian energi gelombang direlefleksikan dan sebagian lagi ditransmisikan.



Sumber: Urick (1983)

Gambar 2.3 Fenomena Refleksi dan Transmisi

$$\sin \theta_1 / c1 = \sin \theta 2 / c2$$

Dimana besarnya sudut datang sama dengan sudut pantul (θ_1), dan gelombang yang ditransmisikan akan merambat dalam arah yang berbeda dengan gelombang datang (θ) sesuai dengan perubahan kecepatan suara yang terjadi dari medium pertama ($c1$) ke medium kedua ($c2$).

Amplitudo dari gelombang refleksi dan transmisi ditunjukkan oleh koefisien refleksi (V) dan koefisien transmisinya (W) yang memiliki keterkaitan $W = 1 + V$. Menurut Lurton (2002), gelombang akustik yang merambat dengan sudut datang (θ_1) dari medium pertama dengan densitas ($\rho 1$) dan kecepatan suara ($c1$) menuju medium kedua dengan densitas ($\rho 2$) dan kecepatan suara ($c2$), akan memiliki nilai V dan W sesuai dengan persamaan,

$$V(\theta_1) = \frac{\rho_2 c_2 \cos\theta_1 - \rho_1 c_1 \cos\theta_2}{\rho_2 c_2 \cos\theta_1 + \rho_1 c_1 \cos\theta_2}$$

$$W(\theta_1) = \frac{2\rho_2 c_2 \cos\theta_1}{\rho_2 c_2 \cos\theta_1 + \rho_1 c_1 \cos\theta_2} \quad (6)$$

Pada kasus *normal incidence* di mana sudut datang vertikal ($\vartheta_1 = 0$), maka persamaan (7) akan menjadi,

$$V(\theta_1 = 0) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$W(\theta_1 = 0) = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (7)$$

dimana Z ($=\rho c$) adalah besaran impedansi akustik (*acoustic impedance*) medium yang bersangkutan. Apabila *acoustic impedance* medium yang kedua nilainya jauh lebih besar

atau jauh lebih kecil, bila dibandingkan dengan medium yang pertama, maka praktis tidak terjadi kehilangan energi. Koefisien refleksi akan mendekati nilai $V = 1$ ($Z_2 \gg Z_1$), atau $V = -1$ ($Z_2 \ll Z_1$) tidak terpengaruh oleh besarnya sudut datang. Dalam akustik bawah air, permukaan pada bidang batas air dengan udara dapat dianggap sebagai *reflektor* yang sempurna, karena kontras *impedance* antara kedua medium mendekati $3x10^{-4}$. Kontras *impedance* antara air dengan *hard sediment* ($\rho \approx 2000$ kg/m^3 dan $c_2 \approx 1800$ m/s) hanya sekitar 2.4 sehingga bukan merupakan *reflektor* yang sempurna. Jackson dan Richardson (2007) menyatakan bahwa refleksi dasar laut pada *vertical incidence* telah menjadi cara yang penting dalam pengklasifikasian sedimen.

3. **Persamaan Akustik (Sistem Sonar)**

Untuk menginterpretasikan informasi akustik yang berasal dari interaksi gelombang akustik MBES dengan permukaan dasar perairan, tiap artifak yang dihasilkan dari sistem sonar atau dari lingkungan harus dihilangkan dari data rekaman saat pemrosesan data. Persamaan 8 menunjukkan keseluruhan proses interaksi dan karakteristik penghamburan target bawah air (Urick,1983). Bentuk persamaan akustik sistem sonar dinyatakan dalam persamaan 8

$$SN = SL - 2TL - NL + BS + DI \quad (8)$$

di mana :

a) SN : *Signal to Noise Ratio*

Persamaan akustik untuk sonar yang mendefinisikan sinyal atau deteksi *echo*.

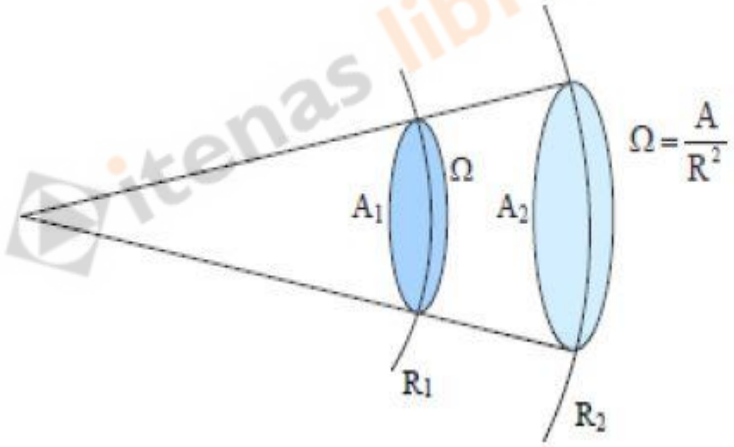
b) SL : *Source Level*

Merupakan sumber energi atau daya yang dipancarkan oleh transduser sistem sonar MBES yang memberikan tingkat intensitas sinyak akustik yang dinyatakan dalam persamaan 9

$$SL = 10.\log_{10}\frac{I_1}{I_{Ref}} \quad (9)$$

c) TL : *Transmission Loss*

Merupakan jumlah energi yang hilang disebabkan oleh geometri dari *beam* selama melewati lapisan bawah air untuk mecapai permukaan dasar perairan.



Sumber : Hydroacoustic Technology Inc. (2011)

Gambar 2.4 Ilustrasi *Transmission Loss*

Jika intensitas saat R_1= 1 m, jarak dimana *source level* diketahui, maka persamaan *transmission loss* :

$$TL = 20\log_{10} r + Ar \quad (10)$$

d) NL : *Noise Level*

Energi yang dihasilkan oleh objek lain selain MBES seperti *noise* mesin kapal, propeler kapal, gesekan lambung kapal dengan arus air. NL tergantung pada tingkat *noise spectral* lingkungan (N_o) dan pada

bandwidth transduser selama penerimaan sinyal (W) dinyatakan di persamaan 11

$$\mathrm{NL} = \mathrm{N}_0 + 10\ \log_{10} \mathrm{W} \tag{11}$$

e) BS : *Backscatter Strength*

Nilai BS dideskripsikan sebagai jumlah logaritma kekuatan *backscatter* akustik persatuan luas (Sb) yang bergantung pada sifat reflektif dasar perairan dasar perairan dan daerah hamburan balik efektif (A), area pada permukaan dasar perairan yang berkontribusi terhadap nilai *backscatter* dinyatakan di persamaan 12

$$\mathrm{BS} = \mathrm{Sb} + 10\ \log_{10} \mathrm{A} \tag{12}$$

f) DI : *Directivity Index*

Pemfokusan energi pada perairan. Untuk *array* dengan panjang L, dan panjang gelombang akustik λ, (dengan L >> λ) maka dinyatakan di persamaan 13

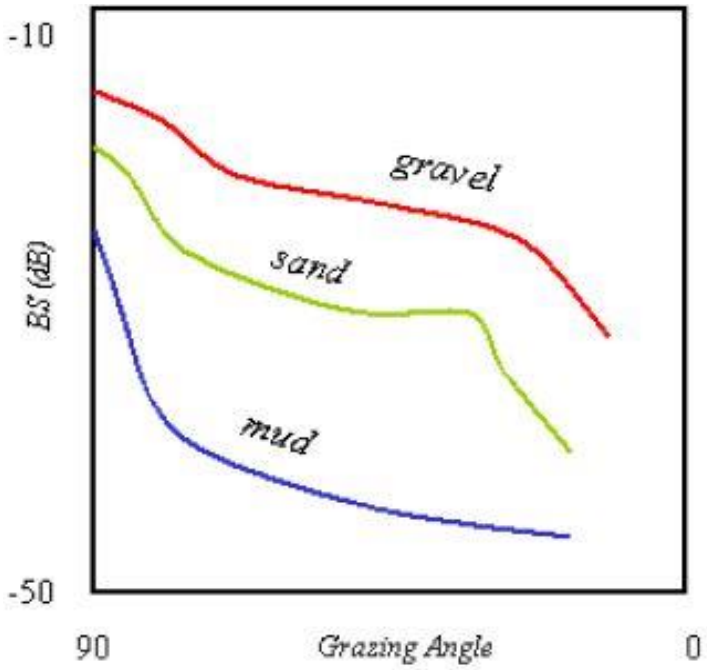
$$DI = 10\ \log_{10}(\frac{2L}{\lambda}) \tag{13}$$

2.3.2 Nilai Hambur Balik

Menurut Urick (1983) permukaan dasar laut memiliki karakterisktik memantulkan dan menghamburkan kembali gelombang akustik. Efek yang dihasilkan lebih kompleks karena sifat dasar laut yang tersusun oleh beragam unsur bebatuan yang keras hingga lempung yang halus serta lapisan-lapisan yang memiliki komposisi yang berbeda-beda.

Semakin besar nilai *grazing angle* (*angle of incindence*) instrumen MBES maka semakin besar nilai *backscatter* yang didapat dan respon sedimen yang berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 Hal ini menyatakan bahwa semakin bertambahnya ukuran butiran sedimen maka akan berpengaruh terhadap nilai intensitas *backscatter* yang dihasilkan.

itenas library

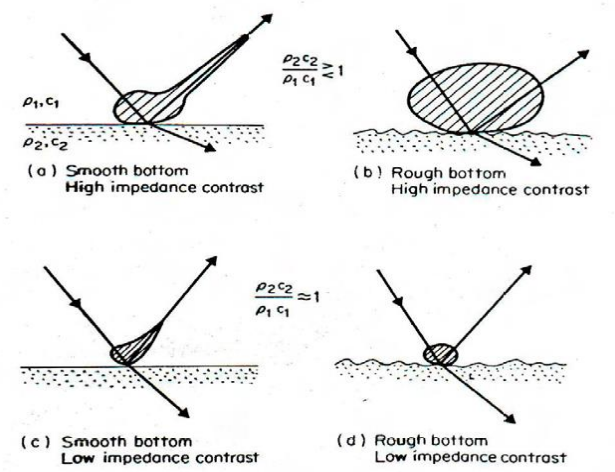


Sumber: Clarke (2003)

Gambar 2.5 Korelasi Nilai Hambur Balik dan Sudut Gelombang MBES

2.4 Pendekatan Akustik Terhadap Dasar Perairan

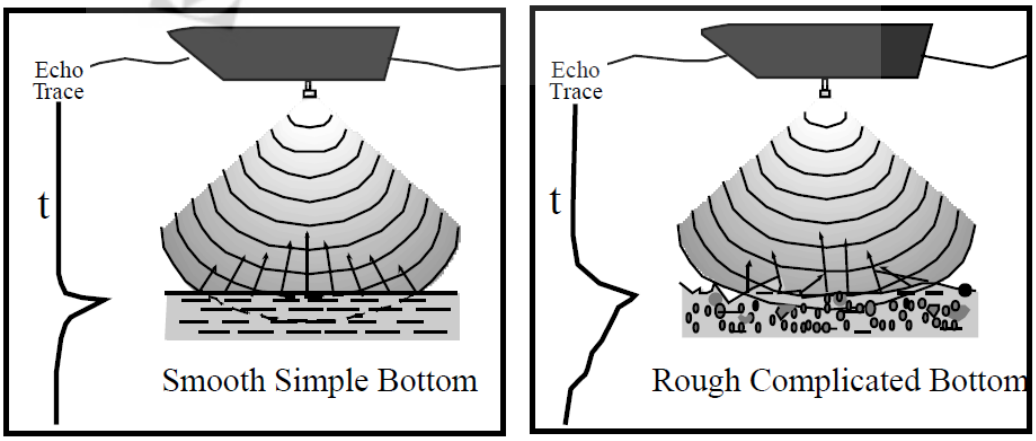
Menurut Urick (1983) dasar perairan merupakan pemantul *(reflektor)* dan penghambur *(scatterer)* yang efektif terhadap gelombang akustik yang mengenainya serta bersifat mendistribusikan kembali gelombang yang datang. Pada permukaan dasar perairan yang halus *(smooth)* di mana kontras *acoustic impedance* antara air dengan *bottom* adalah besar maka sebagian besar energi gelombang yang datang akan dipantulkan, dan hanya sebagian kecil yang dihamburkan. Pada kasus permukaan dasar perairan yang kasar *(rough)* maka seluruh energi akustik akan dihamburkan. Untuk kontras *acoustic impedance* yang kecil antara air dengan *bottom*, maka energi gelombang akustik yang mengenai dasar perairan mampu menembus ke dalam *bottom* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Sumber : Urick (1983)

Gambar 2.6 Pola-Pola Direksional Terhadap Gelombang Akustik yang Mengenai Dasar, Perairan yang Memiliki Perbedaan Kontras *Acoustic Impedance* dan Tingkat Kekasaran.

Selain itu pada saat gelombang akustik mengenai dasar perairan akan menunjukkan pola jejak gema *(echo trace)* yang berbeda yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Menurut Collins dan Lacroix (1997) dasar perairan yang halus dan berlumpur akan menunjukkan *echo trace* yang memiliki puncak sempit tanpa ekor *(narrow peak with no tail)* di mana sebagian besar energi akustiknya akan dipantulkan kembali ke *transducer* dan juga mengalami absorpsi oleh substrat lumpur. Sementara itu *echo trace* dari dasar perairan yang kasar, campuran *gravel*, akan memiliki puncak yang lebar dan berekor.

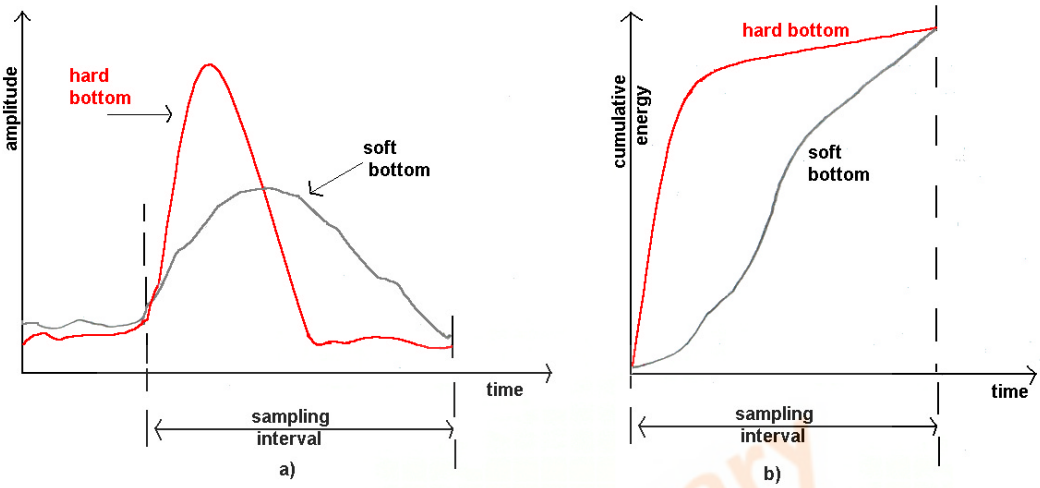


Sumber : Collins dan Lacroix (1997)

Gambar 2.7 Contoh Hipotetik Dua Dasar Perairan dan *Echo Trace* yang Ditunjukkan. Simbol t Melambangkan *Echo Trace* Dalam Waktu

Burczynski (2002) menyatakan bahwa dasar perairan yang keras *(hard bottom)* akan menghasilkan *echo* dengan amplitudo yang tajam dan tinggi, sedangkan yang

lunak *(soft bottom)* akan menghasilkan *echo* dengan amplitudo yang melebar dan rendah yang dapat dilihat pada Gambar 2.8. Bentuk kurva energi kumulatif sinyal yang berasal dari *hard bottom* dan *soft bottom* juga menunjukkan adanya perbedaan yang jelas. *Hard bottom* akan menghasilkan kurva dengan kenaikan yang tajam, sementara pada *soft bottom* kenaikan kurvanya relatif lebih rendah.



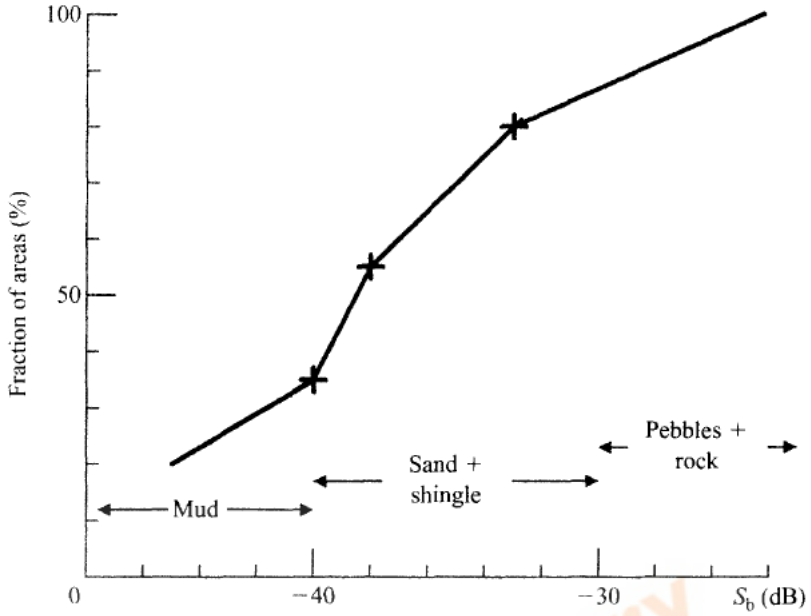
Sumber : Burczynski (2002)

Gambar 2.8 Bentuk *Echo* Dasar Perairan yang Keras (*hard*) dan Lunak (*soft*)

Menurut Watt dan Eng (1999); Penrose *et al*. (2005) selain kekasaran dan kekerasan dasar laut, perbedaan densitas antara air laut dan dasar laut, amplitudo dan bentuk sinyal akustik yang dipantulkan oleh dasar laut juga dipengaruhi oleh *reverberation* di dalam substrat. Penelitian Urick (1983); Waite (2002) menunjukkan bahwa *reverberation level* dari dasar perairan yang berbatu lebih besar daripada dasar perairan yang berlumpur. Hal ini menjadi landasan untuk mengaitkan *bottom backscattering strength (Sb)* dengan jenis material dasar laut seperti lumpur, lanau, pasir, bongkah, *rock*, meskipun pada kenyataannya ukuran partikel penyusun sedimen dasar laut hanya merupakan indikator secara tidak langsung terhadap *acoustic scattering.*

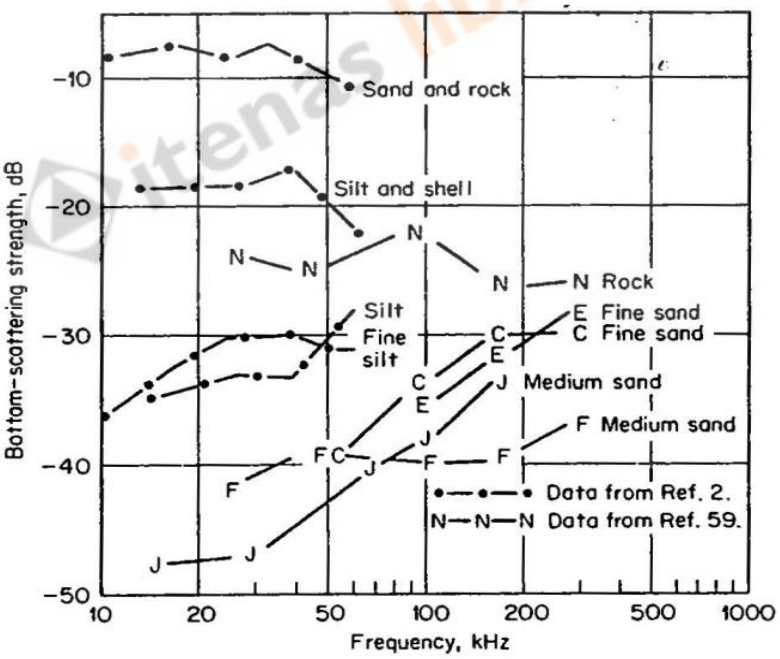
Backscattering strength dasar perairan nilainya bervariasi terhadap *grazing angle*, frekuensi akustik yang digunakan, serta material penyusun dasar perairan. Namun nilainya dapat dianggap konstan pada frekuensi hingga 10 kHz dan *grazing angle* hingga 10º. Menurut Waite (2002) berdasarkan survei di perairan dangkal UK, nilai *bottom backscattering strength* bervariasi mulai dari yang rendah (– 45

dB), yaitu untuk lumpur hingga tinggi (- 25 dB) untuk batuan *(rock)* yang dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Sumber : Waite (2002)

Gambar 2.9 Distribusi Nilai *Bottom Backscattering Strength*.

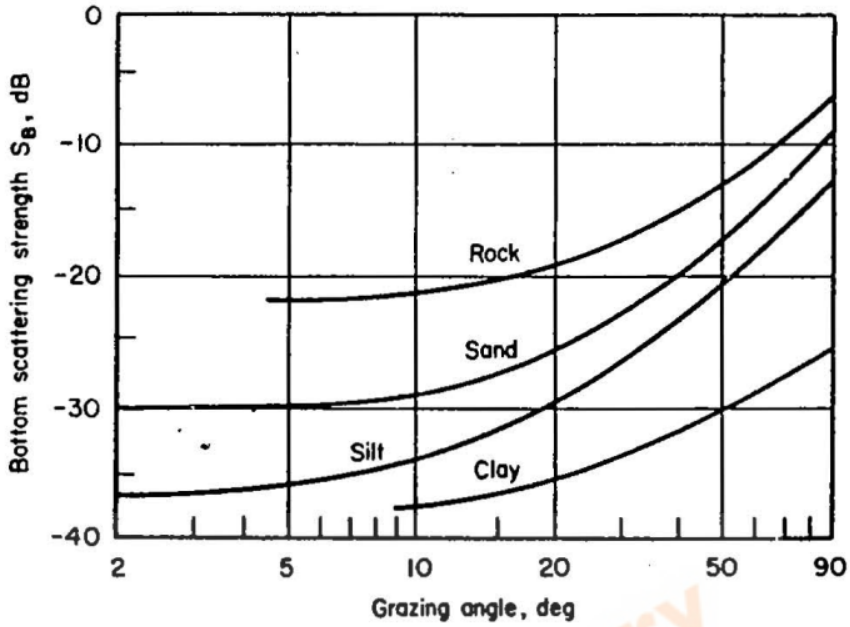


Sumber : Urick (1983)

Gambar 2.10 Variasi Frekuensi Pada *Bottom Backscattering Strenght*. Simbol Titik untuk *Grazing Angle* 30˚; Simbol Huruf untuk *Grazing Angle* 10˚.

Urick (1983) menyatakan bahwa berdasarkan kompilasi pengukuran *bottom backscattering strength* dari berbagai sumber termasuk di dalamnya frekuensi 48 kHz dan *grazing angle* yang rendah, diketahui bahwa tidak terdapat 21

ketergantungan yang nyata pada frekensi kisaran 0,53 – 100 kHz (Gambar 2.10 dan 2.11).



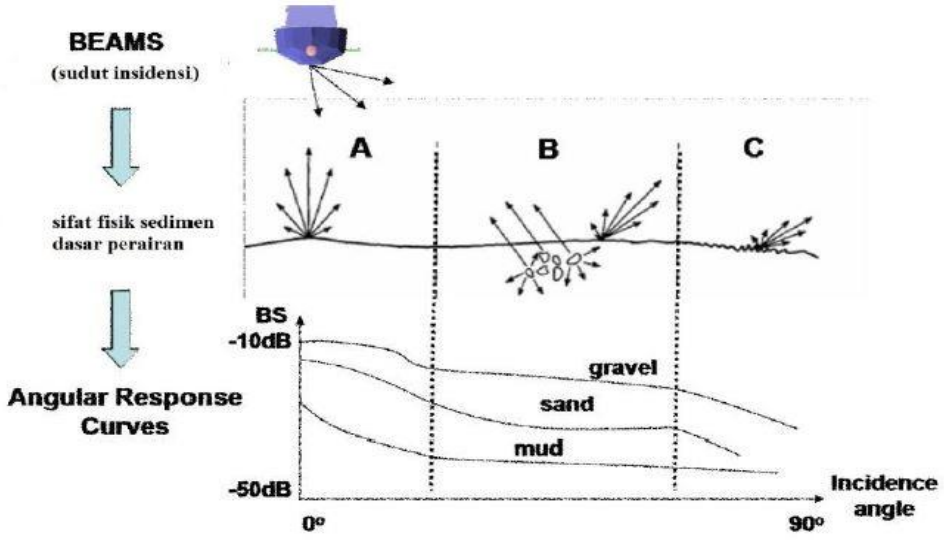
Sumber : Urick (1983)

Gambar 2.11 Kurva B*ottom Backscattering Strength* Sebagai Fungsi *Grazing Angle* untuk Berbagai Tipe Substrat.

Jackson dan Richardson (2007) menyatakan refleksi dasar laut untuk *vertical incidence* telah menjadi cara yang penting dalam klasifikasi sedimen. *Echo* akustik dari dasar laut ini mengandung informasi tentang *backscatter bottom reverberation* dan *spectral frequencies* yang memiliki keterkaitan langsung dengan karakter dasar laut, seperti *roughness*, tipe sedimen, distribusi ukuran butir *(grain size)*, porositas, dan densitas material. Watt dan Eng (1999) menyatakan klasifikasi dasar laut secara akustik merupakan pengorganisasian dasar laut menjadi tipe-tipe dasar laut berdasarkan karakteristik dari respon akustiknya. Menurut Anderson *et al*. (2008) sinyal akustik yang dipantulkan oleh dasar laut adalah kompleks dan tidak ada hubungan yang sederhana antara sinyal *backscatter* dan tipe sedimen.

2.5 Metode *Angular Response Curve*

Menurut Clarke (2003) respon sudut merupakan istilah yang biasanya digunakan untuk menentukan ketergantungan nilai hambur balik terhadap *incidence angle*. Dapat dilihat pada Gambar 2.12 *beam* dapat ditransmisikan dalam banyak *incidence angle*.



Sumber : Hydroacoustic Technology Inc. (2011)

Gambar 2.12 Hubungan *Angular Response Curve* dan Sifat Fisik Sedimen Dasar Perairan

Sifat fisik sedimen dasar perairan berkontribusi terhadap nilai *backscatter* yang diterima. Sifat-sifat ini terkait dengan antarmuka dasar perairan (impedansi dan kekasaran) dan tingkat inhomogenitas sedimen yang terkubur di dalam permukaan dasar perairan. Tiap sifat dapat memberikan kontribusi lebih banyak daripada yang lain pada kekuatan nilai *backscatter* yang bergantung pada area ensonifikasi. Pada area A, *incidence angle* vertikal/nadir, respon hambur balik dapat ditentukan oleh kekasaran skala besar, melalui teori garis singgung Kirchoff. Pada area B, *incidence angle oblique*/miring , respon hambur balik dipengaruhi oleh kekasaran skala kecil dan volume hamburan balik memiliki kontribusi lebih. Pada area C, *incidence angle* kritis, nilai hambur balik hampir sama sekali tidak dipengaruhi oleh kekasaran.

Kurva *angular respons* dibuat dengan *plotting* nilai hambur balik untuk keseluruhan sektor sudut. Bentuk, variasi, dan besarannya dapat digunakan sebagai metode untuk klasifikasi sedimen dasar perairan. Namun, salah satu kelemahan dari metode ini, yaitu memerlukan area dengan luas setidaknya setengah dari lebar sapuan MBES.