

Analisis Sinyal *Sub Bottom Profiler* untuk Penentuan Parameter Uji Penetrasi Dasar Perairan

Henry Andriadi

Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680 Email : henry_andriadi@hotmail.com

Henry M. Manik

Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680 Email : henrymanik@apps.ipb.ac.id

Irsan Soemantri Brodjonegoro

Kelompok Keahlian Teknik Lepas Pantai, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132 Email : irsansb@itb.ac.id

Abstrak

Penyelidikan dan pengujian dasar perairan memegang peranan penting pada konstruksi pondasi kelautan dikarenakan informasi yang dihasilkan akan mempengaruhi desain dan faktor keamanan. Umumnya informasi mengenai dasar perairan dan lapisan dibawahnya disediakan oleh metode konvensional seperti Standard Penetration Test (SPT), yang memerlukan waktu dan biaya lebih tinggi pada pelaksanaan di area laut yang luas. Metode remote sensing akustik bawah air dengan instrument Sub Bottom Profiler (SBP) merupakan metode yang lebih efisien untuk mendapatkan informasi dasar perairan pada area yang luas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sinyal SBP dan menggunakannya untuk menentukan parameter SPT (N-value), menggunakan instrumen parametrik SBP. Data SBP diambil pada bulan Desember 2019 di Teluk Kariangau, Balikpapan, dengan membuat 2 jalur survei lurus yang melalui 3 titik borehole eksisting. Ekstraksi koefisien refleksi dari pemrosesan sinyal SBP menunjukkan tipe dasar perairan silty clay dengan rentang nilai koefisien refleksi berkisar 0,316 – 0,395, dan carbonaceous clay dengan nilai koefisien refleksi 0,426. Metode inversi sedimen menghasilkan nilai property fisik sedimen pada lapisan di bawah dasar perairan. Konstruksi parameter N-value menunjukkan posisi lapisan keras pada kedalaman 15 – 40 m dari dasar perairan, dengan rentang nilai N-value berkisar 19 – 63 blowcount.

Kata-kata kunci: Inversi sedimen, N-value, pemrosesan sinyal, standard penetration test, sub bottom profiler.

Abstract

Soil investigation test at the seabed have important role for the foundation of the marine construction, since the provided result will be used as consideration to design aspect and safety factor. Commonly the information regarding seabed and the sub bottom layers provided by conventional method, such as Standard Penetration Test (SPT), which required more time and cost to execute in the large marine area. Underwater acoustic remote sensing method, using sub bottom profiler (SBP) instrument offer more efficient method to provide seabed information at large area investigation. The purpose of this research is to analyze SBP signal then use it to determine the SPT parameter (N-value), using parametric SBP equipment. SBP data obtained on December 2019 at Teluk Kariangau, Balikpapan, using 2 straight line survey track that intercepted 3 existing borehole location. Coefficient reflection extracted from SBP signal processing showed seabed classification consist of silty clay with coefficient reflection value between 0,316 – 0,395, and 0,426 for carbonaceous clay. Physical properties of sub bottom layers obtained from sediment inversion method. N-value calculation showed hard layer position at depth 15 – 40 m from seabed, with N-value range between 19 – 63 blowcount.

Keywords: N-value, sediment inversion, signal processing, standard penetration test, sub bottom profiler.

1. Pendahuluan

Dalam rangka menunjang kegiatan eksplorasi sumber daya kelautan, dibutuhkan konstruksi atau infrastruktur di laut untuk memenuhi kebutuhan operasional kegiatan tersebut. Untuk merancang dan membangun sebuah infrastruktur di laut, dibutuhkan informasi mengenai perlapisan tanah dan properti tanah yang

akurat untuk mengevaluasi secara tepat kondisi natural dari dasar perairan (Bai dan Bai, 2018). *Standard Penetration Test* (SPT) merupakan salah satu pengujian tanah konvensional yang sering dilakukan untuk mengestimasi parameter tanah untuk kebutuhan analisis dan desain geoteknik, yang pelaksanaannya diatur dalam ASTM D1586. Beragam parameter tanah dapat diperoleh dari parameter SPT atau N-value

(Tarawneh, 2016). Pengujian secara konvensional mendapatkan informasi tentang dasar perairan maupun lapisan di bawahnya dengan mengambil sampel fisik sedimen. Prosedur ini membutuhkan biaya dan waktu yang tinggi. Metode *underwater acoustic remote sensing* memberikan alternatif untuk mendapatkan informasi dasar perairan pada luas area yang besar dengan biaya dan waktu yang lebih sedikit (Saleh dan Rabah, 2016).

SBP merupakan suatu instrumen *underwater acoustic* dengan menggunakan metode perambatan gelombang suara frekuensi rendah, umumnya dibawah 20 kHz, sehingga dapat menembus dasar perairan sampai kedalaman tertentu tergantung pada jenis sedimen atau tanah yang dilalui. Sinyal gelombang suara atau sinyal akustik hasil perambatan di sedimen dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan parameter akustik yang dapat mewakili jenis sedimen yang dilalui sinyal akustik tersebut. Perbedaan prinsip antara metode akustik dan metode konvensional tentunya menyebabkan harus dilakukannya konversi dari parameter sinyal akustik menjadi parameter pengujian. Persamaan hasil konversi antara parameter akustik pada sedimen (geoakustik) menjadi parameter pengujian dapat diuji nilainya dengan hasil uji SPT aktual. Sehingga selanjutnya dapat ditentukan nilai pendekatan uji penetrasi dasar perairan berdasarkan analisis sinyal SBP yang dilakukan.

Beberapa hasil penelitian dalam waktu lima tahun terakhir yang telah dilakukan berkaitan dengan penggunaan teknologi SBP pada dasar perairan antara lain : Analisis Dan Klasifikasi Sedimen Permukaan Dasar Laut Menggunakan *Sub-Bottom Profiler* (Rohman et.al, 2015), Integrasi Data *Sub Bottom Profiler* Dan *Gravity Core* Untuk Menentukan Dinamika Sedimentasi Resen Di Perairan Utara Wokam (Amri, 2016), *Seabed Sub-Bottom Sediment Classification Using Parametric Sub-Bottom Profiler* (Saleh dan Rabah, 2016), *Application Of Sub-Bottom Profiler To Study Riverbed Structure And Sediment Density* (Rui et.al, 2017), Pemrosesan Sinyal Data *Sub-bottom Profiler* Substrat Dasar Perairan Selat Lembeh (Solikin et.al, 2017), *Soil Base Profiling by Echo Signal Processing* (Koparde et.al, 2018).

Penelitian tersebut di atas menitik beratkan pada ekstraksi *physical properties* dan klasifikasi sedimen berdasarkan analisis sinyal SBP. Namun tentunya parameter *physical properties* dari sedimen belum dapat digunakan secara langsung untuk kepentingan konstruksi bangunan lepas pantai. Diperlukan konversi atau penggunaan korelasi empiris dari parameter *physical properties* terhadap parameter *engineering* (parameter SPT Number atau N-value) untuk merepresentasikan lapisan tanah secara geoteknik.

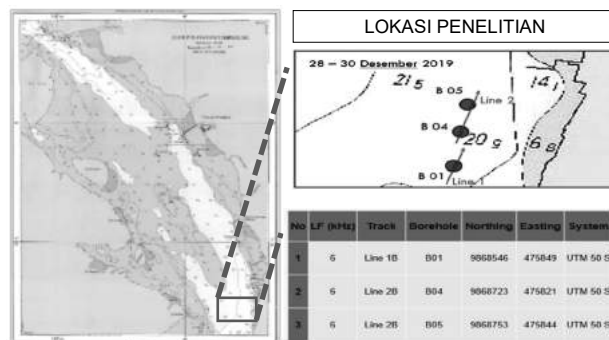
Pada dasarnya korelasi ini merupakan salah satu usaha penyederhanaan dari kompleksnya perilaku geoteknik dari tanah (Sarkar et al, 2015), yang perlu dilakukan dikarenakan kompleksnya perilaku geoteknik dan tingginya variabilitas secara spasial dari tanah, seperti perilaku tanah yang tidak selalu menunjukkan homogenitas tiap lapisan, sehingga properti dari tanah

dapat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dengan faktor ketidakpastian yang tinggi dikarenakan kompleksnya formasi atau lapisan tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter uji penetrasi dasar perairan (N-value) dari hasil analisis sinyal SBP.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer berupa data sinyal SBP pada lokasi penelitian, dan data sekunder berupa laporan penyelidikan tanah pada 3 titik *borehole* eksisting. Lokasi penelitian merupakan area pembangunan dermaga yang sedang melakukan pekerjaan pemasangan tiang pancang. Instrumen SBP jenis parametrik SBP, dengan tipe Innomar SES2000 *Compact* dipasang pada sebuah kapal survei dengan dimensi 15.4m x 3.8m x 1.5m (*length x breadth x depth*). Akuisisi data SBP dilakukan pada tanggal 28 – 30 Desember 2019, di perairan Teluk Kariangau, Balikpapan, dengan membuat 2 jalur survei lurus (jalur 1B dan 2B) yang melintasi 3 buah titik *borehole* eksisting (B01, B04, B05). Jalur B merupakan jalur akuisisi sinyal 6 kHz.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian
(Pusat Hidro Oseanografi TNI AL, 2016)

2.1 Pemrosesan sinyal

Pemrosesan sinyal akustik bawah air merupakan salah satu topik penelitian penting dalam dunia akustik bawah air. Pengurangan *noise* (derau) dari sinyal akustik bawah air merupakan faktor terpenting pada pemrosesan sinyal akustik bawah air. Kompleksitas dari lingkungan laut dan kekhususan saluran sinyal akustik bawah air merupakan tantangan utama dalam pemrosesan sinyal akustik bawah air (Li dan Wang, 2019). Pemrosesan sinyal dilakukan menggunakan *software* MATLAB setelah sebelumnya dilakukan konversi dari file SBP (format *.ses) ke format SEG-Y (*.seg) oleh *software* SESWIN.

2.1.1 Automatic gain control (AGC)

Automatic gain control (AGC) merupakan salah satu metode penguatan sinyal pada pemrosesan data seismic (SBP). AGC diaplikasikan pada data SBP untuk memperkuat sinyal yang lemah pada tiap trace menggunakan *sliding time window tertentu*.

Penggunaan AGC harus dilakukan secara hati-hati dikarenakan dapat menghancurkan karakter sinyal utama. Pada umumnya terdapat 3 tipe AGC pada data seismic, yaitu *mean*, *RMS*, dan *median AGC*.

Proses analisis menggunakan proses *automatic gain control* (AGC) tipe *mean AGC*, yaitu fungsi pemulihan sinyal yang berkurang intensitasnya terhadap waktu dengan cara menyeimbangkan amplitudo pada tiap *trace* (Dondurur, 2018).

Mean AGC termasuk dalam kategori tipe *instantaneous AGC*.

$$g(t) = \frac{\text{desired rms}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|} \quad (1)$$

Dimana $g(t)$ adalah fungsi *gain mean AGC*, x_i adalah amplitudo *trace* dan N adalah jumlah sampel pada *time gate*.

2.1.2 Fast fourier transform (FFT) & penapisan bandpass

Proses *fast fourier transform* (FFT), yaitu metode transformasi sinyal untuk menemukan komponen frekuensi sinyal yang tercampur dengan *noise* pada sinyal domain waktu. Operasi *bandpass filtering* merupakan proses *filtering* yang umum dilakukan pada pengolahan sinyal seismic, dikarenakan pada sinyal seismic terdapat *noise* sinyal frekuensi rendah akibat dari *ground roll*, dan *noise* sinyal frekuensi tinggi akibat dari lingkungan (Solikin et.al, 2017). Proses penapisan sinyal (*bandpass filtering*) untuk memurnikan sinyal dari *incoherent* dan *coherent noise* yang ikut terekam (Rohman et. al, 2015). Penelitian ini menggunakan filter Ormsby, dengan ketentuan frekuensi sudut : $f_1 < f_2 < f_3 < f_4$. Untuk sinyal SBP 6 kHz menggunakan frekuensi sudut 500-3000-9000-10500 Hz. Penentuan frekuensi sudut berdasarkan dari *bandwith* parametrik SBP Innomar SES2000 Compact.

Adapun formula yang digunakan untuk melakukan proses FFT yaitu :

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (3)$$

Dengan $f(t)$ adalah fungsi sinyal waktu, $F(\omega)$ merupakan transformasi Fourier dari sinyal waktu, ω adalah *angular frequency*, $e^{i\omega t}$ adalah *Euler sinus cosinus* ($\cos \omega t + i \sin \omega t$)

2.1.3 Koefisien refleksi

Sinyal SBP yang terekam merupakan sebuah fungsi dari input sinyal (*wavelet*) yang merambat pada lapisan geologi dari dasar perairan. Untuk mendapatkan nilai fungsi reflektifitas bumi (koefisien refleksi) yang mewakili lapisan geologi pada dasar perairan, dilakukan proses dekonvolusi sinyal dengan cara mengekstrak input *wavelet* pada sinyal SBP.

Persamaan konvolusi sinyal pada dasar perairan yaitu :

$$s_n(t) = w(t) * e(t) + \gamma(t) \quad (4)$$

Dengan $s_n(t)$ adalah *trace* seismic / akustik yang direkam, $w(t)$ yaitu *wavelet* input dari sinyal akustik sumber, $e(t)$ merupakan koefisien refleksi dari lapisan geologi dasar perairan, $\gamma(t)$ adalah komponen *random noise*.

Salah satu metode untuk mengekstrak koefisien refleksi dari seismic *trace* adalah dengan melakukan konvolusi seismic *trace* dengan sebuah *filter* yang dikenal dengan *Wiener Filter*. Proses ini disebut juga dengan dekonvolusi *spike*. Pada proses dekonvolusi *spike*, diasumsikan bahwa fungsi *auto-correlation* dari *trace* seismic adalah sama dengan *auto-correlation* dari input *wavelet* (Onajite, 2015)

Filter Wiener diperoleh melalui persamaan matriks :

$$a * b = c \quad (5)$$

Dengan a merupakan hasil *autocorrelation* *wavelet* input, b adalah hasil *crosscorrelation* antara *wavelet* input dengan output yang dikehendaki, c adalah *Filter Wiener*.

Perumusan koefisien refleksi didapatkan dari persamaan Zoeppritz (Saleh dan Rabah, 2016) yang mendefinisikan koefisien refleksi sebagai fungsi impedansi antar lapisan sedimen.

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

R merupakan koefisien refleksi, Z_2 adalah impedansi akustik lapisan kedua, dan Z_1 merupakan impedansi akustik lapisan pertama. Impedansi akustik merupakan fungsi dari densitas dikali dengan kecepatan suara pada medium (Solikin et.al, 2017).

$$Z = \rho c \quad (7)$$

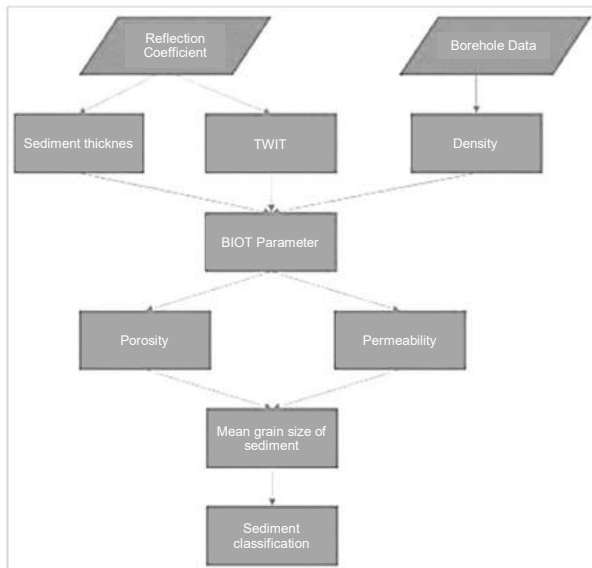
Z merupakan impedansi akustik, ρ adalah densitas suatu lapisan medium, c adalah kecepatan suara pada suatu lapisan medium

2.2 Inversi sedimen dan konstruksi parameter N-value

2.2.1 Inversi sedimen

Sinyal SBP yang merambat pada dasar perairan akan berkurang intensitas energinya diakibatkan oleh *attenuasi* atau melemahnya sinyal akibat penyerapan gelombang suara pada medium perambatan nya. Saleh dan Rabah (2016) membuat model koefisien refleksi berdasarkan model energi sinyal untuk menghitung koefisien refleksi pada *sub bottom layers*. Penelitian ini akan menggunakan metode inversi sedimen untuk mengetahui klasifikasi *sub bottom layers*, dengan menghitung parameter *physical properties* sedimen menggunakan parameter model teori poroelastis Biot.

Metode inversi sedimen merupakan metode untuk mengestimasi *physical properties* pada sedimen yang menerapkan teori perambatan gelombang suara Biot (Biot theory). Teori Biot dapat memperhitungkan medium berpori dan elastis (Manik, 2016). Sedimen merupakan media dengan karakteristik porous dan elastis, sehingga teori Biot dapat digunakan untuk sedimen. Koefisien refleksi yang diperoleh dari SBP akan berkorelasi tinggi terhadap porositas sedimen dan



Gambar 2. Prosedur inversi sedimen

bulk density, sehingga dapat mengestimasi bulk properties.

Persamaan gelombang suara dari teori Biot dapat dilihat pada persamaan (8) dan (9).

$$\nabla^2(\mathbf{H}\mathbf{e} - \mathbf{C}\zeta) = \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\rho_f \mathbf{e} - \rho_f \zeta) \quad (8)$$

$$\nabla^2(\mathbf{C}\mathbf{e} - \mathbf{M}\zeta) = \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\rho_f \mathbf{e} - m\zeta) - \frac{F\eta}{K} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (9)$$

Dengan ρ_f adalah fluid density, η adalah pore fluid viscosity, K adalah permeability, \mathbf{e} adalah volumetric strain of frame, ζ adalah incremental volume of fluid that enters or leaves the frame, ρ adalah sediment bulk density, m adalah phase of fluid flow (ρ_f / φ), t adalah waktu perambatan gelombang akustik pada medium, F adalah complex correction factor of fluid viscosity.

Penelitian ini hanya menggunakan parameter penyusun dari model poroelastis Biot untuk mendapatkan nilai mean grain size (Mz) sedimen, dan tidak menganalisis model perambatan suara Biot.

Nilai porositas, n dapat ditentukan dari hubungan bulk density, fluid density, dan particle density. Normal particle density dapat diasumsikan bernilai 2.65 g/cm³ untuk jenis partikel silica, yang merupakan partikel dominan pada sedimen,

$$n = \frac{\rho_{\text{particle}} - \rho_{\text{bulk}}}{\rho_{\text{particle}} - \rho_{\text{fluid}}} \quad (10)$$

Permeabilitas, K , bergantung kepada bentuk dan ukuran partikel, porositas atau void ratio, dan tortuosity. Persamaan Kozeny-Carman mengenai perumusan permeabilitas adalah sebagai berikut :

$$K = \frac{e^3}{k_0 \tau^2 S_0^2 (1+e)} \quad (11)$$

Dengan e adalah void ratio, k_0 adalah pore shape factor, S_0 adalah specific surface area dari partikel sedimen.

Setelah mendapatkan parameter permeabilitas dan porositas, kemudian ditentukan parameter sediment

descriptor berupa mean grain size, dengan persamaan regresi dari Bachman, sebagai berikut :

$$M_z = \frac{0.0943 - \sqrt{0.0943^2 - 4(0.0034)(n - 0.208)}}{2(0.0034)} \quad (12)$$

Dengan M_z adalah mean grain size, dalam unit phi. Dengan diperolehnya mean grain size (M_z), maka dapat digunakan korelasi dari Hamilton dan Bachman untuk menentukan tipe sedimen (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi sedimen Hamilton

Sediment type	Mz (f)	r (kg/m ³)	c (m/s)
Clay	9	1200	1470
Silty clay	8	1300	1485
Clayey silt	7	1500	1515
Sand-silt-clay	6	1600	1560
Sand-silt	5	1700	1605
Silty sand	4	1800	1650
Very fine sand	3	1900	1680
Fine sand	2	1950	1725
Coarse sand	1	2000	1800

2.2.2 Konstruksi parameter N-value

Penentuan parameter SPT (N-value) menggunakan pengembangan dari formula Meyerhoff (1957) yang sudah dikembangkan oleh Cubrinovsky (1999) untuk korelasi relative density.

$$N = \frac{9D_r^2}{(e^{\max} - e^{\min})^{1.7}} \left[\frac{\sigma_v'}{98} \right]^{1/2} \quad (13)$$

N merupakan N-value SPT, D_r adalah rasio dari relative density, $e^{\max} - e^{\min}$ adalah void ratio range, σ_v' adalah effective overburden pressure dari ketebalan lapisan sedimen.

Nilai void ratio range dapat dihitung menggunakan formula empiris sebagai berikut :

$$e^{\max} - e^{\min} = 0.23 + \frac{0.06}{D_{50}} \quad (14)$$

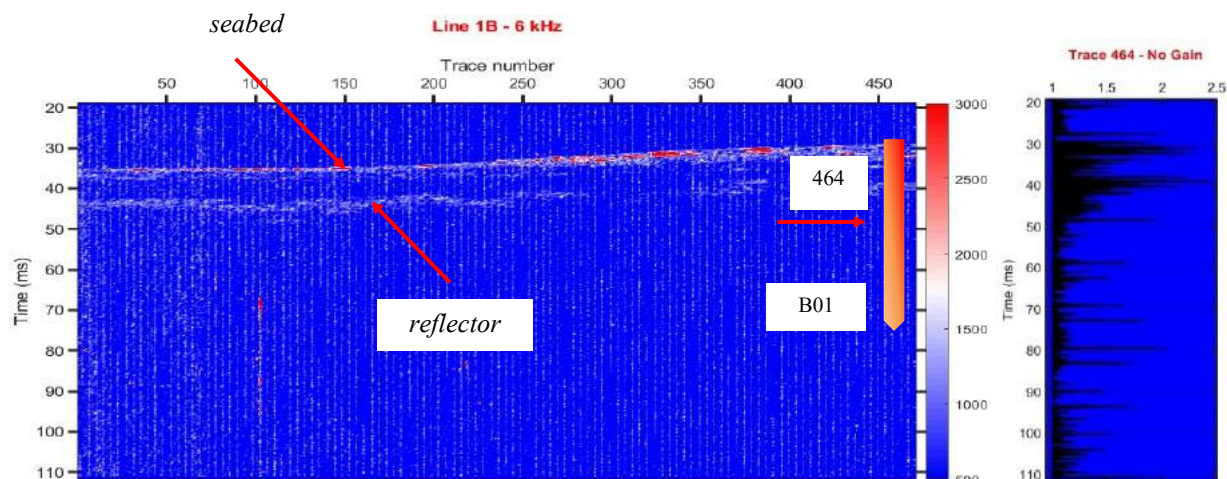
Dengan D_{50} adalah mean grain size yang dihasilkan dari uji analisa ayakan (sieve analysis) yang dapat disubstitusi dengan sediment descriptor Mz.

Untuk validasi perhitungan N-value, tidak dilakukan pengambilan sampel ulang, namun dilakukan ekstraksi nilai impedansi pada lapisan dasar perairan dengan menggunakan persamaan (7) sebagai pembandingan dengan nilai N-value pada titik borehole eksisting.

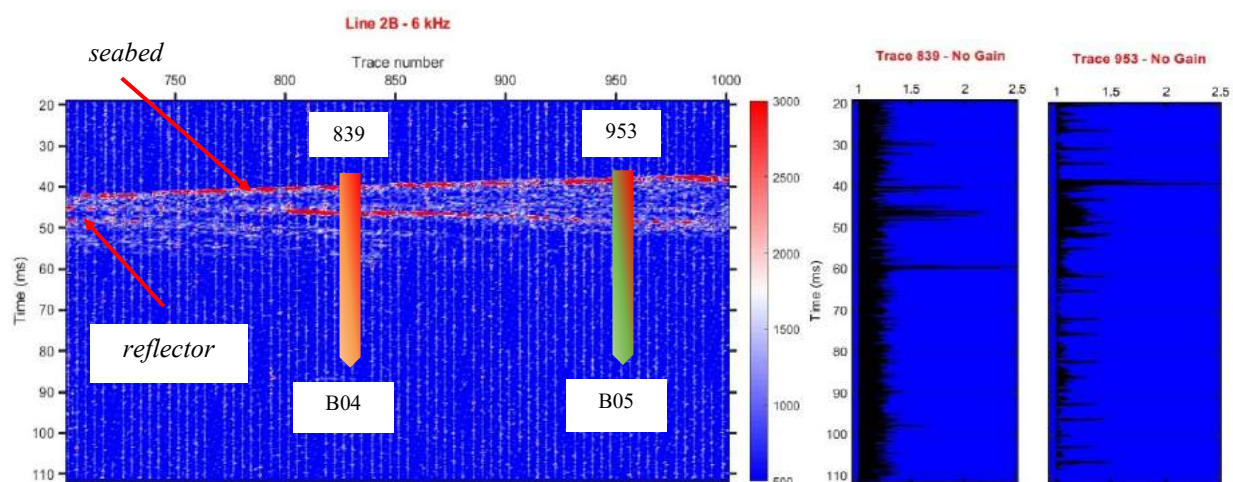
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemrosesan sinyal

Hasil akuisisi data SBP merupakan penampang melintang jalur 1B dan 2B. Hasil ekstraksi koordinat menunjukkan posisi trace 464 merupakan trace sinyal terdekat dengan lokasi borehole B01, trace 839 adalah trace sinyal terdekat pada lokasi borehole B04, dan trace 953 merupakan trace sinyal terdekat pada lokasi borehole B05. Posisi seabed merupakan posisi dasar perairan yang merupakan bidang kontak antara kolom



Gambar 3. Penampang melintang jalur 1B



Gambar 4. Penampang melintang jalur 2B

perairan dan lapisan sedimen pertama dasar laut, sedangkan posisi *reflector* dapat menunjukkan perubahan *lithology*, patahan (*fault*) pada lapisan geologi, atau pertemuan dari dua lapisan yang berbeda.

Intensitas sinyal pada posisi *seabed* di *trace* 464 memiliki nilai 2345 millivolt (mV), pada *trace* 853 memiliki nilai 2500 mV, dan *trace* 953 dengan nilai 1985 mV.

Posisi *seabed* pada *trace* 464 berada pada kedalaman 23,42 m, sedangkan *trace* 839 berada pada kedalaman 29,52 m, dan *trace* 953 pada kedalaman 30, 69 m. Posisi kedalaman diperoleh dari konversi *two way time interval* (TWTT) dengan kecepatan suara sebesar 1525 m/s.

Proses *mean AGC* dilakukan untuk memperkuat intensitas sinyal yang lemah dengan cara mendistribusi amplitudo sinyal yang kuat terdekat pada satu periode pemancaran / *ping* yang sama. Aplikasi *mean AGC* pada *trace* 462 – 466 dapat dilihat pada **Gambar 5**. Sinyal 462 – 466 merupakan sinyal yang berada pada periode pemancaran / *ping* yang sama, sehingga *trace* tersebut memiliki koordinat yang sama.

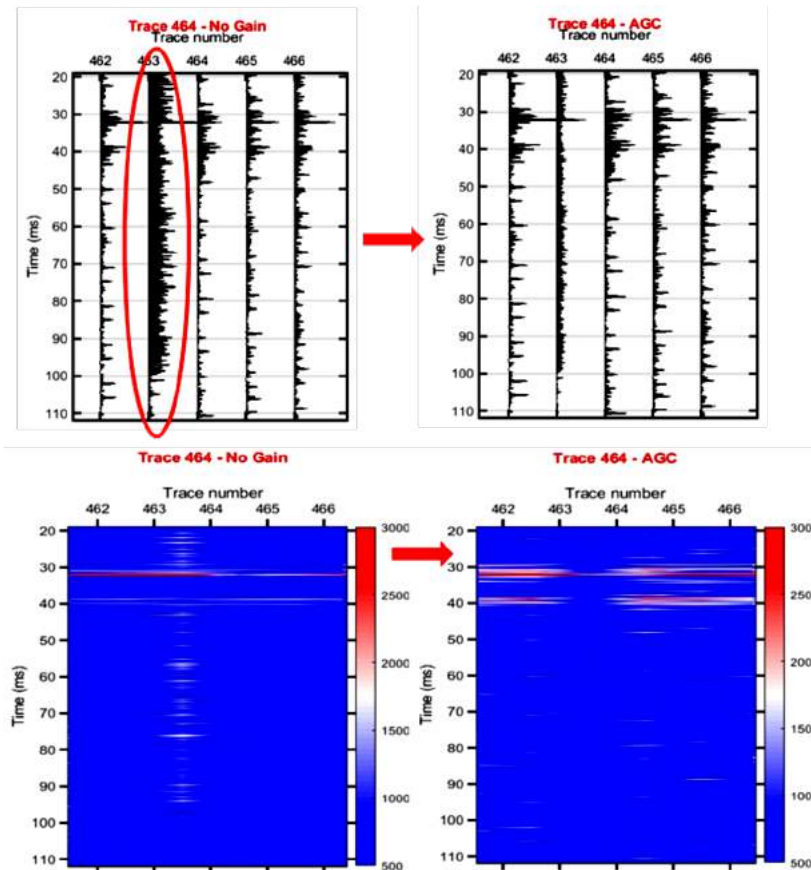
Tabel 2. Posisi *trace* 464 pada satu periode pemancaran

No	Trace	N	E
1	462	9868529.67	475846.92
2	463	9868529.67	475846.92
3	464	9868529.67	475846.92
4	465	9868529.67	475846.92
5	466	9868529.67	475846.92

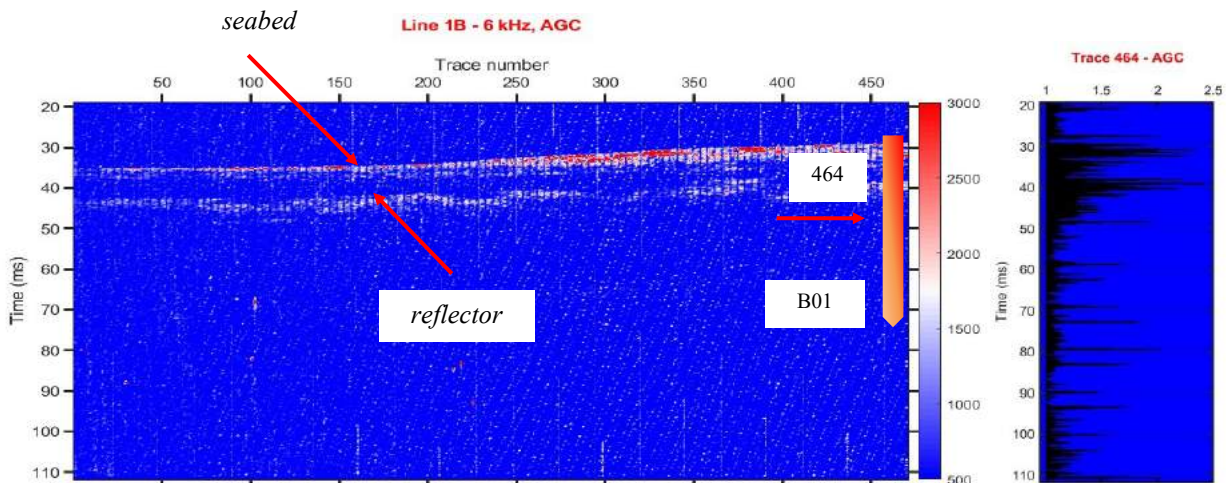
Dari penampang melintang jalur 1B dan 2B terdapat peningkatan resolusi vertikal setelah proses *mean AGC* diaplikasikan.

Setelah proses *AGC* dilakukan, sinyal ditransformasi ke domain frekuensi dengan proses *fast fourier transform* (FFT) agar dapat terlihat komponen sinyal utama.

Setelah proses *bandpass filtering* dilakukan, data sinyal dikembalikan ke domain waktu dengan proses *inverse FFT*.



Gambar 5. Proses aplikasi *mean* AGC pada *trace* 464; (atas) dalam bentuk *wiggle*, (bawah) *color scale*

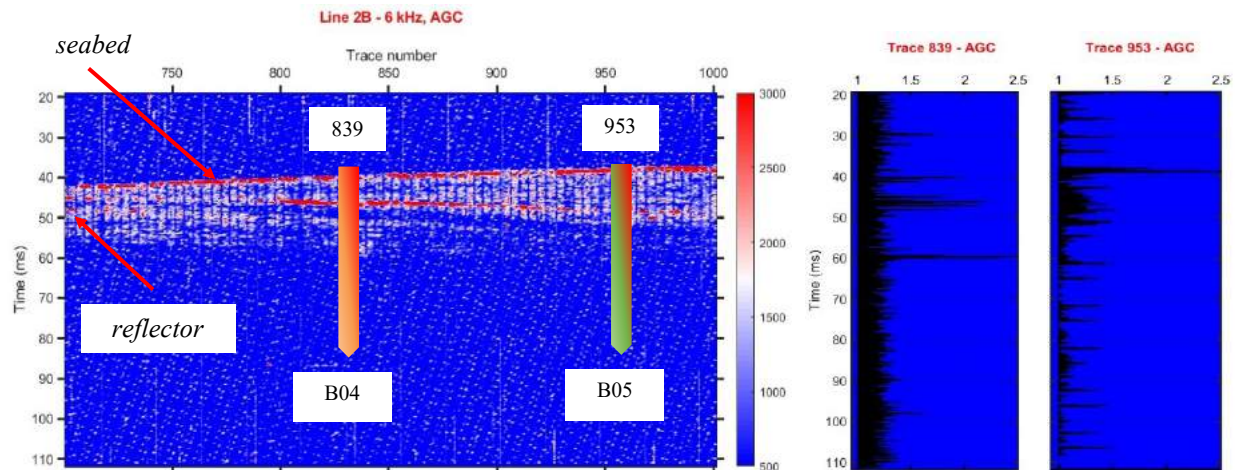


Gambar 6. Penampang melintang jalur 1B setelah proses AGC

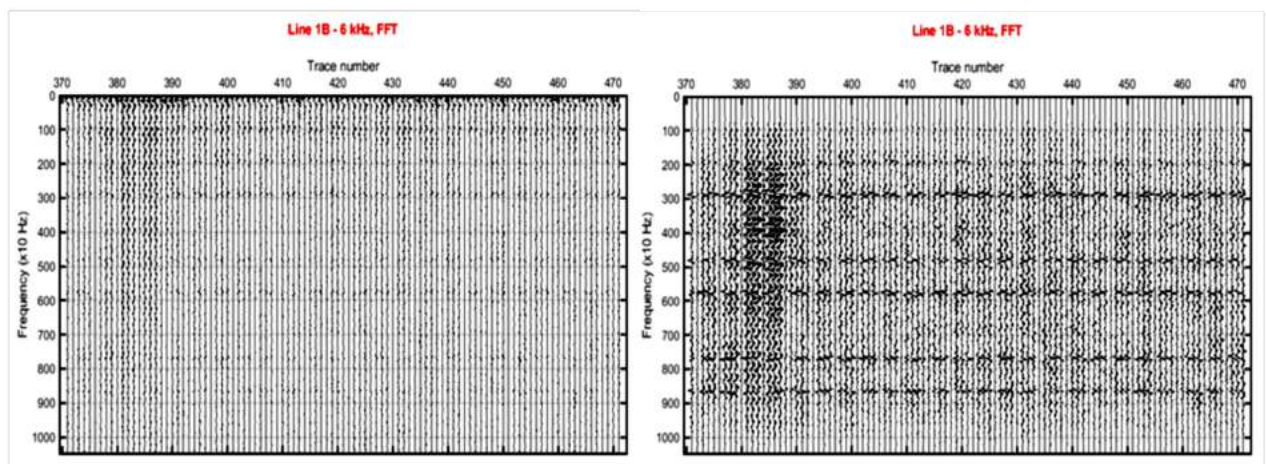
Secara umum, proses *mean* AGC tidak meningkatkan nilai intensitas sinyal secara signifikan namun meningkatkan resolusi dari penampang melintang dikarenakan *trace* sinyal yang lemah mendapatkan distribusi rata-rata dari *trace* sinyal yang kuat. Proses *bandpass filtering* secara umum mengurangi nilai intensitas sinyal dikarenakan adanya frekuensi sinyal utama yang ikut tersaring diakibatkan tercampur dengan *noise* (Rohman et.al, 2015).

Automatic gain control (AGC) dengan nilai RMS dilakukan lagi untuk penguatan sinyal sebagai kompensasi pelemahan amplitudo *trace* akibat kehilangan energi setelah dekonvolusi (Rohman et.al, 2015).

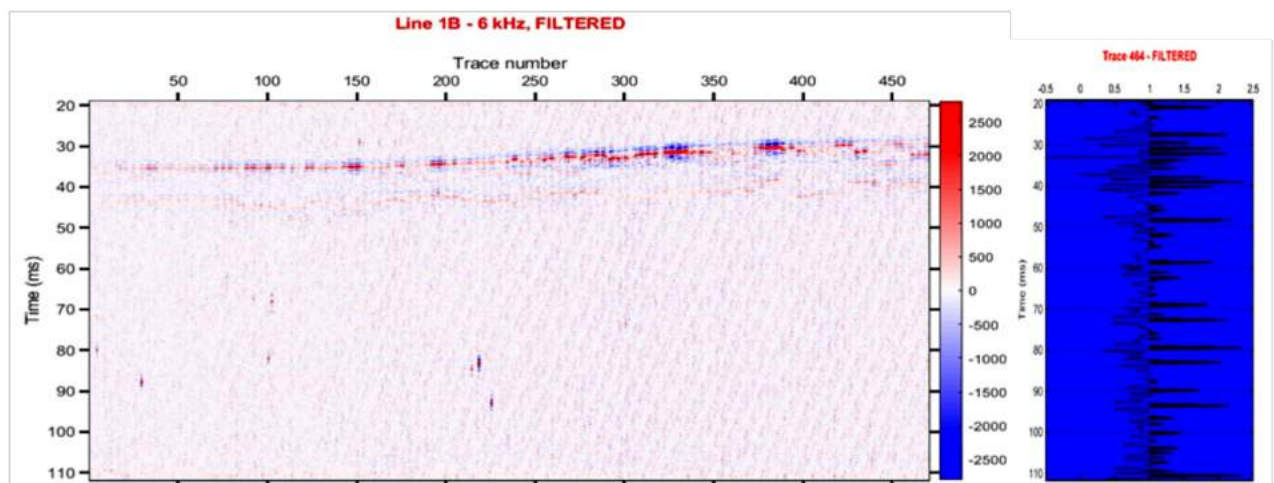
Nilai koefisien refleksi dari penampang melintang hasil proses dekonvolusi untuk *trace* 464, 839 dan 953 menunjukkan posisi peralihan impedansi atau batas dari peralihan jenis sedimen di dasar perairan. Hasil



Gambar 7. Penampang melintang jalur 2B setelah proses AGC



Gambar 8. Proses FFT (kiri) dan bandpass filtering (kanan) pada jalur 1B

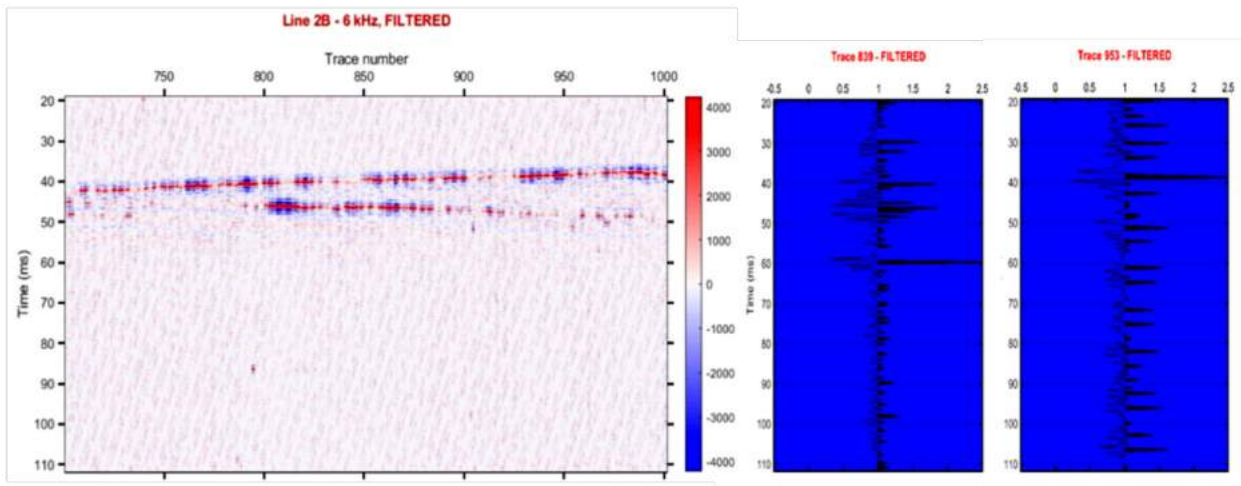


Gambar 9. Penampang melintang jalur 1B setelah proses filtering

perhitungan analitis menunjukkan kesesuaian tipe sedimen pada lapis pertama dasar perairan dengan hasil pemrosesan sinyal SBP

Nilai *physical properties* tiap *trace* hasil dari metode inversi sedimen dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil

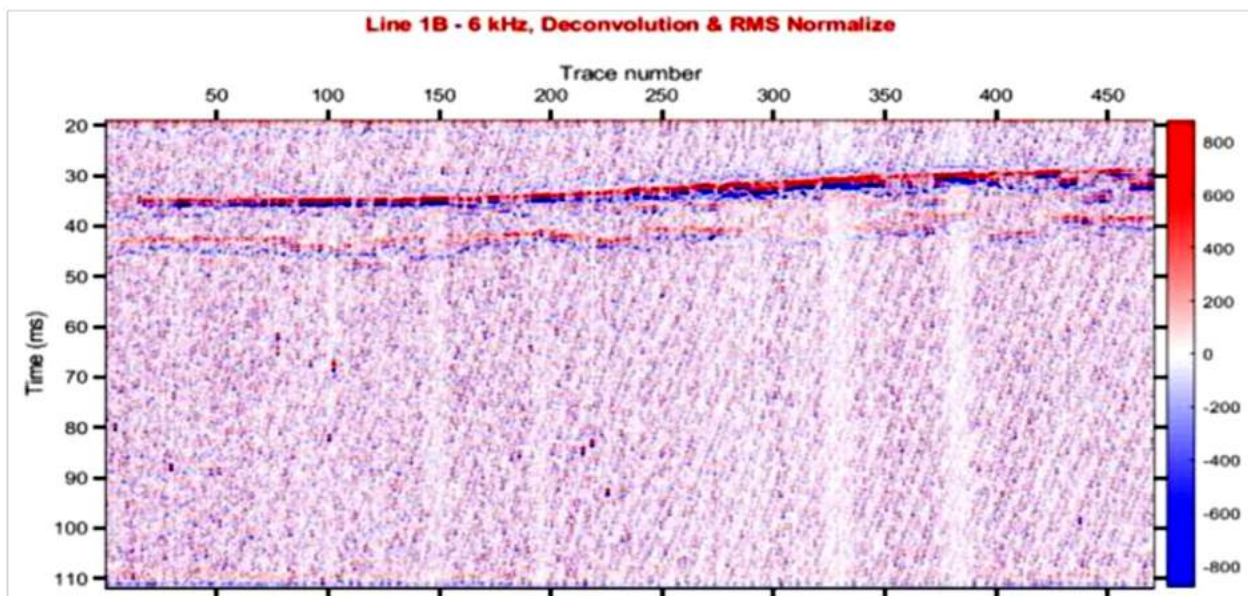
tersebut didapatkan bahwa nilai *mean grain size* (M_z) berkisar antara 4 – 8 untuk klasifikasi *silty clay* dari *very soft* sampai tingkat *very stiff*, sementara untuk klasifikasi *carbonaceous clay* dan *claystone* berkisar antara 1 – 2. Nilai M_z merupakan parameter *sediment descriptor* (Saleh dan Rabah, 2016) yang dapat



Gambar 10. Penampang melintang jalur 2B setelah proses *filtering*

Tabel 3. Perbandingan nilai intensitas sinyal setelah pemrosesan sinyal

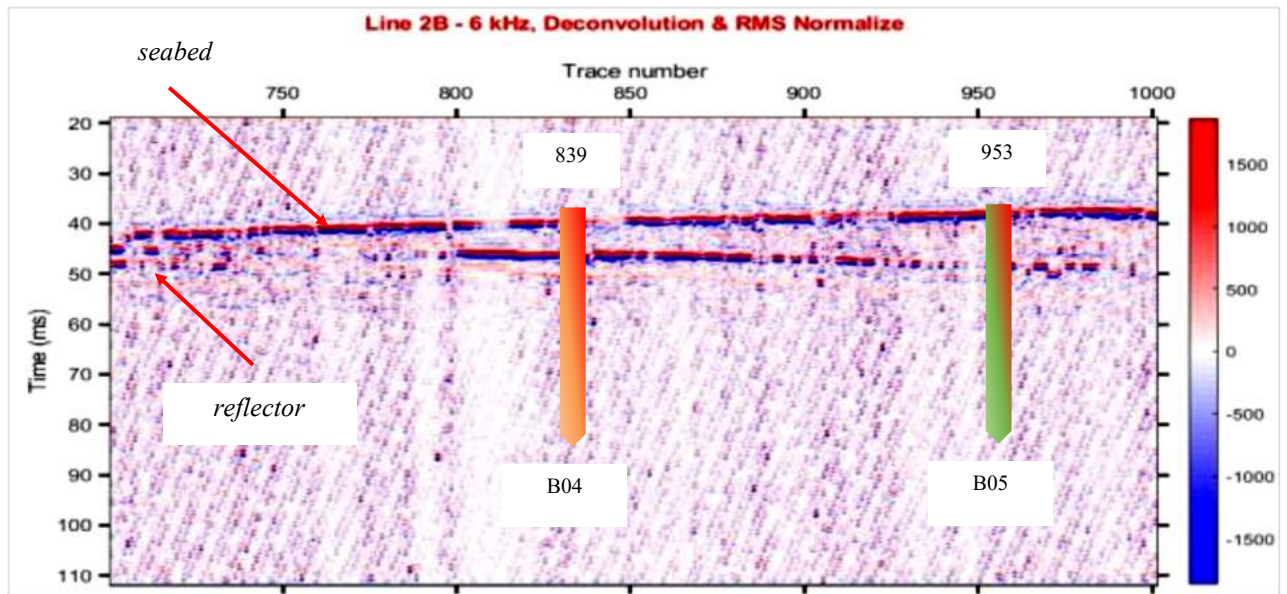
No	Trace	Borehole	Position	TWTT (ms)	depth (m)	signal power / intensity		
						before AGC (mV)	after AGC (mV)	bandpass filtering (mV)
1	464	B01	seabed	30,72	23,42	2345	2345	1996
			sub bottom	38,90	29,66	2476	2476	2367
2	839	B04	seabed	38,71	29,52	2500	2468	2482
			sub bottom	48,13	36,70	1530	1530	1215
3	953	B05	seabed	40,25	30,69	1985	1977	1845
			sub bottom	46,11	35,16	2244	2244	1855



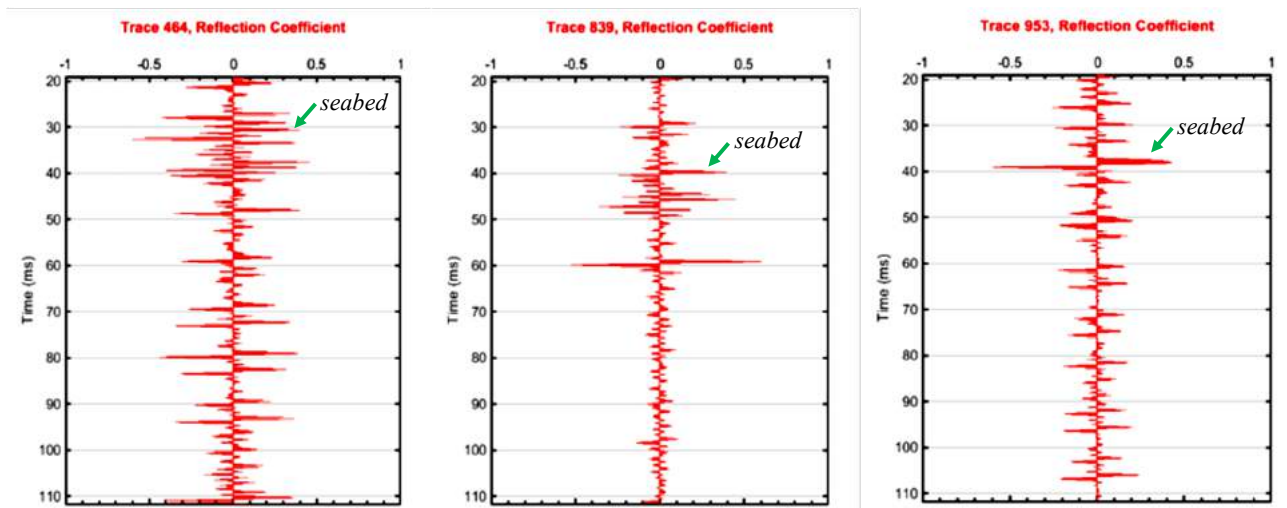
Gambar 11. Penampang melintang jalur 1B setelah proses dekonvolusi

membedakan tiap jenis lapisan sedimen berdasarkan ukuran partikel sedimen, yang sebanding dengan nilai *mean grain size* dari hasil uji saringan (*sieve analysis*). Nilai *Mz* yang diperoleh kemudian dikorelasikan terhadap klasifikasi sedimen dari Hamilton pada Tabel 1.

Setelah klasifikasi lapisan *sub bottom* diperoleh, maka ketebalan lapisan *sub bottom* ditentukan oleh posisi koefisien refleksi pada tiap *trace*, lalu nilai *overburden pressure* pada lapisan tersebut dihitung sebagai beban penetrasi untuk lapisan di bawah nya, untuk menentukan nilai *N-value* berdasarkan hubungan antara densitas, *void ratio*, *mean grain size*.



Gambar 12. Penampang melintang jalur 2B setelah proses dekonvolusi



Gambar 13. Koefisien refleksi pada trace 464, 839, 953

Tabel 4. Nilai koefisien refleksi dasar perairan pada tiap trace

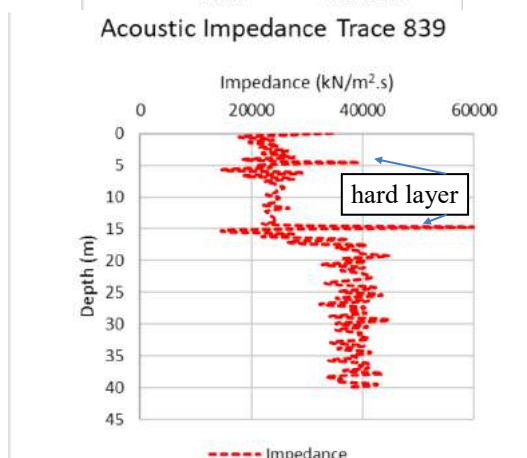
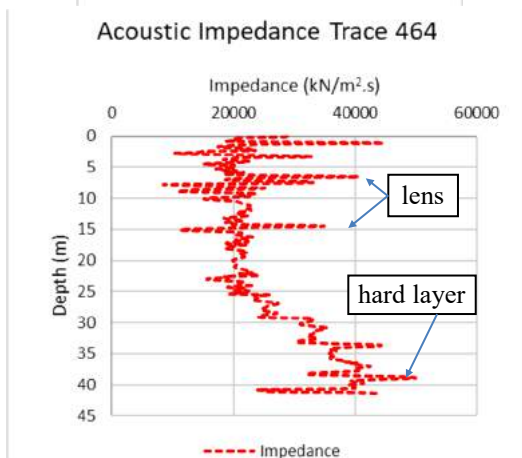
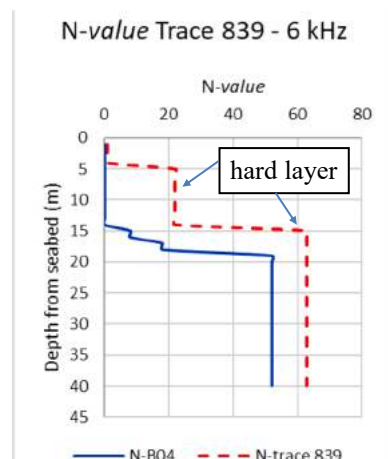
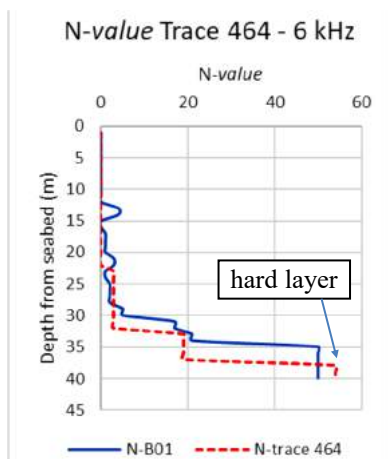
No	Freq. kHz	Track Line	Trace	Borehole ID	TWTT (ms)	Seabed (m)	Reflection Coefficient
1	6	1B	464	B01	28,99	-22,10	0,316
2	6	2B	839	B04	39,74	-30,30	0,395
3	6	2B	953	B05	38,02	-28,99	0,426

Tabel 5. Perbandingan nilai koefisien refleksi SBP dan perhitungan analitis

No	Freq. kHz	Trace	Reflection Coeff.		Seabed Density kg/m ³	Sediment Type	
			SBP	Analitic		Borehole	Analitic
1	6	464	0,316	0,329	1408	silty clay	silty clay
2	6	839	0,395	0,401	1400	silty clay	silty clay
3	6	953	0,426	0,438	1400	silty clay	carbonaceous clay

Tabel 6. BIOT parameter untuk inversi sedimen

Physical properties	Units	Silty Clay	Sand	Carb. Clay	Claystone
Porosity, n	Fractional	0,52 - 0,76	0,76	0,39	0,27
Fluid density	Kg/m ³	1000	1000	1000	1000
Fluid bulk modulus, K_f	Pa	2,25E+09	2,25E+09	2,25E+09	2,25E+09
Grain density, r_g	Kg/m ³	2650	2650	2650	2650
bulk density	Kg/m ³	1408 - 1800	1400	2000	2200
Grain bulk modulus, K_y	Pa	3,6E+10	3,6E+10	3,6E+10	3,6E+10
Absolute Viscosity, h	Kg/m-s	0,001	0,001	0,001	0,001
Permeability, K	m ²	$4,05 \times 10^{-13}$ – $2,8 \times 10^{-11}$	$1,77 \times 10^{-12}$	$2,49 \times 10^{-10}$	$4,33 \times 10^{-10}$
Tortuosity, c		1,35 - 3,00	1,35	1,35	3,35
Mz	f	4 - 8	8	2	1

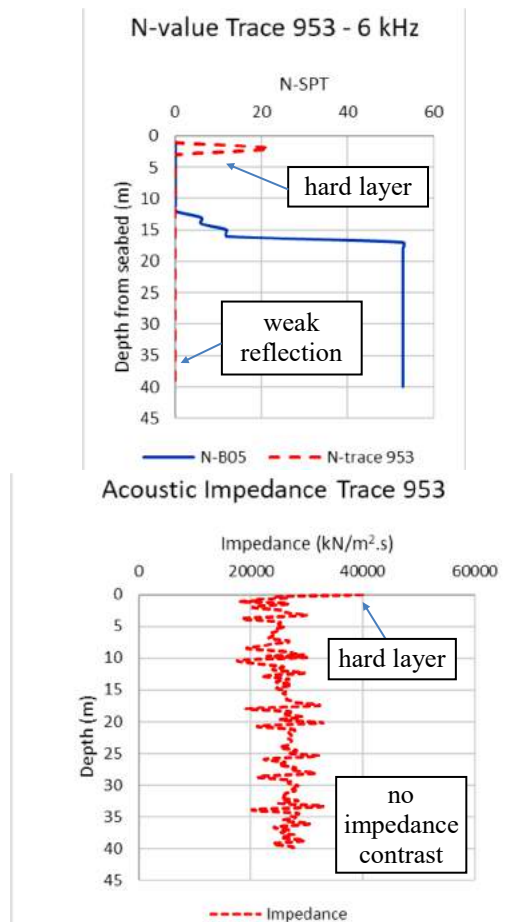


Gambar 14. Konstruksi parameter N-value pada trace sinyal 464

Gambar 15. Konstruksi parameter N-value pada trace sinyal 839

Gambar 14 menunjukkan hasil konstruksi parameter N-value pada trace 464, yang menunjukkan nilai N-value 0-3 pada kedalaman 0-32 m, N-value 19 pada kedalaman 33-36 m, dan N-value 54 pada kedalaman 38-40 m di bawah seabed. Hasil konstruksi N-value sinyal trace 464 juga menunjukkan pola grafik N-value yang relatif sesuai dengan nilai aktual N-value borehole B01, dengan perbedaan posisi lapisan keras yang ditunjukkan oleh nilai N-value di atas 50 pada kedalaman 37 m pada nilai prediksi dibandingkan nilai aktual N-value B01 di kedalaman 35 m. Hasil

ekstraksi impedansi akustik menunjukkan posisi nilai impedansi tinggi diatas 40.000 kN/m².s pada kedalaman sekitar 38 m dari seabed, yang menandakan bahwa nilai prediksi N-value trace 464 telah berhasil memprediksi posisi lapisan tanah keras di sekitar kedalaman 37 m dari seabed dengan nilai N-value di atas 50. Terdapat indikasi adanya lapisan lensa batuan yang tipis, namun tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai konstruksi N-value karena ketebalan lensa yang tipis.



Gambar 16. Konstruksi parameter N-value pada trace sinyal 953

Nilai konstruksi parameter N-value pada sinyal trace 839 yang ditunjukkan pada Gambar 15 menunjukkan nilai N-value 1 di kedalaman 0-4 m dari seabed, N-value 22 di kedalaman 5-14 m, dan N-value 63 di kedalaman 15-40 m. Pada area ini nilai prediksi N-value menunjukkan kesesuaian rendah terhadap data borehole aktual B04. Hal ini dapat disebabkan karena posisi sinyal trace 839 terhadap posisi koordinat B04 terdapat deviasi koordinat sebesar 33,434 m, sehingga perbedaan jarak sebesar itu memungkinkan terjadinya profil lapisan sub bottom yang berbeda. Hasil ekstraksi impedansi akustik pada trace 839 menunjukkan posisi nilai impedansi tinggi diatas 50.000 kN/m².s pada kedalaman sekitar 15 m dari seabed, yang menandakan bahwa nilai prediksi N-value trace 839 sudah sesuai dengan nilai impedansi akustik dan densitas, dengan posisi lapisan tanah keras di sekitar kedalaman 15 m dari seabed dengan nilai N-value di atas 50. Nilai densitas pada posisi seabed menunjukkan nilai sekitar 2000 kg/m³, dan pada kedalaman sekitar 4-6 m terdapat lapisan keras dengan nilai densitas sekitar 2100 kg/m³, dan pada kedalaman 15 m menunjukkan nilai densitas di atas 2200 kg/m³ sampai pada kedalaman 40 m.

Sinyal trace 953 tidak berhasil membentuk prediksi N-value, seperti yang terlihat pada Gambar 16, dikarenakan tidak ada nilai koefisien refleksi yang kontras pada lapisan sub bottom setelah sinyal

direfleksikan pada posisi seabed (Gambar 13). Hal ini dapat disebabkan karena sinyal SBP menemui lapisan keras/debris pada posisi seabed sehingga sebagian besar intensitas sinyal terpantul, dengan nilai koefisien refleksi menunjukkan nilai 0,426, yang nilainya sebanding dengan nilai koefisien refleksi untuk lapisan carbonaceous clay. Hasil ekstraksi impedansi dari koefisien refleksi sinyal trace 953, menunjukkan sinyal yang merambat di lapisan sub bottom hanya menghasilkan nilai koefisien refleksi yang lemah, sehingga tidak dapat menghasilkan perbedaan atau kontras impedansi.

4. Kesimpulan & Saran

Berdasarkan hasil-hasil analisis yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, terdapat beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Nilai ekstraksi koefisien refleksi dari sinyal SBP dan profil penampang melintang sinyal SBP menunjukkan kesesuaian terhadap profil dan jenis lapisan sedimen yang terdapat pada data borehole. Terdapatnya deviasi koordinat antara titik SBP terhadap beberapa titik borehole acuan mengakibatkan adanya perbedaan antara profil penampang melintang SBP terhadap data borehole, namun masih menunjukkan pola jenis sedimen yang sama sepanjang kedalaman trace sinyal. Sifat gelombang akustik yang akan dihamburkan (scattered) pada perbedaan impedansi yang kontras, dapat menyebabkan energi sinyal akustik akan terpantul seluruhnya sehingga tidak dapat menembus lapisan dibawah seabed. Diharapkan agar pengambilan data sinyal SBP dapat dilakukan dengan jarak sedekat mungkin terhadap titik borehole acuan serta dilakukan pengambilan sampel sedimen di titik sinyal trace acuan untuk mengetahui kondisi aktual seabed saat pengambilan data sinyal SBP.
2. Hasil perhitungan inversi sedimen menggunakan parameter BIOT, dapat menghasilkan nilai physical properties dan mean grain size yang sesuai dengan klasifikasi sedimen pada data borehole. Metode ini membutuhkan berbagai parameter untuk mendapatkan nilai klasifikasi sedimen. Diharapkan pada penelitian serupa, agar dapat dilakukan pengukuran kecepatan suara pada sampel sedimen, untuk mendapatkan klasifikasi sedimen yang lebih cepat.
3. Perhitungan konstruksi parameter N-value pada trace SBP menghasilkan pola grafik N-value yang memiliki kesesuaian terhadap trend grafik N-value aktual borehole. Grafik akustik impedansi sinyal SBP dapat digunakan sebagai validasi terhadap profil grafik N-value trace sinyal SBP apabila tidak dilakukan pengambilan data N-value (uji SPT) baru di titik sinyal trace acuan.

5. Daftar Pustaka

Amri. U, 2016, *Integrasi Data Sub Bottom Profiler Dan Gravity Core Untuk Menentukan Dinamika*

Sedimentasi Resen Di Perairan Utara Wokam,
MS Thesis, ID: Institut Pertanian Bogor.

- Bai, Y., dan Bai, Q., 2018, *Subsea Engineering Handbook (Second Edition)*, Elsevier.
- Dinas HIDRO-OSEANOGRAFI, 2016, *Peta Laut No 130 Balikpapan Hingga Muara Berau*, Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL.
- Dondurur, D., 2018, *Acquisition and Processing of Marine Seismic Data*, Elsevier.
- Koparde, P., Wagh, R., Phatak, D., 2018, Soil base profiling/sub-bottom profiling by echo signal processing, *IEEE 14th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, doi:10.1109/cspa.2018.8368682.
- Manik, H.M., 2016, Acoustical Measurement and Biot Model for Coral Reef Detection and Quantification. *Advances in Acoustics and Vibration*, doi:10.1155/2016/2350615
- Onajite, E., 2015, *Seismic Data Analysis Techniques in Hydrocarbon Exploration (Second Edition)*, Elsevier.
- Rohman, S., Manik, H.M., Mudita, I., 2015, Analisis Dan Klasifikasi Sedimen Permukaan Dasar Laut Menggunakan Sub-Bottom Profiler, *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, Vol. 6, No.1, 31 – 39.
- Rui, W., Changzheng, L., Xiaofei, Y., 2017, Application Of Sub-Bottom Profiler to Study Riverbed Structure and Sediment Density, *ICEESE 2017*, doi:10.1088/1755-1315/128/1/012113.
- Saleh, M., dan Rabah, M., 2016, Seabed sub-bottom sediment classification using parametric sub-bottom profiler, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, No.5, 87-95, doi:10.1016/j.nrjag.2016.01.004
- Sarkar, G., Siddiqua, S., Banik, R., Rokonzaman, M., 2015, Prediction of soil type and standard penetration test (SPT) value in Khulna City, Bangladesh using general regression neural network, *Quarterly Journal Of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2014-108, doi:10.1144/qjegh2014-108.
- Solikin, S., Manik, H.M., Pujiati, S., Susilohadi, 2017. Pemrosesan Sinyal Data *Sub-bottom Profiler* Substrat Dasar Perairan Selat Lembeh, *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol.13,No.1,42-47.
- Tarawneh, B., 2016, Predicting standard penetration test N-value from cone penetration test data using artificial neural networks, *Geoscience Frontiers*, doi:10.1016/j.gsf.2016.02.003