

ANALISIS METODE KONVENSIONAL DAN *COMMON REFLECTION SURFACE* (CRS) DATA SEISMIK 2D MARINE MENGGUNAKAN DEKONVOLUSI PREDIKTIF DAN DEKONVOLUSI *SPIKING* UNTUK MENINGKATKAN S/N RATIO DATA

(Skripsi)

Oleh

Lastri Aritonang

1915051052



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALYSIS OF CONVENTIONAL AND COMMON SURFACE
REFLECTION (CRS) METHODS IN 2D MARINE SEISMIC DATA
USING PREDICTIVE DECONVOLUTION AND SPIKING
DECONVOLUTION TO ENHANCE DATA S/N RATIO**

By

Lastri Aritonang

ABSTRACT

This research aimed to generate subsurface seismic sections that closely resemble real conditions by enhancing the seismic signal-to-noise ratio (S/N) using predictive deconvolution and spiking deconvolution. In general, the data processing stages started from preprocessing, processing, and final processing. Data processing utilized 2D marine data in SEG-D format using ProMAX software, employing both conventional methods and the Common Reflection Surface (CRS) method. In spectral analysis, the range of the smallest final phase values indicates the effectiveness of deconvolution in suppressing noise effects. Predictive deconvolution showed a smaller range of final phase values compared to spiking deconvolution. The results of the data processing demonstrated that the Common Reflection Surface (CRS) method produced better sections compared to the conventional method. To improve the Signal-to-Noise Ratio (S/N), data enhancement techniques were employed, such as F-X Deconvolution, Eigenvector filter, and Dip Scan Stack.

Keywords: Seismic Data Processing, Predictive Deconvolution, Spiking Deconvolution, Common Reflection Surface, Conventional.

ANALISIS METODE KONVENSIONAL DAN *COMMON REFLECTION SURFACE* (CRS) DATA SEISMIK 2D MARINE MENGGUNAKAN DEKONVOLUSI PREDIKTIF DAN DEKONVOLUSI *SPIKING* UNTUK MENINGKATKAN S/N RATIO DATA

Oleh

Lastri Aritonang

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan penampang seismik bawah permukaan permukaan yang mirip dengan keadaan sebenarnya dengan memperbesar rasio sinyal seismik terhadap sinyal gangguan (S/N) menggunakan dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking*. Secara garis besar tahap pengolahan data dimulai dari *preprocessing*, *processing*, dan *final processing*. Pengolahan data menggunakan data laut 2D berformat SEG-D menggunakan *software* ProMAX dengan penerapan metode konvensional dan metode *Common Reflection Surface* (CRS). Pada analisis spektral, kisaran nilai fasa akhir terkecil menggambarkan keefektifan dekonvolusi dalam menekan efek *noise*. Dekonvolusi prediktif memiliki kisaran fasa akhir yang lebih kecil dibandingkan dengan dekonvolusi *spiking*. Dari hasil pengolahan data memperlihatkan metode *Common Reflection Surface* (CRS) menghasilkan penampang yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Untuk meningkatkan *Signal to Noise Ratio* (S/N) maka dilakukan data *enhancement*, seperti *F-X Deconvolution*, *Eigenvector filter*, dan *Dip Scan Stack*.

Kata kunci: Pengolahan Data Seismik, Dekonvolusi Prediktif, Dekonvolusi *Spiking*, *Common Reflection Surface*, Konvensional.

ANALISIS METODE KONVENSIONAL DAN *COMMON REFLECTION SURFACE* (CRS) DATA SEISMIK 2D *MARINE* MENGGUNAKAN DEKONVOLUSI PREDIKTIF DAN DEKONVOLUSI *SPIKING* UNTUK MENINGKATKAN S/N RATIO DATA

Oleh

Lastri Aritonang

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **ANALISIS METODE KONVENSIIONAL DAN
COMMON REFLECTION SURFACE (CRS)
DATA SEISMIK 2D MARINE MENGGUNAKAN
DEKONVOLUSI PREDIKTIF DAN
DEKONVOLUSI SPIKING UNTUK
MENINGKATKAN S/N RATIO DATA**

Nama Mahasiswa

: **Latri Aritonang**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1915051052

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

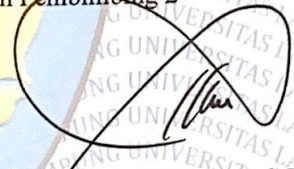
MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


**Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si.,
M.Si.**


**Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T.,
M.Eng., IPM**

NIP. 197307162000121002

NIP. 199004122019031009

2. **Ketua Jurusan Teknik Geofisika**


Karyanto, S.Si., M.T.

NIP 196912301998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.

Anggota : Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng., IPM.

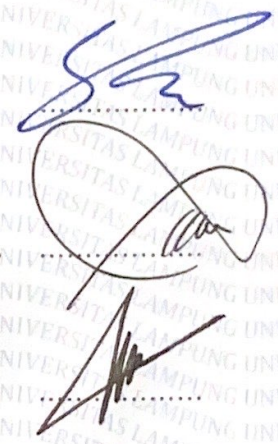
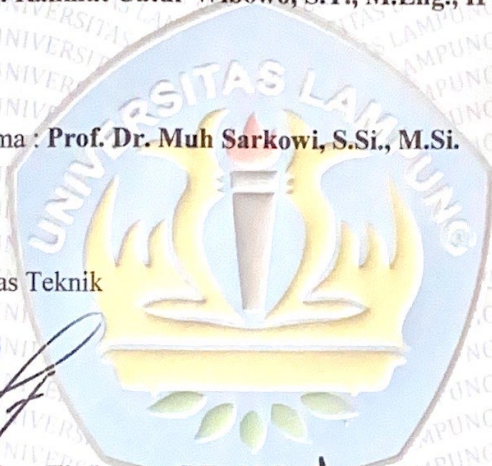
Penguji Utama : Prof. Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 10002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 8 Desember 2023



**SURAT PERNYATAAN
TATA TERTIB WISUDAWAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lastri Aritonang
NPM : 1915051052
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Geofisika
Alamat Rumah/HP : Komplek Alamanda, Rancamanyar, Kab. Bandung/
089656148286

.....
.....

Dengan ini berjanji :

1. Akan patuh dan taat mengikuti upacara wisuda dari awal hingga akhir sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku
2. Wajib mengikuti gladi bersih dengan baik dan tertib
3. Datang 15 menit sebelum Upacara dimulai
4. Memakai pakaian/ atribut wisuda sesuai dengan ketentuan
5. Bagi yang terlambat tidak diperkenankan mengikuti upacara wisuda, tetapi dapat mengambil Ijazah di Fakultas melalui Sub Koordinator Akademik
6. Mengikuti tiap mata acara sesuai dengan aba-aba pembawa acara dengan tertib, hikmat dan teratur
7. Selama upacara berlangsung :
 - a. Tidak diperbolehkan membawa makanan dalam ruangan
 - b. Tidak diperkenankan hilir mudik
 - c. Tidak diperkenankan menggunakan/ menghidupkan HP
 - d. Tidak diperkenankan membawa anak di bawah usia 12 tahun

Bandar Lampung,
Yang membuat Pernyataan,


NPM1915051052

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Lastri Sanjaya Aritonang, lahir di Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat pada tanggal 16 Oktober 1999. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Togu Aritonang dan Ibu Murni Tambunan. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN BABAKAN 2 Bandung pada tahun 2012, SMP SWADAYA 1 Bandung pada tahun 2015, dan SMAN 17 Bandung pada tahun 2018. Di Tahun Ajaran baru pendidikan tahun 2019, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Lampung Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, Penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi. Penulis pernah tercatat sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana) di bidang Multimedia dan informasi (MI) selama dua periode (2021 dan 2022), pengurus American Association of Petroleum Geologists (AAPG) sebagai anggota divisi Humas periode 2022 dan resmi terdaftar sebagai anggota HAGI SC Unila pada tahun 2023. Penulis juga aktif mengabdikan sebagai asisten pada mata kuliah Praktikum Seismik, Praktikum Analisis Sinyal Geofisika, dan juga pernah tergabung ke dalam asisten workshop akuisisi data Seismik Refraksi yang diselenggarakan oleh dosen penanggung jawab.

Di awal pertengahan tahun 2022 Penulis melaksanakan Kerja Praktik di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) kota Bandung di bawah Badan Litbang ESDM telah resmi bergabung dengan Badan Geologi Kementerian ESDM selama satu bulan terhitung tanggal 1 Agustus 2022 s.d. 1 September 2022 dengan

mengangkat tema penelitian “**Pengolahan Data Seismik Refleksi 2D Laut Menggunakan Software ProMAX**”. Selanjutnya diawal tahun 2023 Penulis melaksanakan penelitian untuk Tugas Akhir selama dua bulan terhitung tanggal 15 Mei s.d. 15 Juli 2023 di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) kota Bandung dengan mengangkat tema Penelitian “**Analisis Metode Konvensional dan *Common Reflection Surface (CRS)* Data Seismik 2D Marine Menggunakan Dekonvolusi Prediktif dan Dekonvolusi *Spiking* untuk Meningkatkan *S/N Ratio* Data**”.

Selama kuliah Penulis pernah menulis karya yang sudah dipublikasikan, yaitu: “**Pemetaan Perubahan Luasan *Mangrove* Melalui Analisis Citra Satelit Landsat di Tangkolak Barat, Karawang, Jawa Barat**” pada Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS) Vol 3 No 1 pada tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Tulisan ini Saya persembahkan kepada kedua orang tua yang Saya cintai, terima kasih banyak atas kasih sayang yang tak terbatas, pengorbanan yang tak ternilai harganya, semua nasihat baik, dan doa yang akan terus mengalir.

Untuk mama, wanita nomor satu di duniaku, terima kasih sudah selalu bertahan dan memberi kekuatan.

MOTTO

“Tuhan menetapkan langkah-langkah orang yang hidupnya berkenan kepadaNya; apabila ia jatuh, tidaklah sampai tergeletak, sebab Tuhan menopang tangannya.” (Mazmur 37:23-24)

“Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku.” (Filipi 4 : 13)

“Hati yang gembira adalah obat yang manjur, tetapi semangat yang patah mengeringkan tulang.” (Amsal 17 : 22)

“Banyaklah rancangan di hati manusia, tetapi keputusan Tuhanlah yang terlaksana.” (Amsal 19 : 21)

“Ke dalam tangan-Mulah kuserahkan nyawaku; Engkau membebaskan aku, ya TUHAN, Allah yang setia.” (Mazmur 31:6)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus yang bertahta dalam kerajaan surga, karena berkat kasih dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa sebagaimana manusia yang memiliki keterbatasan, tentu hasil karya ini tidak luput dari kesalahan. Maka dari itu, kritik dan saran yang membangun akan sangat Penulis nantikan guna membantu memperbaiki kesalahan yang ada pada skripsi ini.

Skripsi ini mengangkat judul “**Analisis Metode Konvensional dan *Common Reflection Surface (CRS)* Data Seismik 2D *Marine* Menggunakan Dekonvolusi Prediktif dan Dekonvolusi *Spiking* untuk Meningkatkan *S/N Ratio* Data**”. Skripsi ini merupakan hasil kegiatan yang telah dilakukan pada tanggal 15 Mei s.d. 15 Juli 2023 di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) kota Bandung.

Sekian kata pengantar yang hendak disampaikan, semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat diterima dengan baik juga berguna bagi keperluan akademik.

Bandar Lampung, 19 Desember 2023

Penulis

SANWACANA

Dengan penuh rasa syukur, penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang bertahta dalam kerajaan surga, karena berkat kasih dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Togu Aritonang dan Ibu Murni Tambunan yang telah memberi doa, nasihat, dan dukungan penuh dalam segala hal sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini.
3. Abang-abang saya, Rouli Aritonang dan Rinaldi Aritonang atas doa dan motivasi.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing, memotivasi, serta banyak meluangkan waktu memberi masukan, koreksi, dan pengarahan dalam mengerjakan skripsi ini.
6. Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng., IPM. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak bantuan, ilmu serta saran dan bimbingan kepada Penulis.
7. Prof. Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji dalam skripsi yang telah memberikan saran dan motivasi yang baik.
8. Ibu Yulinar Firdaus selaku pembimbing di BBSPGL yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmunya selama berlangsungnya tugas akhir di BBSPGL.
9. Alika selaku teman terbaik saya selama kuliah yang telah mengurangi *overthingking* setiap saya akan maju seminar.

10. Elisa dan Luscacini selaku teman baik saya selama kuliah yang selalu ada dan selalu memberi motivasi.
11. Seluruh dosen dan perangkat akademik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang baik secara langsung maupun tak langsung telah banyak membantu Penulis dalam melaksanakan studi selama empat tahun terakhir ini.
12. Seluruh teman angkatan saya, yaitu “TG 2019” yang telah memberikan banyak dukungan selama ini, serta adik-adik dan kakak-kakak Teknik Geofisika Universitas Lampung.
13. Terakhir, terima kasih kepada diri sendiri sudah mau bertahan sejauh ini, terima kasih sudah mempercayai kalau semuanya akan dapat terlewati, terima kasih atas kerja kerasnya, dan terima kasih sudah melakukan perubahan besar di tahun ini.

Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Kiranya Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak atas segala kesalahan baik yang disengaja maupun tidak disengaja dalam perkataan maupun perbuatan yang mungkin kurang berkenan selama penulisan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 19 Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJU HALAMANN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
HALAMAN MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Daerah Penelitian	5
2.2 Geologi Regional	7
2.3 Stratigrafi Regional	7
2.4 Interpretasi Seismik di Perairan Arafura, Papua Barat	8

III.	TEORI DASAR	9
	3.1 Metode Seismik Refleksi	9
	3.2 Klasifikasi Gelombang Seismik.....	9
	3.2.1 Prinsip Dasar Gelombang Seismik	11
	3.3 Teori Penjalaran Gelombang Seismik	11
	3.3.1 Prinsip Huygens	11
	3.3.2 Prinsip Fermat	12
	3.3.3 Hukum Snellius	12
	3.4 Impedasi Akustik	13
	3.5 Koefisien Refleksi.....	14
	3.6 Polaritas dan Fasa	15
	3.7 <i>Wavelet</i>	16
	3.8 <i>Trace</i> Seismik	17
	3.9 Resolusi Vertikal.....	18
	3.10 <i>Multiple</i>	19
	3.11 <i>Filtering</i>	20
	3.12 <i>Editing</i>	22
	3.13 Dekonvolusi	23
	3.13.1 Dekonvolusi Prediktif	26
	3.13.1.1 Filter Prediktif	27
	3.13.1.2 Dereverberasi	30
	3.13.2 Dekonvolusi <i>Spiking</i>	30
	3.14 Data <i>Stack</i> Seismik	33
	3.14.1 <i>CMP Stack</i>	33
	3.14.2 <i>CRS (Common Reflection Surface)</i>	34
	3.15 Migrasi.....	36
	3.16 Data <i>Enhancement</i>	37
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	40
	4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	40
	4.2 Jadwal Kegiatan Penelitian	40
	4.3 Alat dan Bahan.....	41
	4.4 Diagram Alir	42

4.5 Tahapan Penelitian	43
4.5.1 Persiapan Data	43
4.5.2 Pengolahan Data	43
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	58
5.1 Hasil	58
5.2 Pembahasan.....	88
VI. KESIMPULAN.....	109
6.1 Kesimpulan	109
6.2 Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian	4
2. Peta geologi regional Indonesia (Darman dan Sidi, 2000)	6
3. Penampang seismik setelah picking horizon di Perairan Arafura.....	8
4. Gelombang badan (Stein & Wysession, 2003)	10
5. Sketsa survey seismik	11
6. Ilustrasi prinsip Huygen (Sherear,1999)	12
7. Ilustrasi prinsip fermat (Sherear,1999)	12
8. Hukum Snellius a) Dua lapisan; b) Banyak lapisan (Shearer, 1999).....	13
9. Koefisien refleksi dan pembalikan polaritas (Cox dkk., 2020).....	15
10. Polaritas dan fasa (Sukmono, 2000).....	16
11. Jenis <i>wavelet</i> berdasarkan energinya (Sismanto, 2006).....	16
12. Tras seismik	18
13. Klasifikasi <i>multiple</i> berdasarkan refleksi antarmuka (Verschuur, 2006)....	20
14. <i>Bandpass filter</i>	21
15. <i>Curvature</i> gelombang normal (Mann, 2007)	35
16. Diagram alir penelitian.....	42
17. <i>Flow</i> proses input data	44
18. <i>Flow</i> proses geometri	44
19. <i>Geometry setup</i>	45
20. Plot CDP vs <i>offset</i>	45
21. <i>Flow filtering</i>	46
22. <i>Spectrum amplitude, phase</i> dan <i>frequency</i> . a) sebelum <i>filtering</i> , b) setelah <i>bandpass filter</i>	46

23. <i>Flow editing</i>	47
24. <i>Flow</i> autokorelasi	49
25. <i>Display</i> autokorelasi	50
26. Parameter dekonvolusi prediktif	50
27. Parameter dekonvolusi <i>spiking</i>	51
28. <i>Flow velocity analysis</i>	52
29. <i>Flow stacking</i>	52
30. <i>Flow</i> migrasi.....	53
31. <i>Flow</i> CRS ZO search	54
32. <i>Flow</i> CRS precompute	54
33. Parameter 2D CRS ZO search	55
34. <i>Flow</i> CRS stack.....	56
35. <i>Flow F-X Deconvolution</i>	56
36. <i>Flow Eigenvector filter</i>	57
37. <i>Flow Dip scan stack</i>	57
38. <i>Raw Data</i>	58
39. Plot CDP vs offset.....	58
40. <i>Trace filtering</i>	59
41. Hasil <i>bandpass filter 3 shot (zoom)</i>	59
42. <i>Trace editing</i> sebelum <i>muting</i> (atas) dan setelah <i>muting</i> (bawah).....	60
43. <i>Output trace preprocessing</i> prediktif	61
44. <i>Output trace preprocessing</i> <i>spiking</i>	61
45. <i>Picking window velocity analysis</i>	62
46. <i>Volume viewer editor velocity analysis</i>	62
47. Spektrum dekonvolusi prediktif	63
48. Spektrum dekonvolusi <i>spiking</i>	64
49. <i>Stacking</i> dekonvolusi prediktif sebelum data <i>enhancement</i>	65
50. <i>Stacking</i> dekonvolusi prediktif menggunakan <i>F-X Deconvolution</i>	66
51. <i>Stacking</i> dekonvolusi prediktif menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	67
52. <i>Stacking</i> dekonvolusi prediktif menggunakan <i>Dip Scan Stack</i>	67
53. <i>Stacking</i> dekonvolusi <i>spiking</i> sebelum data <i>enhancement</i>	68

54. <i>Stacking</i> dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan F-X <i>Deconvolution</i>	69
55. <i>Stacking</i> dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	69
56. <i>Stacking</i> dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip</i> <i>Scan Stack</i>	70
57. Migrasi dekonvolusi prediktif sebelum data <i>enhancement</i>	71
58. Migrasi dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan F-X <i>Deconvolution</i>	72
59. Migrasi dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	72
60. Migrasi dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip</i> <i>Scan Stack</i>	73
61. Migrasi dekonvolusi <i>spiking</i> sebelum data <i>enhancement</i>	74
62. Migrasi dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan F-X <i>Deconvolution</i>	75
63. Migrasi dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	75
64. Migrasi dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip</i> <i>Scan Stack</i>	76
65. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi prediktif sebelum data <i>enhancement</i>	77
66. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan F-X <i>Deconvolution</i>	78
67. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	78
68. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip Scan Stack</i>	79
69. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi <i>spiking</i> sebelum data <i>enhancement</i>	80
70. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan F- X <i>Deconvolution</i>	81
71. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	81

72. <i>Stacking</i> CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip Scan Stack</i>	81
73. Migrasi CRS dekonvolusi prediktif sebelum data <i>enhancement</i>	83
74. Migrasi CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>F-X Deconvolution</i>	84
75. Migrasi CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	84
76. Migrasi CRS dekonvolusi prediktif setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip Scan Stack</i>	85
77. Migrasi CRS dekonvolusi <i>spiking</i> sebelum data <i>enhancement</i>	86
78. Migrasi CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>F-X Deconvolution</i>	87
79. Migrasi CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Eigenvector Filter</i>	87
80. Migrasi CRS dekonvolusi <i>spiking</i> setelah data <i>enhancement</i> menggunakan <i>Dip Scan Stack</i>	88
81. (a) <i>CMP gather</i> pada CDP 101 (b) <i>CRS Supergather</i> pada CDP 101	89
82. <i>Stacking</i> , sebelum data <i>enhancement</i> konvensional a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	90
83. Spektrum <i>stacking</i> , sebelum data <i>enhancement</i> konvensional Dekonvolusi prediktif (kanan) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kiri).....	90
84. <i>Stacking</i> setelah data <i>enhancement</i> konvensional a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	92
85. <i>Stacking</i> setelah data <i>enhancement</i> konvensional <i>greyscale</i> a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	92
86. Spektrum <i>stacking</i> , setelah data <i>enhancement</i> konvensional Dekonvolusi prediktif (kanan) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kiri).....	93
87. Migrasi, sebelum data <i>enhancement</i> konvensional a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	94
88. Efek difraksi migrasi, sebelum data <i>enhancement</i> konvensional a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	94

89. Spektrum migrasi, sebelum data <i>enhancement</i> konvensional Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan).....	95
90. Migrasi, setelah data <i>enhancement</i> konvensional a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	96
91. Migrasi, setelah data <i>enhancement</i> konvensional <i>greyscale</i> a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	97
92. Spektrum migrasi, setelah data <i>enhancement</i> konvensional Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan).....	97
93. <i>Stacking</i> , sebelum data <i>enhancement</i> CRS a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	99
94. Efek difraksi <i>stacking</i> , sebelum data <i>enhancement</i> CRS a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	99
95. Spektrum <i>stacking</i> , sebelum data <i>enhancement</i> CRS Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan)	100
96. <i>Stacking</i> , setelah data <i>enhancement</i> CRS a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	101
97. <i>Stacking</i> , setelah data <i>enhancement</i> CRS <i>greyscale</i> a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	102
98. Spektrum <i>stacking</i> , setelah data <i>enhancement</i> CRS Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan)	102
99. Migrasi, sebelum data <i>enhancement</i> CRS a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	104
100. Spektrum migrasi, sebelum data <i>enhancement</i> CRS Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan)	104
101. Migrasi, setelah data <i>enhancement</i> CRS a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	106
102. Migrasi, setelah data <i>enhancement</i> CRS <i>greyscale</i> a) Dekonvolusi prediktif b) Dekonvolusi <i>spiking</i>	106
103. Spektrum migrasi, setelah data <i>enhancement</i> CRS Dekonvolusi prediktif (kiri) Dekonvolusi <i>spiking</i> (kanan)	107

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir	40
2. Parameter Akuisisi Data ARAFURA- <i>LINE</i> -020.1	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam survei seismik suatu sumber menimbulkan *wavelet* seismik yang merambat di dalam lapisan bumi, dan akhirnya terekam oleh *geophone* atau *hydrophone*. Selama perambatan sinyal/*wavelet* di dalam bumi, mengalami efek filter yang cenderung memperlebar sinyal sehingga mengurangi resolusi data seismik terutama terhadap lapisan-lapisan bawah permukaan yang rapat. Selain itu, sinyal yang terekam oleh *geophone* atau *hydrophone* tidak hanya sinyal yang terpantulkan satu kali oleh reflektor-reflektor (disebut refleksi primer) tetapi juga sinyal yang sempat terpantulkan lebih dari sekali sebelum akhirnya sampai ke penerima. Agar diperoleh manfaat yang maksimal dari interpretasi data seismik, sebuah penampang seismik harus menunjukkan keadaan lapisan bawah permukaan sebaik mungkin. Ini berarti diperlukan penampang seismik beresolusi baik, dan *wavelet/* sinyal terekam dikonstruksi kedalam bentuk gelombang yang lebih tajam. Selain itu, *trace* seismik mengandung informasi yang tak diinginkan berupa refleksi *multiple* yang harus dihilangkan. Salah satu proses pengolahan data untuk meningkatkan resolusi data dan mereduksi *multiple* ialah dekonvolusi.

Secara umum, ada tiga tahapan dalam metode seismik, yaitu tahap akuisisi, pengolahan data, dan tahap interpretasi data. Pengolahan data dilakukan untuk mempersiapkan hasil akuisisi data hingga diperoleh hasil penampang seismik yang kemudian akan digunakan untuk interpretasi (Sukmono, 2007).

Dalam eksplorasi seismik, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu akuisisi data (*data acquisition*), pengolahan data (*data processing*) dan interpretasi data (*data interpretation*). Proses pengolahan data memegang peranan sangat penting dalam serangkaian eksplorasi seismik refleksi. Pada tahap ini, seorang ahli geofisika melakukan serangkaian prosedur untuk mengubah data awal (*raw data*) menjadi data yang siap untuk ditafsirkan (Prasetyo, 2016).

Pada seismik refleksi di laut, *air gun* berperan sebagai sumber ledakan sehingga dapat membuat gelombang dan mengirimnya melalui medium lapisan bumi. Gelombang tersebut kemudian dipantulkan kembali berdasarkan sifat reflektivitasnya dan bisa dideteksi oleh *hydrophone*. Masalah utama yang muncul adalah gangguan yang terjadi selama tahap akuisisi survei seismik, yang dapat mempengaruhi kualitas data yang terekam oleh *hydrophone*. Gangguan tersebut mencakup *multiple*, *noise*, dan difraksi dalam data seismik. Untuk mengatasi gangguan-gangguan ini, dilakukan proses pengolahan data yang bertujuan untuk meningkatkan rasio S/N dalam data seismik. Peningkatan resolusi rekaman seismik bisa dicapai dengan menggunakan berbagai teknik. Salah satu cara untuk meningkatkan resolusi adalah dengan menerapkan dekonvolusi pada rekaman seismik. Dekonvolusi merupakan proses kebalikan dari konvolusi yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh filter bumi pada gelombang sumber.

Salah satu metode yang dapat meningkatkan rasio S/N pada data seismik adalah dekonvolusi prediktif. Proses dekonvolusi prediktif melibatkan penggunaan informasi dari bagian awal jejak seismik untuk memprediksi pola *noise* dan *multiple*. Metode ini berguna tidak hanya untuk mereduksi gelombang *multiple* yang berasal dari permukaan atau dekat permukaan, tetapi juga untuk mengurangi efeknya. Selain dekonvolusi prediktif, dekonvolusi *spiking* juga merupakan metode yang efektif dalam meningkatkan rasio S/N dengan mengubah *wavelet* seismik menjadi *spike*. Oleh karena itu, peneliti menggunakan perbandingan rasio S/N penampang seismik bawah permukaan

2D dengan melakukan metode dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking*. Penelitian ini didasarkan pada studi sebelumnya oleh Romauli dkk., (2016), yang menegaskan bahwa dekonvolusi prediktif lebih unggul dalam meningkatkan sinyal dan mengurangi *noise* dibandingkan dengan dekonvolusi *spiking*. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil penampang seismik 2D menggunakan kedua metode dekonvolusi tersebut, serta untuk membuktikan kemampuan keduanya dalam meningkatkan rasio *signal to noise*. Dalam penelitian ini juga, peneliti membandingkan hasil penampang data konvensional dan data CRS dengan penerapan data *enhancement*. *Software* ProMAX dipilih karena *software* ini memiliki modul yang cukup lengkap serta pengaplikasiannya tergolong mudah sehingga dapat dijalankan oleh siapa pun.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini, antara lain:

1. Dapat memahami dan mengaplikasikan tahap-tahap pengolahan data seismik 2D laut ke dalam *software* ProMAX.
2. Mengetahui perbedaan hasil penampang seismik menggunakan dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking* dalam meningkatkan rasio S/N baik dengan metode konvensional maupun CRS.
3. Mendapatkan hasil penampang seismik 2D laut dengan rasio S/N yang tinggi dan resolusi yang baik.

1.3 Batasan Masalah

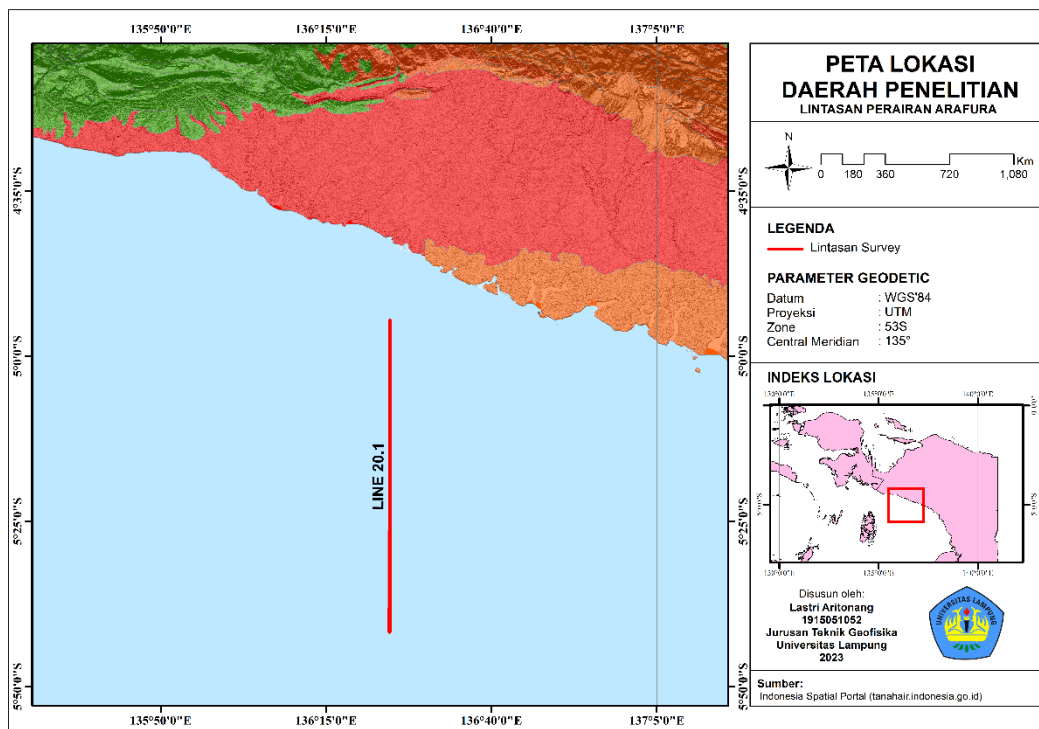
Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Data penelitian yang digunakan adalah data seismik laut 2D.
2. Pengolahan data seismik refleksi laut menggunakan *software* ProMAX.
3. Pengolahan data menggunakan aplikasi dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perairan Arafura, Papua Barat, yang dapat dilihat pada Gambar 1. Secara geografis, wilayah Papua Barat terletak di antara Samudera Pasifik di bagian utara dan timur, Laut Arafura serta Laut Banda di bagian selatan, dan Laut Seram di bagian barat. Secara administrasi, Papua Barat berbatasan dengan Provinsi Papua di timur dan Kepulauan Maluku di barat. Secara administratif, Pulau Papua terletak antara $130^{\circ} 19' \text{ BT} - 150^{\circ} 48' \text{ BT}$ dan $10^{\circ} 19' \text{ LS} - 10^{\circ} 43' \text{ LS}$.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

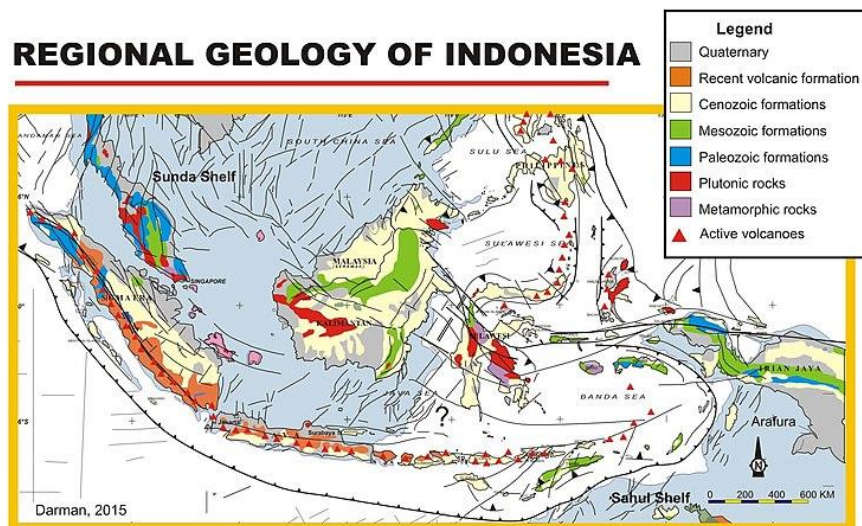
2.2 Geologi Regional

Dasar Laut Arafura merupakan paparan yang sangat luas. Menurut Nontji (1987), daerah yang disebut Paparan Arafura, yang dinamai oleh Krummel pada tahun 1897, terdiri dari tiga bagian utama, yaitu Paparan Arafura, Paparan Rowley, dan Paparan Sahul, juga dikenal sebagai Paparan Australia Utara. Dalam beberapa kasus, para pakar sering menggunakan istilah Paparan Sahul untuk menggambarkan keseluruhan wilayah Paparan tersebut. Wilayah keseluruhan dari Paparan ini mencakup sekitar 1.5 juta kilometer persegi, dengan Paparan Arafura memiliki luas sekitar 930.000 kilometer persegi, sementara Paparan Sahul dan Paparan Rowley masing-masing memiliki luas sekitar 300.000 kilometer persegi. Paparan Arafura sendiri memiliki kedalaman laut sekitar 30-100 meter dan terdiri dari Kepulauan Aru, yang terdiri dari lima pulau yang dipisahkan oleh perairan sempit yang menyerupai sungai, dengan dasar lautnya yang lebih dalam daripada dasar laut di sekitarnya. Secara geografis, terdapat suatu elevasi yang kurang terlihat yang membentang dari Kepulauan Aru ke arah timur yang dikenal sebagai Punggung Merauke (Nontji, 1987).

Pulau Papua adalah wilayah yang sangat kompleks secara geologis yang melibatkan interaksi antara dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Formasi paling kuno di Papua berasal dari periode geologi Paleozoikum, dan data yang terdokumentasi dan menjelaskan fase tektonik pulau ini masih sangat terbatas. Geologi Papua dipengaruhi oleh dua unsur tektonik yang saling bertabrakan dan aktif pada periode geologi Kenozoikum. Aktivitas tektonik yang berlangsung pada periode Miosen Akhir ini telah menghasilkan struktur yang sangat kompleks dan khas di pulau ini. Fase tektonik pada masa ini telah mencetuskan proses orogenesis Melanesia yang pada akhirnya membentuk kondisi fisik atau fisiografi Papua seperti yang kita kenal sekarang (Dow dan Sukanto, 1984).

Area penelitian dari segi tektonik merupakan hasil dari pertemuan atau tumbukan antara tiga lempeng besar, yakni Lempeng Indo-Australia, Lempeng

Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Di dasar Laut Arafura dan dataran rendah Papua Selatan, terbentuk suatu wilayah yang disebut sebagai paparan Arafura yang terdiri dari blok-blok kaku yang membentuk struktur geologis yang berkembang dengan arah timurlaut-baratdaya (NE-SW). Struktur ini terdiri dari patahan-patahan sesar normal dan sesar geser dan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lempeng benua Australia (Robertson, 2000). Pada bagian barat lokasi penelitian terdapat Palung Aru yang merupakan bentukan hasil proses tektonik muda, akibat runtuhnya tepian barat Paparan Arafura. Tepian barat paparan Arafura tersebut berbatasan Busur Banda yang merupakan zona tektonik aktif selama Plio-Pleistosen. Ke arah barat berturut-turut adalah Kepulauan Kai, Palung Weber (Weber Deep) dan busur vulkanik Banda. Pada bagian Utara lokasi penelitian merupakan zona yang dipengaruhi oleh sesar mendatar sinistral Tarera-Aiduna. Zona sesar tersebut berarah relatif timur-barat, memanjang dari daratan Papua di bagian timur menerus ke arah barat hingga dasar laut lokasi penelitian. Sesar Tarera-Aiduna merupakan hasil konvergensi pada Oligosen – Miosen Tengah sebagai konsekuensi pergerakan Lempeng Australia ke arah utara.



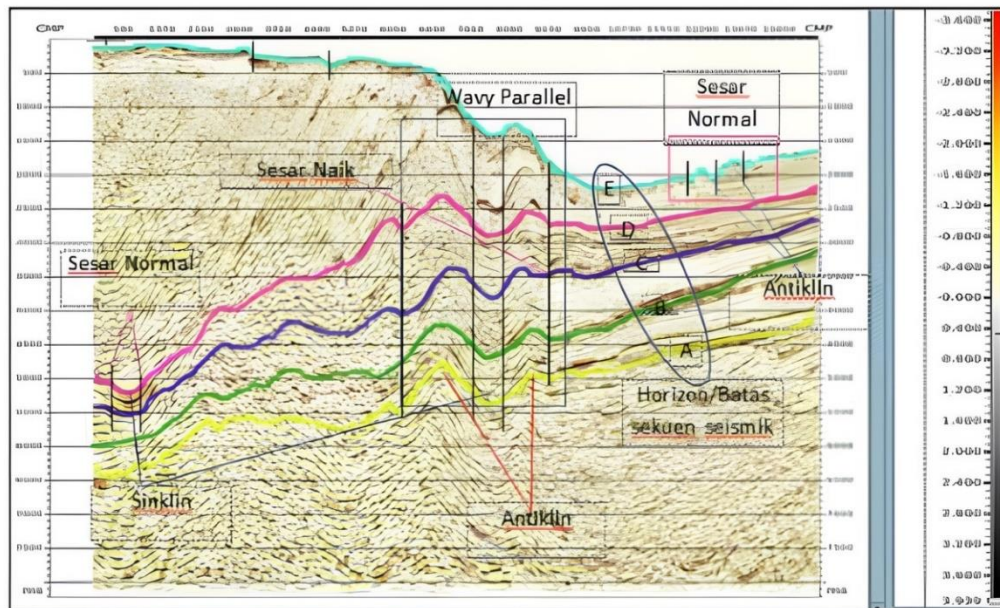
Gambar 2. Peta geologi regional Indonesia (Darman & Sidi, 2000)

2.3 Stratigrafi Regional

Geologi Irian Jaya secara garis besar dibedakan ke dalam tiga kelompok batuan penyusun utama yaitu: (a) batuan kraton Australia; (b) batuan lempeng pasifik; dan (c) batuan campuran dari kedua lempeng. Daerah penelitian berada di antara pulau Papua bagian Selatan dan palung Aru. Sehingga stratigrafi daerah penelitian merupakan korelasi antara stratigrafi pulau Irian Jaya dengan Kepulauan Aru. Batuan yang tersingkap di Kepulauan Aru terdiri atas Formasi Koba, Formasi Menumbai, Anggota Jambulenga Formasi Manumbai, Formasi Wasir, Formasi Tanah merah dan ditindih secara tidak selaras oleh Aluvium

Formasi Koba yang terbentuk pada periode Miosen Awal-Miosen Tengah di Kepulauan Aru memiliki kesamaan dengan Formasi Digul di Pulau Papua yang terdiri dari batugamping dan napal dan terdeposisi di lingkungan laut yang dangkal. Penurunan permukaan air laut terjadi pada periode Miosen Akhir karena proses glasiasi yang puncaknya terjadi pada Miosen Akhir, dan hal ini berlanjut hingga zaman Plistosen. Proses ini menyebabkan penyatuan antara Kepulauan Aru dan Daratan Papua. Sebagai hasilnya, Formasi Menumbai, Anggota Jambulenga Formasi Manumbai, Formasi Wasir, dan Formasi Tanah Merah di Kepulauan Aru, yang mengendap di lingkungan laut dangkal hingga daratan, dapat dibandingkan dengan Formasi Burudi di Pulau Papua yang terdiri dari batupasir dan batulumpur karbonan yang beralterasi dengan batugamping mikrit pada periode Miosen Akhir hingga Plistosen. Lokasi penelitian berada dalam wilayah Formasi Tanah Merah dan Formasi Wasir yang terbentuk pada periode Holosen (Hartono & Ratman, 1992).

2.4 Interpretasi Seismik di Perairan Arafura, Papua Barat



Gambar 3. Penampang seismik setelah *picking* horizon di Perairan Arafura, Papua Barat (Pinto, 2016)

Pengambilan data atau data primer dan akuisisi data dilakukan menggunakan kapal riset Geomarin III yang dimiliki Puslitbang geologi kelautan (P3GL), dengan peralatan-peralatan survey seismik seperti *steamer*, *airgun*, *digybird*, serta peralatan geofisika pendukung lainnya. Sedangkan untuk data bathymetri didapat dengan menggunakan alat sequest 2010. Data sekunder yang digunakan oleh penulis adalah data-data literatur yang terkait dengan kondisi regional daerah penelitian. Data ini berfungsi untuk mendukung proses analisa pada data primer. Pada Gambar 3 menunjukkan pola refleksi seismik yang lebih jelas pola-pola refleksi yang terlihat beraturan dan menerus. Namun beberapa bagian yang terlihat pola refleksi yang tidak beraturan karena tiba-tiba memotong bidang menuju permukaan dasar laut. Hal ini memungkinkan adanya indikasi suatu produk dari kedalaman yang menerobos ke atas pada bagian-bagian tersebut. Hal ini terjadi karena daerah ini memiliki aktifitas tektonik yang berakarya hingga mengalami pergerakan. Dengan interpretasi pada Gambar 3 ada pula lipatan lipatan antiklinal dan *trast fault* (sesar normal/sesar turun) yang terbentuk, dikarenakan rentang gaya atau tekanan yang bekerja tegak lurus sehingga membentuk struktur geologi.

III. TEORI DASAR

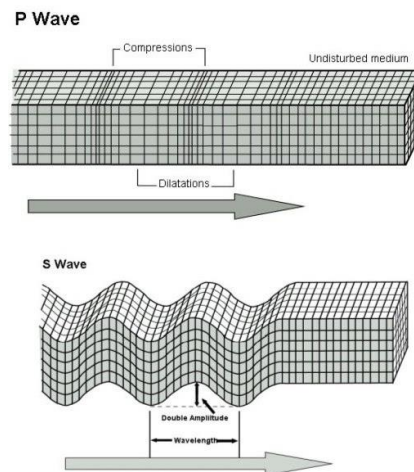
3.1 Metode Seismik Refleksi

Metode seismik refleksi merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki struktur lapisan bawah permukaan dengan target kedalaman yang cukup jauh. Metode ini memanfaatkan sifat perambatan gelombang, yaitu gelombang pantul yang merambat melalui bumi sebagai mediumnya. Metode ini memberikan gambaran bawah permukaan yang cukup baik. Tiga tahap utama dalam metode ini adalah akuisisi, pengolahan, dan interpretasi. Dari ketiga tahapan tersebut, tahapan pengolahan merupakan tahapan yang sangat berpengaruh karena pada tahapan ini data yang terekam pada field tape (hasil akuisisi seismik *pre* baik pada data darat, data zona transisi, maupun data kelautan) akan diproses untuk menghasilkan penampang seismik yang dapat menggambarkan struktur lapisan bawah permukaan bumi. Urutan proses dalam pengolahan data seismik dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *preprocessing*, *processing* dan *postprocessing*. Metode seismik dapat dilakukan di darat atau di laut. Penerapan metode seismik refleksi misalnya untuk eksplorasi minyak, mendeteksi struktur bawah tanah seperti patahan, mengetahui struktur bawah permukaan yang kompleks serta stratigrafinya, serta dapat digunakan untuk menentukan lokasi sumber gempa (Sukmono, 1999).

3.2 Klasifikasi Gelombang Seismik

Gelombang seismik berdasarkan tempat penjarannya terdiri dari dua tipe yaitu (Ibrahim & Subardjo, 2005):

1. Gelombang badan, juga dikenal sebagai gelombang tubuh (*body wave*), adalah jenis gelombang yang merambat melalui lapisan dalam bumi dan sering disebut sebagai gelombang bebas (*free wave*) karena memiliki kemampuan untuk merambat ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari beberapa jenis:
 - a. Gelombang P (Primer) adalah gelombang di mana getaran partikel-partikel dalam medium bergerak searah dengan arah perambatannya. Gelombang ini sering disebut sebagai gelombang kompresi (*compressional wave*) karena terbentuk dari pergerakan tekanan yang merambat dari satu tempat ke tempat lainnya.
 - b. Gelombang S (Sekunder) adalah gelombang di mana getaran partikel-partikel dalam medium bergerak tegak lurus terhadap arah perambatannya.

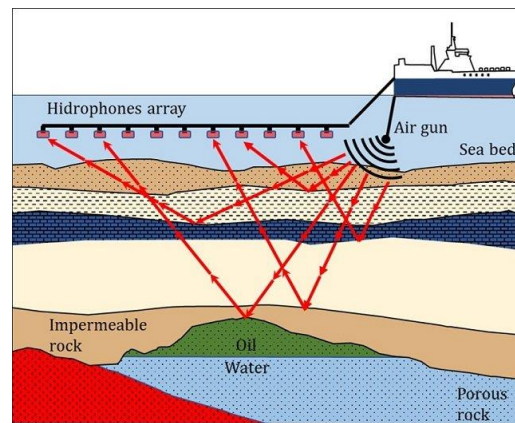


Gambar 4. Gelombang badan: S Waves (atas) dan P Waves (bawah) (Stein & Wysession, 2003)

2. Gelombang permukaan (*surface waves*) adalah gelombang elastis yang merambat sepanjang permukaan. Gelombang ini terikat oleh permukaan atau lapisan tertentu saat merambat. Terdapat beberapa jenis gelombang permukaan utama, termasuk Gelombang Rayleigh, Gelombang Love, dan Gelombang Stonely.

3.2.1 Prinsip Dasar Gelombang Seismik

Prinsip kerja metode seismik melibatkan pemasangan *geophone* di lokasi atau tanah yang akan diselidiki sebagai alat penerima getaran. Sumber getaran ini dapat dihasilkan dari berbagai cara, seperti ledakan dinamit atau dengan menggunakan suatu pemberat yang dijatuhkan ke permukaan tanah, yang dikenal sebagai *Weight Drop*.

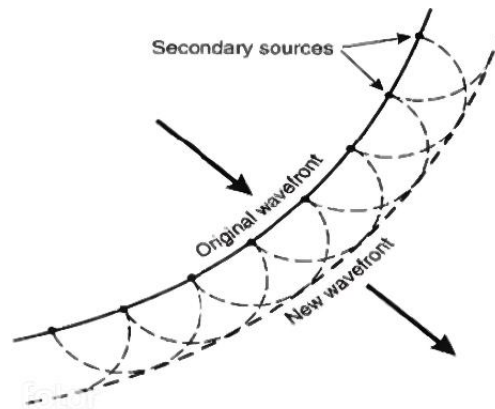


Gambar 5. Sketsa survey seismik

3.3 Teori Penjalaran Gelombang Seismik

3.3.1 Prinsip Huygens

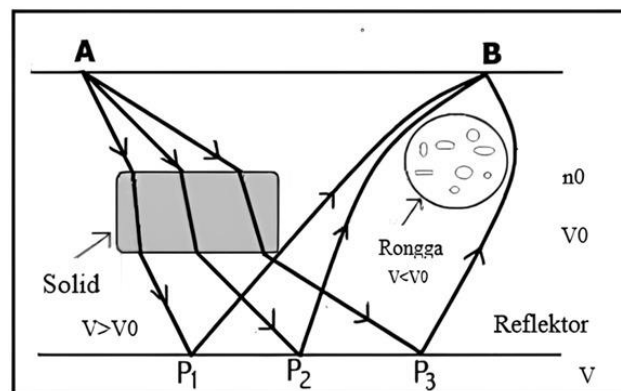
Prinsip Huygens menyatakan bahwa setiap titik-titik pengganggu yang berada di depan muka gelombang utama akan menjadi sumber bagi terbentuknya deretan gelombang yang baru. Energi total dari gelombang-gelombang baru ini akan sama dengan energi gelombang utama.



Gambar 6. Ilustrasi prinsip Huygen (Sherear,1999)

3.3.2 Prinsip Fermat

Prinsip Fermat menyatakan bahwa ketika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik lain, gelombang tersebut akan mengambil jalur yang merupakan jalur tercepat atau yang memerlukan waktu tempuh paling singkat. Lintasan yang diambil oleh gelombang dari satu titik ke titik lainnya akan menjadi jalur terpendek atau tercepat, baik dalam arti waktu tempuh minimum atau maksimum terhadap kemungkinan lintasan terdekat yang ada (Hidayatullah, 2010).



Gambar 7. Ilustrasi prinsip fermat (Sherear,1999)

3.3.3 Hukum Snellius

Hukum Snellius menyatakan bahwa ketika suatu gelombang bertemu dengan bidang batas antara dua medium yang memiliki perbedaan densitas,

gelombang tersebut akan mengalami pembiasan atau pembelokan. Jika sudut datang gelombang kurang dari atau sama dengan sudut kritis, gelombang akan dibiaskan. Namun, jika sudut datang gelombang lebih besar dari sudut kritis, gelombang akan dipantulkan. Selain itu, posisi gelombang datang, gelombang bias, dan gelombang pantul akan berada dalam satu bidang datar. Hukum Snell menjelaskan persamaan hubungan antara sinus sudut bias dengan cepat rambat gelombang dalam medium yang ditulis dalam persamaan:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

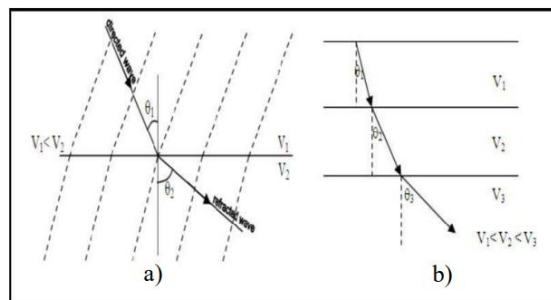
Keterangan:

θ_1 dan θ_2 = Sudut datang dan sudut bias

v_1 dan v_2 = Kecepatan cahaya sinar datang dan sinar bias

n_1 = Indeks bias medium yang dilalui sinar datang

n_2 = Indeks bias medium yang dilalui sinar bias



Gambar 8. Hukum Snellius a) Dua lapisan; b) Banyak lapisan
(Shearer, 1999)

3.4 Impedansi Akustik

Impedansi akustik atau *acoustic impedance* (AI) adalah kemampuan batuan untuk dapat melewatkan gelombang seismik yang melaluinya. Secara fisis, impedansi akustik merupakan hasil perkalian antara kecepatan gelombang

dengan densitas batuan. Semakin keras suatu medium yang dilewatinya, maka nilai impedansi akustik akan semakin besar, sehingga dapat dituliskan:

$$AI = \rho \cdot V \quad (2)$$

Dengan keterangan:

AI = impedansi akustik (m/s. gr/m³)

ρ = densitas (gr/m³)

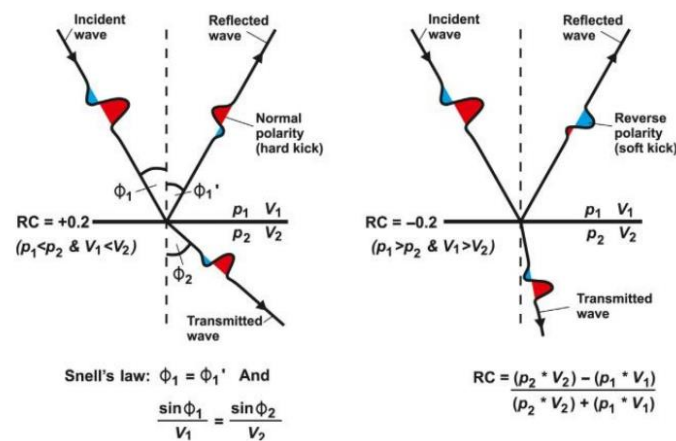
V = kecepatan gelombang seismik (m/s)

Penentuan nilai kontras IA dominan dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang akustik. Batuan dengan karakteristik yang lebih kompak akan memiliki IA yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan yang tidak kompak dan semakin besar *amplitude* refleksinya maka semakin besar pula kontras IA tersebut (Sukmono, 2000).

3.5 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi (RC) didefinisikan sebagai perbedaan akustik impedansi (AI) antara dua jenis batuan yang memberikan rasio amplitudo antara gelombang pantul dan gelombang datang. RC pada antarmuka dihitung menggunakan Persamaan Zoeppritz, yang memakai harga AI yang berbeda dari dua lapisan. Nilai koefisien refleksi juga mempengaruhi proporsi energi gelombang seismik yang dipantulkan kembali ke permukaan dari antarmuka. Jika nilai RC positif, persentase energi tersebut akan direfleksikan kembali sebagai *wavelet* polaritas yang sama. Begitupun juga berlaku untuk nilai RC negatif dengan polaritas *wavelet* akan dibalik. Persamaan Zoeppritz dapat ditulis sebagai:

$$RC = \frac{AI_2 - AI_1}{AI_2 + AI_1} \quad (3)$$



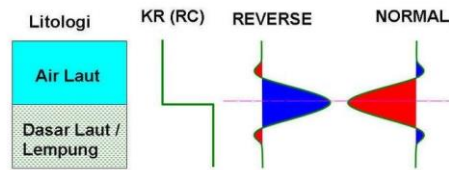
Gambar 9. Koefisien refleksi dan pembalikan polaritas (Cox dkk., 2020)

3.6 Polaritas dan Fasa

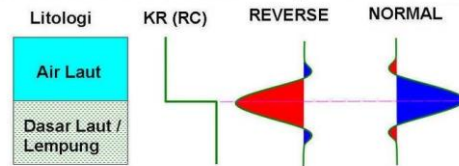
Polaritas digunakan untuk mempermudah interpretasi dalam menandai batas litologi, yang sering dikenal sebagai koefisien refleksi dan memiliki nilai positif atau negatif. Saat nilai *amplitude* saat $IA_2 > IA_1$, hasilnya adalah bentuk puncak (*peak*), sementara jika $IA_2 < IA_1$, akan menghasilkan bentuk lembah (*trough*). Saat ini, ada dua jenis polaritas yang umum digunakan, yaitu polaritas normal dan polaritas terbalik (*reverse*). Terdapat dua konvensi polaritas yang sering dipakai, yaitu standar SEG (*Society of Exploration Geophysicists*) dan standar Eropa, keduanya memiliki orientasi kebalikan satu sama lain.

Wavelet dengan panjang yang terbatas memiliki fasa yang khas. Dalam konteks eksplorasi seismik, fasa dari sebuah *wavelet* biasanya dibagi menjadi tiga bagian: fasa minimum, fasa nol, dan fasa maksimum. Fasa minimum ditandai dengan energi amplitudo yang tinggi yang terdapat pada bagian awal *wavelet*, fasa nol memiliki amplitudo yang simetris, sementara fasa maksimum memiliki amplitudo yang besar pada bagian akhir *wavelet*. Pada fasa nol, batas koefisien refleksi ditempatkan baik pada puncak maupun lembah dari *wavelet*.

STANDAR SEG (ZERO PHASE)



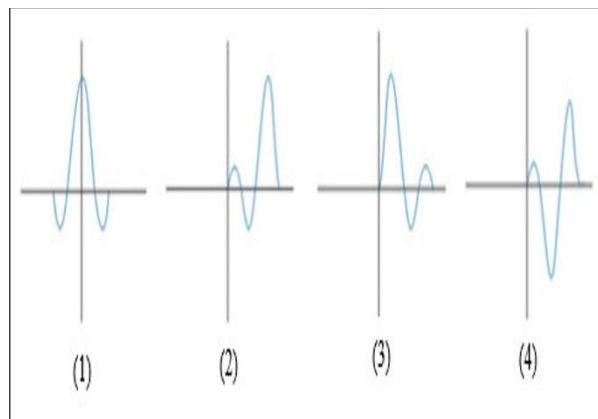
STANDAR EROPA (ZERO PHASE)



Gambar 10. Polaritas dan fasa (Sukmono, 2000)

3.7 Wavelet

Wavelet adalah gelombang harmonik yang memiliki *amplitude*, frekuensi dan fasa tertentu dan merepresentasikan suatu reflektor berupa batas lapisan batuan yang terekam oleh *receiver*.



Gambar 11. Jenis *wavelet* berdasarkan energinya, (4) *Mixed phase wavelet*, (3) *Minimum phase wavelet*, (2) *Maximum phase wavelet*, (1) *Zero phase wavelet* (Sismanto, 2006).

Wavelet dibagi menjadi empat jenis berdasarkan konsentrasi energinya, yaitu:

1. *Zero Phase Wavelet*

Wavelet berfasa nol (disebut juga *wavelet* simetris) merupakan jenis *wavelet* yang lebih baik dari semua jenis *wavelet* yang mempunyai spektrum *amplitude* yang sama.

2. *Minimum Phase Wavelet*

Wavelet berfasa minimum (*minimum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat pada bagian depan. Dibandingkan jenis *wavelet* yang lain dengan spektrum *amplitude* yang sama, *wavelet* berfasa minimum mempunyai perubahan atau pergeseran fasa terkecil pada tiap-tiap frekuensi.

3. *Maximum Phase Wavelet*

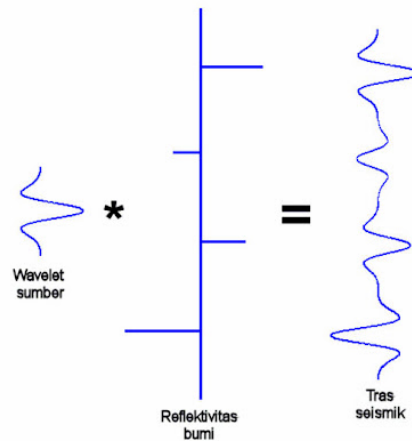
Wavelet berfasa maksimum (*maximum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat secara maksimal di bagian akhir dari *wavelet* tersebut, jadi merupakan kebalikan dari *wavelet* berfasa minimum.

4. *Mixed Phase Wavelet*

Wavelet berfasa campuran (*mixed phase wavelet*) merupakan *wavelet* yang energinya tidak terkonsentrasi di bagian depan maupun di bagian belakang (Sukmono, 1999).

3.8 Trace Seismik

Trace seismik adalah representasi dari reflektivitas di bawah permukaan bumi yang telah dikonvolusikan dengan *wavelet* dari sumber gelombang seismik. Dalam proses konvolusi ini, terdapat faktor tambahan yang berupa gangguan atau *noise*. Gangguan atau *noise* ini dapat memengaruhi data seismik yang terekam. (Russell, 1996). Dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.



Gambar 12. Tras seismik

$$S(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (4)$$

dengan:

$S(t)$ = *trace* seismik

$w(t)$ = *wavelet* seismik

$r(t)$ = reflektivitas bumi

$n(t)$ = *noise*

3.9 Resolusi Seismik

Seismik Resolusi adalah jarak minimum antara dua objek yang dapat dipisahkan oleh gelombang seismik (Sukmono, 1999). Resolusi dalam gelombang seismik didefinisikan sebagai kemampuan gelombang seismik untuk memisahkan dua objek yang berbeda. Resolusi vertikal dapat dihitung dalam persamaan:

$$\text{Resolusi vertikal} = \lambda/4 \quad (5)$$

Dengan λ merupakan panjang gelombang (m). Resolusi seismik vertikal biasanya menurun seiring kedalaman karena pengurangan frekuensi *wavelet* (frekuensi tinggi dipantulkan oleh reflektor yang relatif dangkal) dan peningkatan kecepatan. Hal ini meningkatkan panjang gelombang dan ketebalan minimum antara dua unit batuan yang dibutuhkan agar satu unit dapat dideteksi pada data seismik. Ketebalan minimum tubuh batuan untuk

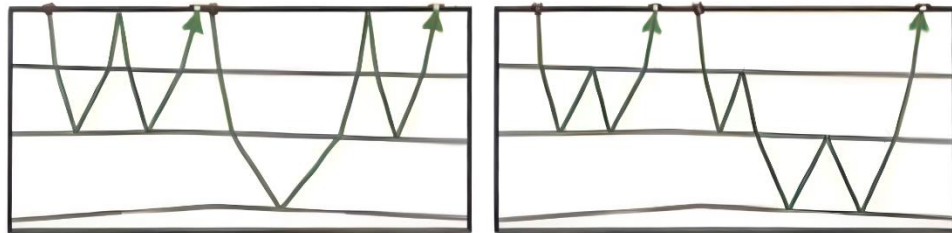
dapat memberikan refleksi sendiri. Hanya batuan yang mempunyai ketebalan di atas $1/4 \lambda$ yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Ketebalan ini biasa disebut ketebalan tuning (*tuning thickness*). Teknik pemodelan sering digunakan untuk memprediksi lapisan yang memiliki ketebalan kurang dari $1/4$ dari panjang gelombang. Hal ini dapat dilihat melalui variasi amplitudo refleksi. Saat kedalaman bertambah, kecepatan gelombang juga meningkat dan frekuensi gelombang semakin menurun, yang menyebabkan ketebalan tuning menjadi lebih besar.

Resolusi horizontal lebih rumit daripada resolusi vertikal karena efek akuisisi dan alur pengolahan data serta model kecepatan yang tidak sempurna. Lebar Zona Fresnel adalah pada batas energi dipantulkan sebagai indikator untuk resolusi horizontal dan bergantung pada panjang gelombang (λ) sama halnya seperti resolusi vertikal. Contoh upaya untuk mengurangi lebar zona Fresnel dan meningkatkan resolusi horizontal yakni mengurangi jarak lintasan selama akuisisi dan melakukan proses migrasi selama pemrosesan data (Cox dkk., 2020).

3.10 *Multiple*

Multiple merupakan salah satu jenis *noise* yang koheren, artinya *noise* tersebut memiliki keteraturan di dalam data seismik. *Multiple* terjadi akibat dari kontras penurunan kecepatan atau dengan kata lain terjadinya koefisien refleksi yang negatif. Sebagai contoh pada data seismik laut, refleksi *multiple* terjadi dikarenakan adanya kontras impedansi yang besaar antara permukaan lapisan air dan udara dengan koefisien refleksi air dan udara mendekati -1. Sehingga, energi gelombang terjebak diantara permukaan air dan bagian bawah permukaan air. Dalam pengklasifikasian *multiple*, terdapat setidaknya 2 pertimbangan, yaitu refleksi antarmuka dan lamanya waktu penjarangan gelombang. Berdasarkan pertimbangan pertama, *multiple* terbagi menjadi dua bagian, yaitu internal *multiple* dan *surface-related multiple*. Internal *multiple* merupakan *multiple* yang terefleksikan kembali ke bawah di batas lapisan

reflektor pertama di bawah batas lapisan permukaan sebelum gelombang tersebut direfleksikan kembali ke atas dan direkam oleh penerima. Adapun *surface-related multiple* merupakan *multiple* yang terefleksikan kembali ke bawah namun pada lapisan permukaan sebelum akhirnya direfleksikan kembali ke atas dan direkam oleh penerima. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar.



Gambar 13. Klasifikasi *multiple* berdasarkan refleksi antarmuka: Kanan: Internal *multiple*; Kiri: *Surface-related multiple* (Verschuur, 2006)

3.11 Filtering

Filtering bertujuan untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan dan meloloskan frekuensi yang diinginkan pada data seismik. Pada proses *filtering*, ada tiga proses *filtering*, antara lain *lowpass filter*, *highpass filter* dan *bandpass filter*.

1. *Lowpass Filter*

Filter ini digunakan untuk mengambil data seismik dengan frekuensi yang rendah dan meredam frekuensi yang tinggi dengan memberikan batasan frekuensi tertinggi yang masih diambil.

2. *Highpass Filter*

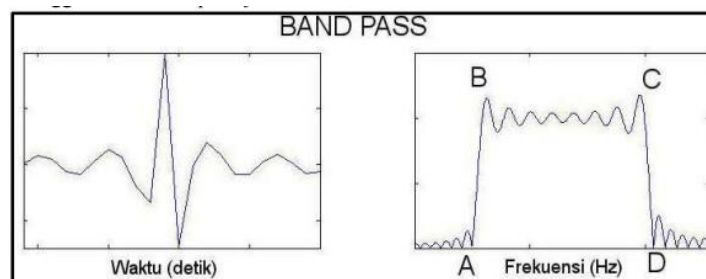
Filter ini digunakan untuk mengambil data seismik dengan frekuensi yang tinggi dan meredam frekuensi yang rendah dengan memberikan batasan frekuensi terendah yang masih diambil.

3. *Bandpass Filter*

Filter ini merupakan penggabungan dari dua filter sebelumnya, sehingga batasan yang diambil ialah frekuensi terendah dan tertinggi yang masih diambil. Dengan kata lain, bandpass filter merupakan filter yang hanya melewatkan sinyal-sinyal yang frekuensinya tercantum dalam pita frekuensi tertentu (Murdianto, 2009).

Proses *filtering* merupakan proses 'menyelamatkan' frekuensi yang diinginkan. Dalam pengolahan data seismik juga digunakan *band pass filter* karena biasanya gelombang seismik terkontaminasi *noise* frekuensi rendah (seperti *ground roll*) dan penyaringan *noise* frekuensi tinggi (*ambient noise*) berada pada wilayah waktu (*time domain*) dan wilayah frekuensi (*frequency domain*). Secara matematis, *filtering* merupakan hasil dari *Fast Fourier Transform* (FFT) dalam domain waktu menjadi frekuensi.

Filtering yang dilakukan dimaksudkan untuk memotong frekuensi-frekuensi bukan sinyal yang ada pada data seismik sehingga banyak *noise* yang berkurang. Pada penelitian ini pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *band pass filter*.



Gambar 14. *Bandpass filter*

Rumus umum untuk merancang filter *bandpass* (pita lebar) dalam konteks pengolahan data seismik adalah menggunakan fungsi transfer filter yang didasarkan pada domain frekuensi. Filter bandpass digunakan untuk menghilangkan komponen frekuensi rendah dan tinggi dari sinyal seismik, sehingga hanya komponen frekuensi dalam rentang tertentu yang diizinkan melewati filter.

$$H(f) = \left[1 - \left(\frac{f}{f_1}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{f_2}{f}\right)^2\right] \quad (6)$$

Dengan keterangan:

$H(f)$ = fungsi transfer filter pada frekuensi f

f = frekuensi

f_1 dan f_2 = frekuensi *cutoff* bawah dan atas dari filter *bandpass*, yang menentukan rentang frekuensi yang diizinkan.

3.12 *Editing (Muting dan Killing)*

Muting merupakan salah satu tahapan *editing* yang digunakan untuk menghilangkan sebagian sinyal (terutama sinyal-sinyal gelombang langsung dan refraksi). Adapun *killing* menghilangkan *trace* yang tidak diinginkan dengan cara mengeset *amplitude* tras tersebut menjadi nol. Proses ini berusaha mengoreksi *amplitude* yang dianggap tidak bagus dari setiap tras seismik yang terekam. Perbedaan antara *muting* dan *killing* diantaranya ialah *muting* beroperasi pada 2 dimensi sekaligus sedangkan *killing* beroperasi pada satu dimensi saja.

Jenis *noise* yang biasanya di-*edit* adalah (Sismanto, 1996):

1. *Trace* mati, karena *geophone* sengaja tidak dipasang, sehingga saluran akan mengandung *noise* instrumen atau karena kerusakan kanal.
2. *Trace* yang mengandung *noise* elektrostatik, biasanya frekuensi tinggi.
3. *Trace* yang merekam getaran langkah orang yang berjalan di dekat *geophone* saat berjalan.
4. *Cross feed*.
5. Daerah *first arrival* (bias gelombang, *initial muting*).
6. *Noise* pada *trace* yang mengelompok (gunakan *surgical muting*).

3.13 Dekonvolusi

Dekonvolusi adalah suatu proses yang bertujuan untuk menghilangkan efek dari konvolusi. Reflektivitas merupakan gambaran dari variasi sinyal, memiliki bentuk *spike* yang tinggi atau rendah bergantung pada koefisien refleksi pada batas antara lapisan yang berbeda. Koefisien refleksi ini dipengaruhi oleh perbedaan impedansi akustik antara kedua lapisan tersebut. Proses dekonvolusi bertujuan memperbaiki distorsi yang disebabkan oleh efek konvolusi sehingga informasi tentang struktur bawah permukaan dapat diinterpretasikan dengan lebih akurat. Tras seismik diasumsikan sebagai hasil konvolusi dari komponen reflektivitas $r(t)$ dengan *wavelet* $w(t)$ sumber. Persamaan konvolusi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$s(t) = w(t) * r(t) \quad (7)$$

Dengan menambahkan komponen random *noise* $V(t)$ seperti pada persamaan berikut:

$$sn(t) = w(t) * r(t) + V(t) \quad (8)$$

Model konvolusi seismik digunakan untuk menghitung seismogram sintetik $s(t)$ apabila diketahui *wavelet* $w(t)$ dan reflektivitas $r(t)$. Dekonvolusi merupakan inverse dari model konvolusi yang digunakan untuk menghitung reflektivitas $r(t)$ ketika diketahui tras seismik $s(t)$ dan *wavelet* sumber $w(t)$. Hal ini merupakan tujuan dekonvolusi yang paling sering digunakan. Selain itu tujuan dari dekonvolusi adalah menghitung *wavelet* $w(t)$ jika diketahui tras seismik $s(t)$ dan reflektivitas $r(t)$. Hal ini digunakan apabila tras seismik direkam dekat dengan lubang bor. Model konvolusi seismik umumnya memiliki beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Bumi terbentuk dari lapisan-lapisan horizontal dengan kecepatan konstan.
2. Sumber yang digunakan hanyalah gelombang P yang dipantulkan pada batas lapisan pada sudut normal.

3. *Wavelet* sumber bersifat stasioner dengan bentuk *wavelet* dianggap tidak berubah terhadap kedalaman tempuh pada bawah permukaan bumi.
4. Komponen *noise* $V(t)$ dianggap nol.
5. Reflektivitas $r(t)$ merupakan white random series dari impuls.
6. *Wavelet* seismik adalah *wavelet* fasa minimum, dengan energi *wavelet* terkonsentrasi pada waktu awalnya.

Trace seismik adalah hasil dari konvolusi antara deret koefisien refleksi dengan sinyal seismik. Dekonvolusi merupakan proses invers dari konvolusi, yaitu suatu proses untuk menghilangkan efek *wavelet* dari data seismik sehingga menghasilkan reflektivitas bumi saja. Ada beberapa tujuan dilakukannya dekonvolusi, diantaranya:

- a. Menghilangkan *ringing*.
- b. Meningkatkan resolusi vertikal.
- c. Memperbaiki penampilan dari *stacked section* sehingga menjadi lebih mudah untuk diinterpretasi dan lebih mirip dengan model geologi.
- d. Menghilangkan *multiple*.

Dekonvolusi dilakukan sepanjang sumbu waktu (*time axis*) yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi temporal dengan mengkompresi *wavelet* seismik asal sampai mendekati bentuk *spike* dan meminimalkan reverberasi gelombang.

Pada awal tahap dekonvolusi, penting untuk menentukan suatu *time gate* yang mencakup nilai-nilai sinyal terhadap rasio sinyal terhadap *noise* (*signal to noise ratio*) yang memadai. Hal ini diperlukan agar operator dekonvolusi yang diterapkan dapat memberikan hasil yang akurat. Biasanya, rentang nilai *signal to noise ratio* yang masih cukup baik terdapat antara *first break time* hingga beberapa mili detik di bawahnya, di mana amplitudo sinyal masih cukup kuat dan jelas terlihat. Dekonvolusi merupakan proses pengolahan data seismik yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi vertikal dengan cara menyempitkan *wavelet* seismik. Proses ini umumnya dilakukan sebelum proses *stacking*, meskipun

terkadang dapat juga diterapkan setelah proses *stacking*. Selain meningkatkan resolusi vertikal, dekonvolusi juga dapat membantu dalam mengurangi efek '*ringing*' atau *multiple* yang dapat mengganggu interpretasi data seismik.

Salah satu jenis dekonvolusi adalah tipe *spike/ predictive* dekonvolusi, di mana konsep dari metode ini yaitu dengan menggunakan teori filter wiener yang merupakan sebuah operasi matematik yang menganut asas kuadrat terkecil dalam menjalankan operasinya. Dekonvolusi dilakukan dengan melakukan konvolusi antara data seismik dengan sebuah filter yang dikenal dengan *wiener filter*. *Filter wiener* diperoleh melalui permasalahan matriks berikut.

$$a \times b = c \quad (9)$$

Keterangan:

- a adalah hasil autokorelasi *wavelet input* (*wavelet* input diperoleh dengan mengekstrak dari data seismik).
- b adalah fillter wiener.
- c adalah kros korelasi antara *wavelet* input dengan output yang dikehendaki.

Output yang dikehendaki terbagi menjadi beberapa jenis (Yilmaz, 1987):

1. *Zero lag spike (spiking deconvolution)*
2. *Spike* pada *lag* tertentu
3. *Time advanced form of input series (predictive deconvolution)*
4. *Zero phase wavelet*
5. *Wavelet* dengan bentuk tertentu (*wiener shaping filters*)

Zero lag spike memiliki bentuk [1, 0, 0, 0, ..., 0] yakni amplitudo bukan nol terletak para urutan pertama. Jika *output* yang dikehendaki memiliki bentuk [0, 0, 1, 0, ..., 0] maka disebut *spike* pada lag 2 (amplitudo bukan nol

terletak para urutan ketiga) dan seterusnya. Dalam bentuk matrix, persamaan filter wiener dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} \\ a_1 & a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} \\ a_2 & a_1 & a_0 & \dots & a_{n-3} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & a_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{n-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dimana n adalah jumlah elemen. Matriks a diatas merupakan matriks dengan bentuk spesial yakni matriks Toeplitz, dimana solusi persamaan diatas secara efisien dapat dipecahkan dengan solusi Levinson. Dengan demikian operasi Dekonvolusi jenis ini seringkali dikenal dengan Metode Wiener-Levinson. Untuk memberikan kestabilan dalam komputasi numerik diperkenalkan sebuah *Prewhitening* ϵ yakni dengan memberikan pembobotan dengan rentang 0 s.d 1 pada *zero lag* matriks a (sehingga elemen a_0 matrix di atas menjadi $a_0(1+\epsilon)$).

3.13.1 Dekonvolusi Prediktif

Prediktif dekonvolusi dirancang dengan memanfaatkan fungsi autokorelasi dari jejak seismik masukan yang diasumsikan sebagai *signature wavelet*. Penggunaan prediktif dekonvolusi dipilih karena kemampuannya untuk menekan gangguan-gangguan yang diramalkan setelah terjadi peristiwa refleksi yang belum dapat dipastikan seperti *multiple* yang terjadi dengan perioda pendek maupun perioda panjang. Metode *Predictive Deconvolution* digunakan untuk memprediksi *error trace* yang bisa digunakan untuk memperkirakan reflektifitas seismik dan mengatenuasi/ menghilangkan *multiple* serta meningkatkan resolusi seismik. Rumus dekonvolusi prediktif dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$DK = \frac{S_K^*}{K_K^*} \quad (11)$$

Dengan keterangan:

Tanda asterisk (*) adalah menunjukkan konjugat kompleks.

DK = data hasil dekonvolusi pada frekuensi ke-k.

S_K^* = spektrum frekuensi data seismik yang telah dikonvolusi sebelumnya pada frekuensi ke-k.

K_K^* = spektrum frekuensi kernel konvolusi pada frekuensi ke-k.

Metode dekonvolusi prediktif, yang menggunakan jarak prediksi lebih besar dari satu, umumnya digunakan dalam industri minyak dan gas untuk menghapus beberapa refleksi dari data seismik. Dalam konteks ini, hasil dari proses dekonvolusi menghasilkan serangkaian reflektivitas bawah permukaan untuk *wavelet* yang merupakan minimum fase. Ketika menggunakan jarak prediksi lebih besar dari satu, filter prediksi ini berkaitan secara rekursif (Ulrych dkk.,1973).

Berikut merupakan manfaat dari dekonvolusi prediktif:

1. Mengatenuasi gelombang *multiple*
2. *Multitrace Sensing*
3. *Prediksi noise* berupa gelombang *multiple* dan gema

3.13.1.1 Filter Prediktif

Filter prediktif merupakan sebuah filter digital yang beroperasi berdasarkan informasi yang diperoleh dari bagian awal suatu gelombang dengan tujuan menghilangkan komponen yang tidak diinginkan di bagian belakang gelombang tersebut. Fungsinya adalah untuk meredam atau mengurangi gangguan-gangguan yang tidak diinginkan pada gelombang, seperti *noise-noise* yang bersifat koheren, contohnya adalah *multiple*. Dengan cara ini, filter prediktif berusaha untuk meningkatkan kualitas sinyal dengan mengurangi gangguan yang mungkin mengganggu analisis atau interpretasi data seismik.

Matriks Robinson & Treitel digunakan untuk memfilter data untuk estimasi nilai $x(t+\gamma)$. Dengan asumsi $x(t)$ adalah input dan $(t+\gamma)$ adalah nilai prediksi pada waktu tertentu, dimana γ adalah prediksi lag. Dimasukan nilai $g(t)$ kedalam persamaan normal dan didapatkan:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & & r_{n-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & & r_{n-3} \\ ' & ' & ' & & ' \\ ' & ' & ' & & ' \\ ' & ' & ' & & ' \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ ' \\ ' \\ ' \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ ' \\ ' \\ ' \\ g_{n-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Misalnya untuk data input X_i , dimana $i = 0,1,2,3,4$ dan $\gamma = 2$, dilakukan autokorelasi data input $[X_0, X_1, X_3, X_4]$ dan korelasi silang antara output $x(t+2)$ dengan input $x(t)$, kita akan mendapatkan matriks Robinson berikut:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \\ r_1 & r_0 & r_1 & r_2 & r_3 \\ r_2 & r_1 & r_0 & r_1 & r_2 \\ r_3 & r_2 & r_1 & r_0 & r_1 \\ r_4 & r_3 & r_2 & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Dengan a_i adalah koefisien filter dimana $i = 0,1,2,3,4$ Lalu dilakukan dekonvolusi prediksi antara filter prediksi $\gamma(t)$ dengan data input untuk menghasilkan output aktual $y(t)$.

$$\begin{aligned} y_0 &= a_0 x_0 \\ y_1 &= a_1 x_0 + a_0 x_1 \\ y_2 &= a_2 x_0 + a_1 x_1 + a_0 x_2 \\ y_3 &= a_3 x_0 + a_2 x_1 + a_1 x_2 + a_0 x_3 \\ y_4 &= a_4 x_0 + a_3 x_1 + a_2 x_2 + a_1 x_3 + a_0 x_4 \end{aligned} \quad (14)$$

Prediction filter $F(t)$, menetapkan *prediction error series* $p_u(t)$ sebagai perbedaan antara output yang diinginkan dan *output actual*.

$$p_u(t) = d(t) - y(t) = x(t+\alpha) - f(t)*x(t) \quad (15)$$

$y(t)$ dapat dijadikan pemikiran untuk memprediksi *multiple*, $p_u(t)$ tidak dapat diprediksi (random) dan $d(t)$ adalah rata-rata. Dapat dituliskan $p_u(t) = e(t+\alpha)$, yang berupa time-advance respon bumi yang dicapai. Perhitungan prediksi error $\beta_{i+2} = X_{i+2} - y_i$

$$\begin{aligned} \beta_2 &= x_2 - a_0 x_0 \\ \beta_3 &= x_3 - a_1 x_0 - a_0 x_1 \\ \beta_4 &= x_4 - a_2 x_0 - a_1 x_1 - a_0 x_2 \\ \beta_5 &= 0 - a_3 x_0 - a_2 x_1 - a_1 x_2 - a_0 x_3 \\ \beta_6 &= 0 - a_4 x_0 - a_3 x_1 - a_2 x_2 - a_1 x_3 - a_0 x_4 \end{aligned} \quad (16)$$

Hasil ini juga bisa didapatkan dengan konvolusi langsung data input X_i , dengan koefisien filter $[1, 0, -a_i]$ dimana $i = 0, 1, 2, 3, 4$.

- Deret $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$ adalah filter prediksi dan deret $(1, 0, -a_0, -a_1, -a_2, -a_3, -a_4)$ adalah filter prediksi *error*.
- Prediksi filter menghasilkan komponen terprediksi yaitu gelombang *multiple* dari *trace* seismik, dan untuk komponen tak terprediksi, deret koefisien refleksi berperan sebagai deret error. Bentuk akhir persamaan untuk filter prediksi sebanyak $-n$ dan lag prediksi γ adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & & r_{n-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & & r_{n-3} \\ ' & ' & ' & & ' \\ ' & ' & ' & & ' \\ ' & ' & ' & & ' \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ ' \\ ' \\ ' \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_\gamma \\ r_{\gamma+1} \\ r_{\gamma+2} \\ ' \\ ' \\ ' \\ r_{\gamma+n-1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

3.13.1.2 Dereverberasi

Dereverberasi merupakan fenomena yang banyak dijumpai pada seismik eksplorasi di laut. Hal ini diakibatkan karena dasar laut dapat bertindak sebagai reflektor yang kuat dan permukaan laut memang sudah merupakan pemantulan yang kuat juga dengan koefisien refleksi ≈ -1 . Dekonvolusi prediktif bertujuan untuk memprediksi elemen pengulangan yang muncul dalam *trace* seismik karena adanya fenomena seperti *multiples*, *ringing*, dan lainnya. Setelah memprediksi elemen pengulangan ini, dekonvolusi menghasilkan sebuah operator dengan panjang tertentu yang bertujuan untuk mengeliminasi elemen pengulangan tersebut. Tujuan akhirnya adalah untuk menyisakan komponen acak dari reflektivitas bawah permukaan bumi, yang merupakan informasi yang lebih berguna dan diharapkan membantu dalam interpretasi yang lebih akurat terhadap struktur geologi di bawah permukaan.

3.13.2 Dekonvolusi *Spiking*

Spike deconvolution didesain dengan asumsi *wavelet* yang digunakan berupa impuls, sehingga keluaran yang diharapkan *trace* seismik yang mendekati fungsi koefisien refleksi. Fungsi ini digambarkan dalam domain frekuensi akan berupa spektrum amplitudo konstan sepanjang harga frekuensi yang didefinisikan (Harjumi dan Rafie, 2014). *Spiking deconvolution* pada prinsipnya ditujukan untuk membentuk sinyal. Dalam keadaan khusus bila sinyal yang diinginkan berupa paku (*spike*), maka dekonvolusinya disebut *spiking* dekonvolusi. Konsep untuk menyelesaikan hal ini ada di dalam teori yang disebut Filter Wiener.

Filter Wiener adalah sebuah proses operasi matematik yang menganut azas kuadrat terkecil dalam menjalankan operasinya. Tahap operasinya dibagi menjadi dua tahap, yakni tahap perancangan (*filter design*) dan tahap pemakaian (*filter application*) (Claerbout, 1985).

1. Filter Invers

Konsep filter inversi muncul berdasarkan anggapan bahwa bumi telah bertindak sebagai filter, sehingga sinyal seismik yang kita rekam mempunyai bentuk yang rumit. Filter inversi adalah suatu filter yang dirancang untuk mengembalikan bentuk sinyal seismik yang rumit tadi menjadi sederhana seperti paku.

$$w(t) * f(t) = \delta(t) \quad (18)$$

$F(f)$ adalah invers filter untuk $W(f)$.

$$W(f) F(f) = 1 \quad (19)$$

dimana $W(f)$, $F(f)$, dan 1 adalah FTs dari $w(t)$, $f(t)$, dan $\delta(t)$ masing-masing.

Dari persamaan di atas didapatkan:

$$F(f) = 1/W(f) = [1/|W(f)|] \exp[-\phi_w(f)] \quad (20)$$

$$\therefore |F(f)| = 1/|W(f)| \text{ dan} \quad (21)$$

$$\phi_f(f) = -\phi_w(f) \quad (22)$$

Di mana $|W(f)|$ dan ϕ_w adalah amplitud dan *phase spectra* dari $|F(f)|$ dan $\phi_f(f)$ dimana amplitud dan *phase spectra* adalah $f(t)$.

Invers filter $f(t)$ dan *trace* seismik $S(t)$

$$f(t) * s(t) = [f(t) * w(t)] * e(t) = \delta(t) * e(t) = e(t), \quad (23)$$

persamaan normal invers filter, design invers filter dari *wavelet* sumber *output* yang diinginkan adalah *zero lag spike*.

$$x(t) = w(t) = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1}) \quad (24)$$

$$f(t) = (f_0, f_1, \dots, f_{n-1}) \quad (25)$$

$$d(t) = (1, 0, \dots, 0) \quad (26)$$

2. Filter Inversi di Domain Frekuensi

Di domain frekuensi filter inversi dapat dilakukan di domain frekuensi, bila spektrum seismik yang akan kita dekonvolusi adalah $S(f)$, maka filter inversinya adalah:

$$X(f) = S(f)G(f) \quad (27)$$

$$\text{invers } S(f) \quad (28)$$

$$F(f) = \frac{1}{sf} \quad (29)$$

Aplikasikan ke spectrum pada seismogram $X(f)$:

$$X(f) S(f) = G(f) \quad (30)$$

Filter inversi ini dapat direalisasikan bila nilai-nilai semua komponen $S(f) > 0$. Bila salah satu saja dari komponennya berharga nol, maka $F(f)$ tidak dapat direalisasikan karena akan ada nilai yang besarnya tak berhingga. Untuk mengatasi masalah ini, maka pada umumnya orang menambahkan “*white noise*” kepada spektrum sinyal. Pekerjaan ini disebut *spectral pre whitening*. *White noise* yang ditambahkan ini tidak boleh terlalu besar, kira-kira sekitar 1% atau beberapa persen saja relatif terhadap amplitudo maksimum dari spektrum sinyalnya.

Teknik-teknik dekonvolusi yang diterapkan setelah proses *stacking* bertujuan untuk meredam atau mengurangi *noise* yang koheren. *Noise* yang koheren sebenarnya adalah sinyal seismik yang memiliki lintasan perambatan, tetapi lintasannya melalui jalur yang tidak diinginkan atau tidak relevan. Ini berbeda dari pantulan-pantulan primer yang merupakan refleksi bawah permukaan yang diinginkan dalam proses seismik. (Schultz, 1985).

3.14 Data Stack Seismik

Data *stack* seismik yaitu kumpulan data yang telah diproses dan digabungkan dengan cara menjumlahkan atau menghitung rata-rata jejak seismik yang direkam pada jarak dan/atau arah pemancar (*source*) dan penerima (*receiver*) yang berbeda. Proses pembuatan data *stack* seismik ini dikenal dengan istilah "*stacking*" atau "peng-stakan data." Data seismik dikumpulkan melalui survei seismik, di mana sumber energi (seperti getaran atau bahan peledak) menghasilkan gelombang seismik yang bergerak ke bawah permukaan bumi. Gelombang tersebut memantul dari lapisan dan struktur bawah permukaan, dan sinyal-sinyal pantulannya direkam oleh *geophone* atau penerima lainnya. Rekaman ini disebut "jejak seismik" (*seismic traces*). *Stack* merupakan salah satu dari tiga teknik penting dalam pemrosesan data selain dekonvolusi migrasi yang berperan penting dalam meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise* (S/N) dalam pemrosesan data seismik (Yilmaz, 2001).

3.14.1 CMP Stack

CMP (*Common Midpoint*) pertama kali diperkenalkan oleh Mayne pada tahun 1962. Teknik *CMP Stack* melibatkan proses penjumlahan dari beberapa *trace* dalam satu *gather* data setelah dilakukan koreksi *Normal Moveout* (NMO), dengan tujuan meningkatkan *signal to noise ratio* (S/N). Proses ini umumnya dilakukan berdasarkan *Common Depth Point* (CDP), yaitu *trace-trace* yang tergabung dalam satu CDP yang telah dikoreksi NMO, kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan satu *trace* yang tajam dan mengurangi *noise* yang tidak konsisten. Penerapan CMP dilakukan dengan menempatkan *trace* di titik tengah (*midpoint*) antara lokasi *source* dan *receiver*. Setiap titik CMP akan memiliki lebih dari satu pasangan *source-receiver*. *CMP gather* merupakan kumpulan *trace* yang memiliki titik CMP yang sama. Keberhasilan koreksi *Normal Moveout* (NMO) terlihat dari sinyal gelombang yang tampak *flat* pada setiap *CMP gather*. Dalam proses ini, penjumlahan *offset* pada setiap *CMP gather* akan

meningkatkan intensitas sinyal gelombang utama, sementara *random noise* akan cenderung melemah setelah proses penjumlahan ini. Melalui proses *CMP stack*, rasio sinyal terhadap *noise* (S/N) dapat ditingkatkan. Dalam survei seismik, energi sumber digunakan untuk membangkitkan gelombang seismik yang menyebar ke dalam tanah dan terpantul dari lapisan bawah permukaan. Sinyal-sinyal ini kemudian direkam oleh penerima seperti *geophone*.

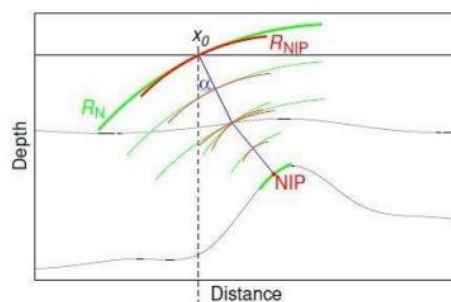
Metode *stack* konvensional dilakukan dengan menggabungkan atau meratakan data yang telah melalui koreksi *Normal Moveout* (NMO) atau bahkan setelah proses migrasi. Teknik ini secara optimal berfungsi saat komponen *noise* pada semua *trace* tidak memiliki korelasi, tersebar secara normal, bersifat stasioner, dan memiliki magnitudo yang seragam. (Neelamani dkk., 2006). Dalam metode *stacking* konvensional, seringkali tidak semua data *multicoverage* dimanfaatkan, melainkan hanya beberapa *gather* tertentu yang digunakan dalam proses *stacking*. Akibatnya, beberapa jumlah *trace* yang tidak digunakan atau diabaikan dalam proses ini. Dimana *trace* yang diabaikan tersebut dapat menghasilkan informasi bawah permukaan bumi. Dalam metode *stacking* konvensional terdapat adanya ketidaktepatan pendekatan titik reflektor sebagai operator *stacking*. Oleh karena itu, proses *stacking* dalam metode konvensional tidak mampu memperbaiki respon refleksi dengan tepat.

3.14.2 CRS (*Common Reflection Surface*)

Metode *Common Reflection Surface* (CRS) *stack* merupakan alternatif bagi metode konvensional *stack* yang dapat meningkatkan kualitas penampang seismik. CRS *stack* mampu memperbaiki identifikasi batas lapisan bawah permukaan, serta menyajikan gambaran yang lebih mirip dengan kondisi sebenarnya. Ini membantu dalam menampilkan detail yang lebih baik dan lebih akurat dari struktur bawah permukaan. Metode CRS *stack* menggunakan data seismik keseluruhan dalam kondisi *zero offset* (Garabito dkk., 2012). Dalam metode *Common Reflection Surface* (CRS), berbeda

dengan metode konvensional, seluruh data *multicoverage* digunakan, yang berarti lebih banyak *gather* yang dimasukkan dalam proses *stacking*. Perbedaan utama antara CRS dan metode *stacking* konvensional terletak pada operator *stack* dan pengaturan parameter atau atribut yang terkait dengan struktur reflektor di bawah permukaan. CRS tidak memerlukan informasi kecepatan selain kecepatan medium di dekat permukaan, sementara pada metode konvensional, hasil *stacking* sangat bergantung pada model kecepatan yang diperoleh dari picking pada teknik *semblance*.

Metode ini memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan metode konvensional, metode ini mampu menghasilkan citra penampang *Zero Offset* yang lebih tajam dan didapatkan berbagai atribut dari hasil metode ini. Manfaat atribut tersebut digunakan untuk membuat model kecepatan berdasarkan inversi tomografi. Operator *stack* metode CRS mempunyai beberapa parameter dengan memakai tiga atribut medan gelombang kinematik yang mewakili kelengkungan dan arah rambat bertepatan dari dua muka gelombang yang muncul pada permukaan akuisisi, yakni muka gelombang *Normal Incidence Point* (NIP) dan muka gelombang normal (Hubral, 1983).



Gambar 15. *Curvature* gelombang normal (hijau), NIP (merah), dan α (biru) (Mann, 2007)

Radius gelombang NIP atau parameter *RNIP* merupakan gelombang yang merambat dari permukaan ke reflektor lalu kembali ke permukaan. Gelombang NIP mengecil menjadi satu titik pada reflektor dengan asumsi energi tidak hilang selama perambatan gelombang berlangsung. Sumber

gelombang baru yakni gelombang NIP muncul setelah gelombang tiba pada satu titik reflektor, sehingga jarak dari reflektor ke titik X_0 bisa ditentukan. Adapun gelombang yang merambat dengan arah normal atau parameter R_N yang diciptakan dari sumber luasan di sekitar titik kejadian. Parameter R_N mengandung informasi tentang kelengkungan reflektor. Sudut kritis antara permukaan dengan sinar normal di X_0 merupakan parameter sudut α (Daruartati dkk., 2015). Adapun persamaan CRS *stack* secara matematis menggunakan ekspansi Taylor orde dua dituliskan sebagai berikut:

$$t^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left[\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (31)$$

Berdasarkan Persamaan (6), sampel waktu disimbolkan (t_0). Adapun (x_0) adalah koordinat munculnya sinar normal pada setengah *offset* (h) sama dengan nol, ($x_m - x_0$) adalah *aperture* titik tengah. Kecepatan konstan di dekat permukaan adalah (v_0). Jari-jari kelengkungan gelombang normal disimbolkan (R_N), sedangkan jari-jari kelengkungan gelombang *Normal Incident Point* (NIP) disimbolkan (R_{NIP}), serta (α) merupakan sudut datang gelombang pantul.

3.15 Migrasi

Migrasi dalam pengolahan data seismik bertujuan untuk mengkoreksi posisi reflektor yang miring ke lokasi waktu pantul aslinya dan mengurangi efek difraksi yang muncul akibat struktur geologi tertentu. Tujuan utamanya adalah meningkatkan resolusi dan akurasi gambaran struktur bawah permukaan bumi pada data seismik. (Yilmaz, 2000). Proses migrasi dilakukan dalam kawasan atau domain waktu dan menjadi tahap terakhir pengolahan data seismik. Penyebab pergeseran posisi reflektor adalah karena penampang seismik yang dihasilkan dari proses *stacking* tidak sepenuhnya menggambarkan lokasi yang sebenarnya. Hal ini disebabkan

oleh rekaman *normal incident* yang mungkin tidak selalu secara tepat berada pada sudut tegak lurus terhadap bidang permukaan, terutama ketika berurusan dengan reflektor yang berada dalam posisi miring. Migrasi data seismik bertujuan untuk memetakan *event-event* seismik pada posisi yang sebenarnya, singkatnya proses migrasi adalah langkah penting dalam pengolahan data seismik untuk menempatkan reflektor bawah permukaan dengan akurat pada posisi spasial yang tepat, juga untuk mengoreksi variasi lateral dan vertikal dalam struktur kecepatan bawah permukaan, yang menyebabkan pantulan seismik terposisi tidak tepat dalam data rekaman (Sheriff & Geldart, 1995). Berikut adalah persamaan dasar untuk migrasi pada pengolahan data seismik.

$$tm = \frac{t}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4h^2}{v^2}} - 1 \right) \quad (32)$$

Dengan keterangan:

t_m = adalah waktu pada posisi yang telah di-migrasi,

t = waktu asli pada posisi yang direkam,

h = *offset* sumber-penerima, dan

v = kecepatan gelombang seismik di bawah permukaan.

3.16 Data Enhancement

1) F-X Deconvolution

Canales (1984) memperkenalkan peningkatan sinyal data seismik dalam domain $f-x$. Konsep dasar dekonvolusi $f-x$ yakni berdasarkan asumsi jika sinyal yang diharapkan kontinu serta bisa diprediksi sedangkan *noise* acak tidak koheren dan tidak bisa diprediksi. Pengaplikasian dekonvolusi F-X dalam mendeteksi gelombang seismik sudah dipakai untuk eksplorasi minyak dan gas (Sun dkk., 2020).

$$\omega n(t) = \omega(t - k\Delta x) \quad (33)$$

Sub-wave sinyal seismik adalah $\omega(t)$, spasi *channel* antara sinyal seismik adalah (x) , dan *channel* ke- n ditulis dalam Persamaan (34). FFT dari Persamaan (33) yakni $W(f)$ dituliskan sebagai berikut:

$$FFT[\omega_n(t)] = W(f)e^{-jkn\Delta x 2\pi f} \quad (34)$$

Apabila spektrum *channel* pertama adalah $W_1(f)$, untuk frekuensi (f) tertentu, spektrum dari *channel* ke- n sebagai berikut:

$$W_n(f) = W_1(f)e^{-jk(n-1)\Delta x 2\pi f} \quad (35)$$

Transformasi Z dari penjumlahan setiap *channel* sebagai berikut:

$$H(z) = \sum_n W_1(f)e^{-jk(n-1)\Delta x 2\pi f} \cdot z^{n-1} = W_1(f) \sum_n e^{-jk(n-1)\Delta x 2\pi f} \cdot z^{n-1} \quad (36)$$

Persamaan (14) merupakan model autoregresif orde kedua. Spektrum *channel* ke- $(n + 1)$ dapat diprediksi sebagai berikut:

$$W_{n+1}(f) = W_n(f)e^{-jk\Delta x 2\pi f} \quad (37)$$

Operator prediksi *error* $O(f, x)$ dapat dihitung menggunakan filter kompleks Wiener. Jika sinyal asli yang terekam menjadi $S(f, x)$. Prediksi kesalahan energi $E(f_0)$ sebagai berikut:

$$E(f_0) = \sum_x \{ [\sum_n S(f_0, x-n) \cdot O(f_0, n) - \sum_n S(f_0, x) n n x] \cdot [\sum_n S(f_0, x-n) \cdot O(f_0, n) - \sum_n S(f_0, x)] \} \quad (38)$$

Operator prediksi *error* $O(f, x)$ dapat dikalkulasi dengan prinsip dari energi kesalahan minimum. Sinyal dengan *noise* yang dihilangkan bisa didapatkan oleh konvolusi antara $O(f_0, n)$ serta setiap *channel* dengan frekuensi f_0 . Dekonvolusi F-X cukup efektif meningkatkan kontinuitas sinyal koheren serta menghilangkan *random noise*. Operator prediksi *error* $O(f, x)$ sangat bergantung oleh *noise*.

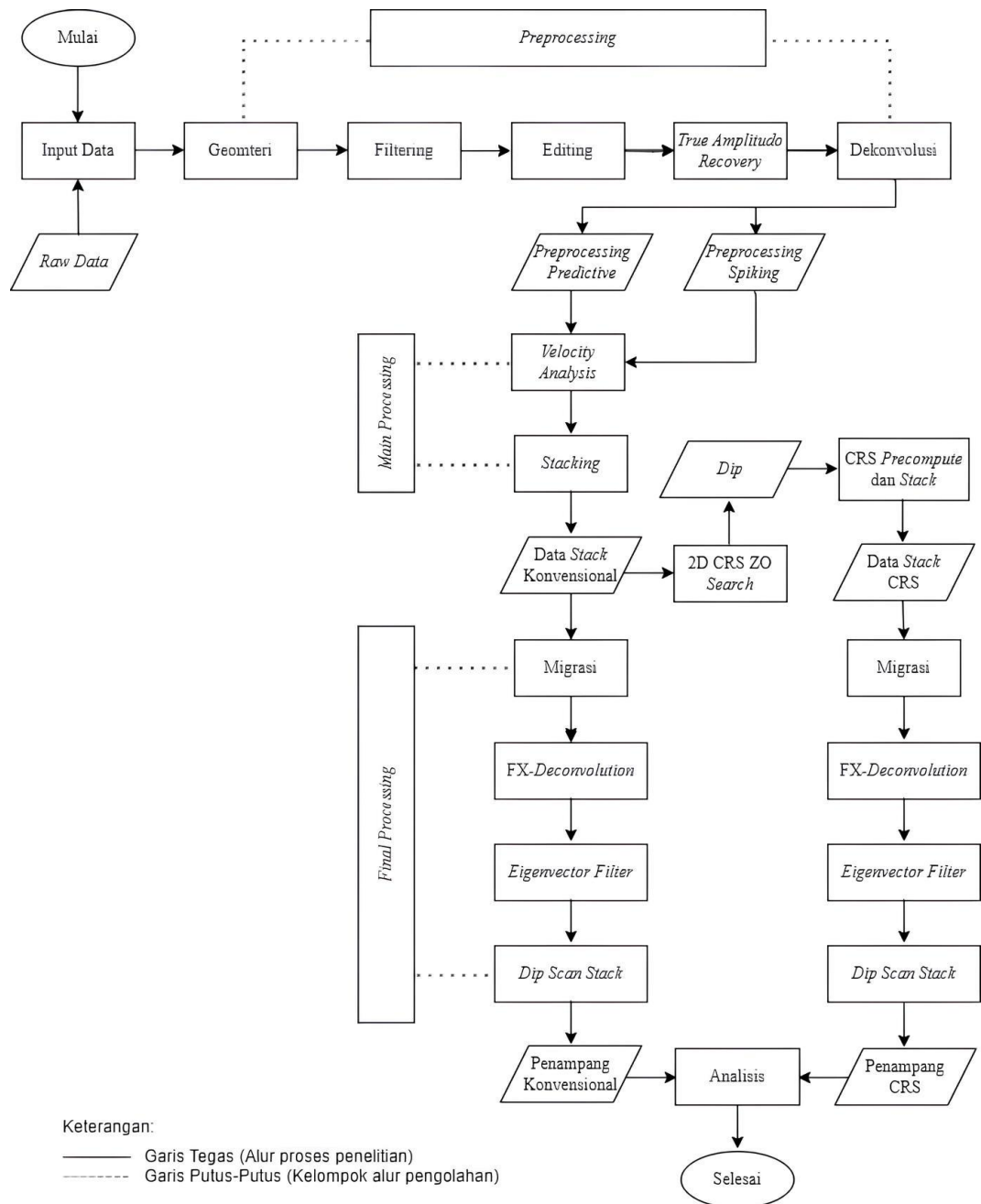
2) *Eigenvector Filter*

Filter vektor eigen sama dengan transformasi K-L *Kahrunen-Loeve* (Hsu, 1990). Bagian seismik 2D yang sudah dikoreksi NMO diperlakukan sebagai matriks 2D yang dapat didekomposisi menjadi bagian eigennya dengan nilai eigen yang sesuai. Adanya *event* seismik berupa pola refleksi yang datar ditunjukkan dengan nilai eigen yang tinggi. Sebaliknya, *event* seismik yang acak dan kurang menonjol atau termasuk *noise* ditunjukkan dengan nilai eigen yang kecil. Apabila $S(t, x)$ adalah matriks data, *singular-value decomposition* (SVD) yang sesuai dapat ditulis sebagai $S = U \Sigma V^T$. Adapun U dan V merupakan matriks kesatuan yang terdiri dari vektor eigen kiri dan kanan dari S , serta Σ adalah matriks diagonal yang mengandung nilai eigen dari S (Le Bihan dkk., 2001).

3) *Dip Scan Stack*

Dip scan (slant) stack pada dasarnya memakai transformasi $\tau - p$ dan pembobotan *trace* berdasarkan kemiripan untuk meningkatkan *event* seismik yang koheren dan mengurangi keadaan *steep-dip* yang sebagian besar adalah *noise* pantulan dalam data. Transformasi *slant-stack* bisa digabungkan dengan dekonvolusi yang bertujuan agar *multiple* terlemahkan karena muncul secara periodik. *Dip scan stack* bisa diaplikasikan sebelum maupun sesudah proses *stacking*.

4.4 Diagram Alir



Gambar 16 . Diagram alir penelitian

4.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengolah data seismik menggunakan ProMAX. Adapun prosedur dalam pengolahan data seismik sebagai berikut:

4.5.1 Persiapan Data

Data penelitian yang dipakai adalah data seismik refleksi 2D hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh team akuisisi dari BBSPGL. Terdapat parameter akuisisi yang ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter akuisisi data ARAFURA-LINE-020.1

PARAMETER AKUISISI ARAFURA-LINE-020.1

<i>Source interval</i>	25 m
<i>Group interval</i>	12.5 m
<i>Jumlah channel</i>	48
<i>Kedalaman source</i>	6 m
<i>Kedalaman receiver</i>	7 m
<i>Minimum Offset</i>	50 m
<i>CDP Interval</i>	6.25 m
<i>Number of shot</i>	938
<i>First Shot Station</i>	1000
<i>Shot station number increment</i>	1
<i>Sail Azimuth</i>	180 ⁰
<i>Near channel</i>	1
<i>Far channel</i>	48
<i>Chanel Increment</i>	1
<i>Shot Inverval</i>	25 m
<i>Sample rate</i>	2 ms
<i>Record length</i>	8000 ms

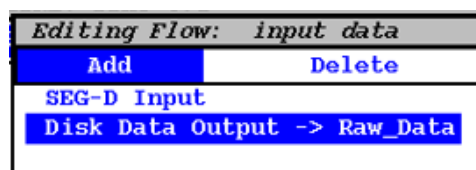
4.5.2 Pengolahan Data

Pengolahan data seismik dilakukan menggunakan dua metode yang berbeda yakni metode metode dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking*.

Penggunaan dua metode untuk membandingkan tingkatan *S/N ratio* sehingga didapatkan model bawah permukaan yang mendekati kondisi aslinya. Proses pengolahan data ini terdiri dari berbagai langkah yang tersusun dalam sebuah ruang kerja *flow* dalam *software* ProMAX. *Flow* tersebut disesuaikan dengan karakteristik data yang akan diolah. Setiap *flow* terdiri dari parameter-parameter penting, yang mana kesesuaian dalam penentuan parameter akan mengontrol hasil. Adapun tahapan yang dilakukan pada saat pengolahan data sebagai berikut.

a) Input data

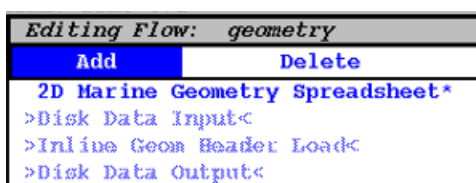
Tahapan awal pengolahan data dimulai dan melakukan input data ke dalam *software* ProMAX. Data yang dimasukkan berupa SEG-D yang dikonversi menjadi format data SEG-Y. Format data SEG-D merupakan data lapangan yang langsung diterima dari *receiver*. SEG-Y merupakan format data seismik yang dikeluarkan oleh *Society of Exploration Geophysicists* (SEG).



Gambar 17. *Flow* proses input data

b) *Geometry Setting*

Proses ini bertujuan untuk mencocokkan akuisisi di lapangan dengan data yang terekam, karena data yang telah diinput sebelumnya hanya berisi tentang informasi pola gelombangnya saja, sedangkan untuk melakukan proses selanjutnya diperlukan informasi akuisisi di lapangan yang telah dilakukan sebelumnya.

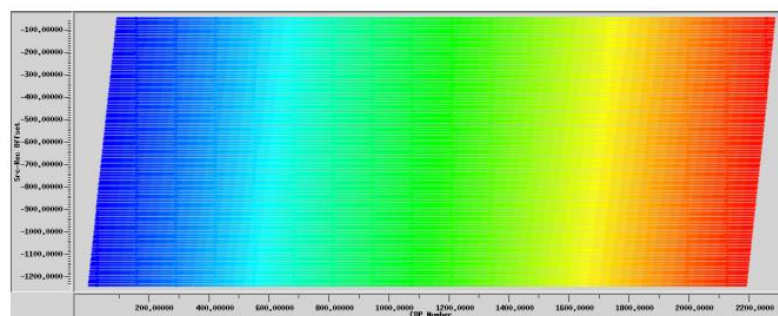


Gambar 18. *Flow* proses geometri

Tahap geometri harus memasukkan semua parameter geometri lapangan yang dibutuhkan, mulai dari *setup*, *auto 2D*, *sources*, *patterns*, *trace QC* dan melakukan *binning* data. Parameter yang akan diisi pada tahap geometri berasal dari *observe report* yang dibuat saat akuisisi di lapangan.

Gambar 19. *Geometry setup*

Kemudian lakukan proses *quality control* untuk mengecek data geometri yang dimasukkan telah sesuai. Hal ini dilakukan dengan memplot CDP dengan *offset*.



Gambar 20. *Plot CDP vs offset*

c) *Filtering*

Filtering dilakukan guna menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan dan mempertahankan frekuensi yang diinginkan. Pada pengolahan data kali ini menggunakan *Bandpass filter*. *Bandpass filter* secara khusus merupakan proses filter yang melewatkan frekuensi pada area tertentu antara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua dan meredam frekuensi di luar area tersebut.

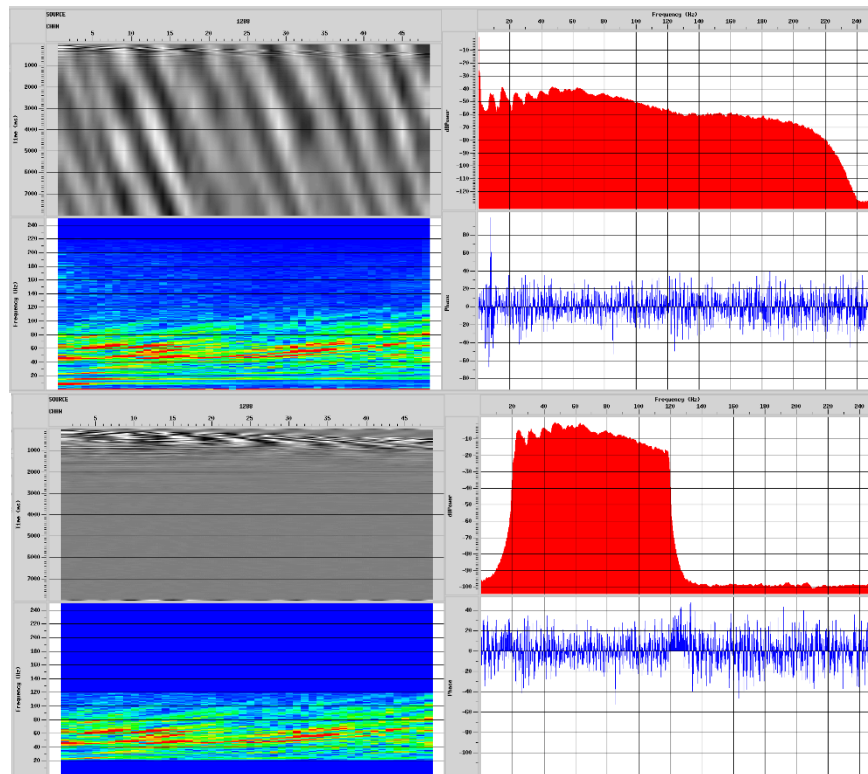
```

Editing Flow: filtering
Add      Delete
Disk Data Input <- INVALID
Interactive Spectral Analysis
Bandpass Filter
Disk Data Output -> INVALID
Trace Display

```

Gambar 21. *Flow filtering*

Berikut adalah tampilan spectrum pada pengolahan data sebelum melalui tahap *filtering* dan tampilan spectrum setelah dilakukan *filtering*.



Gambar 22. *Spectrum amplitude, phase dan frequency*. a) sebelum *filtering* (atas), b) setelah *bandpass filter* (bawah)

Dari rentang frekuensi dominan tersebut akan digunakan sebagai batas untuk dilakukan *bandpass filter* dengan frekuensi 20 – 120 Hz adalah frekuensi yang akan diloloskan karena merupakan sinyal seismik refleksi. Selanjutnya akan dilakukan *bandpass filter*.

d) *Editing*

Tahap *editing* bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang mengganggu pengolahan data seperti *direct wave*, *trace* mati dengan data jelek atau polaritas terbalik. Proses pemilahan ini dapat dilakukan dalam proses *killing*, *muting*, dan proses *picking gate deconvolution*. Proses *editing* yang dilakukan adalah *top-mute*, dan *autocorrelation*. Hasil dari *top-mute* dan *Autocorrelation* digunakan dalam-proses dekonvolusi.

Muting bertujuan untuk memotong bagian yang tidak diinginkan yaitu sinyal seismik yang dianggap bukan sinyal refleksi primer. Jenis *muting* yang digunakan pada pengolahan ini adalah *top mute*. *Top mute* berfungsi untuk menghilangkan *noise direct wave*.

Proses *autocorrelation* merupakan proses untuk mengoreksi kemungkinan *multiple* yang ada pada data hasil rekaman seismik. *Autocorrelation* melakukan dengan menentukan panjang operator (*operator length*) yang nantinya akan digunakan sebagai input parameter pada *predictive deconvolution*.

```

Editing Flow: editing
Add      Delete
Disk Data Input <- filtering
>Trace Display<
Trace Kill/Reverse <= kill
Trace Muting <= Topmute
Trace Muting <= Botmute
Disk Data Output -> editing

```

Gambar 23. *Flow editing*

e) TAR dan Dekonvolusi

True amplitude recovery salah satu tahapan dalam pengolahan data seismik yang bertujuan untuk menemukan kembali amplitudo gelombang seismik yang sebenarnya. Nilai yang digunakan hanya merupakan nilai pendekatan yang dinyatakan dalam satuan *db/sec* penjarannya di dalam bumi. Semakin besar konstanta yang diberikan maka akan semakin kuat gain dari *true amplitude recovery*. Oleh karena itu yang harus diperhatikan pada tahapan ini adalah memilih hasil TAR yang paling baik yang dapat memperlihatkan sinyal yang lemah namun tidak merusak sinyal yang sudah terlihat jelas. Karena pengolahan data seismik tidak lain merupakan penerapan perhitungan matematis sehingga jangan sampai perhitungan tersebut justru malah merusak data yang ada.

Dekonvolusi merupakan suatu proses pengolahan data seismik yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi vertikal dengan cara mengompres *wavelet* seismik agar *wavelet* seismik yang terekam menjadi tajam. Selain meningkatkan resolusi vertikal, dekonvolusi juga dapat mengurangi efek *multiple* yang mengganggu interpretasi data seismik serta memperbaiki bentuk *wavelet* yang kompleks akibat pengaruh *noise*.

Berdasarkan data penelitian, resolusi vertikal didapatkan:

$$\begin{aligned} R_v &= 1/4 \lambda \\ &= \frac{1}{4} \frac{v}{f} \\ &= \frac{1}{4} \frac{6000}{120} \\ &= 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka *tuning thickness* atau minimal ketebalan yang dimiliki suatu lapisan 12,5 m agar dapat tercitra pada data seismik yang diolah.

Pada Penelitian kali ini menggunakan dua metode dekonvolusi, yaitu dekonvolusi prediktif dan dekonvolusi *spiking*.

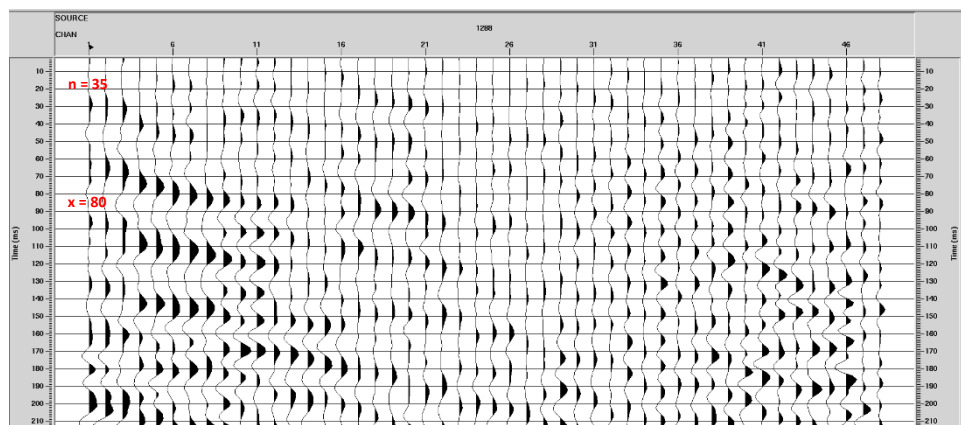
1) Dekonvolusi Prediktif

Dekonvolusi prediktif adalah metode yang menggunakan data awal dari jejak seismik untuk memproyeksikan dan memprediksi pola *noise* serta kemungkinan adanya *multiple* dalam sistem.

Parameter yang perlu dicari untuk dapat melakukan *predictive deconvolution* adalah parameter *n* dan *x*. *n* disebut sebagai parameter *lag distance*, sedangkan *x* disebut sebagai parameter *length*. Besar nilai *n*, *x* dilihat dari autokorelasi data seismik yang akan diproses. Besar nilai *n* diambil dari *second zero cross* pada autokorelasi. Sedangkan besar nilai *x* diambil dari *first transient zone* yaitu zona peralihan pertama dimana autokorelasi mulai memiliki amplitudo besar kembali.

Editing Flow: AUTOKORELASI	
Add	Delete
Execute	View
Exit	
Disk Data Input <- 04 editing	Data Input Disk Data I
Autocorrelation	
Trace Display	
Autocorrelation	
Type of autocorrelation to output	FULL
Normalized autocorrelation?	Yes No
Append autocorrelation to bottom of input trace?	Yes No
Scale autocorrelation to input RMS?	Yes No
Autocorrelation computation domain	Time
Length of traces input to autocorrelation	500.
Output autocorrelation length	1000.
Get autocorrelation start time from database?	Yes No
Primary start time header word	Live source number
Secondary start time header word	Signed source-receiver offset
Specify autocorrelation start times	1:-5280:800/1:0:400/1:5280:700

Gambar 24. Flow autokorelasi



Gambar 25. Display autokorelasi

Untuk kasus data ini diambil satu nilai konstan untuk n dan nilai x yang bervariasi untuk dilakukan *trial and error*. Untuk mengetahui parameter mana yang paling optimal, kedua nilai parameter n , x dimasukkan dalam proses dekonvolusi. Kemudian kita lakukan perbandingan untuk setiap pasangan n dan x .

Spiking/Predictive Decon	
TYPE of deconvolution	Minimum phase predictive
Decon operator length(s)	80.0
Operator prediction distance(s)	35.0
Is prediction distance water relative?	Yes No
Apply prediction filter correction?	Yes No
Apply user specified taper?	Yes No
Operator 'white noise' level(s)	0.1
Window rejection factor	2.
Time gate reference	Time 0
Get decon gates from the DATABASE?	Yes No
SELECT decon gate parameter file	Decongate
Output traces or filters	Normal decon output
Apply a bandpass filter after decon?	Yes No
Re-apply trace mute after decon?	Yes No

Gambar 26. Parameter dekonvolusi prediktif

Sebelumnya dilakukan parameter test dekonvolusi sesuai harga *operator length*. Hasil dekonvolusi dengan parameter $n=35$ ms dan $x=80$ ms menjadi parameter paling optimal karena dapat memisahkan reflektor cukup baik dibandingkan parameter yang lainnya dan mempertajam resolusi gambar yang dihasilkan.

2) Dekonvolusi *spiking*

Spiking deconvolution pada prinsipnya ditujukan untuk membentuk sinyal atau mengubah *wavelet* seismik menjadi *spike*. Dalam keadaan khusus bila sinyal yang diinginkan berupa paku (*spike*), maka dekonvolusinya disebut *spiking* dekonvolusi. Konsep untuk menyelesaikan hal ini ada di dalam teori yang disebut filter Wiener.

Spiking/Predictive Decon	
TYPE of deconvolution	Minimum phase spiking
Decon operator length(s)	80.0
Apply user specified taper?	Yes No
Operator 'white noise' level(s)	0.1
Window rejection factor	2.
Time gate reference	Time 0
Get decon gates from the DATABASE?	Yes No
SELECT decon gate parameter file	Decongate
Output traces or filters	Normal decon output
Apply a handpass filter after decon?	Yes No
Re-apply trace mute after decon?	Yes No

Gambar 27. Parameter dekonvolusi *spiking*

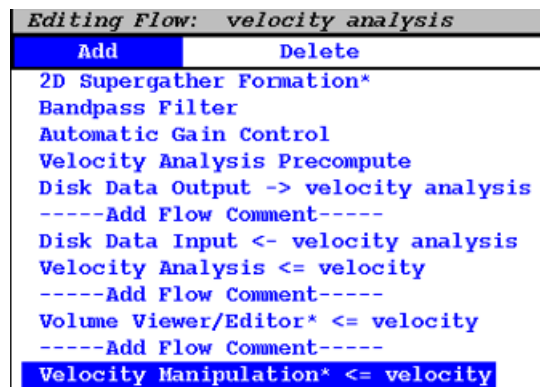
Kedua metode ini diharapkan dapat menghasilkan penampang seismik yang lebih representatif dengan mengurangi gangguan dari *noise*, sehingga memungkinkan interpretasi data yang lebih baik. Selain itu, diharapkan mampu meningkatkan resolusi dari penampang seismik secara keseluruhan.

f) *Velocity Analysis*

Analisis kecepatan dilakukan untuk menentukan kecepatan yang sesuai untuk mendapatkan hasil *stack* yang baik. Pada pengolahan data ini, *velocity analysis* menggunakan metode penggambaran *amplitude* (*semblance velocity*), yang merupakan plot kesamaan sinyal pada bidang *velocity versus two way zero offset time* (TWT). Hasilnya diplot dalam format kontur dengan warna pada penampang *semblance*.

Kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kecepatan *Root Mean Square* (V_{RMS}), yaitu kecepatan total dari sistem perlapisan horizontal dalam bentuk akar kuadrat. *velocity analysis* menggunakan metode

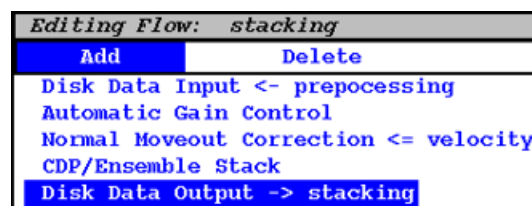
mengukur kesamaan atau metode ini menampilkan penampang *semblance* dan CDP *gather* secara bersamaan. Pemilihan kecepatan yang tepat akan menampilkan CDP *gather* yang datar setelah mengaplikasikan NMO. Semakin jauh jarak (*offset*) dari setiap *receiver* maka akan semakin besar pula waktu yang diperlukan oleh suatu gelombang untuk menjalar dari *shot point* ke *receiver* sehingga dilakukan koreksi NMO untuk menghilangkan efek tersebut.



Gambar 28. *Flow velocity analysis*

g) *Stacking*

Stacking adalah proses menjumlahkan *trace* seismik dalam satu CDP setelah koreksi NMO untuk meningkatkan *S/N ratio* dengan cara meniadakan *noise* yang inkoheren dan memperkuat sinyal yang koheren. Biasanya proses *stack* dilakukan berdasarkan CDP dimana *trace-trace* yang tergabung pada satu CDP disuperposisikan dan telah dikoreksi NMO. Koreksi NMO dilakukan untuk menghilangkan efek jarak *offset* yang berbeda-beda dari tiap *receiver* dalam format CDP.



Gambar 29. *Flow stacking*

h) Migrasi

Proses migrasi dilakukan untuk mengembalikan posisi reflektor semu ke reflektor yang sebenarnya. Proses ini juga berguna untuk menghilangkan difraksi akibat struktur bawah permukaan yang kompleks. Reflektifitas suatu bidang refleksi yang semula tidak menerus satu sama lain, setelah dimigrasi akan menjadi lebih jelas dan teratur. Untuk kasus ini digunakan proses migrasi *post-stack time migration* (PoTM) karena pada pengolahan ini dilakukan *stacking* terlebih dahulu.

Data tersebut diolah menggunakan metode migrasi Kirchhoff, dipilih karena mampu menghasilkan penampang *stack* seismik yang lebih baik pada reflektor yang miring maupun lateral dengan jumlah efek difraksi yang lebih sedikit. Metode ini efektif dalam menangani berbagai kompleksitas geologi di bawah permukaan, dari yang sederhana hingga yang kompleks. Selain itu, Metode Kirchhoff juga dapat mengatasi kemiringan reflektor secara akurat hingga batas sudut 90 derajat.

Editing Flow: migrasi	
Add	Delete
Disk Data Input <- stacking fan filter	
Kirchhoff Time Mig. <= velocity	
Disk Data Output -> migrasi	

Gambar 30. Flow migrasi

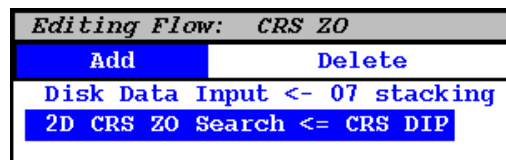
i) CRS (*Common Reflection Surface*)

Berbeda halnya dengan metode konvensional, dimana pada metode ini digunakan semua data *multicoverage*, hal ini berarti bahwa menggunakan lebih banyak *gather* dalam proses *stacking*-nya. Metode ini memiliki sejumlah keunggulan bila dibandingkan dengan metode konvensional, terutama dalam menghasilkan gambaran penampang *Zero Offset* yang lebih presisi serta mengungkapkan berbagai atribut dari *output* metode ini. Manfaat atribut tersebut adalah digunakan untuk membuat model kecepatan berdasarkan inversi tomografi. Metode CRS *Stack* ini sangat cocok untuk

kasus lapisan miring yang berkontur lengkung atau pada medium yang tidak homogen, koreksi ini cukup baik untuk mengatasi hal tersebut.

1. CRS ZO Search

Tool ini akan mencari kemiringan dan azimuth yang paling koheren sepanjang data dengan mengukur kemiripan melalui data. CRS ZO Search ini dipakai untuk mencari kemiringan dan orientasi pantulan dengan *zero offset (stacked)* volume. *Tool* ini bekerja dengan cara membaca dalam *stacked* volume dan menemukan kemiringan serta azimuth dengan interval tetap yang ditentukan.



Gambar 31. Flow CRS ZO search

The screenshot shows a window titled "Editing Flow: CRS ZO SEARCH". It contains a table of parameters for the "2D CRS ZO Search" tool. The table has columns for parameter names and values, with some values having "Yes" and "No" options.

2D CRS ZO Search	
Output semblance values?	Yes No
Number of dips to store	1
OUTPUT TABLE for dips	CRS DIP SPTK
Dip search aperture (ft or m)	200.
cdp search spacing	2
Time (ms) search spacing	20.
Vo (to limit maximum dip)	2700.
Maximum dip for search	0.6
Number of search stages?	2
dip increment for stage #1	0.03
dip increment for stage #2	0.003
Show additional options?	Yes No
Minimum search cdp	1
Maximum search cdp	13744
CDP interval (ft or m)	6.25

Gambar 32. Parameter 2D CRS ZO search

Parameter penting yang terdapat dalam CRS Stack yaitu penentuan besar *aperture*. CRS Stack menggunakan parameter dip dan kecepatan hasil CRS *Precompute* untuk menghasilkan penampang *stack*. Untuk menentukan nilai *aperture* manualnya, diasumsikan perhitungan menggunakan Zona. Zona Fresnel adalah lebar bidang benda anomali yang mampu dilihat/diiluminasi oleh gelombang seismik. Zona Fresnel dapat dihitung secara manual menggunakan persamaan:

$$Rf = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}}$$

$$Rf (\text{min}) = \frac{1500}{2} \sqrt{\frac{0,1}{20}}$$

$$= 53 \text{ m}$$

$$Rf (\text{max}) = \frac{6000}{2} \sqrt{\frac{1,1}{120}}$$

$$= 287 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh:

- Zona Fresnel reflektor teratas 53 m
- Zona Fresnel reflektor terbawah 287 m

Pemilihan *aperture* ZO harus dilakukan dengan tepat agar menghasilkan penampang *stack* yang optimum. Nilai *aperture* ZO terlalu kecil akan menyebabkan nilai *fold* menjadi rendah karena jumlah *trace* yang dianalisis sedikit. Nilai *aperture* ZO pada CRS *Stack* yang dipilih adalah 200 m karena menghasilkan penampang *stack* yang paling optimum karena jumlah *trace* yang di-*stack* tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit.

2. CRS Precompute

Tool CRS *Precompute* dipakai untuk mempercepat proses *velocity analysis* dengan kemiringan. *Tool* ini dilakukan untuk mengkoreksi *semblance* pada hasil *velocity analysis* menggunakan dip. *Tool* ini dibuat untuk mewakili *Velocity Analysis Precompute* serta menghasilkan keluaran yang dapat dipakai dalam analisis kecepatan.

Editing Flow: CRS PRECOMPUTE		
Add	Delete	Execute
2D Supergather Formation*		
2D CRS Precompute <= CRS DIP		
Disk Data Output -> CRS PRECOMPUTE		
-----Add Flow Comment-----		
Disk Data Input <- CRS PRECOMPUTE		
Velocity Analysis <= velocity predictive		
Volume Viewer/Editor* <= velocity predictive		

Gambar 33. Flow CRS precompute

3. CRS Stack

CRS Stack atau *Common Reflection Stack* bertujuan untuk meningkatkan rasio sinyal terhadap derau atau *noise* (S/N) dalam data seismik. *Output* dari CRS stack ini menghasilkan "CMP gather" atau "*Common Midpoint Gather*" dengan *zero offset*. Tool ini memakai informasi kemiringan dan kecepatan untuk melakukan proses *stacking*.

```

Editing Flow:  CRS STACK
Add           Delete
Disk Data Input <- 05 preprocessing pre
2D CRS Stack <= CRS DIP
Disk Data Output -> MIGRASI CRS
Trace Display

```

Gambar 34. Flow CRS stack

j) Data Enhancement

1. F-X Deconvolution

Selain untuk mengurangi *random noise*, F-X Deconvolution mempunyai fungsi untuk meningkatkan kualitas data pada jarak untuk setiap frekuensi dalam interval waktu tertentu. F-X Deconvolution menggunakan Transformasi Fourier pada setiap jejak data dari domain waktu (t) dan jarak (x) menjadi domain frekuensi (f) dan jarak (x). Peningkatan kualitas data dilakukan dengan menerapkan *complex Wiener Levinson prediction filter* pada jarak untuk setiap frekuensi dalam rentang tertentu. Selanjutnya, merubah setiap jejak frekuensi yang dihasilkan kembali ke domain waktu.

```

Editing Flow:  #FX DECON PRE
Add           Delete           Exec
Disk Data Input <- 07 stacking
F-X Decon
Disk Data Output -> # stacking fx decon pre
Trace Display

```

Gambar 35. Flow F-X Deconvolution

2. *Eigenvector Filter*

Eigenvector filter dimanfaatkan untuk menguraikan *trace* data menjadi citra eigen memakai teori *Kahrunen-Loeve* melalui pemakaian vektor eigen. Citra eigen yang ditentukan dapat digunakan dalam rekonstruksi sehingga menghasilkan suatu jenis *event* seismik ataupun *noise*.

Pada umumnya *event* seismik yang lebih datar direkonstruksi memakai *eigenimages* dengan jumlah yang lebih kecil, peristiwa *dipping* memakai *eigenimages* pertengahan dan peristiwa yang lebih kompleks menggunakan *eigenimages* dengan jumlah yang lebih besar.

```

Editing Flow: #EIGENVECTOR PRE
Add      Delete      Execute
Disk Data Input <- # dip scan stack pre
Eigenvector Filter <= dekonvo
F-X Decon
Dip Scan Stack
Disk Data Output -> # eigenvector filter pre1
Trace Display

```

Gambar 36. *Flow Eigenvector filter*

3. *Dip Scan Stack*

Dip scan (slant) stack pada dasarnya memakai transformasi $\tau - p$ dan pembobotan *trace* berdasarkan kemiripan untuk meningkatkan *event* seismik yang koheren dan mengurangi keadaan *steep-dip* yang sebagian besar adalah *noise* pantulan dalam data.

```

Editing Flow: # DIP SCAN STACK PRE
Add      Delete      Execute
Disk Data Input <- 07 stacking
Dip Scan Stack
Disk Data Output -> # stacking dip scan stack
Trace Display

```

Gambar 37. *Flow Dip Scan Stack*

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian ini, pengolahan data seismik menggunakan *software* ProMAX melalui tiga tahapan, yaitu *preprocessing* (geometri, *filtering*, *editing*, dan dekonvolusi), *main processing* (*velocity analysis*), dan *final processing* (*stacking* dan migrasi).
2. Pada analisis spektral, kisaran nilai fasa akhir terkecil menggambarkan keefektifan dekonvolusi dalam menekan efek *noise*. Dekonvolusi prediktif memiliki kisaran fasa akhir yang lebih kecil dibandingkan dengan dekonvolusi *spiking*. Namun, pada dekonvolusi *spiking* nilai *power* mengalami peningkatan *power* frekuensi tinggi yaitu memiliki nilai *power noise* dengan batas atas sebesar -17 dB. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan pada dekonvolusi prediktif yang memiliki nilai *power noise* dengan batas atas sebesar -45 dB. Peningkatan *power* ini pada frekuensi tinggi yang dianggap *noise* pada dekonvolusi *spiking* membuktikan bahwa dekonvolusi *spiking* meningkatkan amplitudo *noise* berfrekuensi tinggi.
3. Hasil penampang bawah permukaan 2D pada laut ARAFURA-L020.1 yang paling baik dengan S/N yang besar dihasilkan oleh metode *Common Reflection Surface* (CRS) dekonvolusi prediktif dengan penerapan data *enhancement* dibandingkan metode konvensional.

6.2 Saran

Disarankan analisis petrofisis untuk memastikan bahwa pada laut ARAFURA-L020.1 memiliki cadangan hidrokarbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Claerbout, J.F. (1972). *Downward continuation of moveout corrected seismograms*, GEOPHYSICS, Vol.37, No.5, P. 741–768.
- Cox, D. R., Newton, A. M., dan Huuse, M. (2020). An introduction to *seismic reflection data: Acquisition, processing and interpretation*. In *Regional Geology and Tectonics* (pp. 571–603). Elsevier.
- Darman, H., & Sidi, F. H. (2000). *An Outline of the Geology of Indonesia*. Jakarta: Publikasi Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Daruartati, H., Setyawan, A., & Kusuma, I. A. (2015). Aplikasi Metode *Common Reflection Surface* (CRS) Untuk Meningkatkan Hasil *Stack* Data Seismik Laut 2d Wilayah Perairan “Y”. *Youngster Physics Journal*, 4(4), 291–298.
- Dow, D.B. & Sukamto, R. (1984). *A new hypothesis for the formation of the Lengguru fold belt, Irian Jaya, Indonesia*. Bulletin of Geological Research and Development Centre, P. 11, P. 14–28.
- Garabito, G., Stoffa, P. L., Lucena, L. S., & Cruz, J. C. R. (2012). Part I — CRS *Stack*: Global Optimization of The 2D CRS Attributes. *Journal of Applied Geophysics*. Elsevier, 85, 92–101.
- Harjumi. & Rafie. (2014). *Analisis Perbandingan Parameter Gap Pada Tahap Dekonvolusi Dalam Pengolahan Data Seismik 2D Darat* .Universitas Hasanudin. Makassar

- Hartono, U. & Ratman, N. (1992). Peta Geologi Lembar Aru, Maluku Tenggara, Sekala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber daya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Hsu, K. (1990). *Wave separation and feature extraction of acoustic well-logging waveforms using Karhunen-Loeve transformation*. *Geophysics*, 55(2), 176–184.
- Hubral, P. (1983). Computing true *amplitude* reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 48(8), 1051–1062.
- Ibrahim, G. & Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Le Bihan, N., Lariani, S., & Mars, R. (2001). Seismik cube decomposition before reservoir characterisation. In *2001 SEG Annual Meeting*. OnePetro.
- Mann, J., Schleicher, J., & Hertweck, T. (2007). CRS *stacking*—a simplified explanation. In *69th EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2007* (pp. cp-27). European Association of Geoscientists and Engineers.
- Mayne, W. H. (1962). Common reflection point horizontal data *stacking* techniques. *Geophysics*, 27(6), 927–938.
- Murdianto, B. (2009). *Pengolahan Data Seismik Menggunakan SU: Reformat Data*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Neelamani, R., Dickens, T. A., & Deffenbaugh, M. (2006). *Stack-and-denoise: A new method to stack seismic datasets*. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2006* (pp. 2827–2831). Society of Exploration Geophysicists.

- Nontji, A. (1987). Laut Nusantara. Djambatan. Jakarta.
- Pinto, Efifania & Jusfarida. (2016). Interpretasi Seismik Di Perairan Arafura, Papua Barat. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama.
- Prasetyo, A. (2016). Aplikasi Metode 3d *Common Reflection Surface Stack* Pada Data Real Seismik Darat Lapangan “Ap”. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Robertson. (2000). Discovery of a Major Gas Province in Irian Jaya. Indonesia: *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, 2 p.
- Russel, B. H. (1996). *Introduction to Seismik Inversion Methods*, Vol. 2, Society of Exploration Geophysicists.
- Santoso, D. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB Press.
- Schultz, P. H. & Donald, E. G. (1985). Clustered Impacts: Experiments and Implications. *Journal of Geophysical Research*.
- Shearer, P.M. (1999). *Introduction to Seismology*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Sismanto. (1996). *Akuisisi dan Pengolahan Data Seismik*. Yogyakarta: UGM.
- Sukmono, S. (1999). *Interpretasi Seismik Refleksi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sun, W., Zhu, S., Li, W., Chen, W., & Zhu, N. (2020). Noise Suppression of Distributed Acoustic Sensing Based on f-x *Deconvolution* and *Wavelet Transform*. *IEEE Photonics Journal*, 12(1), 1–8.

Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*, *Blackwell Publishing*. Kundli.

Ulrych, T. J. & Matsuoka, T. (1991). *The Output Of Predictive Deconvolution*. *GEOPHYSICS*, Vol. 56, P. 371–377.

Verschuur, D. J. (2006). *Seismik Multiple Removal Techniques – Past, Present and Future*, *EAGE Publications*.

Yilmaz, O. (1987). *Seismik Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismik Data*. Volume I, Geophys. Prosp., USA.

Yilmaz, O. (2000). *Seismik Data Analysis*. Tulsa: SEG.

Yilmaz, O. (2001). *Sesimic Data Processing*. Tulsa: SEG.