

**ANALISIS PERBANDINGAN *PRE STACK TIME MIGRATION*
DAN *POST STACK TIME MIGRATION* MENGGUNAKAN
METODE *KIRCHHOFF* PADA DATA SEISMIK 2D *MARINE*
DI WILAYAH PERAIRAN ARAFURA, PAPUA BARAT**

(Skripsi)

Oleh

Elisa Septyani

1915051038



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**ANALISIS PERBANDINGAN *PRE STACK TIME MIGRATION*
DAN *POST STACK TIME MIGRATION* MENGGUNAKAN
METODE *KIRCHHOFF* PADA DATA SEISMIK 2D *MARINE*
DI WILAYAH PERAIRAN ARAFURA, PAPUA BARAT**

Oleh

ELISA SEPTYANI

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN *PRE STACK TIME MIGRATION* DAN *POST STACK TIME MIGRATION* MENGGUNAKAN METODE *KIRCHHOFF* PADA DATA SEISMIK 2D *MARINE* DI WILAYAH PERAIRAN ARAFURA, PAPUA BARAT

Oleh

ELISA SEPTYANI

Perairan Arafura merupakan perairan yang terletak di wilayah Papua sampai perbatasan Benua Australia. Daerah ini memiliki geologi yang kompleks karena melibatkan interaksi antara 2 lempeng, yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Metode seismik menjadi salah satu metode geofisika yang banyak digunakan dalam memodelkan struktur geologi di bawah permukaan bumi karena memiliki ketepatan serta resolusi yang tinggi. Migrasi seismik menjadi tahap penting untuk memindahkan reflektor pada posisi dan waktu pantul yang sebenarnya serta menghilangkan efek difraksi akibat adanya suatu struktur tertentu. Pada penelitian ini dilakukan migrasi *Kirchhoff* sebelum dan sesudah *stack* dalam domain waktu pada data seismik 2D lintasan 12 di Perairan Arafura, Papua Barat. Pada akhir penelitian dilakukan perbandingan dan analisa terhadap penampang *pre stack* dan *post stack time migration* serta menganalisa struktur geologi yang tercipta pada daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penampang *pre stack* menghasilkan citra bawah permukaan yang lebih baik (reflektor lebih tegas dan kontinu) dibandingkan dengan penampang *post stack*. Struktur geologi yang tercipta pada daerah penelitian didominasi oleh sesar normal. Berdasarkan analisis penampang bawah permukaan diidentifikasi adanya cekungan pada daerah penelitian.

Kata Kunci: Kirchhoff, Migrasi Seismik, Pengolahan Seismik

ABSTRACT

A COMPARATIVE ANALYSIS OF PRE STACK TIME MIGRATION AND POST STACK TIME MIGRATION USING KIRCHHOFF METHOD ON 2D MARINE SEISMIC DATA IN THE ARAFURA WATERS AREA, WEST PAPUA

By

ELISA SEPTYANI

The Arafura Waters located in the Papua region up to the border of the Australian Continent. This area exhibits complex geology due to the interaction between two tectonic plates, namely the Australian Plate and the Pacific Plate. Seismic method is one of the geophysical methods that is widely used in modeling geological structures beneath the earth's surface because it has high accuracy and resolution. Seismic migration is a crucial stage in relocating reflectors to their actual positions and times of reflection, as well as eliminating diffraction effects caused by specific geological structures. In this research, Kirchhoff migration was performed before and after stacking in the time domain on 2D seismic data along line 12 in the Arafura Waters, West Papua. At the final stage of the study, a comparison and analysis were conducted on pre-stack and post-stack time migration sections, along with an examination of the geological structures that is delineated in the study area. The research results show that the pre-stack section produces a superior subsurface image (the reflectors are more defined and continuous) compared to the post-stack section. The geological structures observed in the study area are predominantly characterized by normal faults. Based on the analysis of subsurface sections, the presence of a basin in the research area has been identified.

Keywords: *Kirchhoff, Seismic Migration, Seismic Processing*

Judul Skripsi

: **ANALISIS PERBANDINGAN *PRE STACK TIME MIGRATION* DAN *POST STACK TIME MIGRATION* MENGGUNAKAN METODE KIRCHHOFF PADA DATA *.SEISMIK 2D MARINE* DI WILAYAH PERAIRAN ARAFURA, PAPUA BARAT**

Nama Mahasiswa

: Elisa Septyani

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1915051038

Program Studi

: Teknik Geofisika

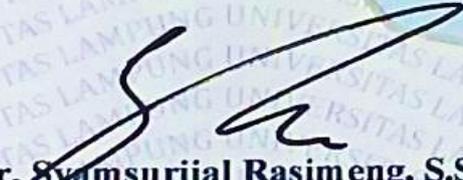
Fakultas

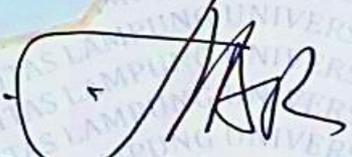
: Teknik



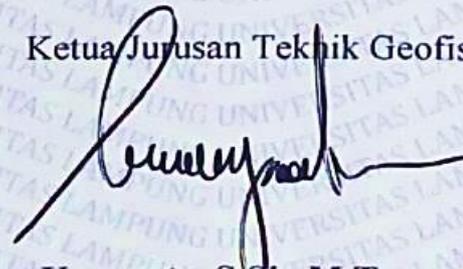
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.
NIP. 197307162000121002


Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196207171987031002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

Anggota : Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Januari 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan dengan judul “Analisis Perbandingan *Pre Stack Time Migration* dan *Post Stack Time Migration* Menggunakan Metode Kirchhoff Pada Data Seismik 2D *Marine* di Wilayah Perairan Arafura, Papua Barat” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang telah berlaku.

Bandar Lampung, 25 Januari 2024



Elisa Septyani
NPM. 1915051038

RIWAYAT HIDUP



Elisa Septyani lahir di kota Cilegon, Provinsi Banten pada 30 September 2001, lahir dari pasangan Edi Sulistyono dan Sunarti serta merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis pertama kali masuk pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) BPK Penabur Serang pada tahun 2005 hingga tamat pada tahun 2007. Penulis melanjutkan pendidikannya pada tahun yang sama di Sekolah Dasar (SD) Mardi Yuana Cilegon dan tamat pada tahun 2013.

Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Cilegon dari tahun 2013 hingga 2016 dan dilanjutkan dengan Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 2 Krakatau Steel (KS) Cilegon hingga tamat pada tahun 2019.

Setelah tamat SMA, pada tahun 2019, penulis diterima sebagai Mahasiswa di Universitas Lampung Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika. Penulis aktif mengikuti beberapa kepanitiaan dan organisasi selama masa perkuliahan, di antaranya menjadi Anggota Biro Dana dan Usaha pada periode 2021 dan Sekretaris Biro Dana dan Usaha pada periode selanjutnya di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG) Bhuwana.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya pengerjaan tugas akhir skripsi ini dengan judul “*Analisis Perbandingan Pre Stack Time Migration dan Post Stack Time Migration Menggunakan Metode Kirchhoff Pada Data Seismik 2D Marine di Wilayah Perairan Arafura, Papua Barat*”. Penulis berharap semoga tulisan ini mampu memberikan kontribusi positif bagi setiap pembaca.

PERSEMBAHAN

Atas berkat dan rahmat Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayah dan Ibu tercinta,

EDI dan SUNARTI

Yang tiada hentinya memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang. Terima kasih atas segala dukungan, kepercayaan, doa yang diberikan, hingga penulis bisa berada sampai di titik ini.

Kedua kakakku,

DANIEL dan MIKA

Yang telah menjadi kakak-kakak yang baik. Terima kasih atas segala dukungan, canda, pelukan, dan cerita-cerita yang telah menghibur dan menemani penulis selama ini.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Perbandingan *Pre Stack Time Migration* dan *Post Stack Time Migration* Menggunakan Metode Kirchhoff Pada Data Seismik 2D *Marine* di Wilayah Perairan Arafura, Papua Barat”, ini dapat selesai dengan baik. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika Universitas Lampung. Tak lupa penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan kepada yang membacanya. Terlepas dari itu, penulis menyadari sepenuhnya masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini memberikan manfaat maupun inspirasi kepada setiap pembacanya.

Bandar Lampung, 25 Januari 2024

Penulis,



Elisa Septyani

NPM. 1915051038

SANWACANA

Puji dan syukur yang begitu berlimpah penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa untuk setiap penyertaan-Nya dalam setiap proses penyusunan Skripsi ini hingga dapat selesai dengan baik. Penulis menyadari bahwa selesainya penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Tuhan Yesus yang telah memberikan kekuatan, penyertaan, dan anugerah yang begitu hebat setiap harinya dalam kehidupan penulis.
2. Kedua orang tua, Ibu dan Bapak terkasih, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan semangat serta tiada hentinya mendoakan penulis.
3. Kedua kakak tercinta, Mas Daniel dan Mbak Mika yang selalu menyemangati dan mendoakan selama perjalanan penulis sampai titik ini.
4. Keponakan-keponakan tersayang, Filia, Falsya, Felix, Chelsea dan Freya yang selalu menjadi penghibur di kala penat.
5. Bapak Dr. Karyanto, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir penulis yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, dukungan, masukan, serta koreksi selama penulis menyusun Tugas Akhir ini.
7. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir penulis yang telah memberikan bimbingan, dukungan, masukan, serta koreksi selama penulis menyusun Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno S.Si., M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir penulis yang telah memberikan dukungan, saran, masukan serta koreksi dalam Tugas Akhir ini.

9. Ibu Yulinar Firdaus, S.T., M.T., selaku Pembimbing Lapangan Tugas Akhir di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) yang telah memberikan ilmu dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dukungan dan arahan untuk penulis dari awal hingga akhir studi.
11. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan selama penulis berkuliah.
12. Jeremy Abram yang telah memberikan dukungan dan masukan selama penyusunan Tugas Akhir.
13. 2nd Fam, yang telah merangkul dan bersama-sama untuk tetap mengandalkan Tuhan dalam setiap langkah yang diambil.
14. PPP tercinta, Kayang, Tita, Acha, Tamara, Nopal, Abi, Yoga, Rapel, dan Dani yang selalu menghibur dan menyemangati penulis di kala suka maupun duka. Terima kasih atas canda tawa dan kebersamaan selama kurang lebih 7 tahun terakhir. Semoga kebersamaan ini tetap terjaga dan tidak terputus.
15. Keluarga besar Teknik Geofisika 19 (Mak Kou Tanding), selaku rumah dan keluarga selama kurang lebih 4 tahun terakhir. Terima kasih atas kebersamaan dan memori yang telah dibentuk. Semoga tali silaturahmi bisa selalu terjalin.
16. *Last but not least*, terima kasih untuk diri sendiri, yang telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan kewajibannya sebagai mahasiswa. Terima kasih karena mau untuk terus berusaha, berjuang, dan tidak menyerah dalam setiap prosesnya. *Thank you for doing your best.*

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam perjalanan panjang ini.

Bandar Lampung, 25 Januari 2024

Penulis,



Elisa Septvani

NPM. 1915051038

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Daerah Penelitian.....	5
2.3 Stratigrafi Regional	7
2.4 Akuisisi Seismik Laut.....	9
III. TEORI DASAR.....	12
3.1 Gelombang Seismik.....	12
3.2 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik	13
3.2.1 Hukum Snellius	13
3.2.2 Prinsip Huygens	14
3.2.3 Prinsip Fermat	15

3.3	Seismik Refleksi	16
3.4	Impedansi Akustik	17
3.5	Koefesien Refleksi	18
3.6	<i>Noise</i> Dalam Seismik	19
3.7	<i>Formatting Data</i>	20
3.8	<i>Geometry Assignment</i>	21
3.9	<i>Filtering</i>	21
3.10	<i>Editing</i>	22
3.11	<i>True Amplitude Recovery (TAR)</i>	23
3.12	<i>Deconvolution</i>	24
3.13	<i>Velocity Analysis</i>	28
3.14	<i>Normal Move Out (NMO) Correction</i>	32
3.15	<i>Stacking</i>	33
3.16	Migrasi.....	35
	3.16.1 Prinsip Dasar Migrasi Seismik	36
	3.16.2 Klasifikasi Migrasi	39
	3.16.3 Metode <i>Kirchhoff</i>	43
IV.	METODE PENELITIAN	45
4.1	Waktu dan Tempat Penelitian	45
4.2	Jadwal Penelitian	45
4.3	Alat dan Bahan	46
4.4	Prosedur Penelitian	46
	4.4.1 Studi Literatur.....	46
	4.4.2 Pengolahan Data.....	46
4.5	Diagram Alir.....	58
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	59
5.1	Hasil.....	59
	5.1.1 <i>Raw Data</i>	59
	5.1.2 <i>CDP vs Offset</i>	59
	5.1.3 Spektrum Frekuensi	60
	5.1.4 <i>Preprocessing Predictive</i>	61
	5.1.5 Model <i>Velocity</i>	61

5.1.6	<i>Stacked Trace</i>	62
5.1.7	<i>Unstacked Trace</i>	62
5.1.8	Penampang <i>post stack time migration</i>	63
5.1.9	Penampang <i>pre stack time migration</i>	63
5.2	Pembahasan	66
5.2.1	Pengolahan Data.....	66
5.2.1.1	<i>Input Raw Data</i>	66
5.2.1.2	Geometri.....	67
5.2.1.3	<i>Filtering</i>	68
5.2.1.4	<i>Editing</i>	69
5.2.1.5	TAR (<i>True Amplitude Recovery</i>)	71
5.2.1.6	Dekonvolusi.....	72
5.2.1.7	<i>Velocity Analysis</i>	74
5.2.1.8	NMO <i>Correction dan Stacking</i>	75
5.2.1.9	Migrasi.....	78
5.2.2	Perbandingan <i>Post Stack Time Migration dan Pre Stack Time Migration</i>	79
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	84
6.1	Kesimpulan.....	84
6.2	Saran	84
VII.	DAFTAR PUSTAKA	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.....	5
2. Peta regional tektonik Papua (Pamumpuni, 2016).....	7
3. Stratigrafi Papua bagian selatan dan Perairan Arafura (Harahap, 2012)	8
4. Konfigurasi rencana peralatan umum untuk survei seismik 2D laut	9
5. Konfigurasi <i>airgun</i> survei seismik di Perairan Arafura (Purwanto, 2017)....	10
6. Konfigurasi <i>array gun</i> dan <i>streamer</i> survei seismik di Perairan Arafura (Purwanto, 2017).....	11
7. Jenis-jenis gelombang seismik (Cox dkk, 2020)	13
8. Pemantulan dan pembiasan gelombang menurut Hukum Snellius (Gadallah dan Fisher, 2009).....	13
9. Penjalaran gelombang menurut Prinsip Huygens (dimodifikasi dari Robinson dan Clark, 2017)	14
10. Penjalaran gelombang menurut Prinsip Fermat (Rawlinson dan Sambridge, 2003).....	15
11. Ilustrasi survei seismik (Roberts dkk, 2022).....	16
12. Berbagai jenis <i>coherent</i> dan <i>random noise</i> pada data seismik laut (Dondurur 2018)	19
13. <i>Bandpass filter</i> (Abdullah dkk, 2018).....	22
14. Dekonvolusi (Gadallah dan Fisher, 2009)	25
13. <i>Bandpass filter</i> (Abdullah dkk, 2018).....	22
14. Dekonvolusi (Gadallah dan Fisher, 2009)	25
15. Peta kontur <i>isovelocity</i> yang diperoleh dengan menggunakan <i>picking velocity</i> dari spektrum (Yilmaz, 2001).....	31
16. Koreksi NMO (a) sebelum dikoreksi (b) koreksi NMO dengan kecepatan yang sesuai (c) <i>overcorrection</i> karena <i>velocity</i> terlalu rendah (d) <i>undercorrection</i> karena <i>velocity</i> terlalu tinggi (Yilmaz, 2001).....	32
17. Ilustrasi proses <i>stacking</i> (Sukmono, 1999)	34

18. (a) sebelum migrasi (b) setelah migrasi (Yilmaz, 2001).....	36
19. Prinsip migrasi: ruas refleksi C'D' pada penampang waktu (b), ketika bermigrasi, dipindahkan ke arah <i>up-dip</i> , diperdalam, diperpendek, dan dipetakan ke lokasi sebenarnya di bawah permukaan CD (a) (Yilmaz, 2001, dimodifikasi dari Chun dan Jacewitz, 1981).....	37
20. Konstruksi migrasi seismik (Chun dan Jacewitz, 1981).....	38
21. Ilustrasi dari 2D <i>post stack migration</i> pada reflektor miring di bawah permukaan dan <i>stacked trace</i> (Dondurur, 2018).....	42
22. Skema <i>collapsing</i> hiperbola difraksi oleh migrasi <i>Kirchhoff</i> : (A) Hiperbola difraksi pada <i>offset</i> nol kecepatan konstan. Puncak dan sisi hiperbola masing-masing ditandai dengan A dan B; (B) Hasil migrasi; (C) Amplitudo sepanjang sisi B dipindahkan ke titik puncak A setelah migrasi (Dondurur, 2018)	44
23. <i>Flow input</i> data seismik Arafura lintasan 12	47
24. <i>Flow</i> geometri	47
25. Jendela perintah <i>geometry setup</i>	48
26. Jendela perintah <i>Auto marine 2D geometry</i>	50
27. Jendela perintah <i>source</i>	50
28. Jendela perinta <i>pattern</i>	51
29. Jendela perintah <i>binning</i>	51
30. Jendela perintah <i>traceQC</i>	52
31. <i>Inline geometry header load</i> data Arafura lintasan 12.....	52
32. <i>Flow</i> proses <i>filtering</i> data	53
33. Analisis spektral data seismik sebelum <i>bandpass filter</i>	53
34. <i>Flow editing</i>	54
35. <i>Flow</i> proses TAR dan dekonvolusi	55
36. <i>Flow</i> analisis kecepatan	55
37. <i>Flow</i> koreksi NMO dan <i>stacking</i>	56
38. <i>Flow</i> proses <i>post stack Kirchhoff time migration</i>	56
39. <i>Flow</i> proses <i>pre stack Kirchhoff time migration</i>	57
40. Diagram alir	58
41. <i>Raw data</i> lintasan 12 Perairan Arafura.....	59
42. Penampang TRC dari CDP vs <i>Offset</i>	60
43. Spektrum frekuensi hasil <i>bandpass filter</i>	60
44. Hasil proses <i>preprocessing predictive</i>	61

45. Model <i>velocity</i>	62
46. <i>Stacked trace</i>	62
47. <i>Unstacked trace</i>	63
48. Penampang <i>post stack time migration</i> lintasan 12 di Perairan Arafura	64
49. Penampang <i>pre stack time migration</i> lintasan 12 di Perairan Arafura	65
50. <i>Trace display raw data</i> lintasan 12 Perairan Arafura	67
51. <i>Trace display</i> lintasan 12 Perairan Arafura hasil geometri	68
52. Analisis spektral setelah dilakukan <i>bandpass filter</i> frekuensi 10 – 20 – 80 – 90 Hz	69
53. <i>Trace display</i> setelah <i>bandpass filter</i> frekuensi 10 – 20 – 80 – 90 Hz	69
54. <i>Picking top</i> dan <i>bottom mute</i> pada <i>trace</i> seismik	70
55. Setelah dilakukan dilakukan <i>muting</i>	70
56. Parameter <i>test</i> TAR mode $1/time*vel^2$ (-4, -2, 0, 2, 4).....	71
57. Parameter <i>test</i> TAR mode $1/dist$ (-4, -2, 0, 2, 4).....	71
58. Proses pemilihan <i>operator length</i>	73
59. Proses pemilihan <i>operator prediction distance</i>	73
60. <i>Trace display</i> lintasan 12 Perairan Arafura hasil proses TAR dan dekonvolusi	74
61. Proses <i>picking velocity</i> pada spektrum kecepatan CDP 1101.....	75
62. Penampang seismik lintasan 12 Perairan Arafura hasil <i>stacking</i>	77
63. Perbandingan penampang migrasi lintasan 12 Perairan Arafura, (a) <i>post stack time migration</i> , (b) <i>pre stack time migration</i>	80
64. Interpretasi pada penampang <i>pre stack time migration</i> lintasan 12 Perairan Arafura	83

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rencana jadwal penelitian.....	45
2. <i>Observer report</i> data seismik Arafura lintasan 12	48
3. Parameter-parameter <i>Auto Marine 2D Geometry</i>	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak dan gas bumi tetap menjadi kebutuhan esensial bagi penduduk Indonesia dalam hal energi. Sejalan dengan peningkatan standar hidup, permintaan akan sumber energi terus meningkat. Upaya untuk memenuhi kebutuhan energi ini semakin diperkuat oleh gencarnya pembangunan infrastruktur. Maka dibutuhkan upaya untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan energi dan ketersediaan cadangan sumber daya energi di Indonesia.

Metode seismik menjadi salah satu metode geofisika yang kerap digunakan untuk aktivitas pencarian minyak dan gas bumi serta mineral yang ada. Metode seismik adalah metode yang memanfaatkan penjalaran gelombang di mana suatu sumber gelombang akan dijajarkan ke berbagai arah, kemudian pada bidang antar lapisan gelombang akan sebagian dipantulkan dan sebagian dibiaskan untuk diteruskan ke permukaan bumi. Metode seismik mempunyai ketepatan serta resolusi yang tinggi di dalam memodelkan struktur geologi di bawah permukaan bumi.

Metode seismik adalah suatu teknik geofisika yang menggunakan gelombang seismik untuk menghasilkan getaran di permukaan. Gelombang ini dihasilkan oleh suatu sumber dan kemudian direkam oleh penerima (Nainggolan dkk, 2019). Perangkat sumber seperti *airgun* dan *waterguson* bersama dengan penerima, yakni *hydrophone*, digunakan untuk merekam data seismik laut melalui pendekatan metode seismik refleksi. Metode seismik refleksi merupakan metode yang menggunakan gelombang akustik

dari sumber getaran untuk menyelidiki keadaan di bawah permukaan bumi. Sumber getaran tersebut dapat berupa ledakan dinamit (*land seismic*) atau *airgun* (*marine seismic*). Ledakan tersebut akan menghasilkan gelombang akustik yang bergerak ke bawah permukaan dan kemudian dipantulkan oleh batas lapisan batuan, sehingga dapat direkam oleh penerima (Pesma dkk, 2020). Metode seismik refleksi melibatkan tiga tahap utama, yaitu akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi.

Pengolahan data seismik merupakan salah satu tahapan yang penting karena bertujuan untuk mendapatkan gambaran struktur geologi bawah permukaan yang mendekati struktur yang sebenarnya. Umumnya dalam data seismik yang diperoleh dari hasil akuisisi lapangan sering kali terdapat *noise* atau data pengotor yang tidak dikehendaki. Migrasi menjadi salah satu tahap yang paling penting dalam pengolahan data seismik untuk mendapatkan hasil penampang seismik yang baik. Di mana, migrasi seismik merupakan proses untuk memindahkan reflektor pada posisi dan waktu pantul yang sebenarnya. Metode migrasi terbagi menjadi dua jika berdasarkan tipenya yaitu, *post stack migration* dan *pre stack migration*. Metode migrasi juga berdasarkan algoritma terbagi menjadi tiga yaitu, *Kirchhoff*, *finite difference*, dan transformasi *Fourier* (Yilmaz, 1987).

Metode *Kirchhoff* merupakan metode yang menggunakan puncak dari kurva difraksi menjadi titik reflektor yang benar. Pendekatan ini berasal dari prinsip Huygens yang menyatakan bahwa reflektor seismik dapat dianggap sebagai pola difraksi yang terdiri dari titik-titik yang berdekatan. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya dalam menangani permasalahan yang rumit/kompleks yang meliputi waktu, sudut, dan jarak yang terkandung dalam *seismic section*. Metode *Kirchhoff* juga dapat mengatasi *dip* reflektor akurat hingga batas 90° (Rasidin dkk, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini di antaranya penelitian oleh Rasimeng dkk (2020) yang melakukan

pengoptimalan dalam mencitrakan struktur bawah permukaan dengan *pre stack time migration* metode Kirchhoff. Kemudian, terdapat penelitian dilakukan oleh Sulistiana dkk (2011), dan Herdiyantoro, (2017) yang melakukan perbandingan penampang migrasi *post stack* dan *pre stack* dalam domain waktu. Dalam tulisannya, migrasi *pre stack* menghasilkan penampang yang lebih baik daripada *post stack*. Hasil serupa diperoleh oleh Abass Obaid dan Al-Rahim (2019) dan Rasidin dkk (2022) setelah melakukan penelitian yang sama dengan metode migrasi *Kirchhoff*. Migrasi *post stack* dan *pre stack* menunjukkan hasil penampang yang tidak jauh berbeda namun, *pre stack* memberikan resolusi yang lebih tinggi.

Penelitian ini didasari oleh penelitian yang dilakukan oleh Rasidin dkk, (2022) pada data seismik Laut Seram, Papua Barat, menyatakan bahwa *stacking* konvensional kurang dapat menggambarkan struktur geologi kompleks bawah permukaan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan migrasi *Kirchhoff* tipe *post stack* dan *pre stack* dalam domain waktu sehingga penulis dapat menganalisis metode mana yang paling baik dan menguntungkan dalam mencitrakan bawah permukaan dari data seismik 2D Laut Arafura.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menjadi hal penting untuk mencapai keberhasilan dalam melakukan penelitian. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Mendapatkan penampang seismik hasil *Pre stack Time Migration* dan *Post Stack Time Migration* metode *Kirchhoff* pada data seismik 2D *marine*.
2. Melakukan perbandingan dan menganalisis keunggulan dari hasil *Pre stack Time Migration* dan *Post Stack Time Migration* dalam memberikan pencitraan bawah permukaan.

1.3 Batasan Masalah

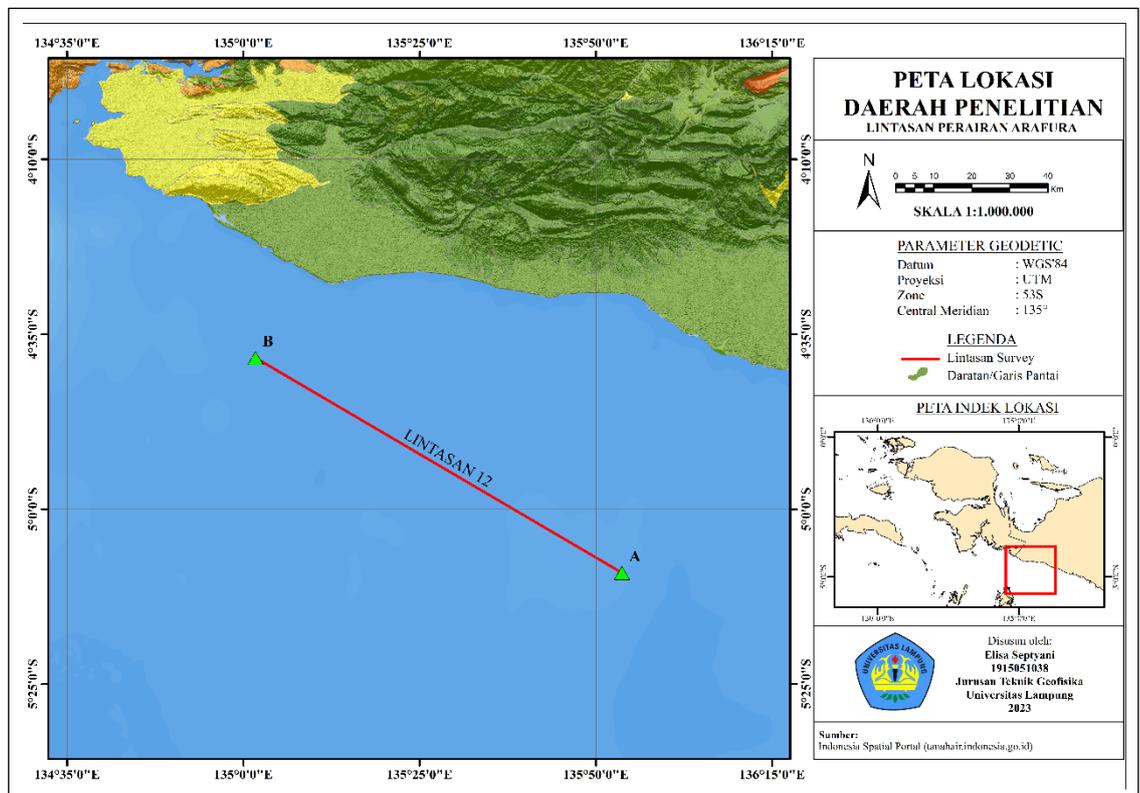
Berdasarkan latar belakang di atas, maka batasan masalah untuk penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data *marine* yaitu, data seismik lintasan 12 di Perairan Arafura.
2. Pengolahan data yang digunakan untuk migrasi adalah migrasi metode *Kirchhoff* dalam domain waktu.
3. Pengolahan data untuk *pre stack time migration* meliputi *input* data, *preprocessing* yang terdiri dari geometri, *filtering*, *editing*, TAR dan dekonvolusi. *Pre stack time migration* dilakukan dengan menggunakan *output* dari *preprocessing* yang kemudian akan di *stack*. Sedangkan, proses *post stack time migration* meliputi *input* data, *preprocessing*, *velocity analysis*, *NMO correction*, *stacking*, dan setelahnya dilakukan migrasi *Kirchhoff* dalam domain waktu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan di perairan Arafura, Papua Barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Secara geografis wilayah Papua Barat dibatasi oleh Samudera Pasifik sebelah utara-dan timur, Laut Arafura dan Laut Banda sebelah selatan, dan Laut Seram sebelah barat. Sedangkan secara administrasi daerah Papua Barat dibatasi oleh: Provinsi Papua di sebelah timur, dan Kepulauan Maluku di sebelah barat. Pulau Papua secara administratif terletak pada posisi $130^{\circ} 19' \text{ BT} - 150^{\circ} 48' \text{ BT}$ dan $10^{\circ} 19' \text{ LS} - 10^{\circ} 43' \text{ LS}$.



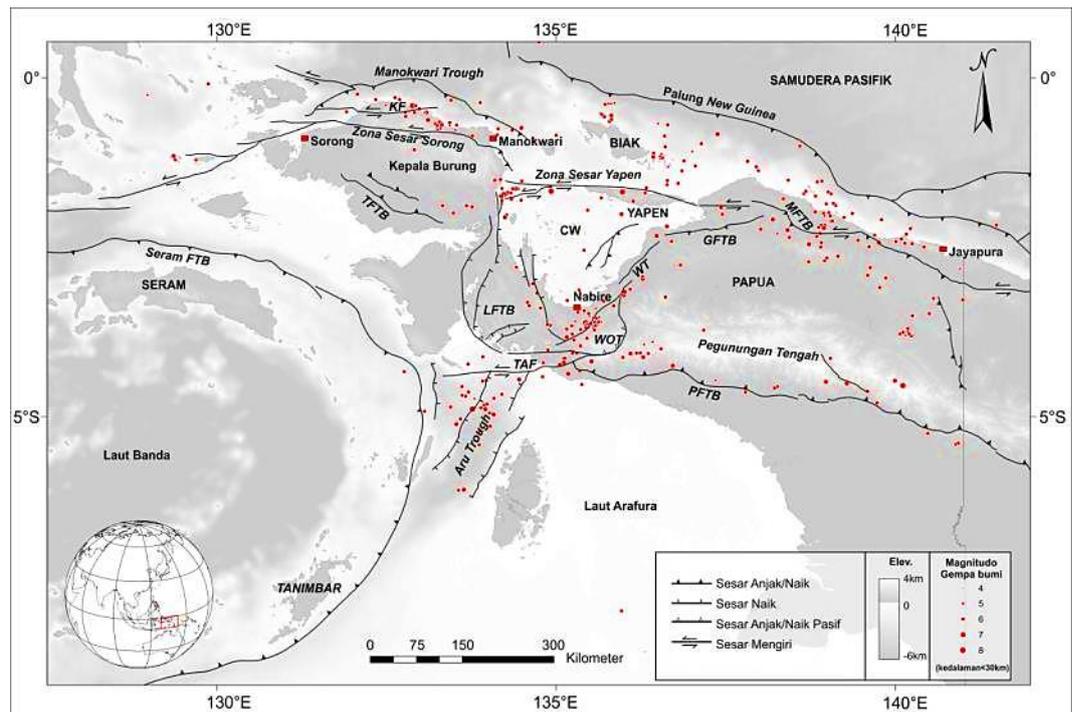
Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2 Geologi Regional

Pulau Papua atau dikenal dengan nama New Guinea merupakan pulau terbesar kedua di dunia setelah Greenland yang posisinya berada paling timur Indonesia dan memiliki gunung tertinggi se-Asia tenggara dan Australia, dengan puncak tertinggi 4884 m (Darman dan Sidi 2000). Bentuk Pulau Papua dapat diilustrasikan sebagai burung yang terbang ke arah barat dengan paruh terbuka. Wilayah ini secara geologis sangat kompleks karena melibatkan interaksi antara dua lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Struktur tertua di Papua berasal dari pergerakan bumi pada Zaman Paleozoikum dan hanya terdapat sedikit data yang terekam dan dapat menjelaskan fase tektonik pulau tersebut. Geologi Papua dipengaruhi oleh dua elemen tektonik yang saling bertumbukan dan serentak aktif pada Zaman Kenozoikum. Adanya aktivitas tektonik pada Miosen Akhir ini menyebabkan pola struktur pada pulau ini menjadi sangat rumit dan khas. Fase tektonik pada zaman ini menyebabkan terjadinya orogenesis Melanesia dan telah membentuk Fisiografi Papua seperti yang kita kenal saat ini (Dow dan Sukanto 1984 dalam Darman dan Sidi 2000).

Perairan Arafura merupakan perairan yang terletak di wilayah Papua bagian Selatan sampai perbatasan Benua Australia. Lokasi penelitian secara tektonik merupakan hasil tumbukan antara 3 lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Eurasia. Dataran rendah di Papua Selatan dan Dasar Laut Arafura membentuk paparan Arafura yang terdiri dari blok-blok kaku, dengan struktur geologi yang berkembang berarah timurlaut-baratdaya (NE-SW). Struktur ini melibatkan sesar normal dan sesar anjak, dan wilayah tersebut merupakan bagian 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 (Dow dkk, 1986 dalam Aldha dan Ho 2008). 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.

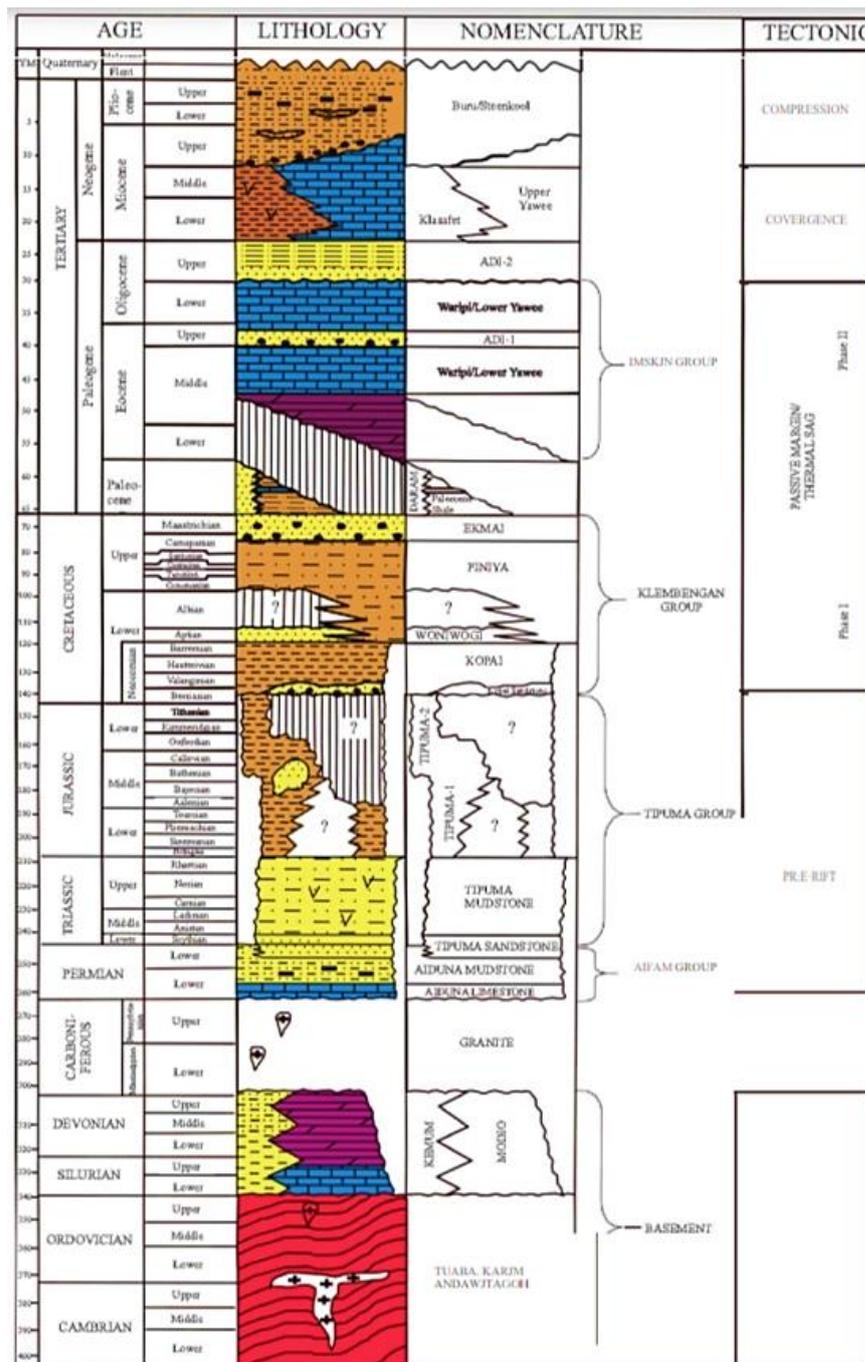


Gambar 2. Peta regional tektonik Papua (Pamumpuni, 2016)

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. (Hartono dan Ratman, 1992). Daerah selatan Papua dan Laut Arafura adalah daerah landasan kontinen yang terletak di bagian utara Australia. Di bagian utara, daerah ini berbatasan dengan zona tumbukan Tersier antara kraton Australia dengan busur pulau Papua bagian utara. Sedangkan di sebelah selatan berbatasan dengan kraton Australia yang cukup stabil. Evolusi tektonik di daerah Papua sendiri telah melibatkan interaksi antara Lempeng Pasifik,

Lempeng Indo-Australia, serta Lempeng Eurasia yang membagi stratigrafinya menjadi sejumlah *megasequences*. Peristiwa ini termasuk ke dalam periode *rifting* benua Australia selama masa Paleozoikum dan Mesozoikum, kemudian pembentukan pasif margin setelah *emplacement* kerak samudera. Pada umur Oligosen Akhir hingga sekarang tektonik di daerah ini masih sangat berkaitan dengan interaksi tiga lempeng utama. (Latuconsina dkk, 2022).

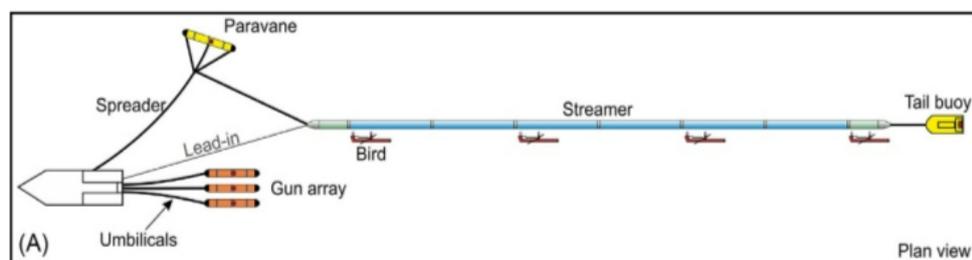


Gambar 3. Stratigrafi Papua bagian selatan dan Perairan Arafura (Harahap, 2012)

Stratigrafi Perairan Arafura dikontrol oleh proses sedimentasi batuan yang diakibatkan proses tektonik pembentukan dan pergerakan lempeng Benua Australia sejak Neo-Proterozoikum hingga saat ini (Nurulsabila dkk, 2021). Batuan dasar pada Perairan Arafura terdiri atas sedimen yang mengalami *metamorphosed* yaitu, Formasi Kemum dan dolomit dari Formasi Modio. Batuan dasar ini dilapisi tidak selaras oleh Formasi Permian Aiduna (Harahap, 2012).

2.4 Akuisisi Seismik Laut

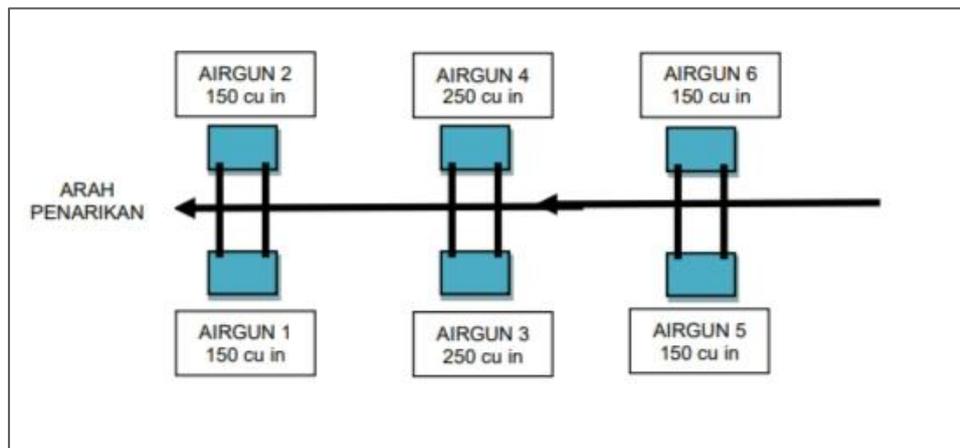
Survei seismik menggunakan gelombang elastis yang dihasilkan oleh ledakan buatan pada survei darat dan umumnya menggunakan pelepasan udara bertekanan tinggi dalam survei di laut. Beberapa gelombang yang dihasilkan memantul kembali dari antarmuka yang memisahkan unit stratigrafi yang berbeda di bumi, dan direkam sebagai amplitudo serta waktu kedatangan energi pantulan ini di permukaan bumi atau laut menggunakan sensor khusus, yang disebut geofon untuk akuisisi darat dan hidrofon untuk akuisisi di laut. Semua jenis survei seismik laut terdiri dari satu atau dua rangkaian sumber dan konfigurasi khusus beberapa hidrofon yang disusun dalam kabel penerima, disebut sebagai *streamer*. Konfigurasi tersebut bervariasi berdasarkan tujuan survei: itu bisa menjadi satu kabel tunggal (untuk akuisisi 2D), beberapa kabel sejajar (untuk akuisisi 3D dan 4D), atau penerima yang terletak di dasar laut (untuk akuisisi 4C), dll (Dondurur, 2018).



Gambar 4. Konfigurasi rencana peralatan umum untuk survei seismik 2D laut (Dondurur, 2018)

Akuisisi data seismik laut memerlukan beberapa system untuk dapat bekerja secara kompatibel secara bersamaan, yang berkomunikasi satu sama lain secara *real-time* selama akuisisi. Secara umum, peralatan dalam survei seismik 2D laut meliputi, kapal seismik, *recorder*, *streamer*, *sources*, *gun controller*, kompresor udara, sistem navigasi, *tail buoy*, sistem DGPS dll (Dondurur, 2018).

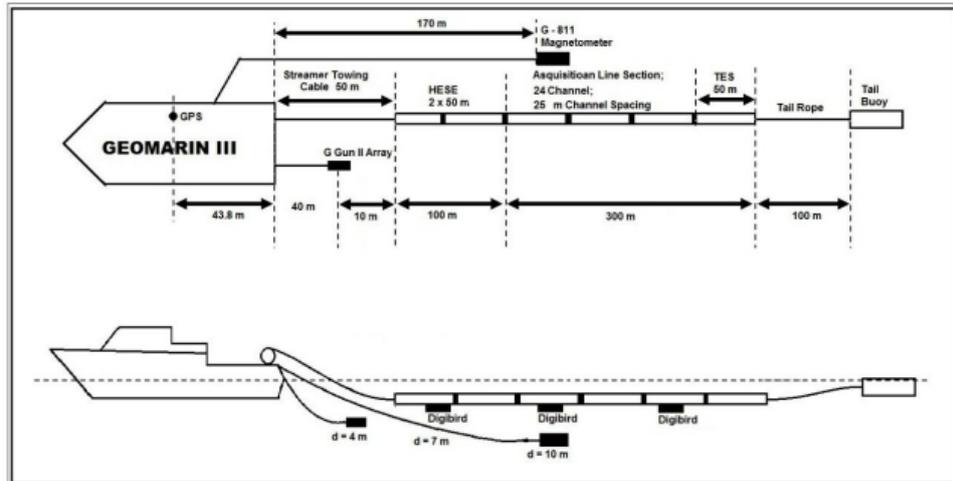
Akuisisi seismik pada daerah penelitian menggunakan kapal survey Geomarin III milik Balai Besar Survei dan Pemetaan Kelautan, Badan Geologi Kementerian ESDM. Kompresor yang digunakan yaitu, 2 unit kompresor *Hurricane Atlas* yang masing-masing berkekuatan 800 SCFM. Selama survei seismik berlangsung menggunakan 6 buah airgun, *G Gun II*, terpasang pada rangkaian *array* dengan *rubber floater* (pelampung). Konfigurasi dan posisi airgun adalah seperti pada Gambar 5. Dalam pelaksanaan kegiatan lapangan *array airgun* tersebut ditarik 50 meter di belakang kapal.



Gambar 5. Konfigurasi *airgun* survei seismik di Perairan Arafura
(Purwanto, 2017)

Penggunaan *streamer* pada survei seismik berfungsi menerima pulsa suara terpancung oleh struktur peralapisan bumi di bawah permukaan dasar laut. *Streamer Sercel Seal* dipergunakan dalam kegiatan ini dengan spasi antar *channel* 12.5 meter. Enam unit *Field Digitizer Unit* (FDU) dipasang di dalam *streamer* berfungsi mengubah *signal* analog yang diterima oleh

hidrofon menjadi digital, sehingga *signal* yang dikirimkan ke *recording system* di Laboratorium Geofisika Geomar III telah dalam bentuk *digital*.



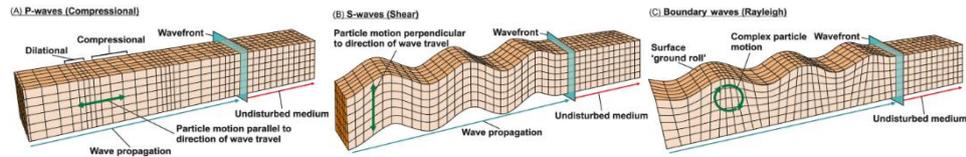
Gambar 6. Konfigurasi *array gun* dan *streamer* survei seismik di Perairan Arafura (Purwanto, 2017)

III. TEORI DASAR

3.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang berasal dari dalam bumi. Struktur bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan, dan setiap lapisan memiliki sifat elastis yang berbeda. Karakteristik terputus-putus dari medium ini memungkinkan gelombang seismik merambat, dengan sebagian energinya dipantulkan dan energi lainnya ditransfer ke medium di bawahnya (Telford dkk, 1990).

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young dan Freedman, 2020). Menurut sumbernya, gelombang seismik dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu gelombang P (*longitudinal*), gelombang S (*transversal*), dan gelombang permukaan. Gelombang P, juga dikenal sebagai gelombang primer atau longitudinal, menunjukkan gerakan partikel maju, mundur, dan sejajar dengan arah rambat gelombang. Kecepatan rambat gelombang P ini merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan jenis gelombang seismik lainnya. Gelombang S, yang disebut gelombang sekunder atau transversal, menggambarkan gerakan partikel yang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Gelombang permukaan, di sisi lain, memiliki kecepatan dan frekuensi yang lebih rendah dengan gerakan partikel yang kompleks (Cox dkk, 2020).



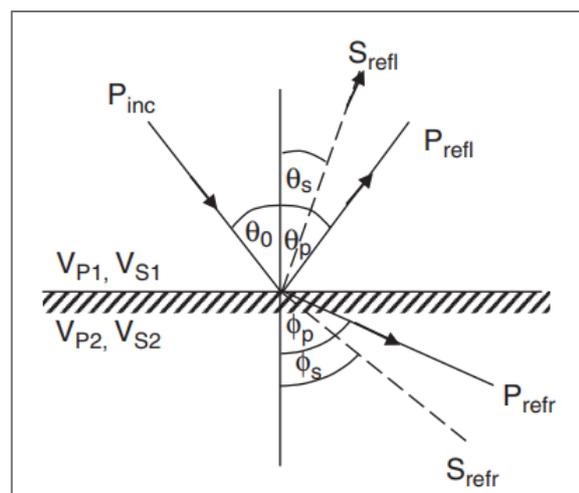
Gambar 7. Jenis-jenis gelombang seismik (Cox dkk, 2020)

3.2 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik

Gerak perambatan gelombang seismik didasari oleh beberapa hukum-hukum fisika yaitu, hukum Snellius, prinsip Huygens, dan prinsip Fermat.

3.2.1 Hukum Snellius

Gelombang seismik yang merambat melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka sebagian gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke permukaan dan sebagian lainnya akan diteruskan merambat ke bawah permukaan. Hukum Snellius menyatakan bahwa sudut bias dan sudut pantul merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Pada Gambar 8 ditunjukkan bahwa sebagian dari energi gelombang P akan direfleksikan menjadi gelombang P dan gelombang S serta sebagian lagi akan dibiaskan menjadi gelombang P dan gelombang S pula. Secara matematis Hukum Snellius dijabarkan pada persamaan (1).



Gambar 8. Pemantulan dan pembiasan gelombang menurut Hukum Snellius (Gadallah dan Fisher, 2009)

$$\frac{\sin \theta_0}{v_{p1}} = \frac{\sin \theta_p}{v_{p1}} = \frac{\sin \phi_p}{v_{p2}} = \frac{\sin \theta_s}{v_{s1}} = \frac{\sin \phi_s}{v_{s2}} = n \quad (1)$$

Keterangan:

θ_0 = Sudut datang gelombang P

θ_p = Sudut pantul gelombang P

ϕ_p = Sudut bias gelombang P

θ_s = Sudut pantul gelombang S

ϕ_s = Sudut bias gelombang S

v_{p1} = Kecepatan gelombang P pada medium pertama

v_{p2} = Kecepatan gelombang P pada medium kedua

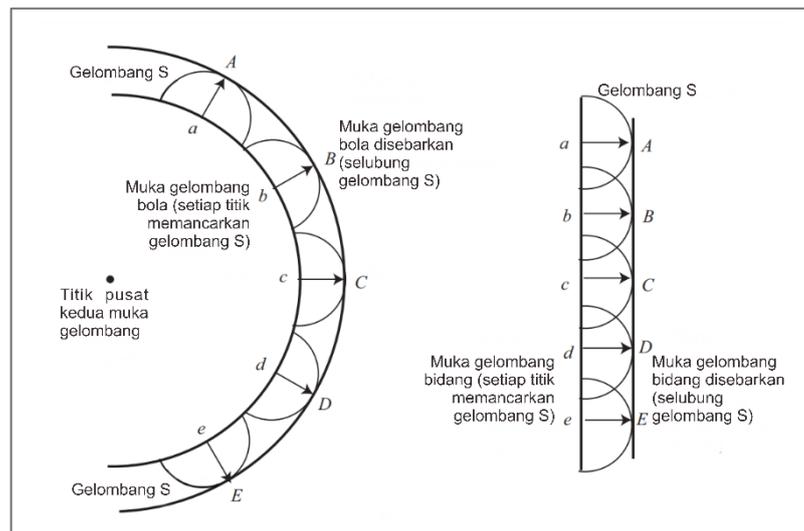
v_{s1} = Kecepatan gelombang S pada medium pertama

v_{s2} = Kecepatan gelombang pada medium kedua

n = Indeks bias

3.2.2 Prinsip Huygens

Prinsip Huygens ditemukan oleh seorang fisikawan Belanda, Christian Huygens pada tahun 1680. Hukum ini menyatakan bahwa setiap titik muka gelombang dapat menghasilkan sumber bagi gelombang baru.



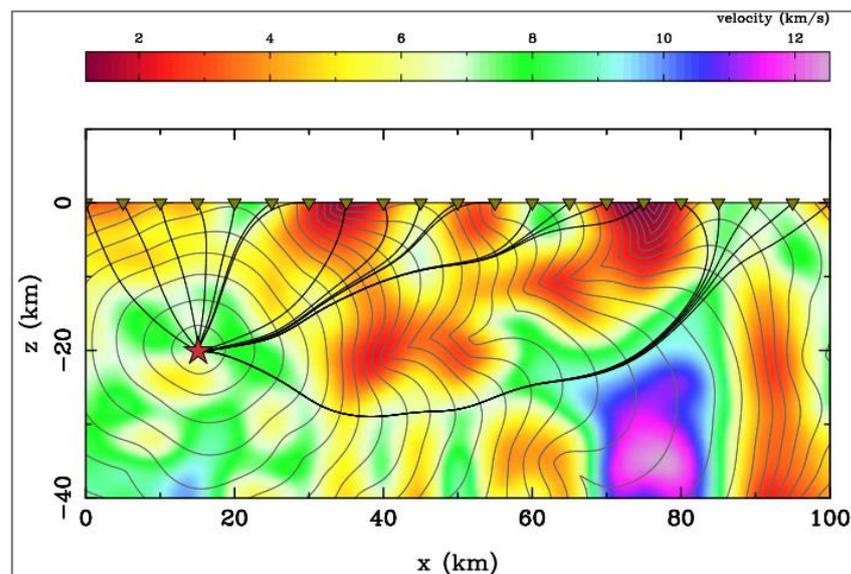
Gambar 9. Penjalaran gelombang menurut Prinsip Huygens (dimodifikasi dari Robinson dan Clark, 2017)

Posisi muka gelombang diperoleh dengan membentuk garis singgung permukaan untuk semua *wavelet* sekunder seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 9. Hukum Huygens mengungkapkan bahwa seiring bertambahnya kedalaman sebuah pulsa seismik akan kehilangan energinya (Gadallah dan Fisher, 2009).

3.2.3 Prinsip Fermat

Pierre de Fermat (1601 – 1665) merancang sebuah prinsip, yang sekarang dikenal sebagai prinsip Fermat, yang menjadi dasar pemahaman kita tentang perambatan gelombang seismik melalui bumi. Fermat menurunkan hukum pembiasan dengan menggunakan asumsi Heron yang menyatakan bahwa cahaya selalu bergerak melalui jalur terpendek. Namun, Fermat menyatakan bahwa gelombang bergerak lebih lambat di medium yang lebih padat. Jadi, alih-alih berasumsi bahwa gelombang merambat melalui jalur terpendek, Prinsip Fermat menyatakan bahwa gelombang menjalar dari satu titik ke titik lain melalui medium dengan waktu tempuh tercepat penjarannya (Robinson dan Clark, 2017). Gambar 10 di bawah ini menunjukkan prinsip Fermat pada penjaran gelombang.



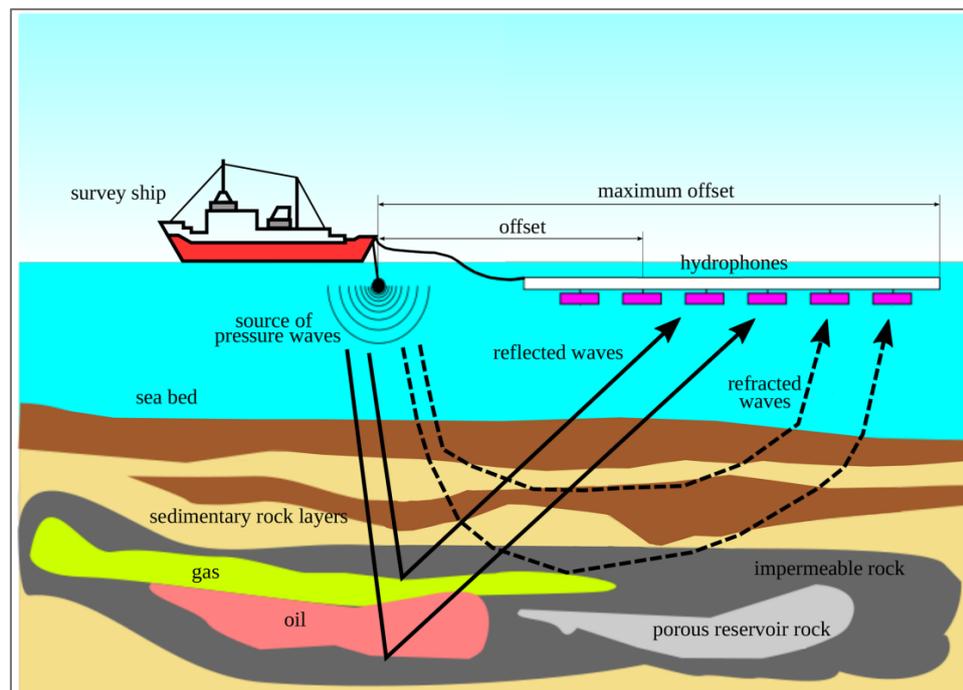
Gambar 10. Penjaran gelombang menurut Prinsip Fermat (Rawlinson dan Sambridge, 2003)

Gelombang seismik yang melewati medium dengan variasi kecepatan gelombang maka gelombang tersebut akan cenderung melewati zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah. Jejak sinar

juga menentukan arah penjalaran energi. Pada penjalaran sinar dari suatu titik ke titik lainnya, prinsip Fermat dapat digunakan untuk membuang semua jejak sinar kecuali sinar dengan waktu tempuh tercepat. Pada penjalaran gelombang refleksi, prinsip Fermat digunakan dalam menentukan titik pantul atau reflektor (Zulkarnain, 2020).

3.3 Seismik Refleksi

Metode seismik merupakan salah satu metode eksplorasi yang mengukur respons gelombang seismik (akustik) yang bergerak melalui batuan di bawah permukaan, kemudian dipantulkan atau dibiaskan sepanjang bidang *reflector* (batas) antar lapisan batuan. Metode seismik dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu, seismik bias (*refracted seismic*) dan seismik refleksi (*reflected seismic*). Seismik refraksi biasa lebih efektif digunakan untuk penentuan struktur geologi yang dangkal sedangkan seismik refleksi untuk struktur geologi yang lebih dalam (Syukri, 2020).



Gambar 11. Ilustrasi survei seismik (Roberts dkk, 2022)

Seismik refleksi merupakan salah satu metode geofisika aktif yang dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman bawah permukaan. Metode ini memanfaatkan sifat perambatan gelombang, yaitu gelombang pantul yang

merambat melalui bumi sebagai mediumnya. Metode ini memberikan gambaran bawah permukaan yang cukup baik (Sukmono, 1999). Inti dari metode seismik refleksi adalah untuk mengukur waktu yang diperlukan gelombang seismik untuk bergerak dari sumber ke bawah permukaan di mana gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke permukaan yang akan diterima dan direkam oleh *receiver* (Reynolds, 2011).

Gambar 11 di atas menunjukkan ilustrasi dari survei seismik. Dalam metode seismik refleksi, digunakan sumber gelombang buatan, bukan sumber gelombang alamiah seperti gempa bumi. Dengan mengukur selang waktu perjalanan gelombang yang dipantulkan dan menggambarkannya sebagai perubahan amplitudo, akan diperoleh representasi visual tentang keadaan di bawah permukaan bumi. Refleksi gelombang seismik tersebut direkam dengan alat dan menunjukkan berbagai variasi amplitudo sebagai respons dari berbagai pelapisan di bawah permukaan bumi, sehingga lapisan-lapisan tersebut akan muncul sebagai horizon reflektor (Santoso, 2002).

Metode seismik refleksi memerlukan sumber energi seismik dan metode yang sesuai untuk dapat dideteksi (*geophone* atau *hydrophone*). Jika sumber seismik ditembakkan pada titik tembak tertentu dan gelombang pantul dideteksi pada lokasi geofon yang ditempatkan dalam garis di kedua sisi titik tembak. Titik pantulan berada di tengah antara sumber dan geofon deteksi. Jarak antara titik pantulan pada antarmuka selalu setengah dari jarak antara geofon. Oleh karena itu, total *coverage* antarmuka bawah permukaan adalah setengah dari panjang lebar penyebaran geofon. Jarak dari sumber ke setiap geofon dikenal sebagai *offset*. Jika lebih dari satu lokasi tembakan digunakan, pantulan yang berasal dari titik yang sama pada antarmuka akan dideteksi di geofon yang berbeda. Titik pantulan ini dikenal sebagai *common midpoint* (CMP) (Reynolds, 2011).

3.4 Impedansi Akustik

Gelombang seismik dapat dipantulkan kembali ke permukaan ketika adanya antarmuka di bawah permukaan di mana terdapat perbedaan impedansi

akustik (IA), yang merupakan hasil dari kecepatan seismik (V) dan densitas (ρ) dari setiap lapisan (Reynolds, 2011). Impedansi akustik (IA) ini secara umum dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$IA = V\rho \quad (2)$$

dengan,

IA = Impedansi akustik (m/s. g/cc atau Pa. s/m³),

ρ = densitas (g/cc),

V = kecepatan gelombang seismik (m/s).

Impedansi akustik (IA) sangat erat kaitannya dengan karakteristik seperti litologi, porositas kekerasan, pengisian pori dan kandungan fluida. Sehingga perubahan nilai pada impedansi akustik akan menandakan juga perubahan pada karakteristik tersebut (Latimer dkk., 2000).

3.5 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi atau reflektansi merupakan nilai yang mewakili batas antara dua media yang mempunyai impedansi akustik berbeda. Bila sudut datang gelombang seismik tegak lurus terhadap bidang pantul (*normal incidence*), maka koefisien refleksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$RC = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \quad (3)$$

dengan keterangan,

RC = koefisien refleksi,

IA_1 = impedansi akustik lapisan atas,

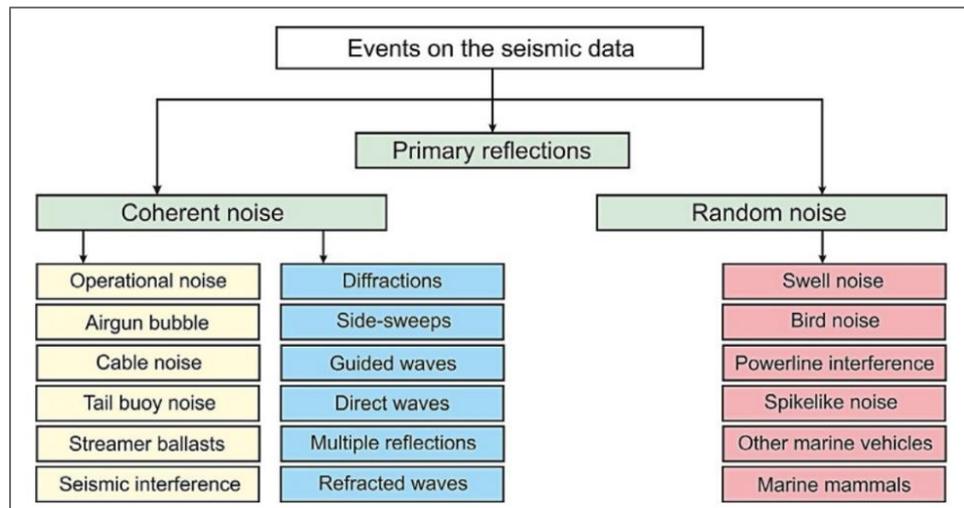
IA_2 = impedansi akustik lapisan bawah.

Besarnya nilai koefisien refleksi tidak hanya bergantung pada impedansi akustik tetapi juga pada sudut datang gelombang dan jarak antara sumber dengan penerima. Koefisien refleksi merupakan cerminan dari bidang batas media yang memiliki harga impedansi akustik yang berbeda. Untuk refleksi seismik, koefisien refleksi biasanya dinyatakan pada jarak nol antara sumber

dan penerima (*zero offset*). Ketika koefisien refleksi di konvolusi dengan *wavelet*, maka akan tercipta *trace* seismik (Sukmono, 1999).

3.6 Noise Dalam Seismik

Noise atau gangguan pada sinyal seismik dapat didefinisikan sebagai gelombang yang ikut terekam pada akuisisi lapangan yang memiliki frekuensi atau amplitudo yang berbeda dengan sinyal refleksi asli. *Noise* memiliki karakter tertentu yang bergantung pada daerah di mana survei dilakukan. Umumnya pada survei seismik laut *noise* yang sering ditemukan ialah *multiple*, sedangkan pada survei darat *noise* yang sering ditemukan adalah *ground roll* (Yilmaz, 2001).



Gambar 12. Berbagai jenis *coherent* dan *random noise* pada data seismik laut. (Dondurur 2018).

Noise yang terekam dapat dihasilkan oleh komponen sistem seismik itu sendiri dan terkadang muncul akibat lingkungan sekitarnya. *Noise* dalam seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu, *coherent noise* dan *random noise*. *Coherent noise* memiliki konsistensi *trace-by-trace* dan dapat ditemukan pada beberapa *trace* seismik. Koheren *noise* (*coherent noise*), seperti *multiple* dapat dimodelkan dan dikurangi dari data seismik dengan menggunakan filter yang sesuai. Sedangkan, *random noise* tidak memiliki konsistensi sistematis dari satu *trace* ke *trace* lainnya. *Random*

noise dapat dilemahkan jika dapat dipisahkan dari sinyal dengan karakteristik spesifiknya, misalnya *band frequency*. Namun, saat ini *stacking* menjadi salah satu teknik paling efektif baik untuk meredam *random* dan *coherent noise* (Dondurur, 2018).

3.7 **Formatting Data**

Rekaman data seismik yang diperoleh di lapangan berupa data mentah yang direkam *field tipe* dalam format *multiplex*. Karena format *multiplex* merekam *trace* seismik secara bersamaan, data yang diperoleh berupa bentuk gelombang yang mewakili rangkaian/deret jarak. Namun, ketentuan pengolahan standar SEG memerlukan data berformat *demultiplex* yaitu, gelombang yang tersusun berdasarkan deret waktu atau *time series*. Format *multiplex* terdiri dari SEG A, SEG B, SEG C dan SEG D dan biasanya format *demultiplex* berupa SEG Y. Proses *demultiplexing* digunakan untuk mengubah format data dari *sequential series* menuju *time series* (Munadi, 2002).

Perekam *trace* seismik menyimpan data dalam bentuk urutan waktu *multiplex*, di mana catatan berisi sampel pertama dari setiap *trace* (*trace* 1, sampel 1; *trace* 2, sampel 1; *trace* 3, sampel 1; ... *trace* terakhir, sampel 1; lalu *trace* 1, sampel 2; *trace* 2, sampel 2; dst). Meskipun hal ini efisien untuk perekaman *trace* seismik, namun tidak untuk proses pengolahan data. Oleh karena itu, proses *demultiplexing* dilakukan dengan mengatur ulang format atau susunan *trace* per satuan waktu. Proses *demultiplexing* adalah proses penataan ulang urutan sampel data berdasarkan kelompok *channel* atau *trace* dan mengoreksi jika terdapat kesalahan *multiplex*, polaritas, dan statis. Pada saat ini sudah banyak dilakukan perekaman data seismik dalam format *demultiplex* yang lebih mudah dan biaya yang hemat dalam hal pengambilan data refleksi seismik (Reynolds, 2011).

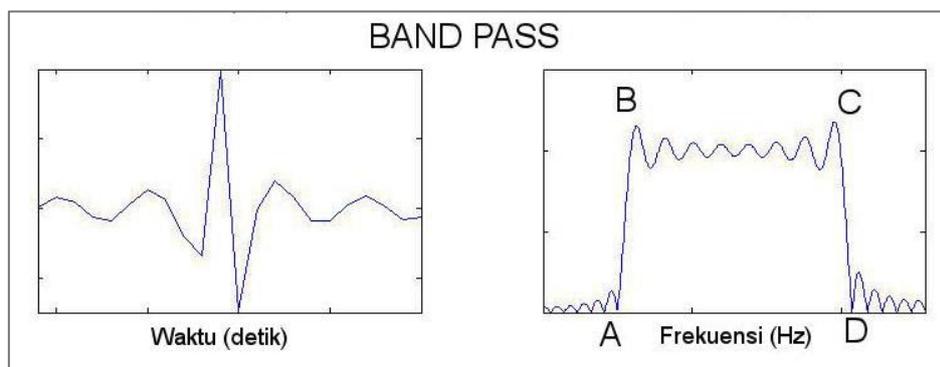
3.8 *Geometry Assignment*

Geometry adalah proses penggabungan data parameter akuisisi dengan data seismik. Hal ini dilakukan karena data seismik hasil rekaman di lapangan hanya akan mengandung data berupa FFID, *shot point*, dan *channel* sehingga perlu ditambahkan data lain seperti *shot point* koordinat, CDP, *offset* dan lainnya untuk mempermudah proses pengolahan data (Riyadi, 2011). Geometri membutuhkan informasi geometri akuisisi dan parameter ini tercatat dalam *observer log/observer report*, yang digunakan untuk setiap *line* selama akuisisi. *Observer* ini melibatkan parameter perekaman untuk tata letak *receiver*, sumber seismic, dan navigasi serta catatan survei. Parameter ini menjadi salah satu hal yang paling penting dalam pemrosesan (*processing*) data seismik. Informasi geometri mencakup informasi mengenai jumlah tembakan, jumlah *channel*, *offset* lateral, jumlah *steamer* (*receiver*), *steamer group interval*, sementara informasi navigasi mencakup koordinat sumber untuk setiap tembakan serta lokasi yang dihitung dari setiap *recording channel* untuk setiap titik tembakan. Secara umum, geometri dicatat dalam *database* terlebih dahulu, dan kemudian dicocokkan dengan *trace* dan dimuat ke dalam data seismik (Dondurur, 2018).

3.9 *Filtering*

Proses *filtering* merupakan proses 'menyelamatkan' frekuensi yang diinginkan. Filter frekuensi bekerja meredam *noise* dengan *event* frekuensi rendah dengan amplitudo yang besar (Ramdhani dkk, 2013). Filter frekuensi adalah proses modifikasi langsung spektrum amplitudo data seismik. Tujuan utama dari penyaringan frekuensi adalah bahwa sinyal dan amplitudo *noise* muncul pada frekuensi yang berbeda dalam data seismik. Jika frekuensi *noise* dekat dengan frekuensi sinyal, maka sinyal refleksi juga dapat dihilangkan bersamaan dengan *noise* melalui filter frekuensi (Dondurur 2018). Metode pengolahan data seismik yang digunakan untuk melakukan penyaringan frekuensi biasanya adalah *bandpass filter*. *Bandpass filter* adalah jenis *filter* yang hanya mengizinkan sinyal dengan frekuensi tertentu. Sinyal yang berada di luar rentang frekuensi yang

ditentukan oleh filter, baik di bawah maupun di atasnya, akan dicegah atau diredam oleh rangkaian *bandpass filter* (Ramdhani dkk, 2013).



Gambar 13. *Bandpass filter* (Abdullah dkk, 2018)

Bandpass filter banyak digunakan karena biasanya gelombang seismik terkontaminasi *noise* frekuensi rendah (seperti *ground roll*) dan *noise* frekuensi tinggi (*ambient noise*). Gambar 13 di atas ini menunjukkan *bandpass filter* dalam kawasan waktu (*time domain*) dan frekuensi domain (*frequency domain*). *Bandpass filter* berguna untuk menghilangkan frekuensi rendah dan tinggi yang ada di sinyal seismik, sehingga hanya frekuensi dalam rentang tertentu yang dapat diloloskan. Dalam pengolahan data seismik, umumnya diterapkan rumus dengan menggunakan fungsi *transfer filter* dan didasari pada domain frekuensi yang dituliskan sebagai berikut:

$$H(f) = \left[1 - \left(\frac{f}{f_1} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{f_2}{f} \right)^2 \right] \quad (4)$$

dengan keterangan:

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

f = frekuensi,

f_1 = frekuensi *cutoff* bawah dari *filter bandpass*,

f_2 = frekuensi *cutoff* atas dari *filter bandpass*.

3.10 *Editing*

Editing merupakan tahapan untuk menghilangkan sinyal yang dianggap rusak ataupun yang tidak dibutuhkan dari suatu data seismik. Adapun

tahapan ini terdiri atas *muting* dan *killing*. *Muting* adalah tahapan untuk menghilangkan beberapa rekaman yang dianggap sinyal interferensi seperti *random noise*, *surface wave* dan data lain yang dapat mengganggu (Naghizadeh dkk, 2019).

Pada pengolahan data seismik terdapat tiga jenis *muting* yang sering digunakan yaitu:

1. *Top Mute* adalah langkah pemotongan data dari waktu nol hingga waktu far offset, yang bertujuan menghapus informasi yang tidak dibutuhkan di bagian atas data seismik atau mengatasi sinyal seismik seperti first break. Hal ini dilakukan untuk mencegah efek stratching saat melakukan Normal Moveout (NMO).
2. *Surgical Mute* merupakan tindakan pemotongan data pada wilayah antara dua fungsi yang ditentukan, dengan tujuan mengeliminasi noise kohoren yang mungkin muncul pada area tertentu.
3. *Bottom Mute* langkah pemotongan data di bawah fungsi yang ditentukan, berfungsi untuk menghilangkan informasi yang tidak diperlukan di bagian bawah data seismik, terutama untuk mengatasi sinyal gelombang seismik pada lapisan yang lebih dalam.

Proses *killing* digunakan untuk menghapus sinyal seismik yang beroperasi dalam satu dimensi, khususnya untuk menghapus satu *trace* yang mempunyai amplitudo yang tidak sebanding dengan sinyal lainnya. Validitas hasil akhir data seismic tidak akan berkurang jika *killing* dilakukan pada satu atau dua *trace*, mengingat pada tahap *stacking*, banyak *trace* diperlukan untuk setiap *Common Depth Point* (CDP) (Utami, 2016).

3.11 *True Amplitude Recovery* (TAR)

TAR, atau *Time Amplitude Recovery*, berupaya dalam mengembalikan nilai amplitudo seismik yang telah mengalami penurunan akibat divergensi bumi. Peningkatan amplitudo seismik dilakukan dengan asumsi bahwa setiap titik reflektor dianggap datang dengan energi yang setara. Faktor-

faktor yang memengaruhi tingkat amplitudo gelombang seismik adalah (Priyono, 2006):

1. Intensitas peledakan dan kopling antara sumber ledakan dengan medium.
2. Divergensi bola/*spherical divergence* yang menyebabkan distribusi energi gelombang dalam suatu volume bola.
3. Perubahan koefisien refleksi sehubungan dengan sudut datang gelombang atau *offset*.
4. Atenuasi dan absorpsi.
5. Pantulan berulang atau *multiple* akibat adanya lapisan-lapisan tipis.

Dari faktor-faktor di atas mekanisme dari *amplitude attenuation* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = A_0 \frac{1}{r} e^{-\beta r} \quad (5)$$

keterangan:

A = amplitudo pada radius r dari sumber,

A_0 = amplitudo dari sumber,

$\frac{1}{r}$ = faktor geometris (mencerminkan divergensi geometris),

$e^{-\beta r}$ = redaman eksponensial, di mana β adalah koefisien absorpsi. Nilai β tergantung pada sifat-sifat medium yang dilewati.

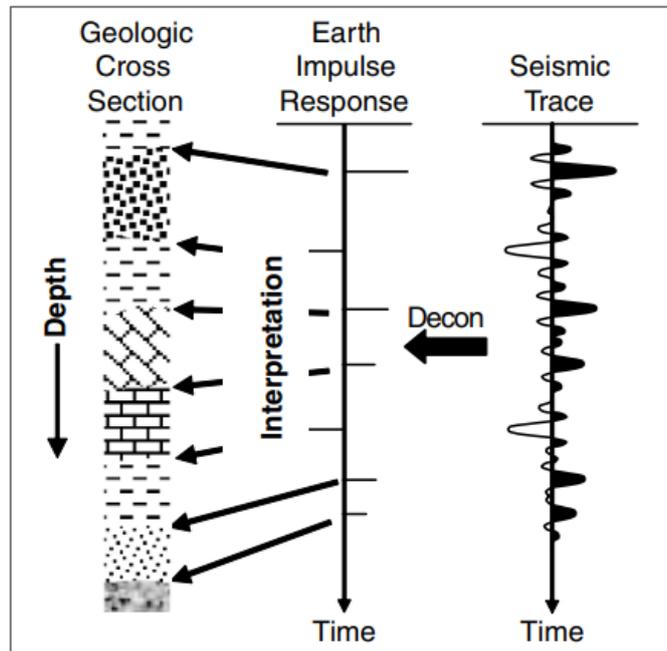
Rumus di atas menjelaskan bagaimana amplitudo mengalami penurunan dengan seiring bertambahnya jarak dari sumber gelombang karena divergensi geometris dan faktor redaman dalam medium (Mousa, 2019).

3.12 *Deconvolution*

Dekonvolusi merupakan proses untuk meningkatkan resolusi data seismik dengan menekan *wavelet* seismik dasarnya (Yilmaz, 1987). Dengan definisi yang paling sederhana, dekonvolusi adalah kebalikan dari proses konvolusi. Dalam teori konvolusi, *trace* seismik dibentuk oleh konvolusi sederhana dari sinyal sumber (*source*) dan deret refleksi bumi dalam kedalaman

(Dondurur, 2018). Rekaman seismik yang diperoleh dari akuisisi data merupakan suatu hasil konvolusi gelombang seismik dengan properti batuan bawah permukaan bumi (Limbong, 2020).

Dalam proses konvolusi, sinyal yang terekam melibatkan *wavelet* sumber (*source*) yang muncul pada setiap *event* refleksi. Efek *wavelet* sumber dari *trace* seismik ini dihilangkan untuk mendapatkan serangkaian reflektifitas bumi, yang mendefinisikan bawah permukaan.



Gambar 14. Dekonvolusi (Gadallah dan Fisher, 2009)

Dekonvolusi berupaya untuk mendapatkan serangkaian reflektifitas (atau respons impuls) bawah permukaan dengan menghilangkan *wavelet* sumber dari sinyal yang terekam. Dengan menggunakan model konvolusional, sinyal yang direkam dapat diungkapkan secara matematis dalam persamaan (3).

$$s(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (6)$$

di mana,

$s(t)$ = rekaman seismogram

$w(t)$ = *wavelet* sumber/ gelombang seismik

- $r(t)$ = serangkaian reflektifitas (respon impuls bumi)
 $n(t)$ = *ambient noise*
 * = proses konvolusi

Dekonvolusi berupaya untuk menghilangkan sinyal sumber (*source*) dari *trace* seismik. Dalam *processing* data seismik, dekonvolusi digunakan untuk meningkatkan resolusi temporal dari data seismik. Selain itu, dekonvolusi memiliki sejumlah efek signifikan dalam data seismik, seperti berikut (Dondurur, 2018):

1. Meningkatkan resolusi temporal (vertikal),
2. Menghilangkan atau menekan *wavelet* seismik dari data,
3. Menghilangkan *ringing noise* dari sinyal refleksi, dan
4. Menghilangkan refleksi *multiple*.

Dalam seismik refleksi, spektrum *noise* dapat mencakup rentang frekuensi yang sama dengan sinyal seismik, yaitu, baik sinyal seismik maupun sinyal yang tidak diinginkan tidak memiliki konten frekuensi yang berbeda dalam hal ini. Ketika menggunakan *filter low-pass* atau *band-pass* untuk mengurangi sinyal yang tidak diinginkan dari catatan data seismik, resolusi vertikal seismik akan terpengaruh, yaitu, komponen frekuensi tinggi gelombang seismik akan diatenuasi. Oleh karena itu, perlu mendapatkan *filter* yang melakukan pekerjaan terbaik dalam mengubah *input* menjadi *output* yang diinginkan (Mousa, 2019).

Dalam pengolahan data seismik, *filter* Wiener dan dekonvolusi saling terkait, terutama dalam upaya untuk meningkatkan kualitas data seismik dengan mengurangi efek kebisingan dan memperbaiki resolusi temporal. Filter untuk sejumlah besar masalah di mana *output* yang diinginkan dapat dipertimbangkan, yang meliputi (Yilmaz, 2001):

1. *Zero-lag spike*,
2. *Spike* pada *lag* tertentu,
3. *Time-advanced form of input series*,
4. *Zero-phase wavelet*, dan

5. *Wavelet* dengan bentuk tertentu.

Pada pengolahan data seismik dikenal beberapa jenis dekonvolusi, yaitu *spiking deconvolution* dan *predictive deconvolution*.

1. *Spiking Deconvolution*

Proses dengan *output zero-lag spike* disebut dengan dekonvolusi *spiking*. *Zero lag spike* memiliki bentuk $[1, 0, 0, 0, \dots, 0]$ yakni amplitudo bukan nol terletak pada urutan pertama. Dekonvolusi *spiking* bertujuan untuk menghilangkan efek gelombang sumber dari data seismik. Menurut model konvolusi, bagian yang tersisa untuk lingkungan bebas-*noise* adalah deret reflektifitas bumi. Dekonvolusi *spiking* digunakan untuk menemukan koefisien refleksi (Dondurur, 2018).

Spiking dekonvolusi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa wavelet yang digunakan memiliki bentuk impuls (*spike*), sehingga diharapkan *trace* seismik yang didapatkan mendekati fungsi koefisien refleksi. Di mana fungsi ini, jika digambarkan dalam domain frekuensi, akan menunjukkan spektrum amplitudo yang konstan sepanjang rentang frekuensi yang telah ditentukan (Harjumi dan Rifie, 2014).

2. *Predictive Deconvolution*

Dekonvolusi prediktif digunakan untuk mendapatkan *time-advanced* dari *trace* seismik masukan dan terdiri dari proses prediksi. Prediktif dekonvolusi melibatkan penggunaan fungsi autokorelasi dari *trace* seismik masukan, yang diasumsikan sebagai *signature wavelet*. Prediktif dekonvolusi dipilih karena mampu mengurangi gangguan yang dapat diprediksi setelah terjadinya peristiwa refleksi, terutama gangguan seperti *multiple* yang bisa terjadi dengan perioda pendek atau panjang (Harjumi dan Rifie, 2014).

Dekonvolusi prediktif, yang juga dikenal sebagai dekonvolusi *gap*, adalah proses dekonvolusi yang menggunakan prinsip filter kesalahan prediksi, yang berdasarkan pada observasi bahwa *multiple* selalu dapat diantisipasi dalam *trace* seismik. Dekonvolusi *gap* ini melibatkan dua parameter utama, yaitu *gap length* dan *operator length*. *Gap length* merujuk pada lebar defleksi yang diizinkan untuk melewati efek reverberasi, dengan nilai *gap* yang ditentukan oleh waktu pada saat *zero crossing* kedua dari hasil autokorelasi *input*. Sementara itu, *operator length* (OL) mengacu pada durasi efek reverberasi (Chintia dkk, 2017).

3.13 *Velocity Analysis*

Pantulan seismik dihasilkan di antarmuka yang ditandai oleh kontras impedansi yang memisahkan unit batuan dengan nilai kecepatan dan kepadatan yang berbeda. Namun, dalam pemrosesan data seismik, kepadatan umum diabaikan karena variasi kepadatan umum cukup kecil dibandingkan dengan variasi kecepatan batuan. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa metode seismik adalah kecepatan gelombang seismik dari medium, dan pantulan yang direkam diasumsikan berasal dari antarmuka yang memisahkan dua lapisan dengan kecepatan yang berbeda. Informasi kecepatan adalah parameter utama untuk mendefinisikan kedalaman, kemiringan, dan lokasi lateral dari reflektor dalam data seismik. Ini juga informasi krusial untuk beberapa metode pemrosesan, seperti koreksi *normal moveout* (NMO) dan migrasi. Kecepatan gelombang seismik dalam dua dan tiga dimensi didapatkan secara tidak langsung dari data seismik *multichannel*. Berdasarkan bidang penerapannya, ada berbagai definisi kecepatan dalam eksplorasi seismik, seperti kecepatan interval, NMO, atau kecepatan *root-mean-square* (RMS), dan lain sebagainya. Namun, jenis kecepatan yang paling banyak digunakan dalam analisis data seismik adalah kecepatan yang menyajikan data *stack* terbaik, yang mana berhubungan dengan kecepatan NMO dan RMS. Dengan menggunakan analisis kecepatan, satu-satunya kecepatan yang dapat diperoleh dari data seismik adalah kecepatan RMS. Adapun beberapa jenis kecepatan data

seismik yang berhubungan dengan waktu datang dan jarak tempuh ialah sebagai berikut (Dondurur, 2018):

1. Kecepatan interval (V_{int})

Kecepatan interval adalah kecepatan antara dua antarmuka reflektif, atau lebih sederhana dapat diartikan sebagai kecepatan tiap-tiap lapisan. Jika dua reflektor berada pada kedalaman h_2 dan h_1 memberikan waktu tempuh satu arah t_2 dan t_1 masing-masing, maka kecepatan interval dari lapisan dirumuskan sebagai:

$$V_{int} = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

Kecepatan interval adalah karakteristik intrinsik dari batuan di bawah permukaan. Beberapa algoritma migrasi memerlukan pengetahuan tentang kecepatan interval, dan kecepatan tersebut dapat diperoleh dari kecepatan RMS menggunakan persamaan Dix pada tahap pemrosesan seismik.

2. Kecepatan rata-rata (\bar{V})

Kecepatan rata-rata merupakan rata-rata dari nilai kecepatan seismik antara permukaan laut dengan reflektor tertentu. Kecepatan rata-rata secara sederhana dapat dikatakan sebagai rata-rata kecepatan V_i dari pelapisan yang dilalui gelombang dengan waktu tempuh Δt_i . Kecepatan ini biasa digunakan untuk mengonversi data seismik dari domain waktu ke kedalaman. Kecepatan rata-rata dirumuskan sebagai (Sheriff dan Geldart, 1985):

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad (8)$$

3. Kecepatan *instantaneous*

Kecepatan *instantaneous* adalah kecepatan di setiap titik pengukuran yang diukur dengan *log* kecepatan.

4. Kecepatan *root-mean-square* (V_{RMS})

Kecepatan RMS (*root-mean-square*) merupakan akar dari kuadrat rata-rata kecepatan interval. Jika bawah permukaan terdiri dari n jumlah lapisan dan kecepatan intervalnya adalah V_1, V_2, \dots, V_n , kecepatan RMS dapat dituliskan secara matematis dengan:

$$V_{RMS}^2 = \frac{V_1^2 t_1 + V_2^2 t_2 + \dots + V_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{\sum V_i^2 t_i}{\sum t_i} \quad (9)$$

di mana,

V_i = kecepatan masing-masing lapisan (m/s),

t_i = waktu tempuh gelombang bergerak untuk masing-masing lapisan (s)

Kecepatan RMS biasanya diperoleh dari proses analisis kecepatan data seismik yang akan digunakan dalam tahap selanjutnya yaitu, koreksi NMO untuk lapisan bawah permukaan.

5. Kecepatan NMO atau *stacking* (V_{NMO})

Kecepatan NMO merupakan kecepatan yang digunakan untuk menghilangkan waktu *normal moveout* dari CDP sebelum proses *stacking*. Penentuan kecepatan NMO yang akurat menjadi hal penting untuk kualitas dari hasil *stacking*. Pada jarak *offset* pendek pada medium berlapis horizontal, kecepatan NMO dan RMS adalah identik. Kecepatan NMO dirumuskan sebagai berikut:

$$t^2(x) = t^2(0) + \frac{x^2}{V_{NMO}^2} \quad (10)$$

$$V_{NMO} = \sqrt{\frac{x^2}{t(x)^2 - t(0)^2}} \quad (11)$$

di mana,

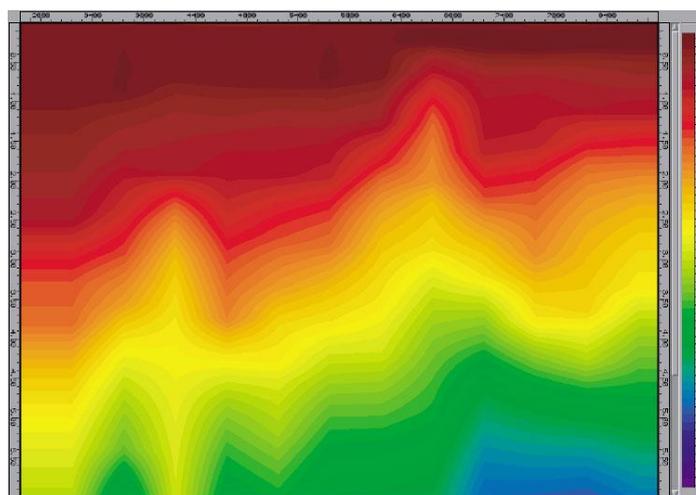
$t(x)$ = waktu tempuh dua arah sinyal refleksi pada *offset* x (s),

$t(0)$ = waktu tempuh dua arah pantulan normal (s),

x = jarak dari *offset* nol ke *offset* x (m).

Analisis kecepatan adalah langkah dalam meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise* dalam data seismik. Sinyal-sinyal pantul yang terdapat dalam *trace* seismik menyampaikan informasi tentang kecepatan lapisan di bawah permukaan. Proses analisis kecepatan umumnya diterapkan pada data CMP (*Common Mid-Point*) *gather*, yang terdiri dari beberapa pasangan tembakan (*shot*) dan penerima (*receiver*), namun memiliki titik tengah (CMP) yang sama. Apabila titik tengah tersebut diproyeksikan ke bidang pantul, istilah yang digunakan adalah CDP (*Common Depth Point*) (Yilmaz, 2001).

Keluaran dari salah satu tipe analisis kecepatan ialah berupa tabel angka sebagai fungsi kecepatan terhadap waktu tempuh dua arah untuk pantulan tegak lurus (*normal*), atau yang biasa disebut spektrum kecepatan. Angka-angka ini mewakili hasil penghitungan koherensi sinyal-sinyal pantul sepanjang lengkung hiperbola yang terbentuk dan dipengaruhi oleh kecepatan, *offset*, dan waktu tempuh. Fungsi kecepatan yang dipilih di lokasi analisis kemudian diinterpolasi secara spasial di antara lokasi analisis untuk membuat bidang kecepatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15. Merah di bagian dangkal dan biru di bagian dalam sesuai dengan kecepatan rendah dan tinggi, masing-masing. Kecepatan ini digunakan untuk menyediakan fungsi kecepatan untuk setiap CMP yang berkumpul di sepanjang profil (Yilmaz, 2001).

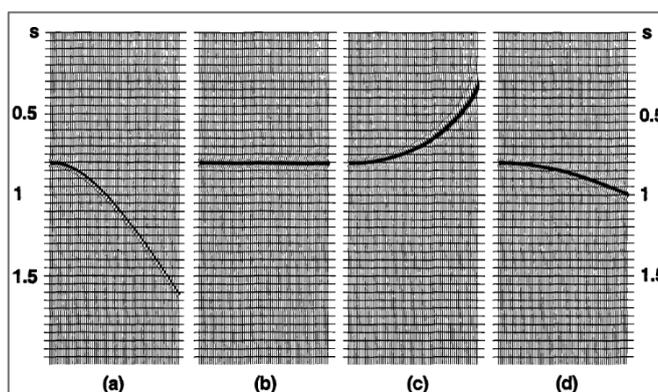


Gambar 15. Peta kontur *isovelocity* yang diperoleh dengan menggunakan *picking velocity* dari spektrum (Yilmaz, 2001)

3.14 Normal Move Out (NMO) Correction

Koreksi NMO atau *Normal Moveout* adalah prosedur koreksi yang bertujuan untuk mengeliminasi dampak perbedaan jarak antara sumber dan penerima pada data seismik, sehingga tercipta kesan seolah-olah sumber dan penerima berada pada satu sumbu garis vertikal, yang juga dikenal sebagai *zero offset*. *Normal Moveout* (NMO) merujuk pada perbedaan waktu antara kedatangan gelombang pantul pada berbagai *offset* dengan waktu kedatangan gelombang pantul untuk *offset* nol (Yilmaz, 2001).

Dalam suatu tembakan (*shot*) atau CDP (*Common Depth Point*) *gather* sinyal pantulan tiba lebih awal pada *receiver* yang berada dekat dengan titik sumber (*offset* terdekat) dibandingkan dengan pantulan yang direkam di lokasi yang lebih jauh (*offset* terjauh). Perbedaan waktu kedatangan sinyal pantul pada *offset* tertentu dan waktu *zero-offset* dari pantulan tersebut didefinisikan sebagai waktu *Normal Moveout* (*Normal Moveout Time*). Koreksi NMO menghilangkan waktu *normal moveout* dari setiap hipernola pantulan pada setiap CDP *gather*, menggunakan kecepatan *root-mean-square* (RMS) yang diperoleh dari analisis kecepatan (Dondurur, 2018). Secara sederhana, koreksi NMO memiliki tujuan untuk mengatasi dampak perbedaan jarak *offset* antara titik tembak dan penerima pada tras-tras CDP. Proses koreksi NMO ini mengembalikan pantulan gelombang refleksi yang memiliki kemiringan menjadi pantulan yang berada secara tegak lurus (Munadi, 2002).



Gambar 16. Koreksi NMO (a) sebelum dikoreksi (b) koreksi NMO dengan kecepatan yang sesuai (c) *overcorrection* karena *velocity* terlalu rendah (d) *undercorrection* karena *velocity* terlalu tinggi (Yilmaz, 2001)

Dalam pengolahan data seismik, waktu tempuh dua arah gelombang pantul untuk pantulan horizontal tunggal dituliskan dalam persamaan berikut (Dix, 1955):

$$t(x) = \sqrt{t(0)^2 + \frac{x^2}{V^2}} \quad (12)$$

Dengan menggunakan persamaan (9), koreksi NMO dituliskan dengan persamaan (10):

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t(0) \quad (13)$$

di mana,

$t(x)$ = waktu tempuh dari sumber ke antarmuka pantulan dan kembali ke penerima yang berada pada *offset* x (s),

$t(0)$ = waktu tempuh dua arah gelombang pantul waktu nol *offset* (s),

x = *offset* (jarak) antara sumber-penerima (m),

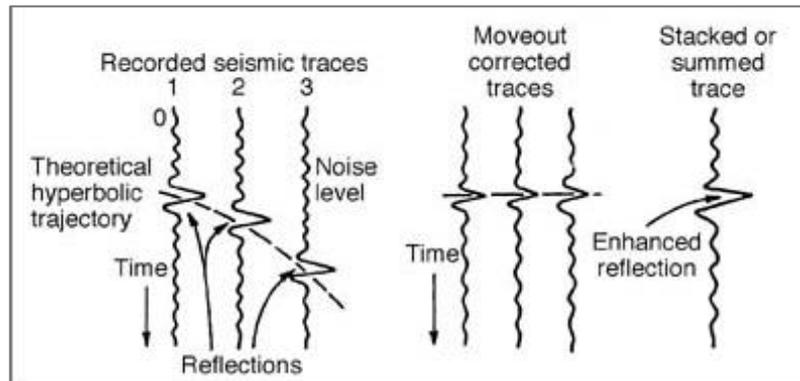
V = kecepatan NMO, biasanya setara dengan kecepatan RMS (m/s).

3.15 *Stacking*

Stacking adalah proses penjumlahan *trace* dalam satu *gather* data yang bertujuan untuk meningkatkan *signal to noise ratio* (S/N), karena sinyal yang koheren akan saling menguatkan dan *noise* yang tidak koheren akan saling menghilangkan. Selain itu, *stacking* akan mengurangi *noise* yang koheren. Biasanya proses *stack* dilakukan berdasarkan CDP, yaitu *trace* yang digabungkan dalam satu CDP dan telah dikoreksi oleh NMO kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan satu *trace* yang tajam dan bebas dari *incoherent noise*.

Proses peningkatan kualitas dari *trace* melalui *stacking* diperlihatkan pada Gambar 17 di bawah. Hasil *stacking* diasumsikan sebagai *trace* seismik *normal incident*, yaitu *trace* yang dihasilkan oleh gabungan seismik dengan sudut datang gelombang 0° terhadap bidang normal dan dipantulkan

sempurna sampai ke penerima. *Trace* ini juga disebut sebagai *zero-offset trace* (tidak ada *offset* antara sumber dan penerima) (Sukmono, 1999).



Gambar 17. Ilustrasi proses *stacking* (Sukmono, 1999)

Selama proses *stacking*, semua *trace* dalam CDP 2D atau 3D dijumlahkan dan diambil rata-rata untuk mendapatkan suatu *trace stacked* tunggal; untuk setiap kumpulan CDP. Proses ini dikenal dengan “*mean stack*”, yang menampilkan seluruh *stacked trace* secara berdampingan untuk seluruh *line* (lintasan) seismik. Untuk sampel waktu tertentu k , *mean stack* didefinisikan secara matematis sebagai:

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i(t) \quad (14)$$

di mana,

$S(t)$ = hasil *stacking* pada waktu t ,

N = jumlah *trace* yang terlibat dalam *stacking* / jumlah *fold* dari CDP yang di-*stack*,

A_i = nilai *amplitudo* dari *trace* ke- i dalam CDP *gather*

Data seismik dikumpulkan sebagai *shot gathers* dalam koordinat *shot* (tembakan) dan *receiver*. Kemudian, diubah menjadi koordinat *midpoint shot* dan *receiver* dengan pengurutan CDP dan jarak *offset* dihapus pada proses koreksi NMO untuk mengurangi semua *trace* menjadi waktu kedatangan *offset* nol. Pada akhirnya, *trace* dalam CDP dijumlahkan untuk menghasilkan suatu *stacked trace*.

Proses *stacking* memiliki dua efek yang signifikan pada data seismik, yaitu (Dondurur, 2018):

1. Memberikan analisis kecepatan yang akurat untuk pantulan utama, *multiple* masih bersifat hiperbolik dan *out-of-phase* sementara pantulan utama menjadi datar dan *in-phase* pada CDP setelah koreksi NMO, yang menghasilkan penekanan yang signifikan terhadap *multiple* setelah *stacking*,
2. Jika jumlah *trace* yang terlibat dalam *stacking* adalah N , maka rasio S/N ditingkatkan secara proporsional terhadap \sqrt{N} karena *amplitude* pantulan utama yang *in-phase* memperkuat satu sama lain setelah *stacking*. Komponen *random noise*, bagaimanapun, tidak konsisten dari satu *trace* ke *trace* lain dan juga *out-of-phase* dalam CDP yang telah dikoreksi NMO. Setelah menjumlahkan *trace* selama *stacking*, *random noise* secara drastis ditekan sehingga meningkatkan rasio S/N.

3.16 Migrasi

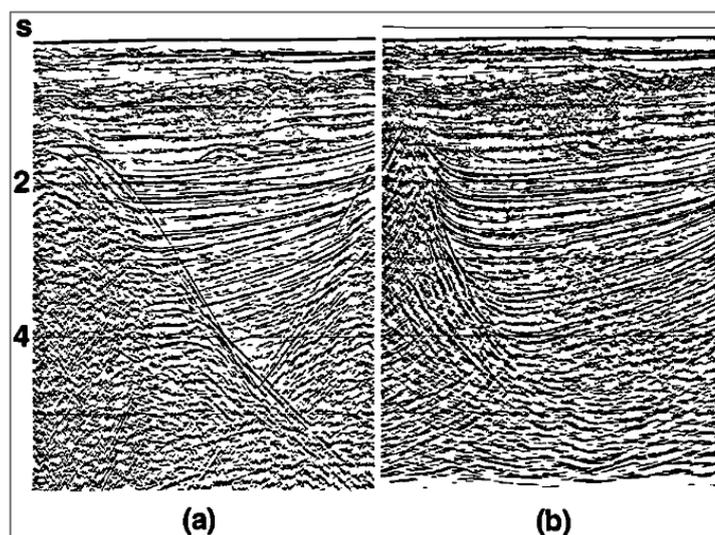
Migrasi merupakan proses pengolahan yang bertujuan untuk mengembalikan reflektor miring ke posisi waktu pantul awalnya dan untuk menghapus efek difraksi yang timbul akibat adanya struktur tertentu. Tujuan akhir dari migrasi adalah untuk meningkatkan resolusi spasial dan akurasi citra seismik dari lapisan di bawah permukaan bumi (Yilmaz, 2001). Menurut Berkhout dan Palthe (1980), migrasi data seismik secara umum dibagi menjadi empat kategori, yaitu:

1. Memperbesar sudut kemiringan,
2. Memperpendek reflektor,
3. Memindahkan reflektor ke arah *up dip*, dan
4. Memperbaiki resolusi lateral.

Proses migrasi data seismik yang menghasilkan penampang dalam domain waktu disebut migrasi waktu (*time migration*) Migrasi waktu umumnya dapat diterapkan ketika variasi kecepatan lateral bersifat kecil hingga

sedang. Namun, ketika terdapat variasi kecepatan lateral yang signifikan, migrasi waktu tidak mampu menghasilkan gambaran bawah permukaan yang akurat. Untuk mengatasi kendala tersebut, diterapkan teknik migrasi domain kedalaman (*depth migration*). Pada pendekatan ini, penampang migrasi diproyeksikan dalam domain kedalaman sehingga dapat menghasilkan gambaran bawah permukaan yang lebih sesuai dengan kondisi geologi dan litologi yang sebenarnya (Yilmaz, 2001).

Proses migrasi dapat ditunjukkan pada Gambar 18 di bawah, di mana (a) menunjukkan penampang *stack* sebelum dilakukannya migrasi dan (b) merupakan penampang *stack* setelah dilakukannya proses migrasi.



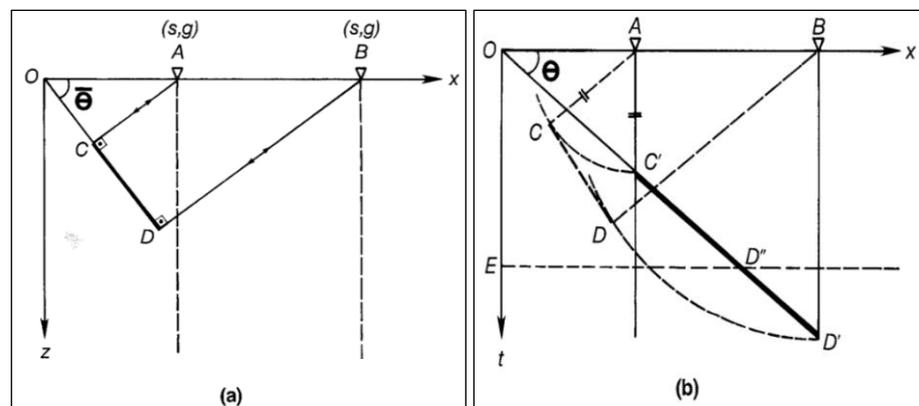
Gambar 18. (a) sebelum migrasi (b) setelah migrasi (Yilmaz, 2001)

3.16.1 Prinsip Dasar Migrasi Seismik

Ketika sebuah tembakan seismik dilakukan, gelombang seismik menyebar ke bawah permukaan bumi dan kemudian diterima oleh *receiver*, akan memberikan informasi waktu tempuh gelombang. Waktu tempuh ini digunakan untuk merepresentasikan posisi *event* seismik. Di mana, waktu ini diperoleh ketika gelombang seismik memantul pada *first distance* yang lokasinya belum diketahui, dan kemudian diterima oleh *receiver*. *Event* seismik direpresentasikan oleh *first distance* yang dapat diketahui dengan memperkirakan sepanjang setengah lingkaran dengan waktu tempuh

gelombang yang sama. *First distance* kemudian dikenal dengan reflektor sebenarnya.

Penerapan konsep ini menyebabkan citra *event* seismik belum sepenuhnya mencerminkan posisi sebenarnya, karenanya diperlukan migrasi seismik. Ini terutama relevan ketika reflektor memiliki kemiringan. Migrasi seismik akan memindahkan posisi reflektor miring ke posisi bawah permukaan yang sebenarnya. Migrasi seismik juga akan menghilangkan efek difraksi yang terjadi. Migrasi seismik dapat dianggap sebagai bentuk *spatial deconvolution* yang dapat meningkatkan resolusi spasial (Yilmaz, 2001).



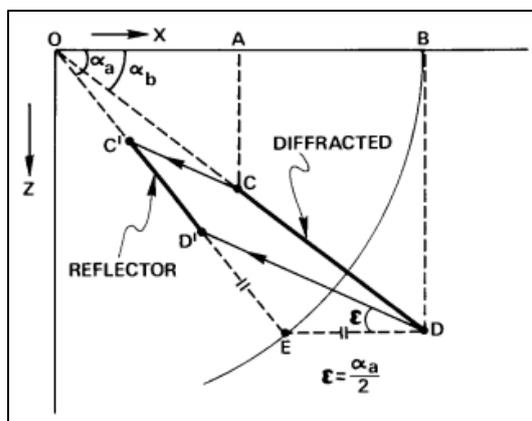
Gambar 19. Prinsip migrasi: ruas refleksi $C'D'$ pada penampang waktu (b), ketika bermigrasi, dipindahkan ke arah *up-dip*, diperdalam, diperpendek, dan dipetakan ke lokasi sebenarnya di bawah permukaan CD (a) (Yilmaz, 2001, dimodifikasi dari Chun dan Jacewitz, 1981)

Prinsip migrasi seismik digambarkan seperti pada Gambar 16 di atas, di mana reflektor CD pada Gambar 16a, ialah penampang geologis (kedalaman). Pada proses migrasi seismik, diinginkan penampang *offset* nol (*zero-offset*) sepanjang profil Ox . Ketika sumber-penerima (s, g) dipindahkan sepanjang Ox , kedatangan pertama pada sudut insidensi normal dari reflektor yang miring direkam di lokasi A . Dengan asumsi bahwa kecepatan konstan medium $v = 1$, maka koordinat waktu dan kedalaman dapat saling dipertukarkan. Kedatangan pantulan di lokasi A ditunjukkan oleh titik C' pada penampang waktu dengan *offset* nol seperti yang tunjukkan pada Gambar 16b. Ketika bergerak dari lokasi A ke kanan, kedatangan insidensi normal direkam dari reflektor miring CD . Kedatangan sinyal terakhir

direkam di lokasi B yang ditunjukkan dengan titik D' pada Gambar 16b. Pada gambar di atas, difraksi dari tepi reflektor CD dikecualikan untuk menyederhanakan prinsip migrasi seismik. Dapat terlihat jelas perbandingan pada Gambar 19 bahwa posisi geologis yang sebenarnya dari reflektor CD tidak sama dengan posisi peristiwa pantulan $C'D'$.

Dari konstruksi geometris sederhana ini, pantulan pada penampang waktu $C'D'$ harus dimigrasikan ke posisi bawah permukaan sebenarnya CD . Berikut beberapa deskripsi dari konstruksi geometris migrasi pada Gambar 16 di atas:

1. Suduk kemiringan reflektor pada penampang geologis/ kedalaman (Gambar 19a) lebih besar dibandingkan dengan kemiringan reflektor pada penampang waktu (Gambar 19b); dengan demikian migrasi memperkukuh reflektor.
2. Panjang reflektor, pada penampang geologis CD lebih pendek dibandingkan dengan panjang reflektor pada penampang waktu $C'D'$; dengan demikian migrasi memendekkan reflektor.
3. Migrasi memindahkan reflektor miring relatif ke *up-dip*.



Gambar 20. Konstruksi migrasi seismik (Chun dan Jacewitz, 1981)

Menurut Chun dan Jacewitz (1981), mekanisme migrasi seismik secara manual ditunjukkan pada Gambar 20 di atas, di mana terlihat sebuah reflektor miring CD hasil rekaman seismik. Reflektor CD diasumsikan termigrasi ke $C'D'$ yang merupakan posisi sebenarnya secara geologis.

Perpindahan horizontal dan vertikal (waktu), dan sudut *dip* setelah migrasi (semua terukur dalam migrasi waktu) dapat dinyatakan dalam kecepatan medium v , waktu tempuh t , dan *apparent dip* dari reflektor. Menurut Chun dan Jacewitz (1981), prinsip migrasi dapat diturunkan ke dalam persamaan-persamaan berikut:

$$d_x = (v^2 t \tan \theta_t) / 4 \quad (15)$$

$$d_x = \frac{v^2 t \Delta t}{4 \Delta x} \quad (16)$$

$$d_t = t \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{v \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2} \right] \quad (17)$$

$$\frac{\Delta \tau}{\Delta x} = \frac{\Delta t}{\Delta x} - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2}} \quad (18)$$

$$Dip \text{ (kemiringan)} = \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (19)$$

dengan,

$\tan \theta_t$ = $\Delta t / \Delta x$, sebagaimana terukur pada penampang waktu yang belum dimigrasi,

t = waktu tempuh (s),

v = kecepatan medium (kecepatan migrasi) (m/s),

Δt = selisih waktu antara titik C dan titik D (s),

Δx = jarak dari titik A dan titik B (m),

d_x = horizontal *time displacements*,

d_t = vertikal *time displacement*,

τ = *event time* pada posisi yang telah dimigrasi (s).

3.16.2 Klasifikasi Migrasi

Menurut Schneider (1978), berdasarkan domainnya migrasi data seismik dibedakan menjadi dua macam yaitu, migrasi domain waktu (*time migration*) dan migrasi domain kedalaman (*depth migration*).

1. Migrasi Waktu (*Time Migration*)

Migrasi dalam domain waktu mengasumsikan bahwa gelombang merambat secara lurus, di mana jalur perambatannya dianggap sebagai garis lurus tanpa memperhitungkan variasi kecepatan lateral dan hubungan antar jalur gelombang di setiap lapisan, sehingga memiliki kecepatan yang *smooth*. Hasil akhir dari proses migrasi domain waktu ialah berupa penampang seismik yang ditampilkan dalam skala waktu. Model kecepatan pada migrasi domain waktu diasumsikan sebagai gradien kecepatan vertikal, sehingga perbedaan antara sumbu waktu dan kedalaman hanyalah pada skalanya saja.

2. Migrasi Kedalaman (*Depth Migration*)

Migrasi dalam domain kedalaman mengasumsikan perambatan gelombang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hasil akhir dari proses migrasi domain kedalaman ialah berupa penampang seismik yang disajikan dalam domain kedalaman. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan interval, yang sangat cocok untuk migrasi dengan pendekatan penjumlahan kurva difraksi. Model kecepatan interval dapat menelusuri dengan baik jejak-jejak sinar dari titik difraksi hingga permukaan.

Migrasi data seismik berdasarkan tipenya terbagi menjadi dua yaitu, sebagai berikut:

1. Migrasi Sebelum *Stack* (*Pre stack Migration*)

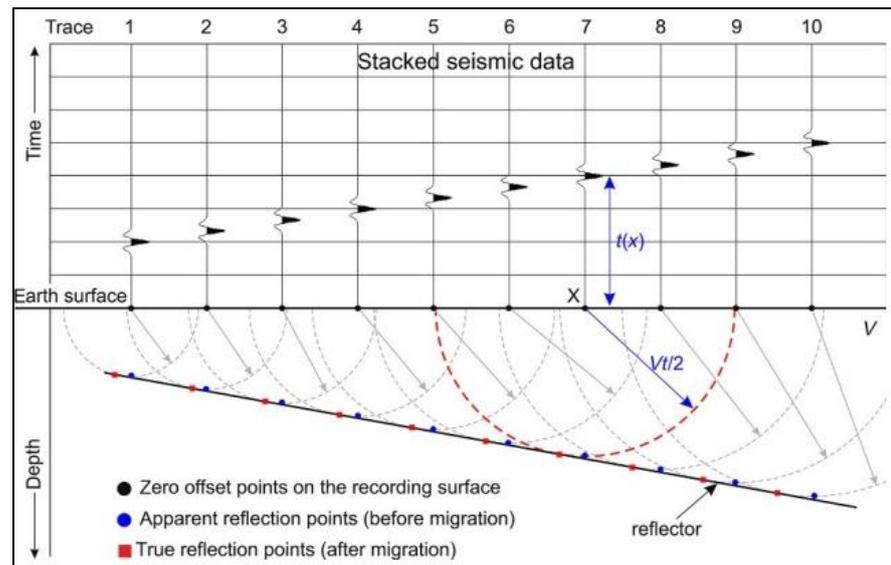
Pre stack migration merupakan proses migrasi yang dilakukan sebelum proses *stack*. Keberadaan kemiringan reflektor dan offset yang besar dapat mengakibatkan kecepatan *stack* (v_{stack}) menjadi lebih besar dibandingkan dengan kecepatan *root mean square* (v_{rms}). Jika pada reflektor miring diasumsikan (v_{stack}) dan (v_{rms}) memiliki nilai yang sama untuk menentukan kecepatan interval, hasilnya akan menjadi tidak akurat. Ketidakakuratan informasi kecepatan ini tidak dapat digunakan sebagai referensi untuk menggambarkan kondisi sebenarnya di bawah permukaan (Utami, 2016).

Proses migrasi *pre stack* dilakukan dengan cara memfokuskan energi *event* seismik sebelum proses *stack*, sehingga data yang digunakan untuk proses *stack* lebih sederhana. Secara sederhana, baik proses migrasi *pre stack* maupun koreksi NMO bertujuan untuk mengoreksi ketidakpastian posisi reflektor (Cholik, 2008).

Dalam kasus adanya kemiringan dan variasi kecepatan lateral yang signifikan, migrasi *pre stack* sangat baik digunakan untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan yang akurat. Migrasi *pre stack* dilakukan dengan menjumlahkan amplitudo sepanjang waktu difraksi pada *offset* non-zero. Seperti pada kasus *zero-offset*, kecepatan seismik menentukan bentuk hiperbola (operator migrasi) sepanjang jalur di mana penjumlahan dilakukan. Migrasi *pre stack* diterapkan pada bagian *offset* umum, dan semua *offset* umum diproses dengan cara ini dan akhirnya dijumlahkan untuk mendapatkan gambaran migrasi (Dondurur, 2018).

2. Migrasi Setelah *Stack* (*Post Stack Migration*)

Post stack migration adalah proses migrasi yang dilakukan setelah dilakukan koreksi NMO dan proses *stack*. *Post stack migration* dilakukan pada reflektor-reflektor yang memiliki kecuraman relatif datar atau tidak memiliki banyak variasi nilai kecepatan. Metode migrasi *post stack* merupakan metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode *pre stack*, terutama dalam algoritma dan proses yang dilakukan (Yilmaz, 2001).



Gambar 21. Ilustrasi dari 2D *post stack migration* pada reflektor miring di bawah permukaan dan *stacked trace* (Dondurur, 2018)

Titik pantulan yang benar dari reflektor miring dalam model bumi 2D dapat ditemukan dengan menggunakan waktu tempuh dan kecepatan propagasi dari peristiwa refleksi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18 di atas. Setiap garis vertikal mewakili sebuah *trace* seismik. Garis-garis ini mewakili sinyal seismik yang direkam oleh sensor seismik pada lokasi tertentu. Garis putus-putus merah menggambarkan jalur perjalanan waktu refleksi dari titik pantulan ke sensor seismik. Operator migrasi memastikan bahwa pantulan diposisikan dengan benar di bawah titik pantulan sebenarnya.

Garis merah yang melengkung menggambarkan setengah lingkaran dengan radius $Vt/2$ (V adalah kecepatan gelombang seismik, dan t adalah waktu perjalanan). Titik-titik pada setengah lingkaran ini mewakili kemungkinan lokasi pantulan dari refleksi. Setiap *trace* memiliki setengah lingkaran yang sesuai dengan waktu kedatangan refleksi. Kemudian, garis hitam menunjukkan *tangent* bersama untuk semua setengah lingkaran dan titik-titik tempel pada *tangent* menunjukkan lokasi akhir dari reflektor yang dihasilkan dari proses migrasi. Migrasi *post stack* mengasumsikan bahwa data *input* adalah

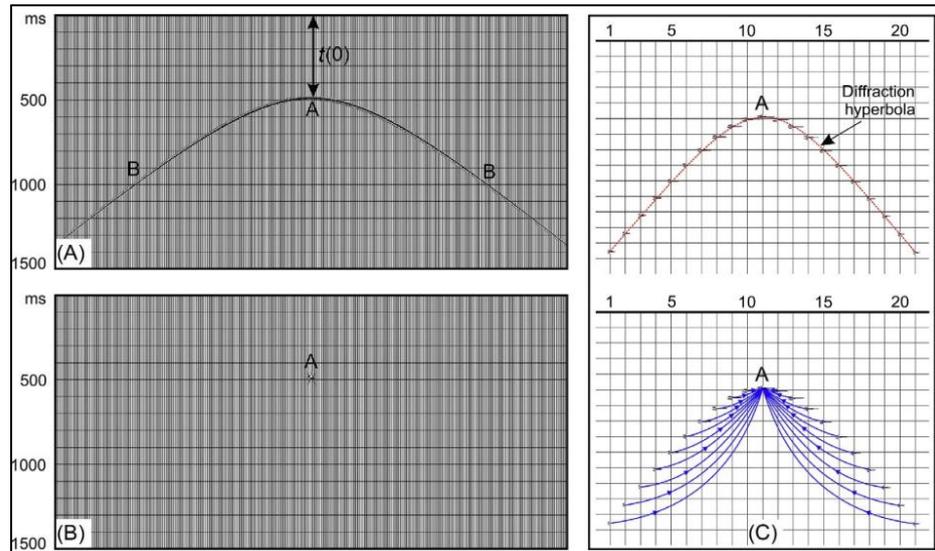
zero offset, dan memberikan hasil yang masuk akal jika data memiliki kemiringan struktural yang kecil atau sedang, dan jika hanya terdapat variasi kecepatan lateral yang *smooth* (Dondurur, 2018).

3.16.3 Metode *Kirchhoff*

Migrasi dengan menggunakan algoritma *Kirchhoff* atau sering disebut dengan migrasi tipe difraksi, merupakan pendekatan secara statistik di mana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemiringan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama dan didasarkan pada *diffraction summation* (Schneider, 1978).

Migrasi *Kirchhoff* berbasis pada solusi integral dari persamaan gelombang *scalar* dan dapat menangani variasi kecepatan horizontal dan vertikal. Secara umum, prinsip Huygens digunakan untuk mendefinisikan dasar migrasi *Kirchhoff*, di mana reflektor di bawah permukaan dapat dianggap terdiri dari beberapa sumber titik yang saling berdekatan, masing-masing menghasilkan hiperbola difraksi yang direkam oleh beberapa penerima di permukaan bumi.

Diasumsikan bahwa bagian *zero offset* yang direkam adalah hasil penjumlahan dari hiperbola-hiperbola ini setelah interferensi konstruktif atau destruktif antara amplitudo dari setiap hiperbola spesifik yang berasal dari sumber titik yang berbeda di reflektor. Migrasi *Kirchhoff* menjumlahkan amplitudo sepanjang hiperbola difraksi dan mengalokasikan amplitudo yang dijumlahkan ini ke puncak hiperbola. *Curvature* dari hiperbola difraksi dikontrol oleh kecepatan RMS di puncak. Proses ini diilustrasikan secara skematis pada Gambar 22, di mana amplitudo sepanjang sisi-sisi hiperbola (B) dijumlahkan untuk mengalokasikan titik puncak (A), dan proses ini diulang untuk semua sampel dari semua *trace* seismik (Dondurur, 2018).



Gambar 22. Skema *collapsing* hiperbola difraksi oleh migrasi *Kirchhoff*:
 (A) Hiperbola difraksi pada *offset* nol kecepatan konstan. Puncak dan sisi hiperbola masing-masing ditandai dengan A dan B; (B) Hasil migrasi; (C) Amplitudo sepanjang sisi B dipindahkan ke titik puncak A setelah migrasi (Dondurur, 2018).

Migrasi *Kirchhoff* dapat mengatasi berbagai masalah geologi bawah permukaan mulai dari yang sederhana hingga yang memiliki struktur yang kompleks dengan *dip* reflektor yang cukup besar. Keuntungan lain dari migrasi *Kirchhoff* ialah cukup fleksibel terhadap perubahan topografi. Oleh karena itu, metode migrasi *Kirchhoff* merupakan metode yang sering digunakan dalam industri minyak dan gas bumi. Konsep dasar migrasi *Kirchhoff* ialah tentang permukaan maksimum konveks dan maksimum konvok. Permukaan maksimum konveks dikenal dengan *Huygen surface* atau *diffraction travelttime surface*, sedangkan maksimum konvok disebut *isochron* (Hagedoorn, 1954).

4.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan sebagai pendukung dalam pelaksanaan kerja praktik ini ialah sebagai berikut:

1. Data seismik lapangan Arafura Lintasan 12
2. Laptop
3. *Software* ProMAX
4. *Microsoft Office* 2019

4.4 Prosedur Penelitian

Adapun alur yang dilakukan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

4.4.1 Studi Literatur

Studi literatur membantu untuk mengkaji, memahami, dan mendalami terkait pengolahan data seismik *marine* dengan *software* ProMAX agar dapat memahami tiap-tiap proses serta landasan teorinya.

4.4.2 Pengolahan Data

Proses pengolahan data seismik terdiri dari beberapa tahapan. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:

1. *Input Data*

Input data merupakan proses memasukkan data ke dalam *software* agar data dapat terbaca oleh *software* ProMAX. Data yang digunakan dalam pengolahan ini berformat SEG-D yang telah melalui proses *demultiplexing*. Proses *input data* akan mendapatkan *output dataset* berupa *raw data*. Gambar 23 menunjukkan *flow input data* pada penelitian ini.

Proses *input* SEG-D data dimulai dengan *input data* yang tersedia pada *directory*, yaitu data seismik lapangan Arafura lintasan 12. Hasil *output* yang didapat akan digunakan sebagai *input* untuk tahap selanjutnya.

Editing Flow: 1.INPUT DATA		
Add	Delete	Execute View Exit
SEG-D Input		SEG-D Input
Disk Data Output -> R		Disk
-----Add Flow Comment-----		Disk Image
Disk Data Input <- RAW	Type of storage to use	/media/sf_ProMAX/Data/00001000.s
Trace Display	Select disk file type	Browse
	Enter DISK file path name(s)	Yes No
	Browse for DISK file path name(s)	Yes No
	Update LIN database at end of input?	0.
	Override input data's sample interval?	Demultiplexed
	Input data's TRACE LENGTH	65535
	SEG-D tape format	Yes No
	MAXIMUM data block size in bytes	Yes No
	Turn on SEG-D debug option?	Yes No
	Bypass Fatal Errors?	Yes No
	Override the Additional General Header Block count (GH)?	Yes No
	Auto adjust incorrect trace data length?	Yes No
	Omit records of type.	-1
	Specify Seismic Data Channel Type(s)	1
	Specify Auxiliary Channel Type(s)	8
	Specify Zero or Pad Channel Type(s)	-1
	Number of errors in a row before ABORTING job?	10
	SEG-D main header length (bytes)	0
	Display ensemble information?	Yes No
	SEG-D DATA format code?	Get from header
	MAXIMUM traces per record	0
	Input AUXILIARY traces?	Yes No
	RECORD LENGTH to input	0.
	SERCEL instrument type?	408XL
	Apply pre-amplifier gain (2 ** MP factor)?	Yes No
	Scan correction option (sample skew statics)?	Get from header
	Get CHANNEL NUMBER from trace headers?	Yes No
	Input PRIMARY selection choice?	Input ALL
	Input SECONDARY selection choice?	None
	Remap SEG-D main header values?	Yes No
	Remap SEG-D trace header values?	Yes No
	Input Global XY reference coordinates?	Yes No
	Save trace IFP values for NGAIN Instrument Test?	Yes No

Gambar 23. Flow input data seismik Arafura lintasan 12

2. Geometri

Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan parameter-parameter data yang akan diolah agar sesuai dengan kondisi dari lapangan akuisisi. Proses geometri ini ditunjukkan pada Gambar 24 di bawah ini.

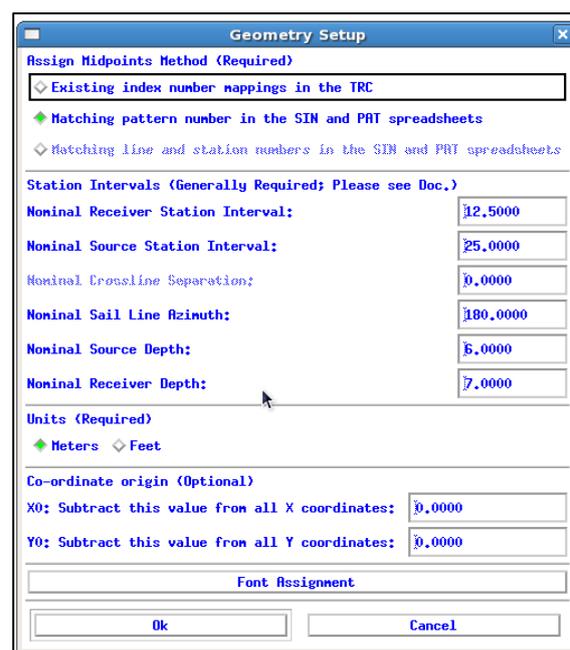
Editing Flow: 2.GEOMETRI	
Add	Delete Execute View Exit
2D Marine Geometry Spreadsheet*	
-----Add Flow Comment-----	
Disk Data Input <- RAWDATA	
Inline Geom Header Load	
Disk Data Output -> GEOMETRI	
-----Add Flow Comment-----	
Disk Data Input <- GEOMETRI	
Trace Display	

Gambar 24. Flow geometri

2D Marine Geometry Spreadsheet* berguna untuk menyesuaikan informasi geometri pada setiap data rekaman lapangan dengan *observer report* yang dibuat saat akuisisi lapangan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Observer report data seismik Arafura lintasan 12*

Informasi	Nilai
<i>Azimuth</i>	180°
<i>Minimum Offset</i>	50 m
<i>Shot Interval</i>	25 m
<i>Number of Shot</i>	4465 shot
<i>Sampling Rate</i>	2 ms
<i>Near Channel</i>	Channel 1
<i>Far Channel</i>	Channel 48
<i>Shot Point</i>	1000 – 5464
<i>FFID</i>	1000 – 5464
<i>Source Depth</i>	6 m
<i>Receiver Depth</i>	7 m

**Gambar 25.** *Jendela perintah geometry setup*

Pada perintah *2D Marine Geometry Spreadsheet** ini terdapat beberapa jendela perintah yaitu, *setup*, *auto-2D*, *sources*, *patterns*, *bin*, dan *traceQC*. *Setup* yang merupakan jendela perintah pertama berfungsi untuk mengatur geometri yang berisi beberapa parameter lapangan yang dibutuhkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.

Pada pengaturan geometri (*geometry setup*) berisi beberapa parameter lapangan yang dibutuhkan yaitu, interval *receiver* sebesar 12.5 m, interval *source* sebesar 25 m, *line azimuth* 180°, kedalaman *source* (*airgun*) 6 m, dan kedalaman *receiver* (*streamer*) 7 m.

Jendela perintah *Auto-2D* memiliki fungsi untuk mengatur *receiver* dan memasukkan informasi penembakan pada data seismik *marine*. Berikut adalah parameter yang diatur pada jendela perintah tersebut:

Tabel 3. Parameter-parameter *Auto Marine 2D Geometry*

No.	Informasi	Nilai
1.	<i>Near channel</i> (<i>receiver</i> terdekat)	<i>channel</i> 1
2.	<i>Far channel</i> (<i>receiver</i> terjauh)	<i>channel</i> 48
3.	<i>Channel increment</i> (pertambahan <i>channel</i>)	1 <i>channel</i>
4.	<i>Minimum offset</i> (jarak minimal <i>receiver</i>)	50 meter
5.	<i>Perpendicular</i> (jarak tegak lurus)	0 meter
6.	<i>Group interval</i> (interval <i>receiver</i>)	12.5 meter
7.	<i>Number of shot</i> (jumlah tembakan)	4465 <i>shot</i>
8.	<i>First shot station</i> (stasiun perekaman pertama)	1000
9.	<i>Shot station number increment</i>	1 stasiun
10.	<i>Sail azimuth</i>	180°
11.	<i>Shot interval</i> (interval penembakan)	25 meter

Gambar 26 di bawah ini menunjukkan jendela perintah *Auto Marine 2D Geometry* dengan parameter-parameter yang sesuai dengan data seismik Arafura lintasan 12.

Gambar 26. Jendela perintah *Auto marine 2D geometry*

Jendela perintah *sources* berfungsi untuk memasukkan informasi penembakan saat akuisisi ke dalam tabel *SIN Ordered Parameter File*. Informasi yang dimasukkan ke dalam tabel berupa *shot point* dan FFID awal hingga akhir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 27.

Dilanjutkan ke jendela perintah *pattern*, di mana perintah ini berfungsi untuk mendefinisikan pola penerima (*receiver*) berdasarkan pola atau nomor lintasan atau stasiun. Parameter yang dibutuhkan akan di masukkan kedalam *spreadsheet PAT Ordered Parameter File* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 28.

Mark Block	Source	Station	X	Y	H2O Depth	Src Depth	FFID	Strmr Aznth	Time	Date	Src Pattern	Shot Fold*	Static
1		1	1000	0,0	0,0	0,0	6,0	1000	360,0			48	0,0
2		2	1001	0,0	-25,0	0,0	6,0	1001	360,0			48	0,0
3		3	1002	0,0	-50,0	0,0	6,0	1002	360,0			48	0,0
4		4	1003	0,0	-75,0	0,0	6,0	1003	360,0			48	0,0
5		5	1004	0,0	-100,0	0,0	6,0	1004	360,0			48	0,0
6		6	1005	0,0	-125,0	0,0	6,0	1005	360,0			48	0,0
7		7	1006	0,0	-150,0	0,0	6,0	1006	360,0			48	0,0
8		8	1007	0,0	-175,0	0,0	6,0	1007	360,0			48	0,0
9		9	1008	0,0	-200,0	0,0	6,0	1008	360,0			48	0,0
10		10	1009	0,0	-225,0	0,0	6,0	1009	360,0			48	0,0
11		11	1010	0,0	-250,0	0,0	6,0	1010	360,0			48	0,0
12		12	1011	0,0	-275,0	0,0	6,0	1011	360,0			48	0,0
13		13	1012	0,0	-300,0	0,0	6,0	1012	360,0			48	0,0
14		14	1013	0,0	-325,0	0,0	6,0	1013	360,0			48	0,0
15		15	1014	0,0	-350,0	0,0	6,0	1014	360,0			48	0,0
16		16	1015	0,0	-375,0	0,0	6,0	1015	360,0			48	0,0
17		17	1016	0,0	-400,0	0,0	6,0	1016	360,0			48	0,0

Gambar 27. Jendela perintah *source*

Mark Block	Min Chan	Max/Gap Chan	Chan Inc	Src Pattern	Grp Int	X Offset	Y Offset
1	1	48	1		12,5	50,0	0,0
2				1		0,0	0,0
3						0,0	0,0
4						0,0	0,0
5						0,0	0,0
6						0,0	0,0
7						0,0	0,0
8						0,0	0,0
9						0,0	0,0
10						0,0	0,0
11						0,0	0,0
12						0,0	0,0
13						0,0	0,0
14						0,0	0,0
15						0,0	0,0
16						0,0	0,0
17						0,0	0,0

Gambar 28. Jendela perintah *pattern*

Jendela perintah *binning* memiliki fungsi untuk menghitung *receiver*, memasukkan parameter-parameter *binning* untuk titik tengah (*midpoints*) dan *offset*, sehingga menghasilkan tampilan *QC* (*quality control*) data, dan unruk melengkapkan *database* lainnya seperti CDP dan *fold* yang ada di *TRC spreadsheet* pada jendela perintah *TraceQC*.

Gambar 29. Jendela perintah *binning*

Jendela perintah *traceQC* ini berfungsi untuk melihat hasil geometri yang telah dimasukkan dari awal hingga *binning* dalam bentuk TRC *Ordered Parameter File spreadsheet* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30. Di mana, *spreadsheet* ini berisi mengenai spesifik atribut dari semua *trace* untuk data Arafura lintasan 12. Sebagian besar atribut dalam *spreadsheet* ini dihitung secara internal dan hanya untuk tampilan kontrol kualitas.

Mark Block	Rec #*	Rec Y*	Rec Depth	Offset*	Azimuth*	Channel*	CML_LTR+	SID*	SIM_LTR+	SRF+	SRF_LTR+	CDP+	CDP_LTR+	WFS+	WFL_LTR+
1	-0,0	50,0	7,0	-50,0	0,0	1	1	1	1	40	40	40	40	5	1
2	-0,0	62,5	7,0	-62,5	0,0	2	43	1	2	47	47	47	47	6	43
3	-0,0	75,0	7,0	-75,0	0,0	3	97	1	3	46	46	46	46	7	97
4	-0,0	87,5	7,0	-87,5	0,0	4	145	1	4	45	45	45	45	8	145
5	-0,0	100,0	7,0	-100,0	0,0	5	193	1	5	44	44	44	44	9	193
6	-0,0	112,5	7,0	-112,5	0,0	6	241	1	6	43	43	43	43	10	241
7	-0,0	125,0	7,0	-125,0	0,0	7	289	1	7	42	42	42	42	11	289
8	-0,0	137,5	7,0	-137,5	0,0	8	337	1	8	41	41	41	41	12	337
9	-0,0	150,0	7,0	-150,0	0,0	9	385	1	9	40	40	40	40	13	385
10	-0,0	162,5	7,0	-162,5	0,0	10	433	1	10	39	39	39	39	14	433
11	-0,0	175,0	7,0	-175,0	0,0	11	481	1	11	38	38	38	38	15	481
12	-0,0	187,5	7,0	-187,5	0,0	12	529	1	12	37	37	37	37	16	529
13	-0,0	200,0	7,0	-200,0	0,0	13	577	1	13	36	36	36	36	17	577
14	-0,0	212,5	7,0	-212,5	0,0	14	625	1	14	35	35	35	35	18	625
15	-0,0	225,0	7,0	-225,0	0,0	15	673	1	15	34	34	34	34	19	673
16	-0,0	237,5	7,0	-237,5	0,0	16	721	1	16	33	33	33	33	20	721
17	-0,0	250,0	7,0	-250,0	0,0	17	769	1	17	32	32	32	32	21	769

Gambar 30. Jendela perintah *traceQC*

AREA: ARAFURA
 LINE: LINE 12.1
 Editing Flow: 2.GEOMETRI

Add Delete Execute View Exit

2D Marine Geometry Spreadsheet*
 ----Add Flow Comment----
 Disk Data Input <- RAWDATA
 Inline Geom Header Load ?
 Disk Data Output -> GEOMETRY
 ----Add Flow Comment----
 Disk Data Input <- GEOMETRY
 Trace Display

Inline Geom Header Load	
Compute and apply statics to sea level?	Yes No
Primary header to match database	FFID
Secondary header to match database	None
Match by valid trace number?	Yes No
Drop traces with NULL CDP headers?	Yes No
Drop traces with NULL receiver headers?	Yes No
Verbose diagnostics?	Yes No

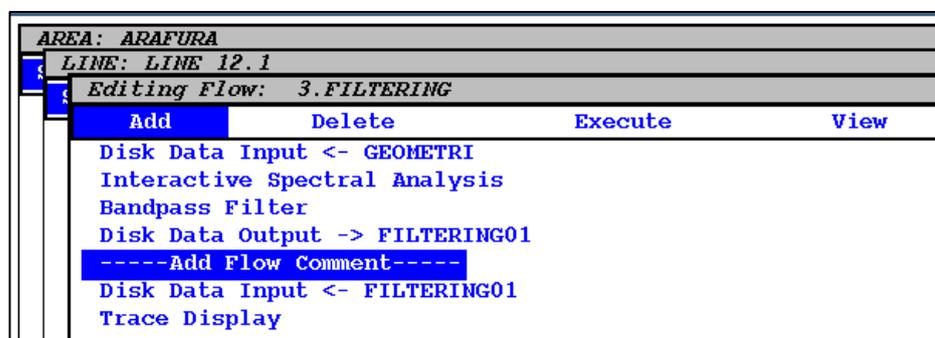
Gambar 31. *Inline geometry header load* data Arafura lintasan 12

Kemudian, informasi geometri dari *database* yang telah dibuat dengan *geometry spreadsheet* dimasukkan ke dalam *trace headers* secara otomatis melalui *inline geom header load*. Penghubungan atau pemasukkan ini menunjukkan bahwa data survei atau navigasi dan *observer report* mengandung informasi yang cukup untuk pengolahan

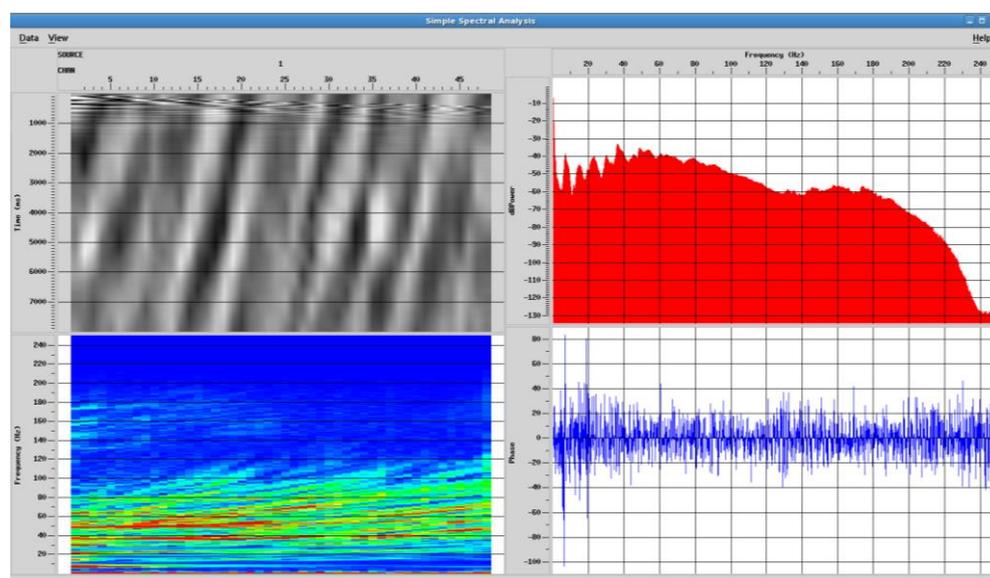
data seismik. Sebagai contoh, pencocokan FFID antara *trace header* dan *database geometri* seperti pada Gambar 31.

3. *Filtering*

Proses ini merupakan proses pemilihan frekuensi yang akan digunakan dalam pengolahan data selanjutnya. Frekuensi perlu untuk dipilih untuk menghasilkan data yang bebas *noise*. Metode *filtering* yang digunakan ialah *bandpass filter*, di mana *filter* ini digunakan untuk memilih rentang frekuensi data seismik yang ingin diloloskan. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *flow* seperti pada Gambar 32.



Gambar 32. *Flow* proses *filtering* data



Gambar 33. Analisis spektral data seismik sebelum *bandpass filter*

Namun, sebelum dilakukan *bandpass filtering*, terlebih dahulu dilakukan analisis spektrum dari data seismik mentah untuk melihat

kondisi frekuensi yang ada dan untuk menentukan nilai rentang frekuensi yang akan digunakan selama proses pengolahan data seperti pada Gambar 33.

4. Editing

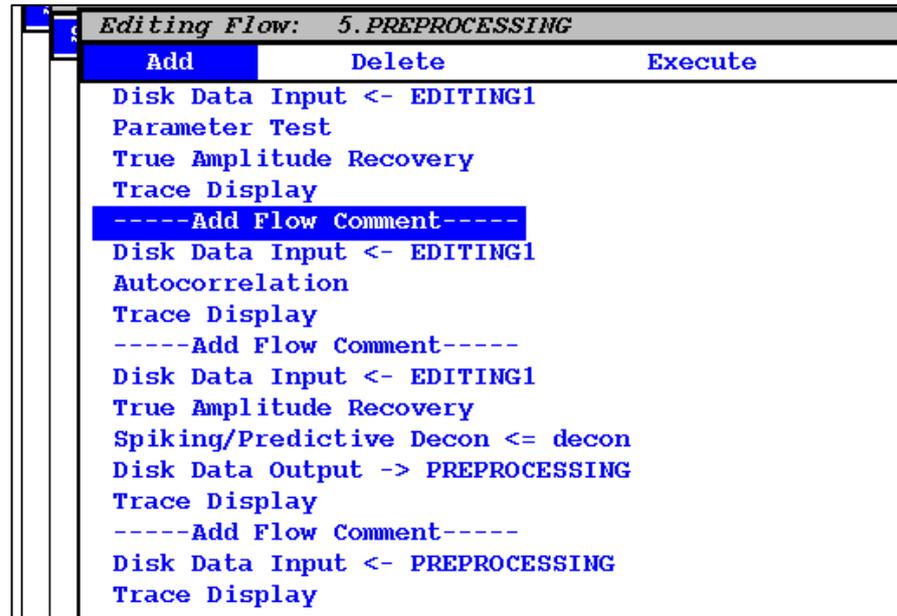
Editing dilakukan untuk menghilangkan *trace-trace* yang dianggap *error* dan menghilangkan gelombang yang dapat mengganggu proses pengolahan data. Pada penelitian ini dilakukan *trace muting* untuk meredam sinyal yang tidak diinginkan yang mengindikasikan sebagai *noise* sebelum refleksi yang tertangkap *receiver* yang ada sebelum *first break*. Gambar 34 menunjukkan *flow* yang digunakan pada proses *editing* yang dilakukan pada penelitian ini.

AREA: ARAFURA		
LINE: LINE 12.1		
Editing Flow: 4.EDITING		
Add	Delete	Execute
		Disk Data Input <- FILTERING01
		Trace Muting <= topmute
		Trace Muting <= bottommute
		Disk Data Output -> EDITING1
		-----Add Flow Comment-----
		Disk Data Input <- EDITING1
		Trace Display

Gambar 34. *Flow editing*

5. TAR dan Dekonvolusi

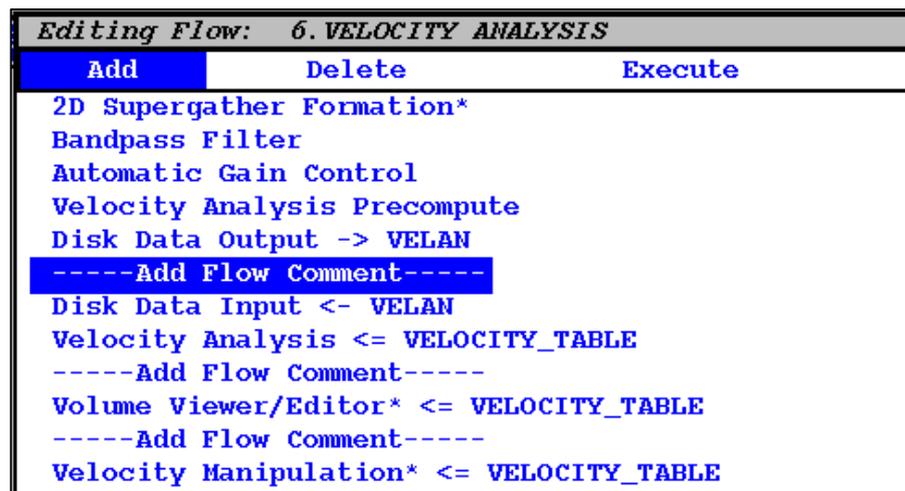
True Amplitude Recovery (TAR) dilakukan demi mengembalikan amplitudo gelombang seismik yang hilang atau berkurang. Kemudian, dekonvolusi bertujuan untuk memperbaiki bentuk *wavelet reflector* sehingga dapat meningkatkan resolusi vertikal data seismik. Adapun pada penelitian ini *flow* pada proses TAR dan dekonvolusi ditunjukkan oleh Gambar 35.



Gambar 35. Flow proses TAR dan dekonvolusi

6. Velocity Analysis

Tahap analisis kecepatan dilakukan dengan melakukan *picking* kecepatan gelombang seismik atau biasa disebut dengan metode *semblance*. Nilai *velocity* yang didapatkan akan digunakan untuk proses *stacking* sehingga menghasilkan data yang baik karena *velocity* telah terkoreksi. Proses analisis kecepatan dapat ditunjukkan pada Gambar 36 di bawah ini.



Gambar 36. Flow analisis kecepatan

7. Stacking

Stacking dilakukan dengan menjumlahkan *trace-trace* dalam satu CDP agar meningkatkan rasio *signal to noise*. Di mana, tahap ini dilakukan setelah proses *velocity analysis* dan koreksi NMO. Gambar 37 menunjukkan *flow* pada proses koreksi NMO dan *stacking* pada penelitian ini.

Editing Flow: 7. STACKING			
Add	Delete	Execute	View
Disk Data Input <- PREPROCESSING			
Automatic Gain Control			
Normal Moveout Correction <= VELOCITY_TABLE			
CDP/Ensemble Stack			
Disk Data Output -> STACKING			
-----Add Flow Comment-----			
Disk Data Input <- STACKING			
Trace Display			

Gambar 37. Flow koreksi NMO dan *stacking*

8. Migrasi

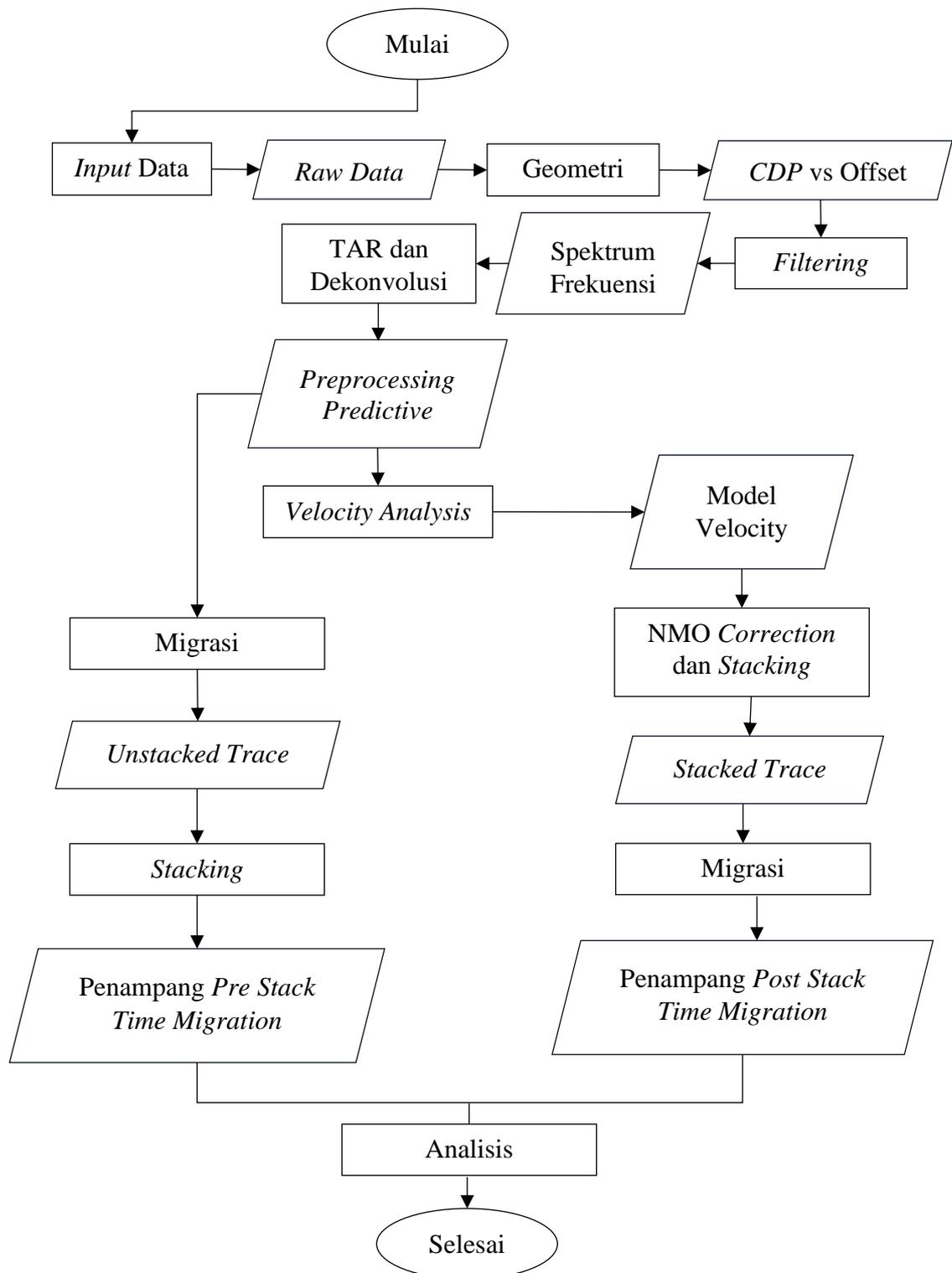
Migrasi seismik dilakukan dengan tujuan mengembalikan posisi reflektor ke tempat seharusnya baik secara vertikal maupun horizontal. Pada penelitian ini dilakukan migrasi waktu *post stack* dan *pre stack*. Di mana proses migrasi dilakukan setelah *stacking* dan sebelum *stacking* dalam domain waktu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 38 dan Gambar 39.

AREA: ARAFURA		
LINE: LINE 12.1		
Editing Flow: 8. MIGRASI		
Add	Delete	Execute
Disk Data Input <- STACKING		
Kirchhoff Time Mig. <= VELOCITY_TABLE		
Disk Data Output -> POSTSTACK01		
-----Add Flow Comment-----		
Disk Data Input <- POSTSTACK01		
Trace Display		

Gambar 38. Flow proses *post stack Kirchhoff time migration*

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian yang dilakukan ialah sebagai berikut:



Gambar 40. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat di ambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Umumnya kedua penampang dapat dikatakan menunjukkan struktur bawah permukaan yang hampir sama. Struktur yang tercitra pada data seismik lintasan 12 Laut Arafura didominasi oleh sesar normal yang berarah utara ke selatan. Kedua penampang baik *post stack* dan *pre stack* menunjukkan adanya cekungan pada daerah penelitian.
2. *Pre stack time migration* menghasilkan citra bawah permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan penampang *post stack*. Migrasi *pre stack* menunjukkan keunggulan di mana reflektor terlihat lebih tegas dan kontinu khususnya pada bidang reflektor miring jika dibandingkan dengan migrasi *post stack*.

6.2 Saran

Saran yang dapat diajukan penulis untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan beberapa hal pada proses pengolahan data seperti melakukan pereduksian *noise multiple* dengan menambahkan *filter* untuk mendapatkan hasil akhir berupa penampang seismik yang memberikan kondisi citra bawah permukaan yang sebenarnya.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Abass Obaid, F.A., dan Al-Rahim, Ali M. (2019). Pre and Post-Stack Imaging of 2D Seismic Data Using Time Migration for Ajeel Oil Field, Central of Iraq. *Iraqi Journal of Science* 60 (10): 2186–95. doi.org/10.24996/ijs.2019.60.10.12.
- Abdullah, A., Heriyanto, M., dan Prabusetyo H.R. (2018). Komputasi Geofisika 1. *Scholar.Archive.Org*.
- Aldha, T., dan Ho, K.J. (2008). Tertiary Hydrocarbon Play in NW Arafura Shelf, Offshore South Papua: Frontier Area in Eastern Indonesia. In *Proceedings Indonesian Petroleum Association, 32nd Annual Convention*. doi.org/10.29118/ipa.598.08.g.144.
- Berkot, A.J., dan Palthe, W. Van Wulfften. (1980). Migration in The Presence of Noise. *Geophysical Prospecting*. doi.org/10.1111/j.1365-2478.1980.tb01232.x.
- Chintia, B., Ivansyah, O., dan Sampurno, J. (2017). Analisis Parameter Gap Dalam Tahapan Dekonvolusi Prediktif Guna Mereduksi Short Period Multiple Dan Meningkatkan S/N Ratio Pada Pengolahan Data Seismik Refleksi 2D Marine. *Positron* 7 (1): 25–33. doi.org/10.26418/positron.v7i1.20783.
- Cholik, A. (2008). Anisotropy Parameter for Pre-Stack Depth Migration Offshore Case Study. *Proceedings PIT HAGI ke33*.

- Chun, J. H., dan Jacewitz, C. A. (1981). Fundamentals of Frequency Domain Migration. *Geophysics*. doi.org/10.1190/1.1441211.
- Cox, David R., Newton, Andrew M.W., dan Huuse, Mads. (2020). *An Introduction to Seismic Reflection Data: Acquisition, Processing and Interpretation. Regional Geology and Tectonics: Volume 1: Principles of Geologic Analysis*. Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-444-64134-2.00020-1.
- Darman, Herman., dan Sidi, F. Hasan. (2000). An Outline of the Geology of Indonesia. *Indonesian Geologist Association*.
- Dix, C. Hewitt. (1955). Seismic Velocities From Surface Measurements. *Geophysics* 20 (1): 68–86. doi.org/10.1190/1.1438126.
- Dondurur, Derman. (2018). *Acquisition and Processing of Marine Seismic Data*. Elsevier. doi.org/https://doi.org/10.1016/C2016-0-01591-7.
- Dow, D.B., dan Sukanto, R. (1984). Western Irian Jaya: The End-Product of Oblique Plate Convergence in The Late Tertiary. *Tectonophysics* 106: 109–39. doi:10.1016/0040-1951(84)90224-5.
- Dow, D.B., Robinson, G P G., Hartono, Udi., dan Ratman, N. (1986). Geologic Map of Irian Jaya, Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127349759.
- Gadallah, Mamdouh. R., dan Fisher, Ray. (2009). *An Introduction to Exploration Geophysics*. USA: Springer. doi.org/10.1007/978-3-540-85160-8.
- Hagedoorn, J.G. (1954). A Process of Seismic Reflection Interpretation. *Geophysical Prospecting* 2 (2): 85–167. doi.org/10.1111/j.1365-2478.1954.tb01281.x.

- Harahap, Bhakti H. (2012). Tectonostratigraphy of the Southern Part of Papua and Arafura Sea, Eastern Indonesia. *Indonesian Journal of Geology* 7 (3): 167–87. doi.org/10.17014/ijog.v7i3.145.
- Harjumi., dan Rafie, M. (2014). Analisis Perbandingan Parameter Gap pada Tahap Dekonvolusi dalam Pengolahan Data Seismik 2D Darat. *Prosiding Seminar Nasional Geofisika*.
- Hartono, U. dan Ratman, N. (1992). *Peta Geologi Lembar Aru, Maluku Tenggara, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumber Daya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Herdiyantoro, Tommy Piru. (2017). Analisa Penampang Seismik Pre-Stack Time Migration Dan Post- Stack Time Migration Berdasarkan Metode Migrasi Kirchhoff (Studi Kasus Lapangan GAP#). *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Latimer, R. B., Davidson, R., dan Van Riel, P. (2000). An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data. *The Leading Edge*, 19(3), 242 - 256.
- Latuconsina, Alvin., Adhiperhana, Billy G., Putri, Shaskia H., dan Sunardi, Edy. (2022). Karakteristik Reservoir Berdasarkan Analisis Petrofisika Pada Formasi Faumai Lapangan 'AL' Laut Arafura, Indonesia Timur. *Padjadjaran Geoscience Journal* 6 (1): 632–43.
- Limbong, Roy. (2020). Pengolahan Data Seismik Refleksi Darat 2D Dengan Kualitas Snr Rendah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sumatera.
- Mousa, Wail A. (2019). *Advanced Digital Signal Processing of Seismic Data*. Vol. 01. UK: Cambridge University Press.

Munadi, S. (2002). *Pengolahan Data Seismik Prinsip Dasar dan Metodologi*. Depok: Universitas Indonesia.

Murdianto, B. (2009). *Workshop Pengolahan Data Seismik Menggunakan Seismic Unix V.2 dan V.3*. Depok: Universitas Indonesia.

Naghizadeh, Mostafa., Snyder, David., Cheraghi, Saeid., Foster, Steven., Cilensek, Samo., Floreani, Elvis., dan Mackie, Jeff. (2019). Acquisition and Processing of Wider Bandwidth Seismic Data in Crystalline Crust: Progress with the Metal Earth Project. *Minerals* 9 (3). doi.org/10.3390/min9030145.

Nainggolan, T.B., Rasidin, S.M., dan Setiadi, I. (2019). Combined Multiple Attenuation Methods and Geological Interpretation : Seram Sea Case Study 2D Marine Seismic Data. *Bulletin of the Marine Geology* 34 (1): 17–28. doi.org/10.32693/bomg.34.1.2019.622.

Nurulsabila, Syifa., Rusdiana, Dadi., dan Firdaus, Yulinar. (2021). Penafsiran Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Pemodelan 2D Gaya Berat Di Perairan Arafura. *Wahana Fisika* 6 (1): 71–82. doi.org/10.17509/wafi.v6i1.19426.

Pamumpuni, A. (2016). Neotektonik Papua, Indonesia. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung.

Pesma, R.A., Erlangga, M.P., Putri, I.A dan Antosia, R.M. (2020). Prediksi Lapisan Akuifer Dengan Menggunakan Metode Aquifer Layer Prediction Using Seismic Refraction Method. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 06 (02): 91–100. doi.org/10.23960/jge.v6i2.66.

Priyono, A. (2006). *Buku Ajar Seismik Eksplorasi*. Bandung: Institut Teknologi

Bandung.

Purwanto, Catur. (2017). Penelitian Cekungan dan Pengembangan Model Geologi Hidrokarbon untuk Mendukung Wilayah Migas di Wilayah Perairan Arafura. Laporan Internal BBSPGL.

Ramdhani, H., Manik, H.M dan Susilohadi. (2013). Deteksi Dan Karakterisasi Akustik Sedimen Dasar Laut Dengan Teknologi Seismik Dangkal Di Perairan Rambat, Bangka Belitung. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis* 5 (2): 441–52.

Rasidin, S.M., Nainggolan, T.B., Dewi, I.K., dan Farid, Faizar. (2022). Analisis Migrasi Seismik Laut 2D Metode Kirchhoff Pre-Stack Time Migration Dan Post-Stack Time Migration Pada Wilayah Laut Seram. *Jurnal Teknik Kebumihan* 6 (2): 30–37.

Rasimeng, Syamsurijal., Ekarena, A.I., Mulyatno, B.S., dan Djaja, A.W. (2020) Optimalisasi Pencitraan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Kirchhoff Pre-Stack Time Migration Pada Data Seismik Laut Wetar. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6 (2): 101-112.

Rawlinson, N., dan Sambridge, M. (2003). Seismic Traveltime Tomography of the Crust and Lithosphere. *Advances in Geophysics* 46 (C): 81–198. doi.org/10.1016/S0065-2687(03)46002-0.

Reynolds, John M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Riyadi, Praditiyo. (2011). Analisa Kecepatan Data Seismik Refleksi 2D Zona Darat Menggunakan Metode Semblance. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

- Roberts, Keith J., Olender, Alexandre., Franceschini, Lucas., Kirby, Robert C., Gioria, Rafael S., dan Carmo, Bruno S. (2022). Spyro: A Firedrake-Based Wave Propagation and Full-Waveform-Inversion Finite-Element Solver. *Geoscientific Model Development* 15 (23): 8639–67. doi.org/10.5194/gmd-15-8639-2022.
- Robertson, J. (2000). Discovery of a Major Gas Province in Irian Jaya, Indonesia. In *Proceedings of an International Conference on Gas Habitats of SE Asia and Australasia*, 211–12. Indonesian Petroleum Association. doi.org/10.29118/ipa.2245.211.212.
- Robinson, Enders A., dan Clark, Dean. (2017). *Basic Geophysics*. USA: Society of Exploration Geophysicists. doi.org/10.1190/1.9781560803461.
- Santoso, Djoko. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Schneider, William A. (1978). Integral Formulation for Migration in Two and Three Dimensions. *Geophysics* 43 (1): 49–76. doi.org/10.1190/1.1440828.
- Sheriff, Robert E., dan Geldart, Lloyd. P. (1985). *Exploration Seismology. Physics of the Earth and Planetary Interiors*. Second. USA: University of Cambridge Press. doi.org/10.1016/0031-9201(85)90116-5.
- Sukmono, Sigit. (1999). *Interpretasi Seismik Refleksi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Sulistiana, Nurita., Indriana, R.D., dan Harmoko, U. (2011). Reprocessing Data Seismik Untuk Meningkatkan Kualitas Penampang Stack. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, Semarang*, 134–36.
- Syukri, Muhammad. (2020). *Pengantar Geofisika*. Edited by Zul. Safitri, Rini.,

Fadhli. Aceh: Syiah Kuala University Press.

Telford, W.M., Gerdart, L.P., Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Utami, Hilda A. (2016). Perbandingan Pre Stack Depth Migration dan Post Stack Depth Migration Data Seismik Marine di Wilayah Perairan Vietnam. *Skripsi*. Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Yilmaz, Öz. (2001). *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Edited by Stephen.M. Doherty. Vol. 1. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists. doi.org/10.1190/1.9781560801580.

Yilmaz, Özdoğan. (1987). *Seismic Data Processing*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Young, H.D., dan Freedman, R.A. (2020). *University Physics with Modern Physics*. 15th ed. USA: Pearson Education, Inc.

Zulkarnain, Hanifiah. (2020). Komparasi Model Kecepatan Domain Time Dan Depth Pada Data Seismik Menggunakan Algoritma Kirchhoff Berbasis Seismic Unix. *Skripsi*. Universitas Jember.