

**ATENUASI *MULTIPLE* MENGGUNAKAN KOMBINASI
METODE *SURFACE RELATED MULTIPLE ELIMINATION*
(SRME) DAN *RADON TRANSFORM*
(Skripsi)**

Oleh:

Raynaldo Aristiawan Pratama



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2016**

ABSTRACT

MULTIPLE ATTENUATION USING COMBINATION OF SURFACE RELATED MULTIPLE ELIMINATION (SRME) AND RADON TRANSFORM METHOD

By

Raynaldo Aristiawan Pratama

Has conducted research for the attenuation types of multiple noise on marine seismic data on the track KM86-139 using software “Vista”. This research is used to implement a method of surface related multiple elimination (SRME) and radon transform to reduce the presence of multiple in seismic and only leaving the primary wave. Before applying the method of surface related multiple elimination (SRME) and radon transform, conducted pre-conditioning phase as direct removal arrival, and linear noise attenuation. SRME method in this research method can suppress multiple on near offset because SRME does not rely on move out, but SRME is done by modeling a multiple noise and separation so that it is only obtained the primary data. Radon transform method is effective in eliminating the multiple in far offset because by having a sufficient offset then the difference move out between a primary with multiple reflections will be more clearly seen. The results of research in seismic data processing using SRME and Radon Transform has eliminated surface multiple on seismic data which follows velocity of its water bottom in the range of 1480 m/s and it can be obtained from velocity analysis. Radon Transform process is done in the gather that has been affected by the effects of Normal Move Out (NMO) with hyperbolic cutoff is -900 and parabolic cutoff is 150 at the maximum offset 2000. Surface Related Multiple Elimination (SRME) and Radon Transform process has eliminated the surface multiple on seismic data, but still leave another type of multiple like internal multiple.

Key Word: Primary wave, multiple, direct arrival, surface related multiple elimination, radon transform.

ABSTRAK

ATENUASI *MULTIPLE* MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE *SURFACE RELATED MULTIPLE ELIMINATION* (SRME) DAN *RADON TRANSFORM*

Oleh

Raynaldo Aristiawan Pratama

Telah dilakukan penelitian untuk mengatenuasi jenis *noise multiple* pada data seismik *marine* pada lintasan KM86-139 dengan menggunakan *software* “Vista”. Penelitian ini digunakan untuk menerapkan metode *surface related multiple elimination* (SRME) dan *radon transform* untuk mereduksi keberadaan *multiple* di dalam data seismik dan menyisakan gelombang primer nya saja. Sebelum menerapkan metode *surface related multiple elimination* (SRME) dan *radon transform* dilakukan tahap *pre-conditioning* seperti *direct arrival removal*, dan *linear noise attenuation*. Metode SRME pada metode penelitian ini dapat menekan *multiple* pada *offset* dekat karena SRME tidak bergantung *move out*, namun SRME dilakukan dengan cara memodelkan *noise multiple* dan dilakukan pemisahan sehingga yang didapatkan hanya data primer nya saja. Metode *radon transform* efektif dalam menghilangkan *multiple* yang berada di *offset* jauh karena dengan *offset* yang cukup maka perbedaan *move out* antara refleksi primer dengan *multiple* akan lebih jelas terlihat. Hasil penelitian dalam pengolahan data seismik menggunakan SRME dan *Radon Transform* telah menghilangkan *surface multiple* yang berada pada data seismik yang mana mengikuti *velocity water bottom* nya yang berada pada kisaran 1480 m/s yang di dapat dari hasil *velocity analysis*. Proses *Radon Transform* nya dilakukan pada *gather* yang telah terkena efek *Normal Move Out* (NMO) dengan *cut off* hiperbolik -900 dan *cut off* parabolik 150 pada *maximum offset* 2000. Proses *Surface Related Multiple Elimination* (SRME) dan *Radon Transform* telah menghilangkan *surface multiple* yang berada pada data seismik. Namun masih tersisa jenis *multiple* seperti *internal multiple*.

Kata Kunci: Gelombang primer, *multiple*, *direct arrival*, *surface related multiple elimination*, *radon transform*.

**ATENUASI *MULTIPLE* MENGGUNAKAN KOMBINASI
METODE *SURFACE RELATED MULTIPLE ELIMINATION*
(SRME) DAN *RADON TRANSFORM***

Oleh

Raynaldo Aristiawan Pratama

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2016**

Judul Skripsi

: **ATENUASI *MULTIPLE* MENGGNAKAN
KOMBINASI METODE *SURFACE RELATED
MULTIPLE ELIMINATION (SRME)* DAN
*RADON TRANSFORM***

Nama Mahasiswa

: **Raynaldo Aristiawan Pratama**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215051044

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

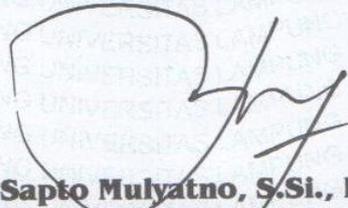
Pembimbing II



Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.
NIP 19661222 199603 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



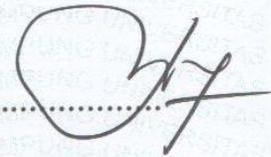
Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

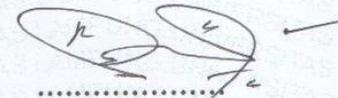
Ketua

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



Sekretaris

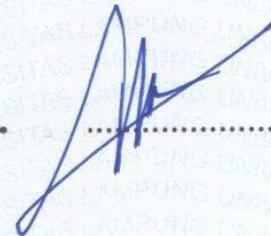
: Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Agustus 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbiti oleh orang lain kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Randau Lampung, 8 September 2016



Raynaldo Aristiawan Pratama

RIWAYAT HIDUP



Raynaldo Aristiawan Pratama, lahir di Sungai Penuh pada tanggal 30 April 1995 dari pasangan Bapak Syafri, S.E (Alm) dan Ibu Sri Dety, Amk.Keb, merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis mengenyam pendidikan formalnya dimulai tahun 2000 di SDN 166/III Koto Renah, Sungai Penuh, Jambi yang diselesaikan pada tahun 2006 selanjutnya di SMPN 8 Sungai Penuh dan diselesaikan pada tahun 2009. SMAN 1 Sungai Penuh menjadi sekolah negeri pilihan selanjutnya yang diselesaikan pada tahun 2012, sampai akhirnya pada tahun yang sama penulis tercatat sebagai mahasiswa S1 Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis terdaftar dan aktif di beberapa Unit Kegiatan Kemahasiswaan, seperti HIMA TG BHUWANA sebagai Anggota Sosial Budaya Masyarakat tahun 2013-2014, Anggota Biro Dana Dan Usaha tahun 2014-2015, penulis juga pernah tercatat sebagai *Physical Marketing Manager* untuk AIESEC Unila pada tahun 2014-2015, penulis juga pernah tercatat sebagai *Executive Committee Society*

Exploration of Geophysicist (SEG) Student Chapter Lampung tahun 2013-2014 dan melanjutkan karirnya sebagai *Vice President SEG Student Chapter Lampung* tahun 2014-2016. Selain itu penulis juga pernah mendapatkan kesempatan *student exchange* di India selama 6 minggu dan melaksanakan *social project* selama berada di New Delhi, India.

Pada bulan Oktober 2014 penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Pertamina UTC Jakarta Pusat selama 1 bulan. Kemudian penulis melanjutkan Tugas Akhir di Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore pada tanggal 1 Maret – 4 Mei 2016 selama 2 bulan. Pada akhirnya skripsi pun dilaksanakan dengan judul “Atenuasi *Multiple* dengan kombinasi Metode *Surface Related Multiple Elimination (SRME)* dan *Radon Transform*”.

Ku Persembahkan sebuah karya ini untuk :

**Syafri, S.E (Alm)
Sri Dety, Am.Keb**

*Adik Tersayang
Cynthia Apriani*

**Angkatan 2012 Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas
Lampung, yang sampai saat ini masih menjadi nafas
penyambung hidup penulis.**

Almamater tercinta - Universitas Lampung

**Semua penyemangat dan inspirasi bagi penulis yang
tidak akan dapat terbalaskan jasanya.**

Tidaklah ada di dalam hati ini dua cinta, sebagaimana tidak ada dalam wujud ini dua Tuhan. Asyhadu an-laa ilaaha illallaah Wa asyhadu anna Muhammadan rasuulullaah.

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui (Al-Baqarah: 216).

Jadilah diri sendiri dan jangan menjadi orang lain, walaupun dia terlihat baik dari kita (Raynaldo Aristiawan Pratama).

Ketika kamu ada dalam sebuah tantangan, coba lah itu. Saya tidak meminta kamu untuk berhasil namun kamu harus berani mencobanya (Raynaldo Aristiawan Pratama).

Senyumlah terhadap semua orang bahkan yang menghujatmu dari belakang sekalipun. Karena hidup selalu ada pro dan contra (Raynaldo Aristiawan Pratama).

If you are just save about the choice you make, tou don't grow (Heath Ledger).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Atenuasi Multiple Menggunakan Kombinasi Metode Surface Related Multiple Elimination (SRME) dan Radon Transform*” ini dapat terselesaikan dengan baik dan sebagai salah satu syarat bagi penulis untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangannya. Oleh karena itu, diperlukan saran dan kritik yang dapat membangun untuk perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Bandar Lampung, 8 September 2016

Raynaldo Aristiawan Pratama

SANWACANA

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, tiada sekutu bagi-Nya, serta tiada daya dan upaya melainkan atas kehendak-Nya, berkat petunjuk-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan dan semoga shalawat senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umatnya. Aamiin.

Penelitian dalam skripsi ini dilakukan di PT. Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore dan Skripsi ini diberi judul ***Atenuasi Multiple Menggunakan Kombinasi Metode Surface Related Multiple Elimination (SRME) dan Radon Transform.***

Dalam penyusunan skripsi ini begitu banyak suka dan duka yang dihadapi oleh penulis, namun berkat do'a, motivasi, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga penulis akhirnya dapat meretas segala asa dalam cita untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang kepada:

1. PT. Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore sebagai institusi yang telah memberi kesempatan untuk melaksanakan Tugas Akhir.
2. Bpk, Bagus Sapto M, S.Si, M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bpk. Cecep Sutisna selaku pembimbing dan spesialis *Geofisika* PT. Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore.
4. Bpk. Bagus Sapto M, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Mas Romi, Mas Baisal, Mas Mahar, Mas Andri, Bu Dewi, yang selalu memberikan masukan yang sangat berguna di saat pelaksanaan Tugas Akhir.
6. Sahabat seperjuangan Rendy Kurnia Joan Manova untuk support yang tiada henti.

6. Rekan seperjuangan Tugas Akhir Jody, Santos, Justian, Fadhil, Sergio, Hadi, Enrico, Endah, Dio, Reynouval, Mas Dito karena telah berbagi ilmu, pengalaman.
7. Sohib-sohib Edo, Dimastya, Ghifari, Kevin, Onoy, Esha, Hilman, Ari, Irwan, Jordy, dan Agung.
8. Dila, Bela, Medi, Resti, Beta, Andina, Gita, Zai, Elen, Azis, Vivi, Nana, Vee, Lita, dan Niar karena telah mewarnai perjalanan para lelaki TG 12 yang terlalu absurd semua.
9. Teman-teman Geofisika angkatan 2012 dan teman-teman geofisika lainnya yang telah membagi pengalaman serta ilmunya dalam pengolahan data seismik.
10. Senior – senior angkatan 2007, 2008, 2009, 2010, dan 2011 dan adik angkatan 2013 yang telah berbagi ilmu dan memberi support dalam melaksanakan Tugas Akhir.
11. Kak Ratu, Kak Hilda, Kak Fitri Bubun, Kak Guspri, Bang Doni, Bang Bagus, Bang Ram, Kak Sari yang telah berbagi ilmu dan waktu untuk ilmu – ilmu yang diberikan dan proses dalam mendapatkan dan melaksanakan Tugas Akhir.
12. Orang tua, adik dan keluarga tercinta yang banyak memberikan dukungan baik moral maupun material.
13. Serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menambah referensi pengolahan data seismik dan dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk penelitian berikutnya.

Bandar Lampung, 8 September 2016

Raynaldo Aristiawan Pratama

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
HALAMAN MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur	4
2.2 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur Utara	6
2.3 Kerangka Tektonik Cekungan Jawa Timur Utara	8

III.	TEORI DASAR	
	3.1 Prinsip Metode Seismik	10
	3.2 Penjalaran Gelombang	11
	3.3 Sorting CMP <i>gather</i>	13
	3.4 CMP <i>Stacking</i>	14
	3.5 <i>Multiple</i>	14
	3.6 Refleksi Primer dan <i>Noise Multiple</i>	17
	3.7 Penyebab Terjadinya <i>Multiple</i>	20
	3.8 Analisis Kecepatan	21
	3.9 Koreksi <i>Normal Move Out</i>	22
	3.10 <i>Spherical Divergence Correction</i>	25
	3.11 F – K <i>Filter</i>	25
	3.12 Metode <i>Surface-Related Multiple Elimination (SRME)</i>	27
	3.13 <i>Least-Square Adaptive Subtract</i>	30
	3.14 Dekonvolusi	33
	3.15 <i>Radon Transform</i>	35
	3.16 Migrasi Metode kirchoff	39
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	
	4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	41
	4.2 Alat dan Bahan	41
	4.3 Prosedur Penelitian	42
	4.4 Diagram Alir	44
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	5.1 Informasi Lapangan	45
	5.2 Pembahasan	46
	1. Reformat	47
	2. Geometry	47
	3. Resample	49
	4. Filter (High Cut Filter dan Low Filter)	50
	5. Eksponensial Gain	55
	6. Direct Arrival Removal	57
	7. Brute Stack	62
	8. Surface Related Multiple Elimination	69
	9. Dekonvolusi	89
	10. Velocity Analysis 1	94
	11. Radon Transform	101
	12. Velocity Analysis 2	111
	13. Post Stack Time Migration	117

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	124
6.2 Saran.....	125

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta daerah Cekungan Jawa Timur	4
Gambar 2.2 Peta Daerah Penelitian	5
Gambar 2.3 <i>Paleogene Geography of the East Java Basin</i>	9
Gambar 3.1 Ilustrasi Survei Seismik Laut	10
Gambar 3.2 Hukum Snellius	12
Gambar 3.3 Prinsip Huygens	13
Gambar 3.4 Konfigurasi CMP <i>Gather</i>	14
Gambar 3.5 Perambatan gelombang refleksi primer (jingga) dan gelombang multiple (biru) dibawah permukaan bumi	15
Gambar 3.6 (a) <i>Internal multiple</i> , (b) <i>Surface-related multiple</i>	16
Gambar 3.7 (a) <i>Long period multiple</i> , (b) <i>Short period multiple</i>	16
Gambar 3.8 Fenomena <i>multiple</i> dalam rekaman seismik	18
Gambar 3.9 Jenis <i>surface multiple</i> berdasarkan <i>raypaths</i>	19
Gambar 3.10 Konsep Refleksi <i>Multiple</i>	20
Gambar 3.11 Koreksi NMO, memetakan waktu tempuh ke <i>zero offset</i>	23
Gambar 3.12 (a) hiperbola refleksi (b) NMO yang tepat (c) <i>Overcorrection</i> (d) <i>Undercorrection</i>	24
Gambar 3.13 Nilai f naik dengan k yang konstan	26
Gambar 3.14 Nilai k naik dengan f yang konstan (CGG, 2005)	26
Gambar 3.15 Aliasing pada $f - k$ domain	27
Gambar 3.16 Prediksi gelombang surface multiple (garis merah)	28
Gambar 3.17 Proses Komputasi Pembuatan Model Multiple	30
Gambar 3.18 Prediksi secara iterative dan subtraksi <i>multiple</i>	32
Gambar 3.19 Proses Dekonvolusi	33
Gambar 3.20 Komponen utama yang digunakan dalam dekonvolusi	34
Gambar 3.21 Pemilihan GAP	34
Gambar 3.22 Pemetaan Event dari domain $t - x$ ke domain $\tau - p$	39
Gambar 3.23 Parabolic Radon Transform	37
Gambar 3.24 (a) Skema Proses Migrasi dan (b) Hasil dari Proses Migrasi	37
Gambar 3.25 Migrasi berdasarkan penjumlahan difraksi	40
Gambar 4.1 Diagram Alir Pengolahan Data	44
Gambar 5.1 Reformat Data	47
Gambar 5.2 <i>Stacking Chart Fold Coverage</i>	48
Gambar 5.3 <i>Line Navigation</i>	49
Gambar 5.4 <i>Shot Depth</i> dan <i>Water Bottom Depth</i>	49
Gambar 5.5 Resample 4 ms	50
Gambar 5.6 <i>Shot Gather before Filter</i>	52
Gambar 5.7 <i>Shot Gather after Filter</i>	53

Gambar 5.8 <i>Difference before dan after Filter</i>	54
Gambar 5.9 <i>Gain dengan nilai 1.0</i>	55
Gambar 5.10 <i>Gain dengan nilai 6.0</i>	56
Gambar 5.11 <i>Desain untuk Direct Arrival Removal</i>	58
Gambar 5.12 <i>Before dan After $f - k$ filter apply</i>	59
Gambar 5.13 <i>Shot Gather before Direct Arrival Removal</i>	60
Gambar 5.14 <i>Shot Gather after Direct Arrival Removal</i>	61
Gambar 5.15 <i>Noise Model dari Direct Arrival Removal</i>	62
Gambar 5.16 <i>Brute Stack</i>	63
Gambar 5.17 <i>Linear Noise</i>	65
Gambar 5.18 <i>Input dan FK Spectrum dengan Rejection</i>	66
Gambar 5.19 <i>Perbedaan Input dan Output dengan Rejection Applied to Data</i>	67
Gambar 5.20 <i>Stack after Linear Noise Removal</i>	68
Gambar 5.21 <i>Shot before interpolation SRME</i>	70
Gambar 5.22 <i>Shot after interpolation SRME</i>	71
Gambar 5.23 <i>Shot before dan after Interpolation SRME</i>	72
Gambar 5.24 <i>SRME Interpolation</i>	73
Gambar 5.25 <i>Multiple Prediction</i>	75
Gambar 5.26 <i>SRME Prediction</i>	76
Gambar 5.27 <i>Original Data dan Predicted Multiple</i>	77
Gambar 5.28 <i>Shot before SRME</i>	79
Gambar 5.29 <i>Shot after SRME</i>	80
Gambar 5.30 <i>Difference dari Shot before dan after SRME</i>	82
Gambar 5.31 <i>Stack before Adaptive Subtraction SRME</i>	83
Gambar 5.32 <i>Stack after Adaptive Subtraction SRME</i>	84
Gambar 5.33 <i>Difference dari Stack before dan after SRME</i>	85
Gambar 5.34 <i>Zoom In Stack before Adaptive Subtraction SRME</i>	87
Gambar 5.35 <i>Zoom In Stack after Adaptive Subtraction SRME</i>	88
Gambar 5.36 <i>Shot before Deconvolution</i>	90
Gambar 5.37 <i>Shot after Deconvolution</i>	91
Gambar 5.38 <i>Stack before Deconvolution</i>	92
Gambar 5.39 <i>Stack after Deconvolution</i>	93
Gambar 5.40 <i>Windows Picking Velocity Analysis 1</i>	96
Gambar 5.41 <i>Stack before Velocity Analysis 1</i>	97
Gambar 5.42 <i>Stack after Velocity Analysis 1</i>	98
Gambar 5.43 <i>Zoom In Stack before Velocity Analysis 1</i>	99
Gambar 5.44 <i>Zoom In Stack after Velocity Analysis 1</i>	100
Gambar 5.45 <i>CDP gather before Radon Transform</i>	102
Gambar 5.46 <i>CDP gather after Radon Transform</i>	103
Gambar 5.47 <i>Noise Model dari Radon Transform</i>	104
Gambar 5.48 <i>Stack before Radon Transform</i>	106
Gambar 5.49 <i>Stack after Radon Transform</i>	107
Gambar 5.50 <i>Difference dari Stack before dan after Radon Transform</i>	108
Gambar 5.51 <i>Zoom In Stack before Radon Transform</i>	109
Gambar 5.52 <i>Zoom In Stack after Radon Transform</i>	110

Gambar 5.53	<i>Windows Picking Velocity Analysis 2</i>	112
Gambar 5.54	<i>Shot before Inner Mute</i>	113
Gambar 5.55	<i>Shot after Inner Mute</i>	114
Gambar 5.56	<i>Stack before Inner Mute</i>	115
Gambar 5.57	<i>Stack after Inner Mute</i>	116
Gambar 5.58	<i>Post Stack Time Migration</i>	118
Gambar 5.59	<i>Post Stack Time Migration after Random Noise Attenuation</i>	119
Gambar 5.60	<i>Final Filtered Migration</i>	120
Gambar 5.61	<i>Zoom In Post Stack Time Migration</i>	121
Gambar 5.62	<i>Zoom In Post Stack Time Migration after Random Noise Attenuation</i>	122
Gambar 5.63	<i>Final Filtered Migration</i>	123

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jadwal Penelitian	41
Tabel 2. <i>Observer Report</i>	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode seismik eksplorasi memanfaatkan gelombang seismik untuk memetakan struktur geologi bawah permukaan. Gelombang seismik dikirim ke dalam formasi batuan, kemudian diukur waktu penjarannya dari sumber ke perekam. Data berupa sinyal-sinyal seismik biasanya terekam secara digital dalam pita magnetik, sehingga dapat diolah dengan komputer guna meningkatkan kualitas sinyal, mengeluarkan informasi-informasi yang signifikan, dan menampilkannya untuk interpretasi geologi.

Kegiatan eksplorasi hidrokarbon pada metode seismik dikelompokkan dalam tiga tahapan, yaitu akuisisi, pengolahan data, dan interpretasi data seismik. Dari ketiga tahapan tersebut, pengolahan data seismik memiliki peran yang sangat penting, yaitu untuk meningkatkan kualitas data seismik secara maksimal, sehingga dihasilkan penampang seismik yang mendekati geologi bawah permukaan yang sebenarnya.

Pada akuisisi data seismik laut, banyak terdapat *noise* yang membuat gambaran permukaan menjadi tidak jelas. Salah satu jenis *noise* yang sering ditemukan pada data seismik laut adalah *noise multiple*. Keberadaan *noise multiple* sampai saat ini masih menjadi permasalahan utama pada pengolahan data seismik

laut, karena energi *multiple* menyebabkan energi dari gelombang primer menjadi tidak fokus, sehingga sulit dibedakan antara gelombang primer dengan *multiple*. Padahal model dasar dalam pengolahan data seismik berasumsi bahwa data refleksi hanya mengandung sinyal primer (Hill et al., 1999). Oleh karena itu dibutuhkan metode yang tepat untuk menekan keberadaan *noise multiple*.

Salah satu metode yang digunakan untuk menekan dan mengatenuasi keberadaan *multiple* adalah metode *surface related multiple elimination (SRME)*. Metode *SRME* merupakan metode yang cukup efektif untuk melakukan penekanan *multiple* pada data seismik laut, karena dapat memrediksi keberadaan *multiple* dengan membuat model *multiple* dari data seismik. Metode lainnya yang digunakan adalah transformasi *radon*. *Radon Transform* bekerja dengan cara menransformasikan data *pre-stack* dari domain T-X ke domain $\tau - p$. Hal ini bertujuan untuk memisahkan *multiple* dan data *primary*, sehingga mempermudah dalam melakukan proses *filtering*. Metode *filtering* menggunakan *differential moveout* antara sinyal primer dan *multiple*.

Dilakukannya kombinasi antara metode *surface related multiple elimination (SRME)* dan transformasi *radon* agar dapat menghasilkan penampang seismik yang baik.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Menerapkan metode *Surface Related Multiple Elimination (SRME)* untuk mereduksi *multiple* pada data seismik laut.

2. Menganalisis atenuasi *multiple* dari hasil penampang bawah permukaan lapangan penelitian.
3. Menerepakan metode *radon transform* sebagai kombinasi metode *SRME* untuk mengatenuasi *multiple*.
4. Melakukan proses migrasi data *Post-Stack Migration* untuk memberikan kenampakan penampang yang baik dari hasil *SRME*.

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. *Software* yang digunakan adalah *Software* “Vista” 2012 untuk *processing* seismik.
2. Data yang digunakan adalah data dengan *flat water bottom* seismik 2D laut.
3. Metode yang digunakan untuk mereduksi *multiple* adalah metode *Surface Related Multiple Elimination (SRME)* dan *Radon Transform*.
4. Pengolahan dilakukan hanya untuk menghilangkan *Surface Related Multiple* berdasarkan metode yang digunakan.

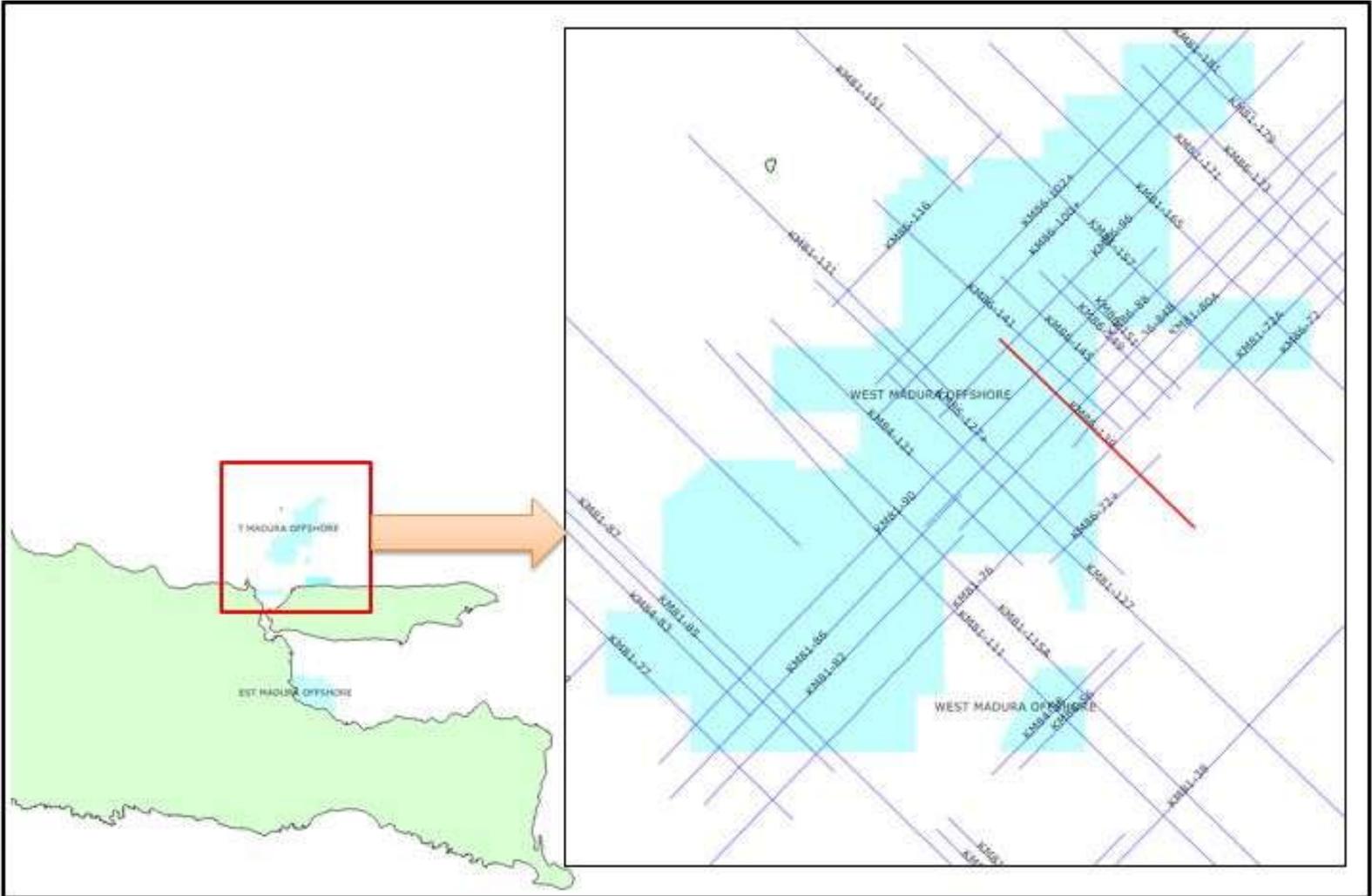
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur

Secara geologi Cekungan Jawa Timur terbentuk , proses pengangkatan dan ketidakselarasan serta proses-proses lain, seperti penurunan muka air laut dan pergerakan lempeng tektonik. Tahap awal pembentukan cekungan tersebut ditandai dengan adanya *half graben* yang dipengaruhi oleh struktur yang terbentuk sebelumnya. Tatanan tektonik yang paling muda dipengaruhi oleh pergerakan Lempeng Australia dan Lempeng Sunda. Secara regional perbedaan bentuk struktural sejalan dengan perubahan waktu(PHE WMO, 2009).



Gambar 2.1 Peta daerah Cekungan Jawa Timur (ESDM op.cit, Sirait 2007)



Gambar 2.2 Peta Daerah Penelitian (ESDM op.cit, Sirait 2007)

Aktivitas tektonik utama yang berlangsung pada umur Plio Pleistosen, menyebabkan terjadinya pengangkatan daerah regional Cekungan Jawa Timur dan menghasilkan bentuk morfologi seperti sekarang ini. Struktur geologi daerah Cekungan Jawa Timur umumnya berupa sesar naik, sesar turun, sesar geser, dan pelipatan yang mengarah Barat - Timur akibat pengaruh gaya kompresi dari arah Utara – Selatan (Satyana, 2005).

Tatanan geologi Pulau Jawa secara umum dibagi berdasarkan posisi tektoniknya. Secara struktural Blok Tuban dikontrol oleh *half graben* yang berumur Pre- Tersier. Secara geologi Pulau Jawa merupakan suatu kompleks sejarah penurunan cekungan, penyesaran, pelipatan dan vulkanisme di bawah pengaruh *stress regime* yang berbeda-beda dari waktu ke waktu. Secara umum, ada tiga arah pola umum struktur, yaitu arah Timur Laut – Barat Daya (NE-SW) yang disebut pola Meratus, arah Utara – Selatan (N-S) atau pola Sunda dan arah Timur – Barat (E- W). Perubahan jalur penunjaman berumur kapur yang berarah Timur Laut - Barat Daya (NE-SW) menjadi relatif Timur - Barat (E-W) sejak Oligosen sampai sekarang telah menghasilkan tatanan geologi Tersier di Pulau Jawa, (Sribudiyani, dkk., 2003).

2.2 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur Utara

Cekungan Jawa Timur Utara sebelah barat dibatasi oleh Busur Karimunjawa dimana memisahkannya dengan Cekungan Jawa Barat Utara, di sebelah selatan dibatasi oleh busur vulkanik, sebelah timur dibatasi oleh Cekungan Lombok dan sebelah utara dibatasi oleh Tinggian *Paternoster*,

dimana memisahkannya dengan Selat Makasar. Berdasarkan posisinya, Cekungan Jawa Timur Utara dapat dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur dan berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia (Mudjiono dan Pireno, 2002).

Tren struktur dan sejarah pengendapan dari sedimentasi Tersier di Blok *West Madura Offshore* sebagian besar dikendalikan oleh konfigurasi batuan dasar yang dibentuk oleh peristiwa tektonik pada masa Kapur Akhir sampai dengan Tersier Awal. Fitur utama pada batuan dasar adalah *hinge lines* pada kedua sisi dari cekungan. Bagian tepi cekungan terkesan kasar yang mungkin dihasilkan oleh gaya tensional akibat *wrench fault* dan atau sebagai akibat dari mekanisme patahan jaman Pra-Tersier yang berarah berbeda dari struktur utama yang ada sekarang. Akibatnya, tensional dan *wrench faulting* mengakibatkan terjadinya pembentukan blok *graben* dan *horst* yang mulai membentuk konfigurasi cekungan pada waktu Kapur Akhir dan Tersier awal.

Tektonik pada jaman Kapur Akhir sampai Tersier Awal mengakibatkan adanya kombinasi dari tensional dan *wrench faulting* yang menghasilkan seri fitur *horst* dan *graben* berarah Timur Laut - Barat Daya yang mengontrol konfigurasi awal pembentukan cekungan. Patahan-patahan awal yang kemudian teraktifkan kembali beberapa kali selama masa Tersier dan sesar normal yang tumbuh, yang merupakan fitur yang menonjol pada bagian utara blok, juga berpengaruh kuat terhadap pola sedimentasi. Pada Formasi "GL-

MT” yang lebih muda, sesar anjakan lebih mendominasi, yang mengakibatkan terjadinya proses diapir serpih dan struktur yang berhubungan yang terbentuk selama Pliosen Akhir. Struktur yang jelas dan berarah Timur Laut - Barat Daya yang terdapat banyak pada bagian utara blok *West Madura Offshore* berakhir secara tiba-tiba, berdekatan dengan garis pantai utara Pulau Madura. Pada Bagian selatan dari daerah ini, di Cekungan Jawa Timur, bagian-bagian struktural relatif berarah Timur - Barat sejalan dengan respon untuk untuk mengakhiri pengaruh dominan zona subduksi Banda-Jawa.

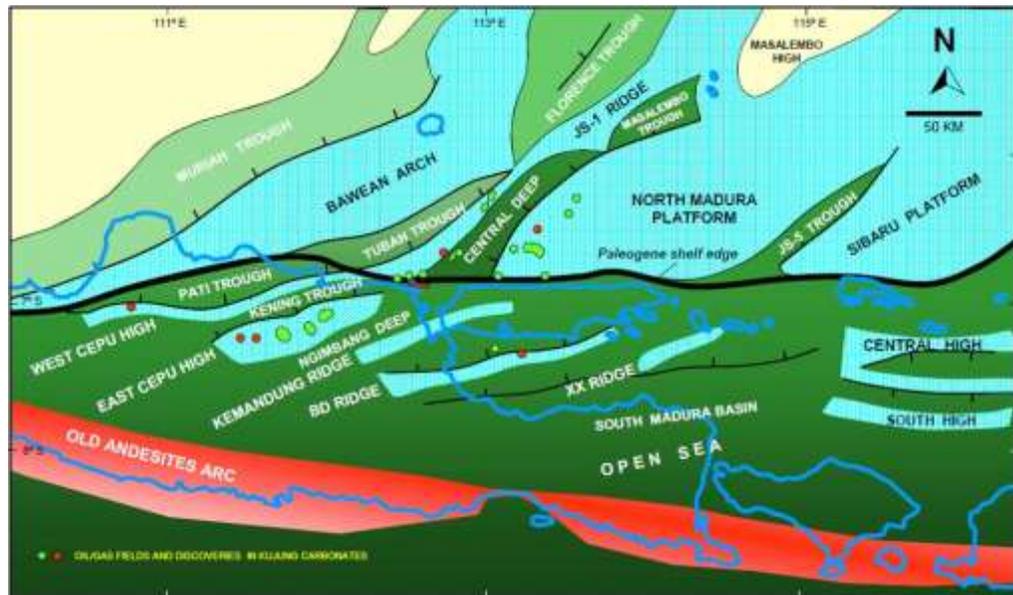
Blok *West Madura Offshore* dikontrol oleh dua buah sesar *rift margin* besar berarah Timur Laut- Barat Laut dengan penimpaan *wrench faults* sesudahnya. Kehadiran batuan induk yang menghasilkan hidrokarbon dan daerah dapur hidrokarbon yang terletak pada cekungan yang berdekatan pada bagian timur, barat dan selatan dari blok memberikan jarak yang relatif pendek untuk jalur migrasi hidrokarbon ke arah *up-dip* melalui ketidakselarasan batuan dasar yang terangkat miring dan melalui berbagai sesar dan kekar yang ada.

2.3 Kerangka Tektonik Cekungan Jawa Timur Utara

Graben, *half-graben*, dan sesar-sesar hasil dari proses *rifting* telah dihasilkan pada periode ekstensional, yaitu pada Paleogen. Selanjutnya periode kompresi dimulai pada Miosen Awal yang mengakibatkan reaktivasi sesar-sesar yang telah terbentuk sebelumnya pada periode ekstensional yang mengakibatkan pengangkatan dari *graben-graben* yang

disebut *Central High*.

Pada saat sekarang, Cekungan Jawa Timur Utara dikelompokkan ke dalam tiga kelompok struktur utama dari arah utara ke selatan, yaitu *North Platform*, *Central High* dan *South Basin*. Perubahan struktur juga terjadi pada konfigurasi *basement* dari arah barat ke timur. Bagian barat pada Platform Utara dapat dikelompokkan menjadi *Muria Trough*, *Bawean Arc*, *JS-1 Ridge*, *Northeast Java Platform*, *Central-Masalembu Depression*, *North Madura Platform* dan *JS 19-1 Depression*. Sedangkan pada *South Basin*, dari barat ke timur dapat dikelompokkan menjadi *North East Java Madura Sub-Basin (Rembang-Madura Strait-Lombok Zone)*, *South Madura Shelf* (kelanjutan dari Zona Kendeng) dan *Solo Depression Zone*. Pada *Central High* tidak ada perubahan struktur yang berarti dari arah barat ke timur (Ponto, et al., 1995). Penjelasan diatas dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

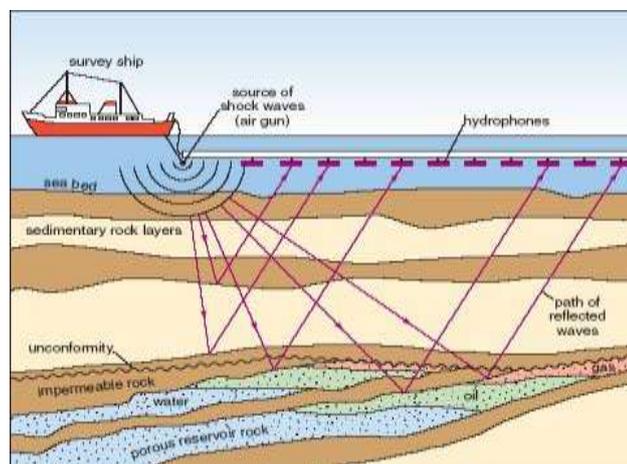


Gambar 2.3 Paleogene Geography of the East Java Basin (Satyana, 2005)

BAB III TEORI DASAR

3.1 Prinsip Metode Seismik

Metode Seismik merupakan metode yang biasa digunakan dalam kegiatan eksplorasi minyak dan gas. Prinsip metode seismik yaitu dengan memanfaatkan gelombang elastik yang merambat di bawah permukaan bumi, sehingga kita dapat memperoleh informasi mengenai struktur di bawah permukaan bumi, sehingga kita dapat memperoleh informasi mengenai struktur lapisan dibawah permukaan bumi. Secara umum kegiatan seismik eksplorasi dibagi menjadi tiga tahapan utama yaitu akuisisi data seismik, pengolahan data seismik, dan interpretasi data seismik. Akuisisi data merupakan pekerjaan terdepan dari suatu eksplorasi. Persiapan awal yang harus dilakukan adalah menentukan parameter – parameter lapangan yang cocok dari suatu daerah yang hendak disurvei.



Gambar 3.1 Ilustrasi survei seismik laut (OpenLearn Labspace, 2010)

Penentuan parameter ini sangat penting, karena akan menentukan kualitas data yang akan diperoleh (Sismanto, 2006). Kualitas data seismik yang baik akan sangat membantu dalam proses interpretasi struktur bawah permukaan. Untuk memperoleh kualitas data yang baik, diperlukan proses pengolahan data seismik yang tepat dan sesuai dengan kondisi dari bawah permukaan, sehingga akan mendapatkan penampang seismik yang memiliki *signal to noise ratio* yang tinggi.

3.2 Penjalaran Gelombang

3.2.1 Prinsip Snellius

Prinsip Snellius menjelaskan ketika gelombang seismik melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka gelombang akan terbagi. Gelombang tersebut sebagian terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat dibawah permukaan. Penjalaran gelombang seismik mengikuti Hukum Snellius yang dikembangkan dari Prinsip Huygens, menyatakan bahwa sudut pantul dan sudut bias merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Gelombang P yang datang akan mengenai permukaan bidang batas antara dua medium berbeda akan menimbulkan gelombang refraksi dan refleksi (Elnashai, 2008).

Perumusan matematis hukum Snellius adalah:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

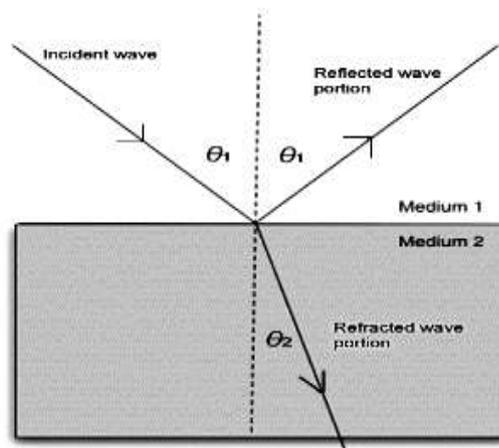
atau

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

atau

$$v_1 \sin \theta_2 = v_2 \sin \theta_1$$

Lambang θ_1 , θ_2 menunjukkan sudut datang dan sudut bias, v_1 dan v_2 pada kecepatan cahaya sinar datang dan sinar bias. Lambang n_1 menunjukkan pada indeks bias medium yang dilalui sinar datang, sedangkan n_2 adalah indeks bias medium yang dilalui sinar bias.



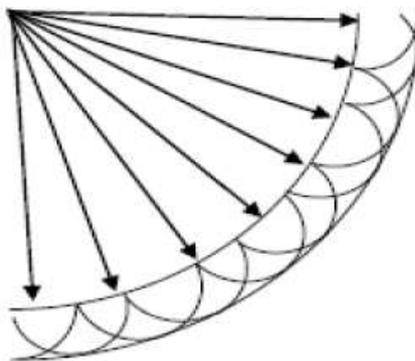
Gambar 3.2 Hukum Snellius (Setiawan, 2008).

Keterangan :

Pembiasan cahaya pada antarmuka antara dua medium dengan indeks bias berbeda, dengan $n_2 > n_1$. Karena kecepatan cahaya lebih rendah di medium kedua ($v_2 < v_1$), sudut bias θ_2 lebih kecil dari sudut datang θ_1 ; dengan kata lain, berkas di medium berindeks lebih tinggi lebih dekat ke garis normal (Setiawan, 2008).

3.2.2 Prinsip Huygens

Prinsip Huygens menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang merupakan sumber bagi gelombang baru. Posisi dari muka gelombang dalam dapat seketika ditemukan dengan membentuk garis singgung permukaan untuk semua *wavelet* sekunder. Prinsip Huygens mengungkapkan sebuah mekanisme dimana sebuah pulsa seismik akan kehilangan energi seiring dengan bertambahnya kedalaman (Asparini, 2011).



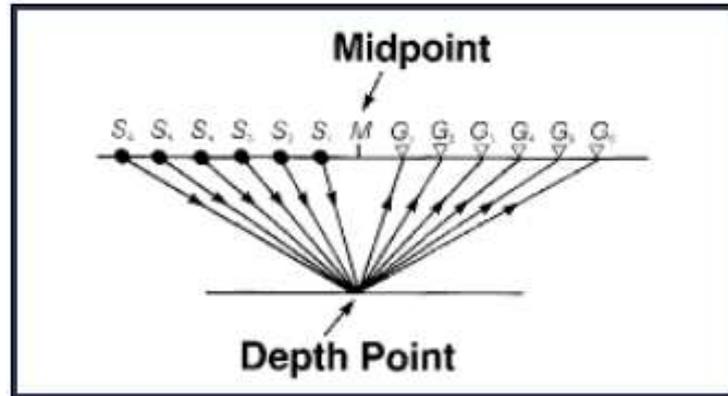
Gambar 3.3 Prinsip Huygens (Asparini, 2011).

3.2.3 Prinsip Fermat

Gelombang menjalar dari satu titik ke titik lain melalui jalan tersingkat waktu penjarannya. Dengan demikian jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Jamady, 2011).

3.3 *Sorting CMP Gather*

CMP (*Common Mid Point*) adalah posisi titik-titik reflektor yang sama, dan di defenisikan sebagai titik pada permukaan bumi yang terletak diantara pasangan sumber (*source*) dan penerima (*receiver*). Pada data seismik dan hasil akuisisi lapangan, konfigurasi yang didapatkan adalah *common source gather*. Data tersebut selanjutnya dikelompokkan dan diurutkan atau di sorting berdasarkan CMP yang sama. Hal ini agar mendapatkan gambaran geometri dari susunan konfigurasi sumber dan penerima. Data seismik yang telah di sorting terhadap CMP yang sama kemudian dilakukan penggabungan, sehingga dihasilkan *CMP gather*.



Gambar 3.4 Konfigurasi CMP *Gather* (Cao, 2006)

3.4 CMP *Stacking*

CMP *Stacking* dilakukan untuk menjumlahkan *trace* yang telah dikoreksi NMO pada tiap CMP *gather*. Pada saat melakukan *stacking*, sinyal gelombang refleksi primer akan diperkuat dengan melakukan penjumlahan dari seluruh *offset* pada tiap CMP *gather*, sedangkan untuk *noise* acak sendiri akan melemah setelah proses penjumlahan ini. Oleh karena itu CMP *stacking* dapat meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise*.

3.5 *Multiple*

Pada pengambilan data seismik laut, *multiple* timbul akibat adanya gelombang yang terperangkap dalam lapisan air laut maupun lapisan batuan karena adanya kontras impedansi medium perambatan yang sangat besar. Gelombang tidak dapat menembus lapisan untuk dapat kembali ke permukaan, sehingga terpantul dalam lapisan yang sama. Gelombang tersebut ditangkap oleh *hydrophone* dan akan memberikan informasi waktu rambat gelombang yang lebih lama daripada saat gelombang tersebut hanya terpantulkan sekali oleh suatu lapisan (lapisan primer). Berdasarkan informasi waktu rambat gelombang ini, maka akan menimbulkan efek lapisan baru yang sebenarnya tidak ada pada data seismik.

Refleksi primer hanya sekali terpantul pada batas medium *subsurface* sebelum ditangkap oleh penerima. Refleksi primer tersebut menyediakan beberapa informasi antara lain kecepatan dan identifikasi struktur bawah permukaan bumi. Akan tetapi, tidak hanya refleksi primer saja, penerima juga merekam refleksi dari *multiple* yang terpantulkan diantara reflektor bawah permukaan lebih dari satu kali sebelum diterima di permukaan. Refleksi *multiple* biasanya mengganggu refleksi primer dan cenderung menghasilkan gambaran seismik yang buruk (Cao, 2006).

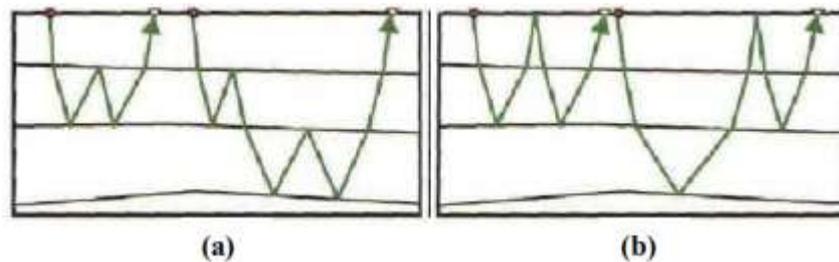


Gambar 3.5 Perambatan gelombang refleksi primer (jingga) dan gelombang *multiple* (biru) dibawah permukaan bumi (Verschuur, 2006)

Gambar 3.5 menunjukkan perambatan gelombang refleksi primer (garis berwarna jingga) dan gelombang *multiple* (garis berwarna biru). Pada **Gambar 3.5** terlihat perambatan gelombang refleksi primer hanya mengalami satu kali refleksi di bawah permukaan bumi. Sedangkan pada gelombang *multiple* mengalami lebih dari sekali refleksi dan memiliki setidaknya satu gelombang refleksi menuju ke bawah permukaan bumi.

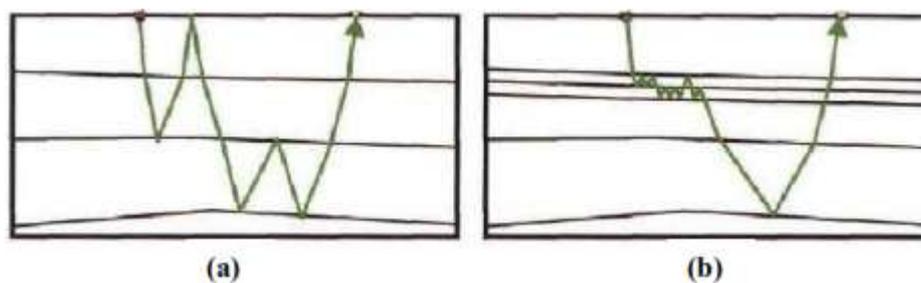
Multiple merupakan salah satu jenis *noise* koheren (*coherent noise*). Ciri-ciri dari *noise* koheren adalah *noise* tersebut memiliki suatu keteraturan dalam keberadaannya di data seismik. *Multiple* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis. Pertama, *multiple* diklasifikasikan berdasarkan pertimbangan refleksi antarmuka. Berdasarkan refleksi antarmuka, *multiple* dibagi menjadi dua, yakni *internal multiple* dan *surface-related multiple*. *Internal multiple* merupakan

gelombang *multiple* yang terefleksikan ke bawah pada reflektor pertama di bawah permukaan sebelum gelombang direfleksikan kembali ke atas dan direkam oleh penerima seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6 (a)**. *Surface-related multiple* merupakan gelombang *multiple* yang mengalami refleksi ke bawah pada lapisan permukaan sebelum direfleksikan kembali ke atas dan direkam oleh penerima yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6 (b)** (Verschuur, 2006).



Gambar 3.6 (a) *Internal multiple*, (b) *Surface-related multiple* (Verschuur, 2006).

Kedua, *multiple* dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan lama waktu penjalaran gelombangnya, yaitu *short period multiple* dan *long period multiple*. *Short period multiple* memiliki waktu tiba gelombang *multiple* yang tidak terlalu jauh dari waktu tiba gelombang primernya, sehingga *multiple* dalam data seismik tergambaran tidak jauh dari *even* primernya. *Long period multiple* memiliki waktu tiba gelombang *multiple* yang sangat besar daripada waktu tiba gelombang primernya, sehingga *multiple* jenis *long period multiple* akan tergambaran jauh dari *even* primernya, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.7** (Verschuur, 2006).



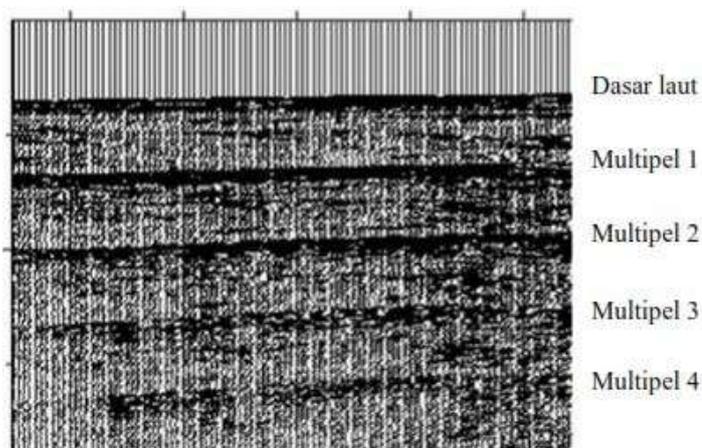
Gambar 3.7 (a) *Long period multiple*, (b) *Short period multiple* (Verschuur, 2006).

3.6 Refleksi *Primary* dan *Noise Multiple*

Data seismik diperoleh dengan menggunakan sumber energi yang menghasilkan gelombang elastik dan direfleksikan kembali oleh lapisan bawah permukaan ke *receiver* yang ada di permukaan. Refleksi gelombang utama yang memberikan informasi penting seperti kecepatan dan identifikasi struktur bawah permukaan disebut sebagai refleksi *primary*. Selain refleksi gelombang utama (*primary*) di dalam rekaman seismik juga terdapat *noise* yang merupakan sebuah gelombang dalam rekaman seismik yang tidak diinginkan. Salah satu jenis *noise* yang sering muncul khususnya pada data laut, yaitu *noise multiple*.

Multiple memiliki beberapa karakteristik, diantaranya yaitu (Cao, 2006):

1. *Multiple* merupakan refleksi primer yang diulang dengan interval teratur dan memiliki *traveltime* yang lebih lambat daripada refleksi primer.
2. *Multiple* mampu meningkatkan kemiringan lapisan khususnya pada *multiple* orde tinggi. Namun kemiringan lapisan yang digambarkan oleh *multiple* tidak sesuai dengan kemiringan lapisan yang sebenarnya.
3. *Multiple* yang muncul pada orde tinggi akan memperbesar efek amplitudo.



Gambar 3.8 Fenomena *multiple* dalam rekaman seismik (Abdullah, 2008).

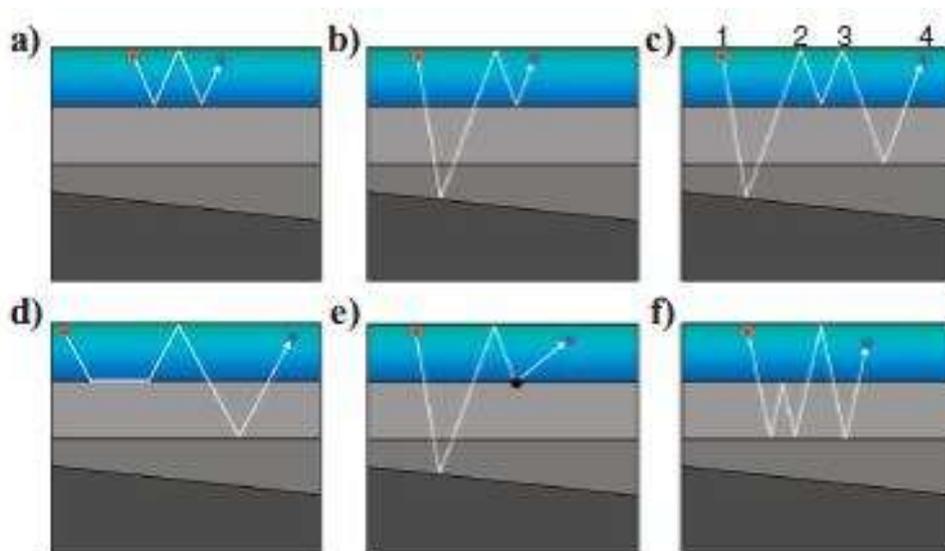
Dalam prakteknya karakteristik di atas dapat dikombinasikan, jika banyak *multiple* yang mengganggu satu sama lain. Semua jenis *multiple* tidak dapat dikenali lagi, tetapi *multiple* tersebut menciptakan pola interferensi yang lebih kompleks.

Multiple terjadi akibat adanya kontras penurunan kecepatan, atau dengan kata lain terjadinya koefisien refleksi negatif. Sebagai contoh pada data seismik laut, refleksi *multiple* banyak terjadi disebabkan oleh adanya kontras impedansi yang tinggi antara permukaan lapisan air dan udara, dimana koefisien refleksi air-udara mendekati -1. Jika di bagian bawah air padat, maka lapisan air akan menjebak energi antara permukaan air dan bagian bawahnya.

Multiple merupakan salah satu *noise* yang terjadi akibat terperangkapnya gelombang seismik dalam air laut dan lapisan batuan lunak. Pada *multiple* terjadi pengulangan refleksi dimana gelombang seismik akan terpantul pada perlapisan yang sama baru kemudian terpantulkan ke permukaan dan diterima oleh *receiver*. Hal ini akan membuat gambaran permukaan dari data seismik menjadi tidak jelas. *Multiple* merupakan masalah serius dalam *survey* seismik karena keberadaannya dapat mengganggu refleksi *primary* sehingga interpretasi dari penampang seismik menjadi sulit dan mengakibatkan kesalahan dalam proses interpretasi.

Untuk dapat menghilangkan *multiple* perlu adanya pengetahuan mengenai karakteristik dari *multiple* itu sendiri. Di dalam rekaman seismik, terdapat beberapa jenis *multiple* diantaranya *water-bottom multiple*, *peg-leg multiple*, dan *intra-bed multiple*. Di dalam rekaman seismik, masing-masing *multiple* akan menunjukkan morfologi reflektor yang sama dengan reflektor utamanya (*primary*) namun memiliki waktu yang berbeda.

Untuk model *water-bottom multiple*, apabila waktu tempuh yang dimiliki adalah sebesar 500ms, maka *multiple* yang akan muncul pada data seismik adalah $500 \times 2 = 1000\text{ms}$, berada pada waktu 1000ms atau waktu tempuh yang dimilikinya dua kali waktu tempuh *water bottom*. Apabila gelombang tersebut terperangkap sebanyak tiga kali, maka *water-bottom multiple* berikutnya berada pada 1500ms, begitu seterusnya pengulangan pada *multiple*, sesuai dengan jumlah terperangkapnya gelombang seismik pada batas air udara atau pada lapisan yang memiliki densitas batuan dari yang lebih rapat ke yang kurang rapat, sehingga terjadi penurunan kecepatan gelombang seismik. Untuk *peg-leg multiple*, *multiple* akan muncul pada waktu tempuh gelombang refleksi primer ditambah waktu tempuh *sea bottom*. Untuk model yang lainnya, *multiple* akan muncul pada waktu tempuh gelombang primer ditambah pengulangannya. Berikut adalah contoh fenomena *multiple* pada rekaman seismik yang diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 3.9 Jenis *surface multiple* berdasarkan *raypaths*. (a) *Water-bottom multiple* (b) *Water-bottom peg leg* (c) *Second-order multiple* (d) *Refracted multiple* (e) *Diffracted multiple* (f) *Hybrid multiple* (Dragoset dkk., 2010).

3.7 Penyebab Terjadinya *Multiple*

Multiple merupakan salah satu *noise* yang memiliki karakter yang hampir sama dengan gelombang primer. *Multiple* terjadi akibat adanya kontras penurunan kecepatan, atau dengan kata lain terjadinya koefisien refleksi *negative*. Sebagai contoh pada data seismik laut, refleksi gelombang *multiple* banyak terjadi karena adanya kontras impedansi yang tinggi antara permukaan lapisan air dan udara, dimana koefisien refleksi air-udara mendekati -1 sesuai dengan persamaan (3.1). Jika di bagian bawah air padat, maka lapisan air akan menjebak energi antara permukaan air dan energi bawahnya, sehingga refleksi *multiple* bisa lebih kuat daripada refleksi *primary*.

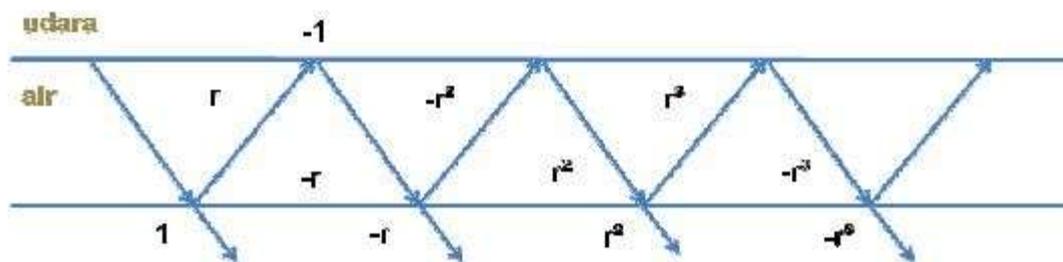
$$KR = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (3.1)$$

Dimana :

KR = Koefisien Refleksi

IA1 = Impedansi Akustik Lapangan atas

IA2 = Impedansi Akustik Lapangan bawah



Gambar 3.10 Konsep Refleksi *Multiple*

- -1 KR untuk batas air-udara
- r KR untuk batas bawah permukaan

3.8 Analisis Kecepatan

Kecepatan adalah variabel yang penting dalam pengolahan data seismik konvensional, karena kecepatan diperlukan untuk menghitung kedalaman reflektor di bawah permukaan dari data seismik yang direkan dalam domain waktu. Analisis kecepatan adalah proses pemilihan kecepatan yang sesuai dan nantinya digunakan untuk pemrosesan yang lebih lanjut. Prinsip dari analisis kecepatan adalah mencari persamaan hiperbola yang sesuai dengan sinyal yang dihasilkan dan memberikan hasil *stack* yang terbaik.

Pada CMP *gather* yang berasal dari titik reflektor, dimana *trace* seismik yang dihasilkan merupakan fungsi jarak sumber dengan penerima, sinyal yang diperoleh akan membentuk hiperbola.

- Kecepatan *Root Means Square* (V_{rms})

Merupakan kecepatan total dari sistem perlapisan horizontal dalam bentuk akar kuadrat, persamaannya dapat dituliskan:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n Vi^2 \Delta ti}{\sum_{i=0}^n \Delta ti}} \quad (3.2)$$

- Kecepatan *Stacking* (V_s)

Kecepatan *stacking* adalah kecepatan NMO rata-rata yang memberikan *stacking* yang optimum. Dalam pengolahan data seismik, kecepatan *stacking* dapat diperoleh dari hasil analisis kecepatan dengan melihat amplitudo *stacking* yang paling optimum. Kecepatan ini seringkali disebut juga sebagai kecepatan NMO. Untuk jarak *offset* (x) yang kecil, kecepatan *stacking* sama dengan kecepatan *rms*. Kecepatan ini diperoleh dari persamaan:

$$T^2(x) = T^2(0) + \frac{x^2}{V_s^2} \quad (3.3)$$

Dimana, $T(x)$ = waktu tempuh gelombang dari *source* ke *receiver*

$T(0)$ = waktu tempuh pada normal *incidence*

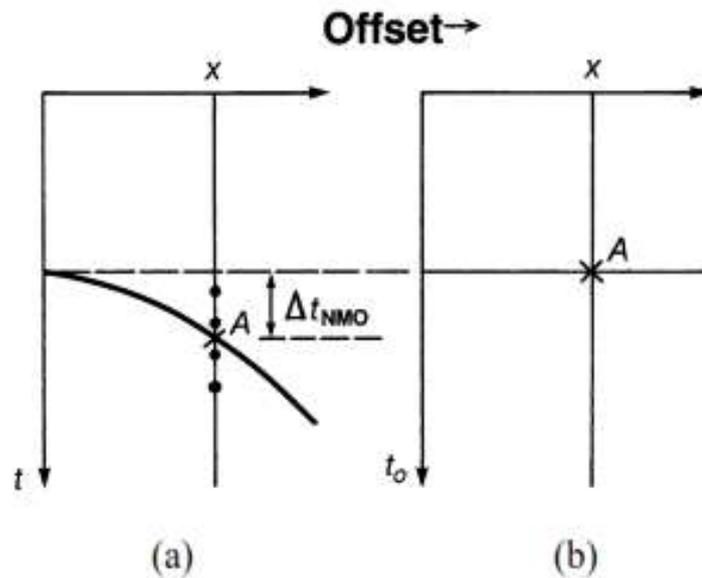
x = jarak *offset*

V_s = kecepatan *stacking*

3.9 Koreksi *Normal Move Out*

Koreksi *Normal Move Out* dilakukan untuk menghilangkan efek jarak *offset* yang berbeda-beda dari setiap *receiver*. Karena semakin jauh jarak *offset* suatu *receiver* maka semakin besar waktu yang diperlukan gelombang untuk merambat dari *shot point* untuk sampai ke *receiver*, sehingga efek yang ditimbulkan dari peristiwa ini adalah reflektor yang terekam seolah-olah berbentuk hiperbolic. Koreksi *normal move out* menghilangkan pengaruh *offset* seolah-olah gelombang pantul datang dari arah vertikal. Dengan kata lain, antara sumber (*shot point*) pantul datang dari arah vertikal.

Koreksi *Normal Move Out* merupakan koreksi waktu tempuh terhadap pengaruh dari perbedaan jarak *offset* tiap *trace* dalam data *gather* untuk mendapatkan *trace* yang seolah-olah direkam pada posisi *zero-offset*. Setelah kecepatan NMO didapatkan, kemudian dilakukan koreksi waktu tempuh untuk menghilangkan efek dari *offset* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.11 Koreksi NMO, memetakan waktu tempuh ke *zero offset* (a) sebelum dan (b) sesudah NMO (Yilmaz, 2001).

Pada kasus medium *homogeny isotropi* dengan reflektor satu lapis yang horizontal, persamaan waktu tempuh ditunjukkan pada persamaan:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2} \quad (3.4)$$

Dimana x adalah jarak *offset*, t adalah waktu tempuh pada *offset* x , t_0 adalah waktu tempuh ketika *zero-offset*, dan v merupakan kecepatan rata-rata penjalaran gelombang seismik dari *source* ke *receiver*.

Koreksi NMO dihitung dari selisih antara waktu tempuh t dan t_0 seperti pada persamaan di bawah ini:

$$\Delta t_{NMO} = t - t_0 \quad (3.5)$$

Atau jika persamaan 3.5 di substitusikan kedalam persamaan 3.4 didapatkan persamaan (3.6) seperti di bawah ini:

$$\Delta t_{NMO} = t_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} t_0} \right)^2} - 1 \right] \quad (3.6)$$

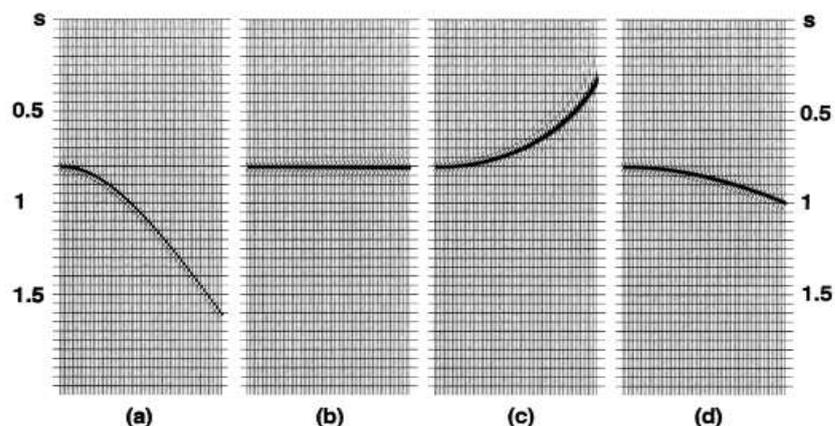
Apabila terdapat lapisan miring, maka persamaan waktu tempuh adalah:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2 \cos^2 \phi}{v^2} \quad (3.7)$$

Dimana ϕ adalah sudut kemiringan reflektor, dan nilai V_{NMO} nya adalah:

$$V_{NMO} = \frac{v}{\cos \phi} \quad (3.8)$$

Koreksi *normal move out* menghilangkan pengaruh *offset* seolah-olah gelombang pantul datang dari arah *vertical*. Dengan kata lain antara sumber (*shot point*) dengan *receiver* berada pada titik yang sama atau biasa disebut dengan *zero offset*. Untuk melakukan koreksi NMO butuh parameter kecepatan yang didapat dari proses analisa kecepatan. Namun sebenarnya kedua proses ini saling berkaitan, koreksi NMO yang tepat memungkinkan didapatkannya nilai kecepatan yang benar dan sebaliknya. Nilai kecepatan yang benar yang mampu memberikan koreksi NMO yang tepat. Jika menggunakan nilai kecepatan NMO yang lebih kecil dari semestinya, maka lengkung hiperbola akan berbalik melengkung ke atas atau disebut *overcorrection*. Lengkung hiperbola tidak akan menjadi datar jika kecepatan NMO yang digunakan terlalu besar, hal ini disebut *undercorrection*.



Gambar 3.12 (a) hiperbola refleksi (b) NMO yang tepat (c) *Overcorrection* (d) *Undercorrection* (Yilmaz, 2001)

3.10 *Spherical Divergence Correction*

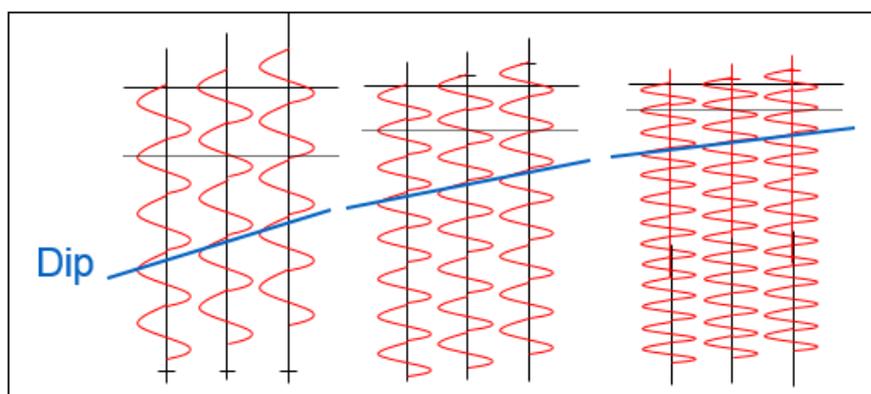
Spherical Divergence Correction merupakan pengkoreksian terhadap *amplitude* yang melemah yang disebabkan oleh pengaruh penyebaran energi ke segala arah. *Amplitude* data seismik merupakan besaran yang menggambarkan gelombang yang menjalar berupa puncak dan lembah sebagai tampilan dari suatu *even* seismik yang berhubungan dengan intensitas energi yang diterima oleh *receiver*. Intensitas energi dari gelombang tersebut akan semakin berkurang selama penjarannya dari *source* ke *receiver*. Pada proses ini setiap permukaan pemantulan seolah-olah mendapat energi yang sama, penurunan *amplitude* yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh adanya pengaruh peredaman karena melewati batuan yang kurang elastis atau akibat pengaruh refleksi dan refraksi.

3.11 *F-K Filter*

F-K filter merupakan salah satu *filter* dalam pengolahan data seismik yang dilakukan dengan cara mengubah data seismik dari domain waktu (t) dan jarak (x) menjadi domain (f) dan bilangan gelombang (k) dengan menggunakan transformasi *fourier*. Karena *even-even* dalam data seismik mempunyai banyak kemiringan dan frekuensi (dalam hal ini yang dimaksud sebagai kemiringan adalah kemiringan *even*, dalam milidetik per *trace*, bukan kemiringan dari struktur geologi), maka tiap kemiringan berbeda dalam domain $t - x$ akan berubah menjadi garis dengan kemiringan yang berbeda dalam domain $f - k$. *Even* horizontal dalam domain $t - x$ mempunyai nilai bilangan gelombang sama dengan nol, sehingga dalam domain $f - k$ akan di plot sepanjang sumbu frekuensi. Semakin besar nilai kemiringan suatu *even* dalam domain $t - x$ semakin dekat pula plotnya dengan sumbu bilangan gelombang. Sinyal dengan

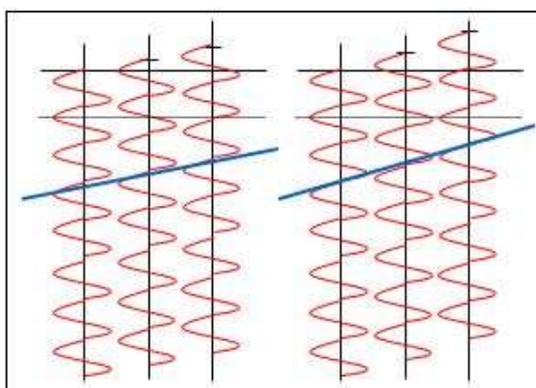
kemiringan positif akan mempunyai bilangan gelombang yang positif dan sinyal dengan kemiringan negatif akan mempunyai bilangan gelombang yang *negative*. Berbagai *even* dengan perbedaan kemiringan selalu menunjukkan perbedaan kemiringan ketika dipetakan dalam domain $f - k$ (Dewar, 2003).

Semakin meningkat nilai f nya dengan k yang konstan, maka *dipnya* akan semakin mengecil. Dan jika dibalik apabila f nya menurun dengan k yang konstan, maka *dipnya* akan membesar.



Gambar 3.13 Nilai f naik dengan k yang konstan (CGG, 2005)

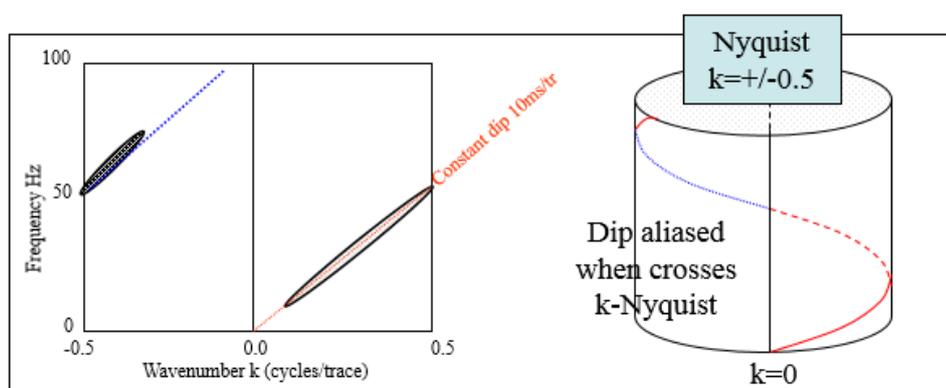
Semakin meningkat nilai k nya dengan f yang konstan, maka *dipnya* akan semakin membesar. Dan jika dibalik apabila k nya menurun f dengan yang konstan, maka *dipnya* akan mengecil.



Gambar 3.14 Nilai k naik dengan f yang konstan (CGG, 2005)

Spektrum $f - k$ dapat dilihat sebagai sebuah silinder, yang mana dibagi pada $k = \text{Nyquist}$ untuk tampilan datar. *Dips* akan spiral di sekitar silinder tapi menjadi alias ketika mereka menyeberangi $k = \text{Nyquist}$. $\text{Nyquist } k = \pm 0,5$.

Kerugian $f - k$ filter, yaitu apabila filter terlalu kuat, maka *output* akan kelihatan *smearing*. Terutama apabila frekuensi primer mendekati frekuensi *multiple*, maka akan sulit menjaga frekuensi primer dalam menghilangkan *multiple* (Humpson, 1990).

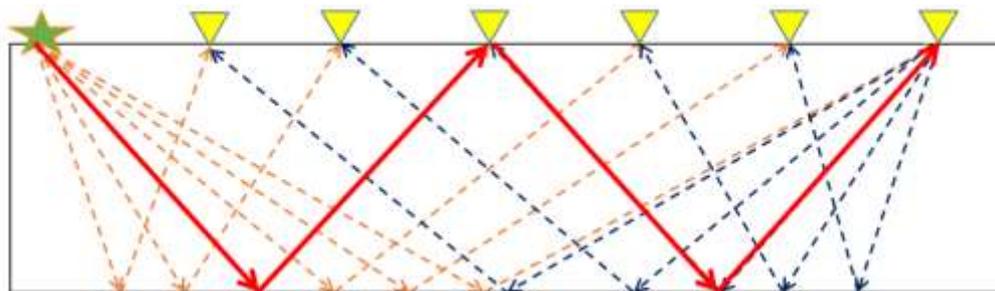


Gambar 3.15 Aliasing pada $f - k$ domain (CGG, 2005)

3.12 Metode *Surface-Related Multiple Elimination (SRME)*

Pada akuisis seismik laut, gelombang seismik yang direkam oleh *receiver* masih dipengaruhi oleh gelombang *surface multiple*. Keberadaan gelombang *surface multiple* dapat di observasi sebagai dua gelombang refleksi primer yang terhubung oleh satu titik pemantulan pada permukaan air. Gelombang *surface multiple* dapat termodelkan dengan baik bila seluruh titik-titik yang berpotensi menjadi titik pantul pada permukaan air dapat diprediksi. Secara matematis, dengan melakukan konvolusi antara data *common source gather* dengan *common receiver gather* dan dengan menjumlahkan semua hasil konvolusi tersebut, perambatan gelombang *surface multiple* dapat diprediksi (Dragoset et al, 2010).

Ilustrasi dari proses ini digambarkan pada **Gambar 3.16**, dimana untuk mendapatkan model dengan garis merah yang solid, dilakukan konvolusi antara seluruh rekaman dari *source* yang sama (digambarkan dengan garis putus – putus jingga), dengan seluruh rekaman pada *receiver* yang sama yang (digambarkan oleh garis putus-putus biru)



Gambar 3.16 Prediksi gelombang surface multiple (garis merah)

Metode SRME merupakan metode yang tidak memerlukan informasi bawah permukaan tetapi berkaitan dengan informasi di permukaan untuk memprediksi keberadaan *multiple* yang nantinya dibuat model dari hasil prediksi tersebut. Algoritma perhitungan model *multiple* pada metode SRME dimulai dengan pemodelan *forward modeling* pada data seismik. Untuk menjelaskan bagaimana prosesnya bekerja, dapat diasumsikan pada gelombang bidang horizontal pada layer bumi, dimana respon dari gelombang refleksi primer $P(\omega)$ dapat ditulis,

$$(3.9)$$

$$P(\omega) = R(\omega) \cdot S(\omega)$$

Menurut Watson (1965), hubungan antara *surface multiple* dengan refleksi primer adalah

$$M_{s1}(t) = -R_0 P(t) * r(t) \quad (3.10)$$

Dimana $M_{s1}(t)$ merupakan *surface multiple* orde pertama, $-R_0$

adalah koefisien refleksi permukaan, $P(t)$ adalah gelombang refleksi primer, dan $r(t)$ merupakan reflektivitas bumi.

Dengan menghubungkan persamaan 3.9 dan 3.10, dapat didefinisikan gelombang *multiple* orde pertama adalah (3.11)

$$M_1(\omega) = R(\omega)r_0P(\omega) = r_0R^2(\omega)S(\omega)$$

Sehingga seluruh iterasi dari setiap orde *surface multiple* dapat dituliskan dalam persamaan 3.12 dan seluruh *surface multiple* didapatkan dengan menjumlahkan hasil seluruh orde seperti ditunjukkan dalam persamaan 3.13

$$M_i(\omega) = R(\omega)r_0M_{i-1}(\omega) = r_0^iR^{i+1}(\omega)S(\omega) \quad (3.12)$$

$$M(\omega) = \sum_i M_i(\omega) = [r_0R^2(\omega) + r_0^2R^3(\omega) + \dots] S(\omega) \quad (3.13)$$

Total seluruh data $D(\omega)$ merupakan penjumlahan dari gelombang refleksi primer dan seluruh gelombang *surface multiple* adalah

$$D(\omega) = P(\omega) + M(\omega) \quad (3.14)$$

$$D(\omega) = [R(\omega) + r_0R^2(\omega) + r_0^2R^3(\omega) + \dots] S(\omega) \quad (3.15)$$

$$D(\omega) = P(\omega) + r_0R(\omega)D(\omega) \quad (3.16)$$

$$D(\omega) = P(\omega) + r_0S^{-1}(\omega)P(\omega)D(\omega) \quad (3.17)$$

Persamaan di atas menggambarkan hubungan antara data total dengan data *primary*. Data *primary* dapat ditulis menjadi,

$$P(\omega) = \frac{D(\omega)}{1 + r_0S^{-1}(\omega)D(\omega)} \quad (3.18)$$

Pendekatan inversi langsung 2D berdasarkan Dragoset dan MacKay (1993) dapat menyatakan persamaan 3.18 menjadi:

$$P(\omega) = D(\omega) - A(\omega)D^2(\omega) + A^2(\omega)D^3(\omega) - \dots \quad (3.19)$$

dengan $A(\omega) = r_0S^{-1}(\omega)$, tanda positif dan negatif yang menggambarkan *multiple* pada persamaan di atas disesuaikan dengan orde *multiple* seperti yang sudah dijelaskan pada Gambar 3.15. Estimasi untuk mendapatkan gelombang

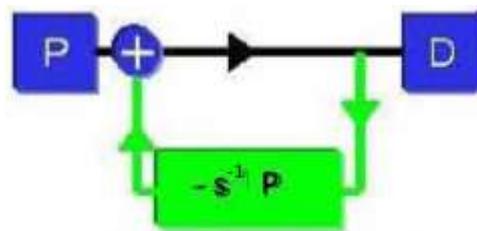
primer pada proses iterasi selanjutnya dapat dituliskan:

$$P^{(i+1)}(\omega) = D(\omega) - A(\omega)P^i(\omega)D(\omega) \quad (3.20)$$

i mengindikasikan banyaknya iterasi yang digunakan dengan $P^{(1)}(\omega) = D(\omega)$ (Berkhout dan Verschuur, 1997). Untuk pembuatan model *multiple* SRME, secara sederhana prosesnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\mathbf{D} = \mathbf{P} + \mathbf{M}$$

Dengan D adalah seismik total, P adalah data primer dan M adalah *multiple*.



P – Primaries ; D – Data ; S - Source

Gambar 3.17 Proses Komputasi Pembuatan Model *Multiple* (CGG, 2004)

3.13 *Least-Square Adaptive Subtract*

Teori mengenai *least-square adaptive subtract* merupakan metode inversi yang dilakukan dalam proses subtraksi atau pengurangan antara data masukan dengan *model multiple* pada metode *SRME*. Matriks pada persamaan 3.21 menunjukkan bahwa data (d), *model multiple* (m), dan f adalah 1-D filter yang digunakan untuk mencocokkan matriks m dan d , dengan n adalah jumlah data yang didefinisikan oleh *window*.

$$d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Selanjutnya didefenisikan bahwa AC merupakan autokorelasi dari d dan XC merupakan kroskorelasi antara d dan m , pada persamaan:

$$AC(t) = f(t) * XC(t) \quad (3.22)$$

Dimana * adalah konvolusi pada domain waktu. Pada kasus ini, data pada domain waktu dilakukan transformasi *fourier* ke dalam domain frekuensi. Jika pada domain frekuensi, persamaan nya menjadi persamaan:

$$AC(f) = f(f) * XC(f) \quad (3.23)$$

Dari persaman diatas jelas bahwa jika m adalah besaran *exact* dari d, dan AC sama dengan XC, maka *f* merupakan satu kesatuan, sehingga menjadi persamaan:

$$f = AC x XC^{-1} \quad (3.24)$$

XC^{-1} merupakan invers matriks dari XC. Solusi *least square* mencoba untuk memperkecil perbedaan antara AC dan XC (atau perbedaan antara data *d* dan model *m*) pada persamaan *least square*. Solusi tersebut memang tidak memenuhi persamaan awal, tetapi total perhitungan yang residual dari setiap persamaan dapat diperkecil. Selanjutnya untuk *error* matrik yang menggambarkan perbedaan $f x XC$ dan AC dituliskan pada persamaan:

$$e = AC - (f - XC) \quad (3.25)$$

Perhitungan *error* didefinisikan sebagai S, sehingga menjadi persamaan:

$$S = e^T e = (AC - (f x XC))^T (AC - (f x XC)) \quad (3.26)$$

Dengan *superscript* T menunjukkan matriks *transpose*. Kondisi untuk S menjadi minimum jika,

$$\frac{\partial s}{\partial f} = 0 \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial}{\partial f} (f^T XC^T XCf - AC^T XCf - f^T XC^T XCf + AC^T XCf) = 0 \quad (3.28)$$

Solusi persamaan dapat ditemukan dengan mengikuti persamaan normal,

$$XC^T XCf = XC^T AC \quad (3.29)$$

Disini f dapat disederhanakan menjadi persamaan:

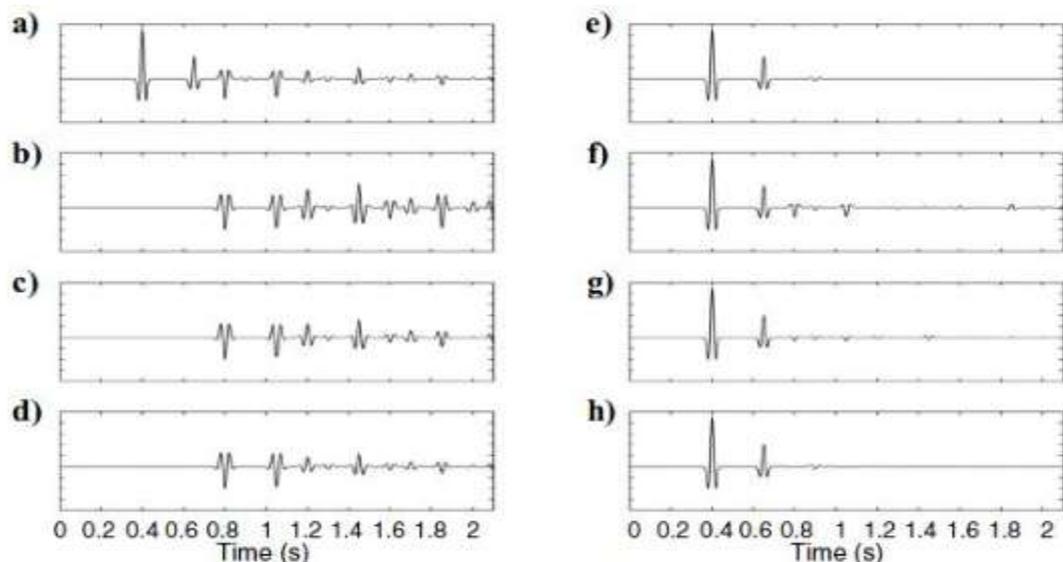
$$f = (XC^T XC)^{-1} XC^T AC \quad (3.30)$$

Sehingga *filter* yang digunakan untuk memperkecil perbedaan antara XC dan AC pada persamaan *least square (adaption filter)* dapat diperoleh. Subtraksi *multiple* dilakukan setelah menggunakan *filter* ini pada model *multiple* yang dibuat dari data masukan. *Filter* ini hanya dapat di aplikasikan pada *single window*. Proses inversi dari *source wavelet* diestimasi secara statistik dengan menggunakan *adaptive subtraction*, berdasarkan energi minimum, ditunjukkan dalam persamaan 3.31

$$P^{(0)} = D \quad (3.31)$$

$$\begin{cases} M^{(n)} = -D \otimes P^{(n-1)} \\ P^{(n)} = D - f^{(n)} * M^{(n)} \end{cases}$$

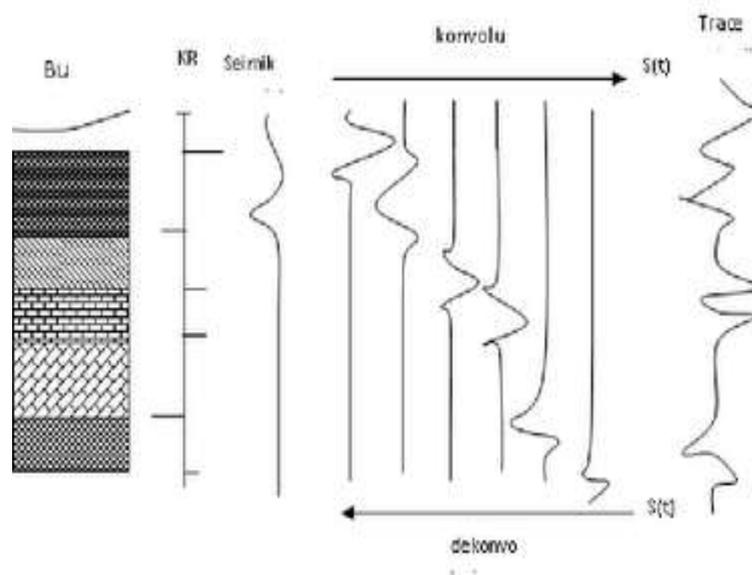
Dimana $f^{(n)}$ merupakan *adaptation filter* pada persamaan, sehingga didapatkan data *primary* yang terdiri dari gelombang primer saja.



Gambar 3.18 Prediksi secara iterative dan subtraksi *multiple*. (a) Respon gelombang masukan pada medium dengan dua bidang, (b-d) Estimasi *surface multiple* setelah iterasi 1, 2, dan 5, (e) Respon sebenarnya tanpa *multiple*, (f-h) Estimasi sinyal primer setelah iterasi 1, 2, dan 5 (Dragoset dkk., 2010)

3.14 Dekonvolusi

Dekonvolusi merupakan proses untuk meningkatkan resolusi temporal dari data seismik dengan kompresi *wavelet* sumber. Dapat diasumsikan bahwa sinyal yang terekam sudah terkonvolusi dengan filter bumi. Untuk mendapatkan sinyal yang belum terkonvolusi dengan filter bumi, maka dapat melakukan konvolusi kembali dengan menggunakan fungsi invers dari filter bumi, ini yang disebut dengan dekonvolusi. Berikut ini penggambaran proses dekonvolusi:



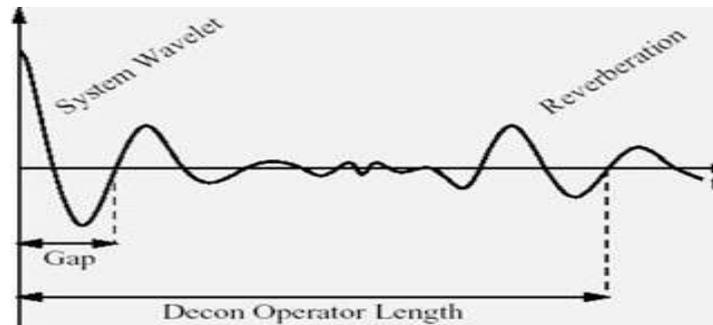
Gambar 3.19 Proses Dekonvolusi (Telford, 1990)

- *Gap Deconvolution (Predictive Deconvolution)*

Gap deconvolution didesain dengan menggunakan fungsi autokorelasi dari jejak seismik masukan yang diasumsikan sebagai *signature wavelet*. Operator dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu bagian yang tidak aktif (*gap*) dan bagian yang aktif. Panjang *gap* diambil dari *first zero crossing* atau *zero crossing* dari fungsi autokorelasi.

Dikatakan sebagai *predictive deconvolution*, karena efeknya menekan gangguan-gangguan yang diramalkan setelah terjadi peristiwa refleksi yang

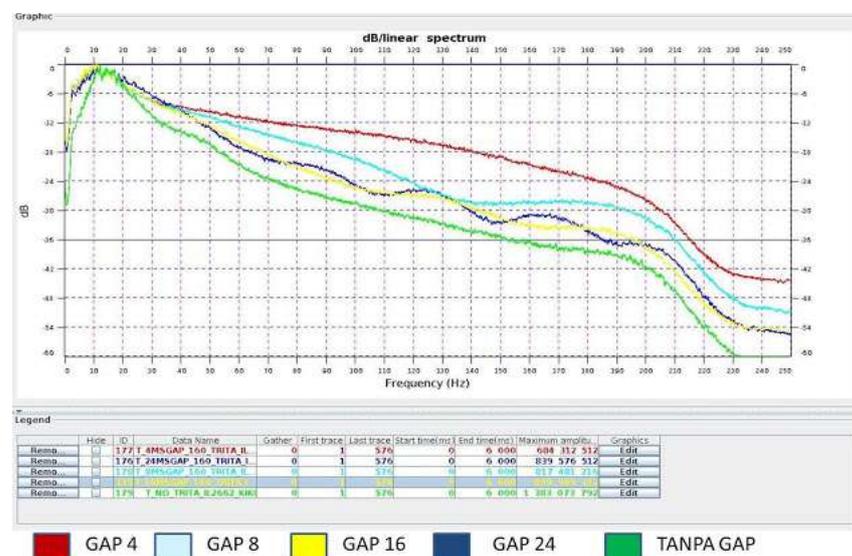
belum dapat dipastikan seperti *multiple* yang terjadi dengan periode pendek maupun periode panjang.



Gambar 3.20 Komponen utama yang digunakan dalam dekonvolusi (Seismixplorer, 2013)

Dekonvolusi prediktif memrediksi elemen pengulangan dalam *trace* seismik akibat *multiples*, *ringing*, dan sebagainya, dan kemudian menghasilkan suatu operator dengan panjang tertentu yang akan membuang elemen pengulangan tersebut, sehingga yang tinggal hanyalah elemen acak dari reflektivitas Bumi.

Dekonvolusi prediktif kemudian dilakukan dengan menggunakan parameter *gap* dan *operator length* yang berbeda, sehingga dihasilkan spektrum frekuensi seperti diperlihatkan di bawah ini:



Gambar 3.21 Pemilihan GAP (Seismixplorer, 2013)

Jika *cross-correlation* berarti perkalian antara f dan g , maka *autocorrelation* adalah perkalian f dan f , atau dikalikan dengan dirinya sendiri. Hal ini ditujukan untuk mengetahui similaritas dari suatu fungsi atau pola berulang pada sinyal, sehingga *autocorrelation* akan semakin baik, jika angka similaritas semakin besar (mendekati 100%). *Autocorrelation* semakin baik, jika lebar *autocorrelation* pada angka 100% semakin sempit, dan reverberasi semakin mengecil.

3.15 Radon Transform

Teknik lain yang digunakan untuk menekan *multiple* pada pengolahan data seismik yang dikerjakan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan *radon transform*. Prinsip dari *radon transform* adalah mengubah data dari domain waktu $t(x)$ ke $\tau - p$, sehingga dengan *mute* yang tepat bisa memisahkan gelombang utama (*primary*) dan *multiple* (Rahardian, 2011).

Radon transform dilakukan untuk menekan keberadaan *longpath multiple* yang diakibatkan oleh dasar laut. Data seismik yang merupakan data dengan domain waktu (t) dan jarak (x) ditransformasikan secara linier ke dalam domain waktu pada jarak nol/ *time intercept* (τ) dan *slowness* (p). Dalam domain inilah data seismik *dimuting* untuk menghilangkan *multiple*.

Data seismik masukan dalam *radon transform* berupa data seismik CMP *gather* yang sudah dilakukan koreksi NMO, sehingga *multiple* dalam domain $t - x$ yang terlihat memiliki *gradient* negatif akan memiliki kenampakan yang berubah dalam domain $\tau - p$, yaitu *gradient* akan menjadi positif. Hal ini dikarenakan nilai kecepatan yang beragam dan mengecil dari *multiple*. Sedangkan reflektor dalam domain $t - x$ yang terlihat data akan memiliki kenampakan

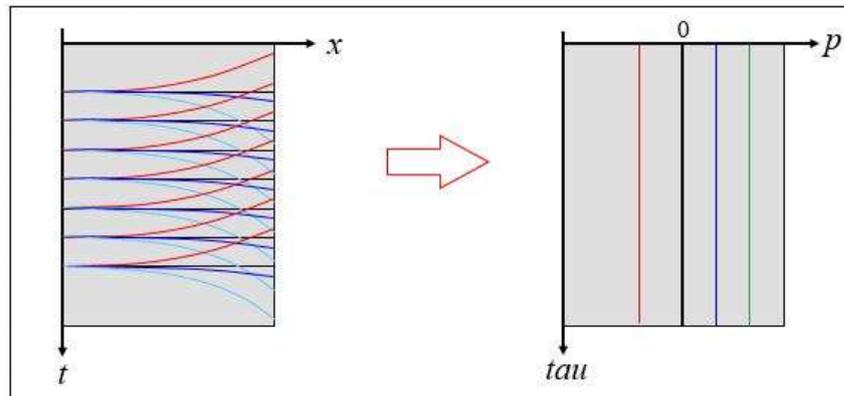
berupa titik yang berada pada nilai p sekitar nol karena nilai kecepatan pada *reflektor* akan mendekati tak hingga. Selanjutnya dilakukan *muting* pada domain $\tau - p$ untuk menghilangkan *multiple*. *Muting* pada domain $\tau - p$ dilakukan dalam beberapa variasi untuk dibandingkan dan dianalisis agar menghasilkan CMP *gather* yang terbaik bebas dari *multiple* dan tidak menghilangkan efek AVO (Kumar, 2004).

Multiple akan mengalami atenuasi setelah berubah dari domain $t - x$ ke domain $\tau - p$. Pada domain $\tau - p$ dilakukan koreksi NMO, *even primary* akan menjadi *flat*, tetapi *multiple* memiliki residual *moveout* yang naik berdasarkan *offset*. Dan karena memiliki perbedaan *moveout*, *primary* dan *multiple* akan tampak pada daerah yang berbeda pada domain $\tau - p$. Kemudian dilakukan *mute* terhadap daerah $\rho > 0$ yang dianggap sebagai *multiple*, sehingga energi *primary* dipisahkan dari energi *multiple* yang memiliki kecepatan lebih rendah dibandingkan kecepatan *primary* pada *semblance*.

Radon transform merupakan teknik secara matematika yang telah luas digunakan dalam pengolahan data seismik. Terdapat tiga jenis *radon transform* yang biasa digunakan untuk menekan *multiple*, yaitu *slant-stack* atau $\tau - p$, *transform hiperbolic*, dan *radon transform parabolic* (Cao Zhihong, 2006). *Radon transform hiperbolic* dan *parabolic* yang diterapkan untuk mengatenuasi *multiple* berdasarkan perbedaan *moveout* antara gelombang utama (*primary*) dan *multiple*.

Prinsip kerja *radon transform* dengan merubah data dari domain $t - x$ (*time-offset*) menjadi domain $\tau - p$ (*intercept time-ray parameter*), seperti pada gambar di bawah ini. *Radon transform* dikenakan pada CMP *gather* yang sudah terkoreksi NMO atau pada *common shot gather*. Dengan *ray parameter* $\rho = 1/v$,

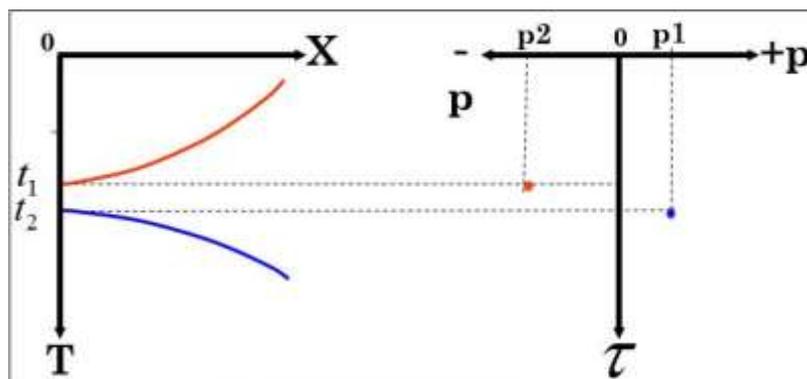
maka *even primary* akan dipetakan sekitar $\rho = 0$ dan *even multiple* pada daerah $\rho > 0$ (Mustoin, 2000).



Gambar 3.22 Pemetaan Even dari domain $t - x$ ke domain $\tau - p$ (Cao, 2006)

3.15.1 Radon Transform Parabolic

Rahadian (2011) menunjukkan bahwa refleksi *multiple* pada CMP *gather* yang sudah terkoreksi NMO bias diperkirakan dengan melihat sebagai *parabolic*. Radon transform *parabolic* bisa dikenakan pada CMP *gather* yang sudah terkoreksi NMO dengan menjumlahkan data sepanjang jalur *stacking* yang didefinisikan dengan persamaan $t = \tau + qx^2$ dengan $q = p$.



Gambar 3.23 Parabolic Radon Transform (Cao, 2006)

Sebuah kurva *parabolic* yang tepat pada CMP domain bisa dipetakan secara teori pada satu titik yang terfokus pada *radon transform parabolic*. $t = \tau + qx^2$ dapat dianggap sebagai satu *even* dengan *two-way travel-time* pada *zero-offset* t_0 dan

kecepatan RMS V_{rms} . Jika *even* ini dikoreksi dengan satu kecepatan V_c , maka *even* tersebut akan tampak pada *time* $T(x)$ dimana :

$$T(x) = t_0 + \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_{rms}^2}} - \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_c^2}} \quad (3.32)$$

$$T(x) = t_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{x^2}{V_{rms}^2 t_0^2}} - \sqrt{1 + \frac{x^2}{V_c^2 t_0^2}} \right) \quad (3.33)$$

Persamaan yang diturunkan dalam deret Taylor didapatkan :

$$T(x) = t_0 \left(1 + \left(1 + \frac{1}{2} \frac{x^2}{2V_{rms}^2 t_0^2} + L \right) - \left(1 + \frac{1}{2} \frac{x^2}{2V_c^2 t_0^2} + L \right) \right) \quad (3.34)$$

$$T(x) = t_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{x^2}{t_0^2} \left(\frac{1}{V_{rms}^2} - \frac{1}{V_c^2} \right) + L \right) \quad (3.35)$$

Kecepatan residu V_r bisa ditemukan dengan :

$$\frac{1}{V_r^2} = \frac{1}{V_{rms}^2} - \frac{1}{V_c^2} \quad (3.36)$$

Persamaan bisa dituliskan juga sebagai :

$$T(x) = t_0 + \frac{x^2}{2t_0^2 V_r^2} + \Lambda \quad (3.37)$$

Tricahyono (2000) mempunyai definisi berbeda tentang *Radon Transform parabolic*, yaitu di definisikan pada t^2 -*stretched* CMP atau *shot gather* karena hiperbola pada domain CMP menjadi betul-betul parabola setelah peregangan t^2 pada sumbu time. Anggapan *even* pada CMP *gather* dengan *travel - time* hiperbola didefinisikan oleh:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2} \quad (3.38)$$

Kemudian dilakukan peregangan (*stretching*) pada arah waktu (*time*) dengan menentukan $t' = t^2$ dan $t_0' = t_0^2$. Sehingga persamaannya menjadi seperti:

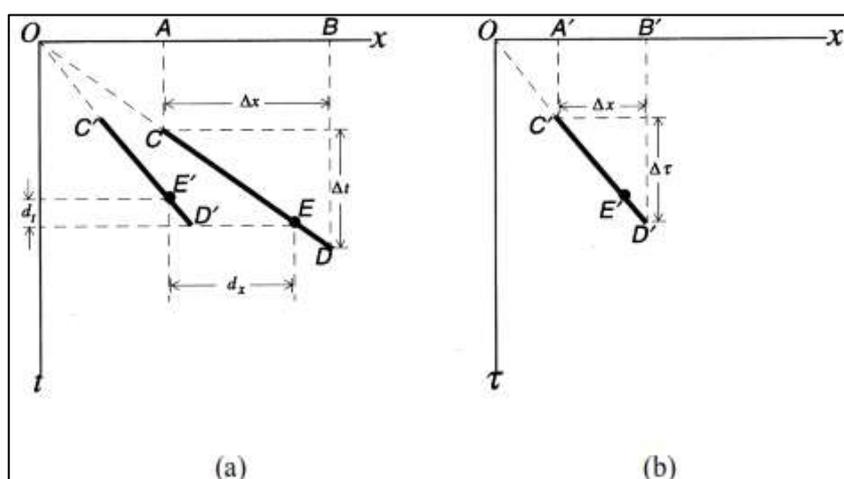
$$t' = t_0' + \frac{x^2}{v^2} \quad (3.39)$$

Yang didefinisikan sebagai parabola, sehingga *radon transform parabolic* bisa didefinisikan pada t^2 -stretched CMP atau *shot gather*.

3.16 Migrasi Metode Kirchoff

Migrasi merupakan metode yang digunakan untuk memindahkan reflektor miring kembali ke posisi sebenarnya dan menghilangkan pengaruh difraksi sehingga dapat menggambarkan detail bawah permukaan (Yilmaz, 2001)

Prinsip dasar migrasi digambarkan pada **Gambar 3.22** yaitu terdapat reflektor CD pada penampang *zero-offset* dan termigrasi titik C'D' dan titik E menuju titik E'.

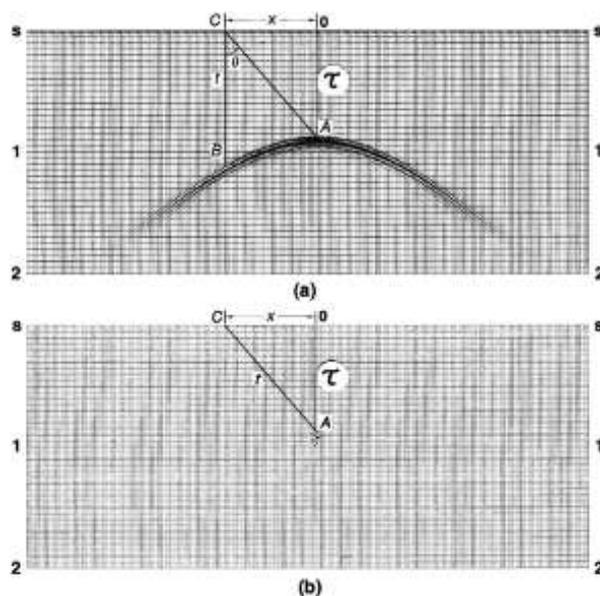


Gambar 3.24 (a) Skema Proses Migrasi dan (b) Hasil dari Proses Migrasi (Yilmaz, 2001)

Migrasi Kirchoff adalah metode migrasi yang didasarkan pada penjumlahan kurva difraksi (*diffraction summation*). Metode ini merupakan suatu pendekatan secara *statistic* dimana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama.

Prinsip migrasi berdasarkan penjumlahan difraksi yang ditunjukkan pada **Gambar 3.24** dimana (a) penampang *zero-offset*, kecepatan konstan 2500 m/s (b)

hasil migrasi. Amplitudo B sepanjang sisi, dipetakan pada puncak hiperbola A.



Gambar 3.25 Migrasi berdasarkan penjumlahan difraksi (Yilmaz, 2001)

Secara praktis, migrasi Kirchoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya, berupa kurva difraksi yang diperoleh dari persamaan:

$$t^2(x) = t_0^2(0) + \frac{4x^2}{v_{rms}^2} \quad (3.40)$$

Dimana $t(0)$ waktu tempuh setelah migrasi, posisi sesungguhnya dan $t(x)$ waktu tempuh sebelum migrasi, yang merupakan posisi awal reflektor.

Posisi titik reflektor sesungguhnya adalah titik puncak (apex) dari kurva difraksi. Suatu bidang reflektor representasinya pada penampang *zero-offset* adalah superposisi dari hiperbola-hiperbola difraksi titik-titik pada bidang tersebut yang bertindak sebagai Huygens *Secondary Source*. Migrasi Kirchoff membawa titik-titik pada hiperbola difraksi ke puncak puncaknya menghasilkan titik yang berada pada posisi sebenarnya.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan Penelitian ini dilaksanakan pada:

Waktu : 1 Maret – 4 Mei 2016

Tempat : PHE Tower, Lantai 3, Jl. Letjen T.B. Simatupang Kav. 99, Pasar Minggu, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12520.

Tabel 1. Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Mar-16				Apr-16			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur								
2	Pengolahan Data								
3	Pembahasan								
4	Penyusunan Skripsi								

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Satu unit *Personal Computer (PC) double monitor*.
2. *Software “Vista” 2012*.
3. Data dengan Flat Water Bottom dan Rughos Water Bottom.

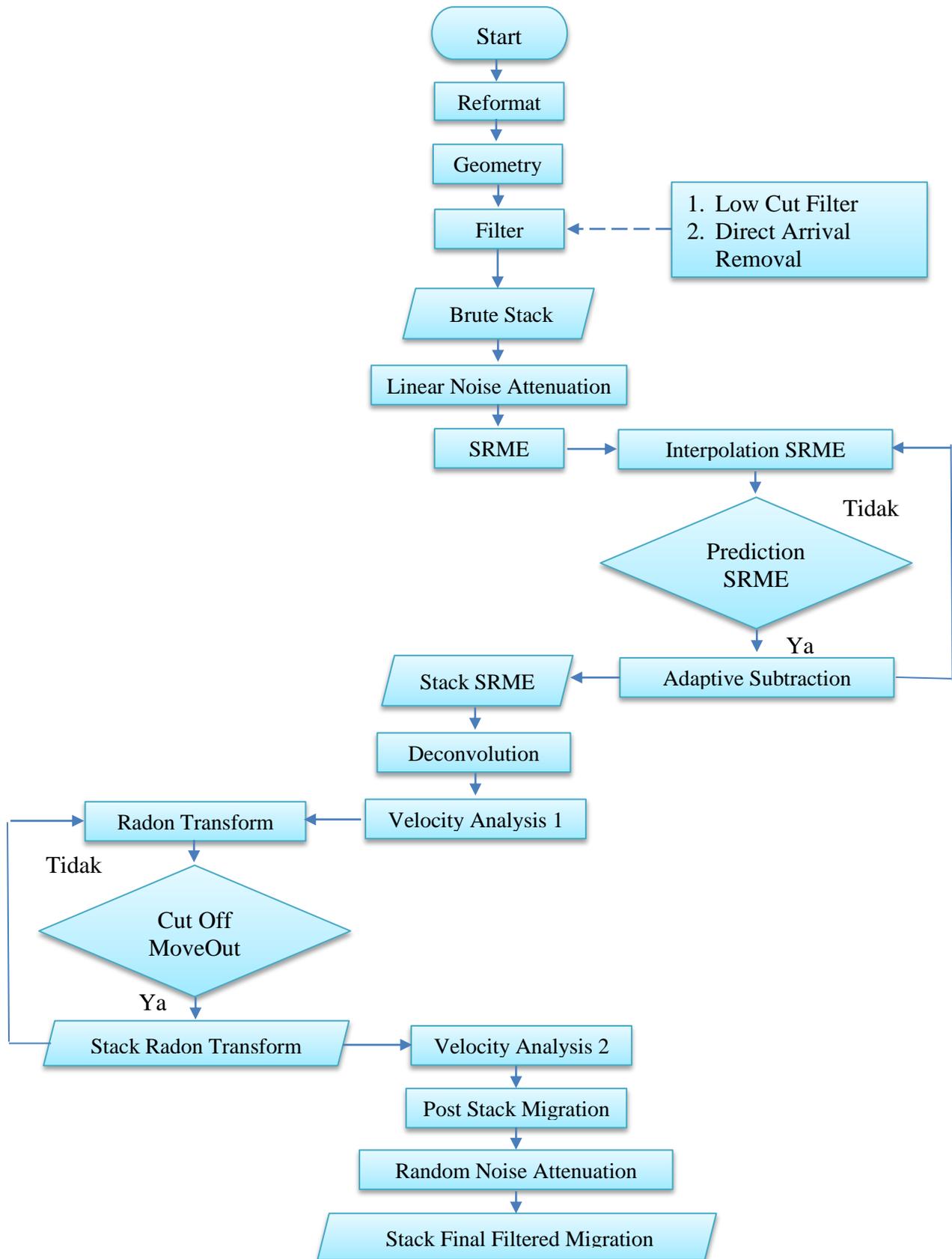
4.3 Prosedur Penelitian

Dalam pengolahan data seismik 2D *marine* dilakukan beberapa tahap dari tahap *pre-conditioning* sampai tahap *post-stack time migration*. Dalam tahap ini lebih di fokuskan terhadap kombinasi metode *surface related multiple elimination* (SRME) dan *radon transform*. Tahapan tersebut antara lain:

1. Memasukkan input SEG-Y kedalam software di *Flow Reformat*.
2. Memasukkan informasi lapangan (*Observer Report*) ke dalam geometri.
3. Melakukan pencocokkan data lapangan dengan geometri sekaligus melakukan *Quality Control* pada *Header Info*.
4. Melakukan tahap Pre-conditioning yang terdiri dari *Low cut filter*, *Direct Arrival Removal*, *Linear Noise Attenuation*.
5. Melakukan tahap *Processing* menggunakan metode *Surface Related Multiple Elimination* (SRME) dan additional flow seperti *Deconvolution* dan *Radon Transform*.
6. Melakukan penambahan *trace* pada *zero offset* ke *near offset* pada tahap *Interpolation SRME*.
7. Melakukan *multiple prediction* dari data input yang dimasukkan.
8. Melakukan pemisahan antara *data primary* dan *multiple* pada proses *adaptive subtraction*.
9. Melakukan *additional flow* seperti *Predictive Deconvolution*.
10. Melakukan analisis kecepatan pertama dan *picking velocity* pada tahap 1^{st} *Velocity Analysis* sebelum memasuki tahap *Radon Transform*.
11. Melakukan tahap *Radon Transform* untuk *gather* yang sudah ter-NMO.
12. Melakukan analisis kecepatan kedua dan *picking velocity* pada tahap 2^{nd} *Velocity Analysis*.

13. Melakukan migrasi dalam tahap *Post-Stack Time Migration*.
14. Menghilangkan *Random Noise* pada hasil *Stacking Post-Stack Time Migration*.
15. Melakukan *Time Variant Filter* untuk mendapatkan *Stack Final Filtered Migration*.

4.4 Diagram Alir



Gambar 4.1 Diagram Alir Pengolahan Data

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan metode *Surface Related Multiple Elimination* (SRME) pada metode penelitian ini dapat menekan *multiple* pada *offset* dekat karena SRME tidak bergantung *moveout*. Sedangkan kekurangan dari metode SRME pada penelitian ini kurang efektif dalam menghilangkan *multiple* permukaan yang berada pada *offset* yang jauh, sehingga peneliti melakukan *additional flow* menggunakan metode *Radon Transform* yang mana efektif dalam menghilangkan *multiple* yang berada di *offset* jauh karena dengan *offset* yang cukup maka perbedaan *moveout* antara refleksi *primer* dengan *multiple* akan lebih jelas terlihat.
2. Dari hasil *velocity analysis* diketahui keberadaan *velocity multiple* berada pada *velocity* yang sama seperti *water bottom* yang bernilai 1480 m/s.
3. *F – K filter* digunakan untuk menghilangkan *linear noise*, dimana garis lurus di spektrum *f – k filter* serupa dengan *dips* pada *domain x – t*.
4. Dalam proses Interpolasi SRME pada metode SRME ini terjadi penambahan *trace* sebanyak 7 *trace* pada *near offset* yang didapatkan dari rata – rata nilai *trace* yang berada disekitarnya.

5. Pada tahap *SRME Prediction* di buat *multiple model* yang menyerupai *flat water bottom* nya dengan nilai *frequency maximum* nya 100 Hz.
6. Pemisahan data yang terdiri dari data primer dan *multiple* dengan *multiple model* yang dibuat dilakukan pada tahap *Adaptive Subtraction*, sehingga didapatkan data yang telah berkurang keberadaan *multiple* nya.
7. Pada penelitian ini peneliti menggunakan parameter predictive dekonvolusi dengan nilai *Operator Length* 250, dan gap 16 sehingga didapatkan tampilan data yang telah berkurang *noise multiple* nya.
8. Pada proses *Radon Transform* nya dilakukan pada *gather* yang telah terkena efek *Normal Move Out* (NMO) dengan *cut off* hiperbolik -900 dan *cut off* parabolik 150 pada *maximum offset* 2000 sehingga bentuk *wavelet* yang menunduk akan dihilangkan pada proses ini dan meninggalkan bentuk *wavelet* yang lurus pada data *gather* nya.
9. Dalam pengolahan data seismik menggunakan *Surface Related Multiple Elimination* (SRME) dan *Radon Transform* telah menghilangkan *surface multiple* yang berada pada data seismik. Namun masih tersisa jenis *multiple* seperti *internal multiple*.

6.2 Saran

Oleh karena masih tersisanya *Internal Multiple* pada data seismik, maka diperlukan penelitian lanjutan menggunakan metode lain yang efektif dalam menghilangkan *multiple* tersebut seperti *Internal Related Multiple Elimination* (IRME), sehingga di dapatkan penampang seismik tanpa *multiple*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah A., 2008, *Ensiklopedi Seismik Online ebook*, Jakarta.
- Asparini, Dewi. 2011. *Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh*. Bogor. IPB
- Cao Z., 2006, *Analysis and Application of The Radon Transform*, A thesis Department of Geology and Geophysics University of Calgary, Alberta.
- CGG Technical Series, 2005, *2D Surface Related Multiple Elimination (SRME)*.
- Dewar, J., J. Downton, and G. Larsen, 2003, Michelangelo, seismic and seeing what's there: CSEG Recorder, 28, no. 9, 47–53, <http://209.91.124.56/publications/recorder/2003/11nov/nov03michelangeo.pdf>, accessed 10 May 2016.
- Ditjen Migas ESDM op. cit., Sirait. 2007. *Peta daerah Cekungan Jawa Timur*. Diakses tanggal 29 Mei 2016 pukul 09.45 WIB.
- Dragoset, B.,Verschuur, E., Moore, I., dan Bisley, R. (2010) : A perspective on 3D surface-related Multiple elimination. *Geophysics*, 75, 5.
- Elnashai, S.A, Sarno. 2008. *Fundamental of Earthquake Engoneering*. Wiley. Hongkong
- Hampson, D., and B. H. Russell, 1990, AVO inversion: Theory and practice: 60th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1456–1458.
- Kumar, Lavendra. 2008. *Effectiveness of Radon Filter in Multiple Attenuation: An Analysis on Real and Synthetic Data*. 7th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics. Seismic Processing and Interpretation Centre, ONGC, Panvel : Mumbai. Page 314.
- Mudjiono., R., dan Pireno., G. E. 2002. *Exploration Of The North Madura Platform,Offshore East Java. Indonesia*. 28th Annual Convention Proceeding. Indonesian Petroleum Association.
- Mustoin, Ahmad. 2000. *Pereduksian Multiple Data Seismik 2D Offshore Menggunakan Metode Radon*. Institut Teknologi Surabaya : Surabaya.

- OpenLearn LabSpace, 2010, *Marine Seismic Acquisition*, Earth's Physical Resources: Petroleum.
- Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore. 2009. *Stratigrafi Regional Cekungan Jawa Timur*. Regional Western Indonesia Study.
- Rahadian. 2011. *Penerapan Metode Surface Related Multiple Elimination dalam Optimalisasi Pengolahan Data Seismik 2D Marine*. ITB : Bandung.
- Satyana., A.H. 2005. Oligo-Miocene Carbonates of Java : *Tectonic-Volcanic Setting and Petroleum Implications*. Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA). 30th annu. conv., p. 217-250.
- Setiawan, B. 2008. *Pemetaan Tingkat Literatur*. FMIPA: Universitas Indonesia.
- Telford, etc.,. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University.
- Tricahyono, Wahyu. 2000. Eliminasi Multiple Dengan Menggunakan Transformasi Radon Parabola. Institut Teknologi Surabaya : Surabaya.
- Verschuur, D.J. (2006) : Seismic Multiple Removal Techniques: Past, Present and Future. European Association of Geoscientist and Engineers.
- Verschuur D. J., and Berkhout, A. J., 1997, *Estimation of Multiple Scattering by Iterative Inversion*, Part II: Practical Aspect and Examples: Geophysics 62, 1596-1611.
- Yilmaz, O. (2001) : Seismic Data Analysis : Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.