

**MIGRASI DATA SEISMIK 3D MENGGUNAKAN METODE
KIRCHHOFF *PRE-STACK DEPTH MIGRATION*
(KIRCHHOFF PSDM) PADA LAPANGAN NIRMALA
CEKUNGAN JAWA BARAT BAGIAN UTARA**

SKRIPSI

oleh

PANDHU PRAKOSO

0305020748



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2009**

**MIGRASI DATA SEISMIK 3D MENGGUNAKAN METODE
KIRCHHOFF *PRE-STACK DEPTH MIGRATION*
(KIRCHHOFF PSDM) PADA LAPANGAN NIRMALA
CEKUNGAN JAWA BARAT BAGIAN UTARA**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Sains**

oleh

PANDHU PRAKOSO

0305020748



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : PANDHU PRAKOSO

NPM : 0305020748

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Nopember 2009

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Pandhu Prakoso
NPM : 0305020748
Departemen : Fisika
Program Studi : Geofisika
Judul Skripsi : Migrasi Data Seismik 3D Menggunakan Metode
Kirchhoff *Pre-Stack Depth Migration* (Kirchhoff
PSDM) pada Lapangan Nirmala Cekungan Jawa Barat
Bagian Utara

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh

Dr.rer.nat Abdul Haris

Pembimbing

Dr. Syamsu Rosid

Penguji I

Dr. Waluyo

Penguji II

Dr. Santoso Soekirno

Ketua Departemen Fisika

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamiin. Puji syukur hanya kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih, yang selalu memberikan anugerah terindahNya kepada penulis dan telah menuntun penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam kerinduan kepada sebaik-baik teladan Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabatnya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus- tulusnya kepada:

- (1) Dr. rer.nat Abdul Haris selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
- (2) Dr. Syamsu Rosid selaku dosen penguji I dan Dr. Waluyo selaku dosen penguji II;
- (3) Dr. Santoso Soekirno selaku Ketua Departemen Fisika FMIPA UI;
- (4) Dr.Eng Yunus Daud selaku Ketua Program Peminatan Geofisika Departemen Fisika FMIPA UI;
- (5) Seluruh dosen dan karyawan Departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI;
- (6) Pihak PT Pertamina EP Region Jawa terutama Ir. Endro Hartanto, M.Sc yang telah memberikan fasilitas dan data penelitian kepada penulis sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini;
- (7) Team Engineering G&G PT Pertamina EP Jawa, Pak (Prof) Winarso, Mas Arsyid, Mas Ian, Mas Budi, Mas Bowo, Mas Jahid, Mas Abbas, Mas Dedi atas bimbingan, masukan dan arahan kepada penulis selama masa penelitian berlangsung;

- (8) Teman-teman seperjuangan yang melaksanakan penelitian di Pertamina EP Jawa Bagian G&G: Hendra, Arvi, Rani, Dhani, Peppy, Acha, Elli, Febri, Reza yang telah memberikan warna tersendiri selama penelitian;
- (9) Teman-teman senasib dan seperjuangan geofisika 2005: Subhan, Miftah, Gerry, Novarie, Vici, Opi, Gaya, Nendar, Surya, Lendri, Satrio, Erlangga, Ipin, Ading, Bayu, Anggi, Arfi, Syahrul, Kitin, Debby, Dini, Irvan, Judol, Nanda, Rahmah, Rangga, dan Rian yang telah membagi ilmu selama masa perkuliahan;
- (10) Teman-teman Fisika 2005: Arya, Charles, Dedy, Dian, Bang Ben, Fanny, Tia, Hafiz, Idha, Imam, Ira, Akhol, Kurnadi, Lia, Margo, Nurma, Padly, Icha, Mba Sri, Taqwa, Thea, Tiwi, Bondan, Koko, Kupple, Mukhlis, Pamuji, Panggih, Rifki, dan Helmi Indra yang telah menemani suka duka selama kurang lebih 4,5 tahun, tak terasa waktu begitu cepat;
- (11) Teman-teman Sintesa seperjuangan: Novel, Emil, Udin, Irman, Itong, Hanif, Ozenk, dll yang telah memberikan nuansa “Tegal” kepada penulis;
- (12) Ng. Bei Berger, S.Si. selaku pembimbing teknis selama proses pembuatan draft skripsi;
- (13) Regina Yudha Rinarta yang telah memberikan semangat kepada penulis selama penelitian hingga masa sidang tugas akhir; dan
- (14) Terkhusus untuk kedua orang tua penulis, Papa Suhono dan Mama Ngatini, Adek Dila dan Dani, serta keluarga besar penulis.

Penulis juga menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, Nopember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pandhu Prakoso
NPM : 0305020748
Program Studi : Geofisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**MIGRASI DATA SEISMIK 3D MENGGUNAKAN METODE KIRCHHOFF
PRE-STACK DEPTH MIGRATION (KIRCHHOFF PSDM) PADA LAPANGAN
NIRMALA
CEKUNGAN JAWA BARAT BAGIAN UTARA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 26 Nopember 2009

Yang menyatakan

(Pandhu Prakoso)

ABSTRAK

Nama : Pandhu Prakoso
Program studi : Fisika
Judul skripsi : Migrasi Data Seismik 3D Menggunakan Metode Kirchhoff *Pre-Stack Depth Migration* (Kirchhoff PSDM) pada Lapangan Nirmala Cekungan Jawa Barat Bagian Utara

Telah dilakukan studi *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) pada data lapangan Nirmala yang memiliki struktur kompleks dan variasi kecepatan lateral yang kuat. Ketidakterusan reflektor pada zona sesar yang sering terdapat pada data hasil *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) dapat diatasi dengan pembuatan model kecepatan yang akurat. Model kecepatan yang dibuat dengan konsep tomografi menghasilkan model yang mencerminkan keadaan geologi sebenarnya. Selanjutnya model kecepatan yang dihasilkan digunakan untuk melakukan proses Kirchhoff PSDM. Data seismik yang dihasilkan menunjukkan peningkatan kualitas yang cukup signifikan, mampu mempertegas pola refleksi pada zona sesar dan memberikan resolusi yang lebih koheren dibandingkan dengan data seismik PSTM. Studi ini sangat membantu dalam membuat konsep eksplorasi dan pengembangan suatu daerah, khususnya untuk daerah dengan struktur kompleks.

Kata kunci: variasi kecepatan lateral, PSTM, Kirchhoff PSDM.

ABSTRACT

Name : Pandhu Prakoso
Program study : Physic
Title of essay : Migration on 3D Seismic Data Using Kirchhoff Pre-Stack Depth Migration (Kirchhoff PSDM) Method at Nirmala Field North West Java Basin

Analysis on Pre-Stack Depth Migration (PSDM) has been applied to Nirmala field seismic data which has complex structure and strong lateral velocity variation. The unconformity, which is commonly occur in Pre-Stack Time Migration (PSTM) section, can be removed by providing an accurate velocity model. In order to produce proper velocity model, we perform tomography technique. The result of accurate velocity model is then used for Kirchhoff PSDM. The result shows a significant image enhancement, able to assure the reflection pattern at the fault zone and give the more coherence resolution compared with PSTM seismic data. This study is very valuable in building exploration concept and development of the area, especially in a complex structure.

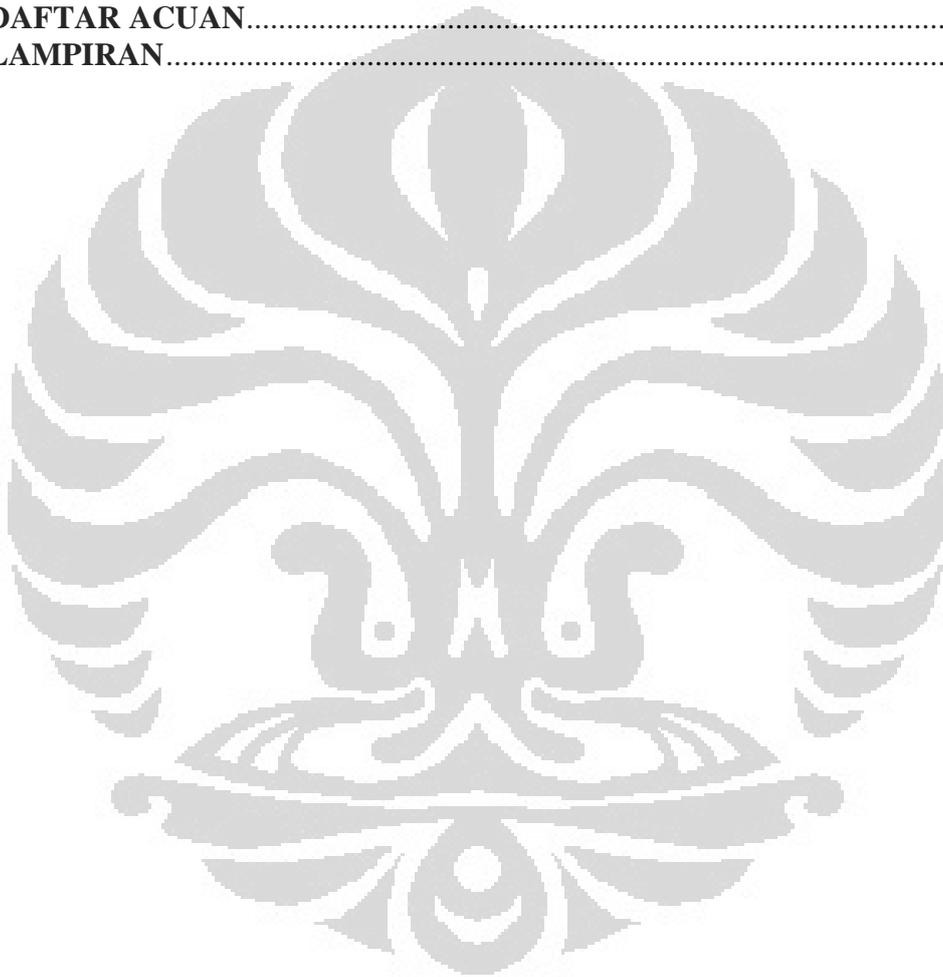
Key words: lateral velocity variation, PSTM, Kirchhoff PSDM.



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Batasan Masalah	2
1.3. Tujuan Studi	3
1.4. Metodologi Studi	3
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1. Metode Seismik	7
2.2. Teori Gelombang Seismik	7
2.2.1 Gelombang Elastik	7
2.2.2 Prinsip Dasar Perambatan Gelombang	8
2.2.3 Kecepatan Gelombang Seismik	10
2.2.4 CDP <i>Gathers</i>	11
2.3. Migrasi Seismik	12
2.3.1 Prinsip Dasar Migrasi Seismik	13
2.3.2 Konsep Migrasi Seismik	15
2.4. Klasifikasi Migrasi	15
2.4.1 Migrasi Berdasarkan Kawasan	16
2.4.2 Migrasi Berdasarkan Tipe	18
2.4.3 Migrasi Berdasarkan Algoritma yang Dipakai	19
2.5. <i>Pre-Stack Time Migration</i> (PSTM)	19
2.6. <i>Pre-Stack Depth Migration</i> (PSDM)	21
2.7. Migrasi Kirchhoff	22
2.8. Migrasi <i>Normal Incidence Rays</i> dan Migrasi <i>Image Rays</i>	23
BAB 3 DATA DAN PENGOLAHAN DATA	
3.1. Data Studi	24
3.1.1 Lokasi Akuisisi Data	24
3.1.2 Data Utama	24
3.1.3 Data Penunjang	25
3.2. Metode Pengolahan Data	26
3.2.1 <i>Time Model</i>	26
3.2.2 <i>Depth Model</i>	30
3.3. Analisa Tomografi	33
3.4. Analisa Hasil	34

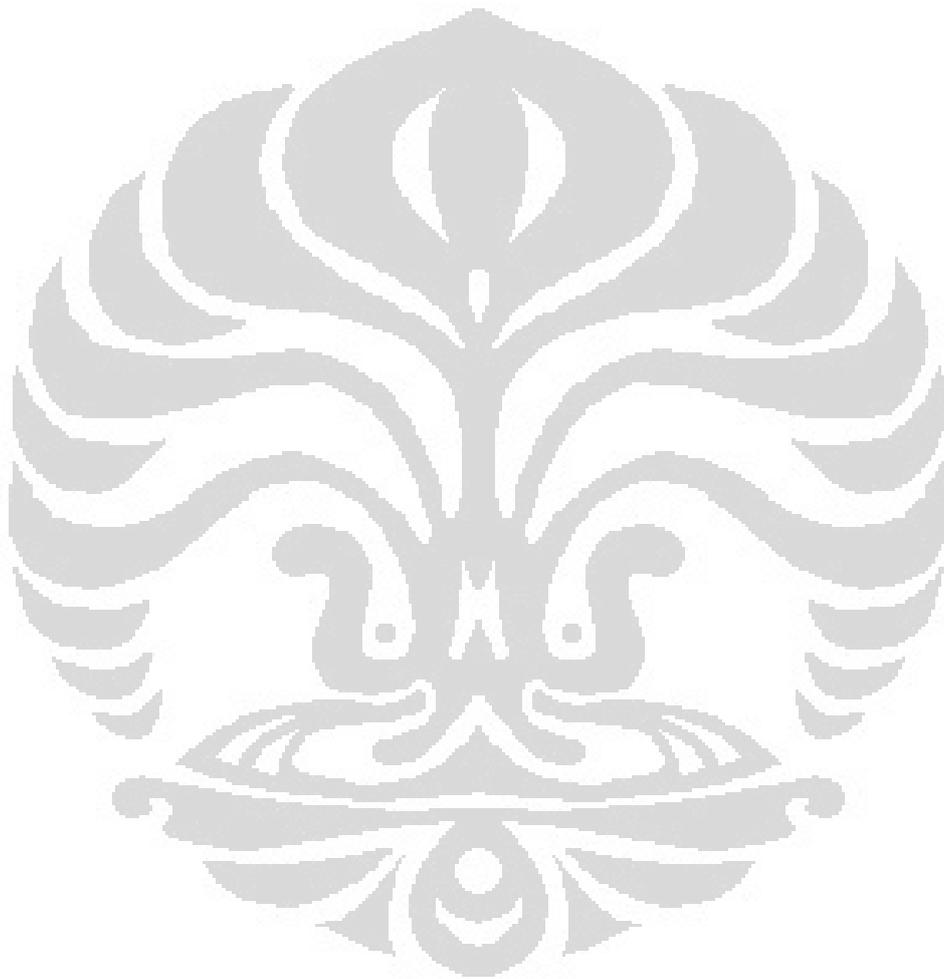
BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Kecepatan dan Gathers	35
4.1.1 Membangun Model Awal.....	35
4.1.3 Analisis Statistik Untuk Memperbaiki Model Kecepatan	36
4.1.2 Membangun Model Kecepatan Setelah Perbaikan.....	39
4.1.4 Analisis Kecepatan Tomografi	41
4.2. Analisa Penampang Seismik PSTM dan PSDM	43
4.3 Analisa Penampang Seismik PSDM Sebelum dan Setelah Tomografi.	48
BAB 5 KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR ACUAN.....	52
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Alir Studi.....	4
Gambar 1.2	Diagram Alir Analisis Tomografi Berdasarkan Horizon.....	5
Gambar 2.1	Ilustrasi Penjalaran Gelombang Seismik dalam Medium Bumi ..	9
Gambar 2.2	Ilustrasi Pengumpulan Data Rekaman Seismik Refleksi.....	12
Gambar 2.3	Tahapan Migrasi Seismik Dari Reflektor Miring	13
Gambar 2.4	Analogi Perambatan Gelombang Pada <i>Time Migration</i> dan <i>Depth Migration</i>	16
Gambar 2.5	Perbedaan Hasil Akhir <i>Time Migration</i> dan <i>Depth Migration</i>	16
Gambar 2.6	Kurva Respons Difraksi	21
Gambar 3.1	Lokasi Daerah Studi, Lapangan Nirmala.....	24
Gambar 3.2	Base Map Daerah Studi.....	25
Gambar 3.3	<i>Surface Table</i> Menunjukkan 7 Horizon Yang Akan Dianalisis Dalam Proses PSDM.....	27
Gambar 3.4	Peta Model 3D Formasi Baturaja dari Interpretasi Kecepatan RMS	28
Gambar 3.5	Model Awal Volume Kecepatan RMS	29
Gambar 3.6	Model Awal Volume Kecepatan Interval	32
Gambar 4.1	(a) Peta Kecepatan Interval dari Formasi Baturaja, (b) Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja	36
Gambar 4.2	(a) Peta Kecepatan Interval dari Formasi Baturaja setelah Analisis Statistik Grid, (b) Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja Setelah Analisis Statistik Grid.....	37
Gambar 4.3	(a) Peta Kecepatan Interval dari Formasi Baturaja setelah Dilakukan <i>Extrapolation Bilinear</i> , (b) Peta Kecepatan Interval dari Formasi Baturaja setelah Dilakukan <i>Smoothing</i>	37
Gambar 4.4	Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja setelah Proses <i>Editing</i>	38
Gambar 4.5	<i>Depth migrated Gathers</i> Menunjukkan Bentuk yang Datar Dalam Proses <i>Refining Velocity</i> pada (a) IL 1420 dan (b) XL 5190 Formasi Baturaja.....	39
Gambar 4.6	<i>Picking Semblance</i> dan <i>Depth Delay</i> Setelah <i>Residual Depth Moveout</i> Sepanjang Horizon Pada (a) XL 5160 (b) XL 5213 (c) 5083 , dan (d) XL 5032 di Formasi Baturaja	41
Gambar 4.7	Model Kecepatan RMS.....	42
Gambar 4.8	(a) Kecepatan Interval Berdasarkan Formula Dix, (b) Kecepatan Interval Setelah Dilakukan Tomografi	43
Gambar 4.9	(a) Penampang Seismik Hasil <i>Pre-Stack Time Migration</i> (b) Penampang Seismik Hasil <i>Pre-Stack Depth Migration</i> pada XL 5160.....	45
Gambar 4.10	(a) Penampang Seismik Hasil <i>Pre-Stack Time Migration</i> (b) Penampang Seismik Hasil <i>Pre-Stack Depth Migration</i> pada XL 5083.....	46

Gambar 4.11	(a) Penampang Seismik Hasil PSDM Sebelum Analisis Tomografi, (b) Penampang Seismik Hasil PSDM Hasil Analisis Tomografi pada XL 5032.....	48
Gambar 4.12	(a) Penampang seismik hasil PSDM Sebelum Analisis Tomografi, (b) Penampang seismik hasil PSDM Hasil Analisis Tomografi pada XL 5213.....	50



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Migrasi merupakan tahapan dalam pengolahan data seismik yang bertujuan untuk mengembalikan reflektor miring ke posisi aslinya dan untuk menghilangkan efek difraksi, hingga meningkatkan resolusi spasial serta hasil dari gambaran seismik bawah permukaan (Yilmaz, 2000). Apabila terdapat suatu reflektor miring pada penampang seismik yang berordinat kedalaman, maka posisi sesungguhnya dari reflektor tersebut tidaklah berada di tempat tersebut. Oleh karena penggambaran penampang seismik hasil pengolahan data seismik menggunakan asumsi perambatan gelombang Snellius pada bidang datar, maka untuk bidang miring perlu dilakukan koreksi, salah satu koreksi yang diperlukan adalah dengan proses migrasi.

Pada awalnya proses migrasi dilakukan dalam kawasan waktu setelah proses stacking (*Post Stack Time Migration*). Untuk struktur bawah permukaan yang sederhana atau kemiringan lapisan relatif horizontal, koreksi *Normal Move Out* (NMO) akan berhasil mengembalikan data ke *zero-offset*. Akan tetapi pada keadaan dimana struktur bawah permukaan yang mempunyai kemiringan yang curam, koreksi NMO akan gagal mengembalikan data ke *zero-offset*.

Pengolahan data seismik dengan struktur geologi yang kompleks merupakan tantangan tersendiri bagi para *processing-geophysicist* untuk dapat menghasilkan data *migrated stack* yang mampu memperlihatkan *event-event* geologi secara jelas. Kompleksitas struktur yang disertai variasi kecepatan secara lateral bisa disebabkan oleh perubahan ketebalan dan atau perubahan *fasies*.

Sampai saat ini PSDM masih merupakan solusi yang paling baik dan akurat untuk mencitrakan struktur bawah permukaan. Keakuratan ini karena kemampuan

metode tersebut untuk melakukan *focusing* terhadap suatu titik reflektor pada kondisi dimana terjadi perubahan kecepatan secara lateral.

1.2 Batasan Masalah

Tujuan pengolahan data seismik adalah menghasilkan penampang seismik dengan S/N (*signal to noise ratio*) yang baik tanpa mengubah bentuk kenampakan-kenampakan refleksi, sehingga dapat dilakukan interpretasi pada keadaan dan bentuk dari perlapisan di bawah permukaan bumi seperti apa adanya (Sismanto,1996). Oleh karena itu pengolahan data seismik yang benar dan akurat diharapkan dapat mampu menghasilkan penampang seismik yang jelas dan akurat sehingga informasi yang diperoleh berupa gambaran struktur bawah permukaan akan benar dan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Dengan adanya tuntutan akan informasi yang akurat dan benar tentang struktur bawah permukaan serta masih terdapatnya limitasi dan permasalahan-permasalahan yang ditimbulkan dari pengolahan migrasi secara konvensional, maka dalam studi ini akan dilakukan migrasi seismik dengan metode *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM). Dari studi ini diharapkan mampu memecahkan permasalahan-permasalahan yang ditimbulkan dari pengolahan data sebelumnya. Metode *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) diharapkan dapat mengatasi limitasi serta permasalahan dalam proses migrasi secara konvensional sehingga menghasilkan posisi reflektor secara lebih akurat di daerah target pada khususnya.

Batasan masalah dalam studi :

1. Metode yang digunakan 3D Kirchhoff *Pre-Stack Depth Migration*
2. Studi ini difokuskan pada kemenerusan dan *positioning* reflektor yang ada pada daerah atau zona target.
3. Metode analisis penghalusan kecepatan menggunakan tomografi berdasarkan horizon
4. Data yang digunakan adalah data lapangan Nirmala (bukan nama sebenarnya).

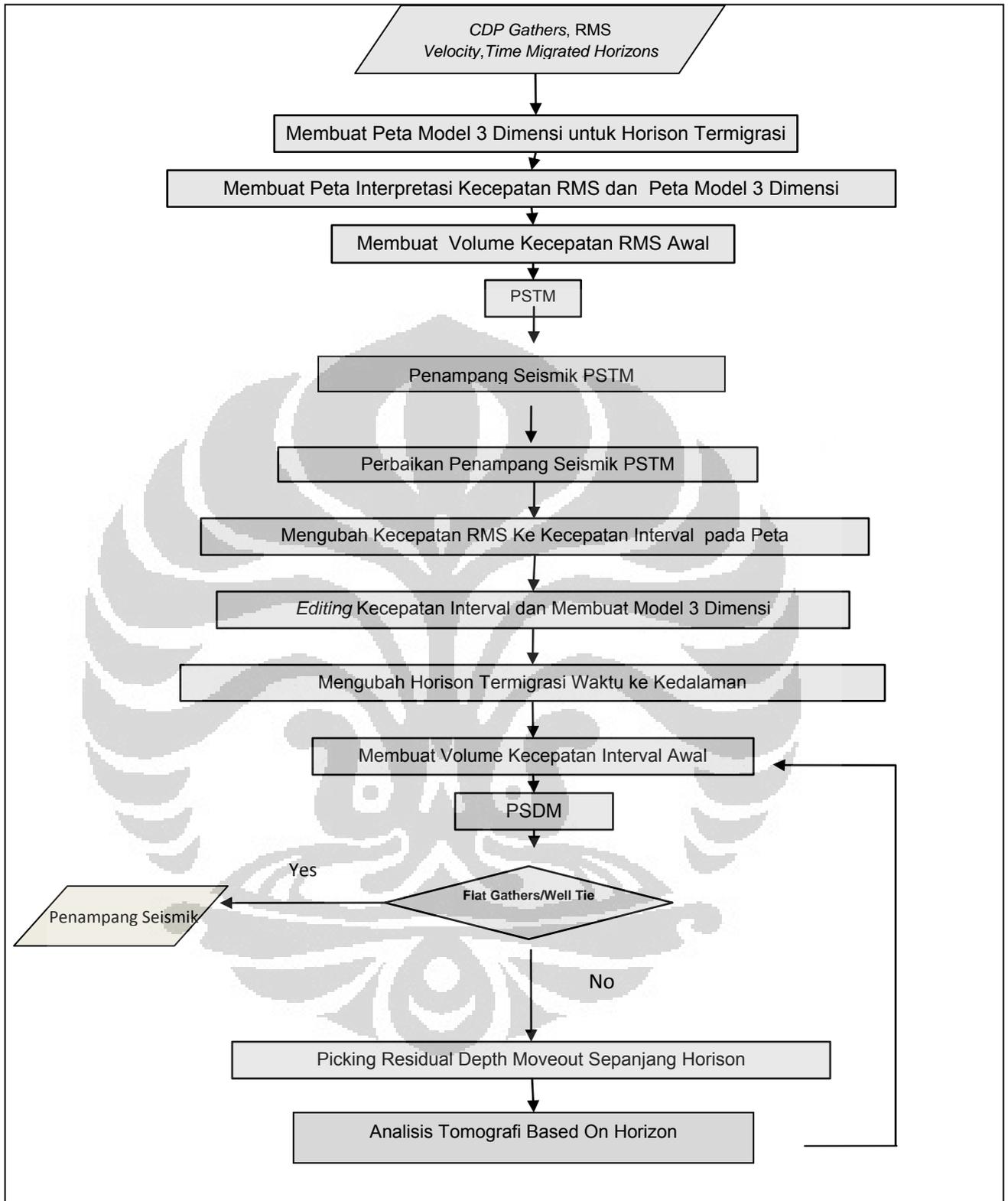
1.3 Tujuan Studi

Studi ini bertujuan untuk melakukan pemodelan kecepatan interval, serta melakukan analisis kecepatan dengan pendekatan seismik tomografi sehingga mendapatkan gambaran penampang tiga dimensi (3D) yang lebih baik dan lebih akurat dalam kawasan kedalaman dari proses *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) sesuai data *marker log* dan *sonic log*.

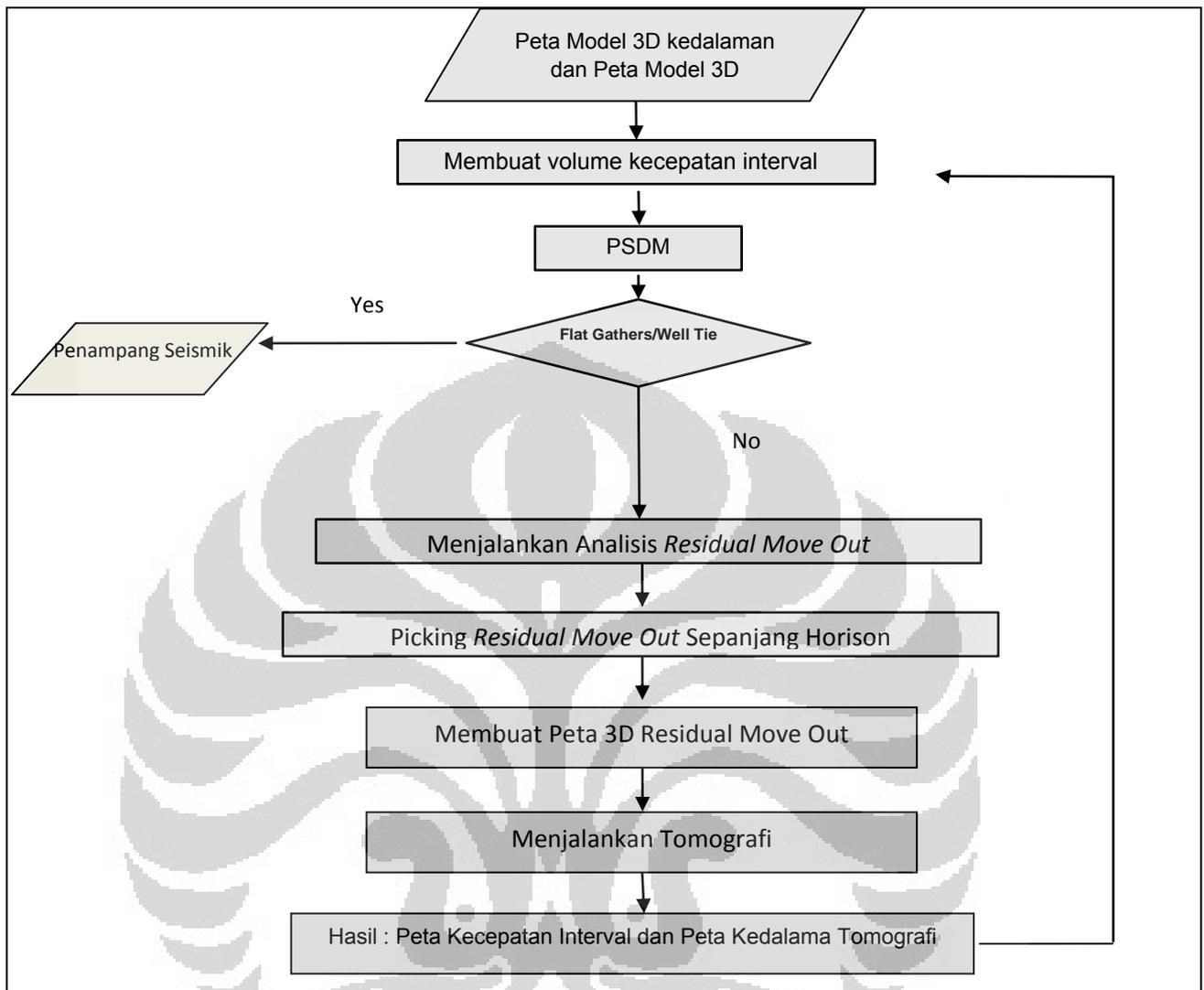
Pemodelan kecepatan interval sangat memengaruhi hasil dari PSDM, sehingga pemodelan kecepatan interval yang baik mutlak dilakukan untuk mendapatkan penampang seismik yang lebih baik.

1.4 Metodologi Studi

Dalam studi kali ini, data yang dibutuhkan adalah *CDP gathers*, *RMS velocity*, dan *time migrated gathers*. Metode pengolahan data dibagi ke dalam dua bagian besar, yakni *time model* dan *depth model*. Pada bagian *time model* dibagi kembali ke dalam dua tahap, tahap pertama menggunakan penampang kecepatan RMS dari kecepatan *stacking* dan tahap kedua dengan menggunakan penampang kecepatan RMS berdasarkan horizon yang telah dilakukan interpretasi sebelumnya. Sedangkan bagian *depth model* meliputi proses pembangunan model kecepatan interval hingga proses analisis tomografi. Untuk memudahkan memahami alur penelitian pengolahan data *Pre-Stack Depth Migration* ini, dapat dilihat dalam diagram alir studi yang ditunjukkan oleh **Gambar 1.1**, sementara diagram alir tomografi dapat dilihat pada **Gambar 1.2**.



Gambar 1.1. Diagram Alir Studi (Paradigm, 2008)



Gambar 1.2. Diagram Alir Analisis Tomografi Berdasarkan Horizon (Paradigm, 2008)

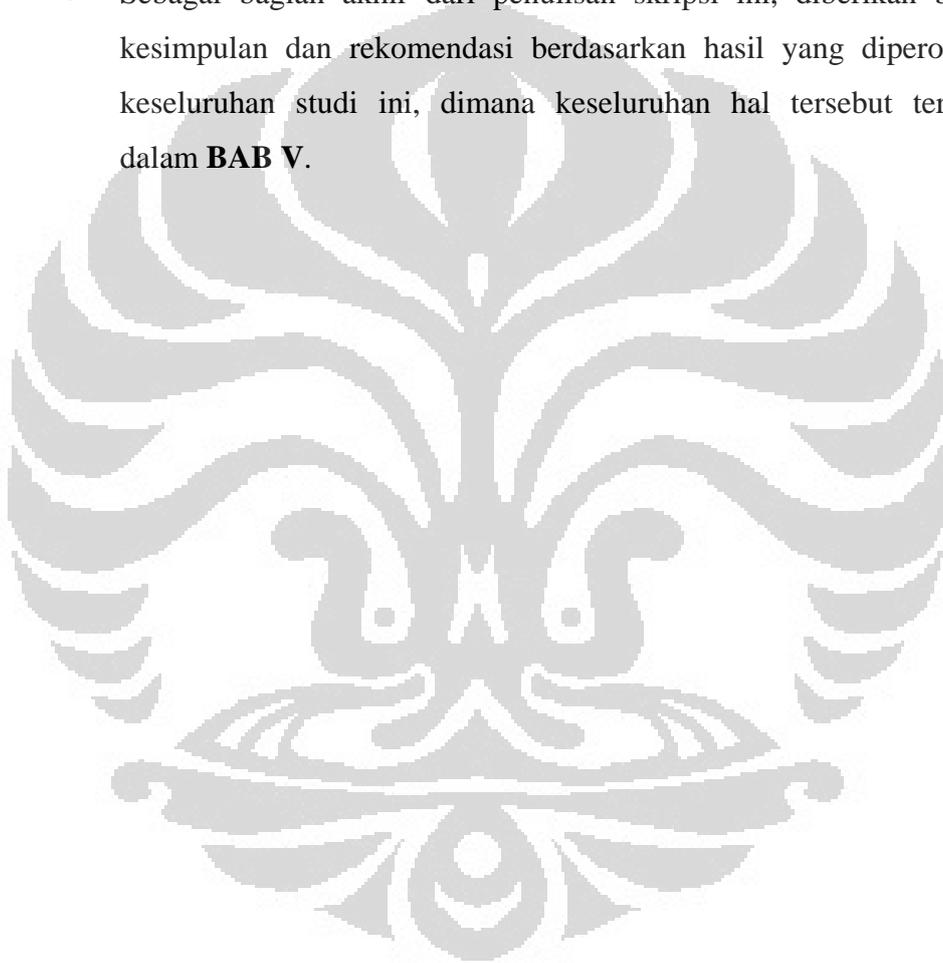
1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan ini terdiri atas 5 bab dengan penjelasan tiap-tiap bab sebagai berikut:

- Bagian pertama dari skripsi ini terangkum dalam **BAB I**, dalam bab ini dibahas tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan studi, metodologi studi serta sistematika penulisan.
- Teori-teori dasar yang mendukung studi seperti dasar teori gelombang seismik, macam-macam kecepatan gelombang seismik, dasar teori

mengenai migrasi seismik, serta teori mengenai tomografi akan dibahas pada **BAB II**.

- **BAB III** berisikan metode studi yang dilakukan selama studi dari pengolahan data sampai diperoleh hasil akhir yang berupa penampang seismik.
- Dalam **BAB IV** dipaparkan analisis dan pembahasan dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.
- Sebagai bagian akhir dari penulisan skripsi ini, diberikan beberapa kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil yang diperoleh dari keseluruhan studi ini, dimana keseluruhan hal tersebut terangkum dalam **BAB V**.



BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Metode Seismik

Seismik eksplorasi yang lebih lanjut disebut metode seismik merupakan teknik yang handal untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan mulai dari skala sentimeter sampai kilometer dengan menggunakan gelombang seismik. Melalui studi perambatan gelombang akustik ke dalam lapisan bumi dan dimana dalam perambatannya gelombang seismik akan dipantulkan balik ke permukaan dan diterima oleh penerima (*receiver*). Dari informasi yang direkam oleh penerima, kita bisa mempelajari struktur, stratigrafi dan jenis batuan dari bumi. Aplikasi seismik eksplorasi dapat digunakan untuk penyelidikan geologi lingkungan, eksplorasi migas, tektonik regional, bidang teknik, dan arkeologi (Haris, 2006).

2.2. Teori Gelombang Seismik

2.2.1. Gelombang Elastik

Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara gaya gangguan (gradien *stress*) melawan gaya-gaya elastik. Gelombang seismik menurut tempat penjalarnya terdiri atas dua jenis gelombang, yakni :

1. Gelombang badan (*body wave*), gelombang tersebut yang menjalar masuk menembus medium. *Body wave* terdiri atas gelombang longitudinal disebut juga gelombang primer atau gelombang *P* dan gelombang transversal disebut juga gelombang sekunder atau gelombang *S*. Gelombang longitudinal mempunyai arah getaran sejajar dengan arah penjalaran gelombang sedangkan gelombang transversal arah gerak partikelnya tegak lurus dengan arah penjalaran gelombang.

2. Gelombang permukaan (*surface wave*) adalah gelombang yang amplitudonya melemah bila semakin masuk ke dalam medium. *Surface wave* terdiri atas gelombang *Love*, *Rayleigh*, dan *Stoneley*.

Gelombang *P* dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas, dimana kecepatan gelombang *P* (V_p) dapat dituliskan seperti persamaan (2.1) :

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Gelombang *S*, merupakan gelombang transversal yang dapat disebarkan dengan arah rambatan gelombang tegak lurus dengan arah gerak partikelnya. Gelombang *S* tidak dapat merambat dalam medium cair atau gas, persamaan kecepatan gelombang *S* (V_s) yang dapat ditulis:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dimana pada persamaan (2.1) dan persamaan (2.2), parameter *K* adalah modulus bulk, μ merupakan modulus geser dan ρ adalah densitas, dengan $V_p > V_s$.

2.2.2 Prinsip Dasar Perambatan Gelombang

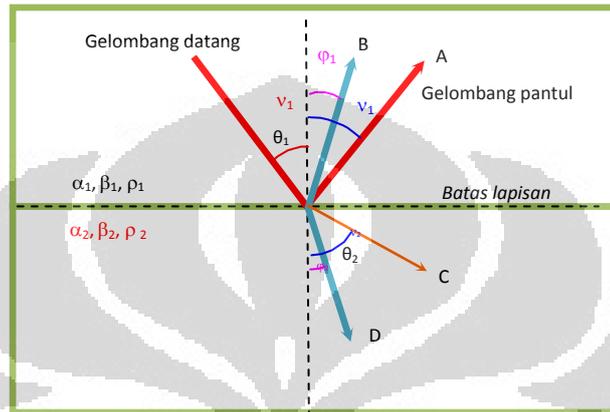
Perambatan gelombang dibawah permukaan bumi dikontrol oleh hukum-hukum fisika, antara lain:

1. Hukum Snellius:

Prinsip perambatan gelombang yang menjadi dasar dari perambatan gelombang seismik dikemukakan oleh Willebrod Snell von Royen (1591-1626). Suatu gelombang yang datang pada bidang batas dua media yang sifat fisiknya berbeda akan dibiaskan jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya dan akan dipantulkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis. Sudut kritis adalah sudut datang yang menyebabkan

gelombang dibiaskan 90^0 . **Gambar 2.1** memperlihatkan ilustrasi penjalaran gelombang seismik dalam media bumi.

Sesuai dengan hukum Snellius, dapat dituliskan persamaan (2.3) yang menjelaskan hubungan antara sudut datang, sudut bias dan sudut pantul terhadap kecepatan gelombang dalam medium, yakni :



Gambar 2.1 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Seismik dalam Medium Bumi.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.3)$$

Dimana V_1 dan V_2 merupakan kecepatan gelombang seismik pada medium 1 dan 2, sementara θ adalah sudut datang/pantul gelombang seismik.

2. Prinsip Huygens

Prinsip ini dikemukakan pada tahun 1680 oleh seorang fisikawan Belanda Crishtian Huygens (1629-1695). Dia menyatakan bahwa setiap titik pada permukaan gelombang dapat menghasilkan sumber gelombang baru, sehingga akan terbentuk gelombang yang bersifat sferis. Makin jauh dari sumbernya semakin besar radius permukaan gelombang tersebut. Kondisi ini menyebabkan partikel lainnya ikut bergetar.

3. Asas Fermat

Asas ini dikemukakan oleh Piere de Fermat (1601-1665), seorang matematikawan Perancis. Dia menyatakan bahwa gelombang akan memilih lintasan dengan waktu yang minimum (tersingkat).

2.2.3 Kecepatan Gelombang Seismik

Di dalam geofisika, kecepatan memiliki beberapa maksud, sedikitnya terdapat lima pengertian yang berbeda (Sismanto, 1996), antara lain:

1. Kecepatan Sesaat, V_{ins} (*instantaneous velocity*), adalah laju gelombang yang merambat melalui satu titik dan diukur pada arah rambatan gelombang, ditulis seperti pada persamaan (2.4).

$$V = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{dz}{dt} \quad (2.4)$$

2. Kecepatan Interval, V_{int} (*interval velocity*) adalah laju rata-rata antara dua titik yang diukur tegak lurus terhadap kecepatan lapisan yang dianggap sejajar, persamaan (2.5) merupakan bentuk matematis dari kecepatan interval.

$$V_{int}^2 = \frac{V_n^2 t_n - V_{n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (2.5)$$

3. Kecepatan rata-rata, V_{ave} (*average velocity*) adalah kedalaman tertentu dibagi dengan waktu tempuh vertikal dari permukaan ke suatu kedalaman, secara matematis kecepatan rata-rata dinyatakan seperti persamaan (2.6) di bawah ini;

$$V_{ave}(z) = \frac{z}{\tau(z)} = \frac{z}{\int_0^z \frac{dz}{V_{ins}(z)}} \quad (2.6)$$

4. Kecepatan RMS, adalah kecepatan total dari sistem pelapisan horizontal dalam bentuk akar kuadrat pukul rata. Apabila waktu rambat vertikal $\Delta t_1, \Delta t_1, \dots, \Delta t_n$ dan kecepatan masing-masing lapisan V_1, V_1, \dots, V_n , maka

kecepatan RMS-nya untuk lapisan n ditulis seperti pada persamaan (2.7);

$$V_{rms}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.7)$$

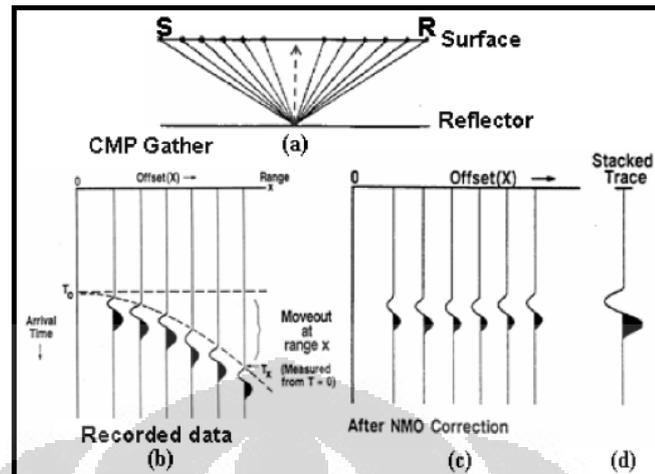
5. Kecepatan NMO (*Normal Move Out Velocity*) adalah nilai kecepatan empiris yang memenuhi dengan tepat hubungan antara T_x dan T_o , pada persamaan NMO, hal tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.8);

$$V_{NMO} = \sqrt{\frac{x^2}{(t_x^2 - t_0^2)}} \quad (2.8)$$

2.2.4. CDP Gather

Mayne (1962) memperkenalkan teknik *common depth point stacking* untuk meningkatkan *signal to noise ratio* dan analisis kecepatan yang lebih baik untuk konversi kedalaman. Refleksi seismik yang berasal dari beberapa pasangan titik tembak dan penerima yang dipantulkan pada satu titik pantul yang sama yang dikenal dengan *Common Depth Point* (CDP), kemudian dikumpulkan dalam satu *CDP gather* seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.2.a**. Selanjutnya data hasil rekaman seismik dari setiap *CDP gather* diurutkan (*sorting*) ke dalam satu susunan pertambahan jarak (*offset*) terhadap waktu tempuh seperti pada **Gambar 2.2.b**. Proses *sorting* CDP ini dilakukan pada setiap *shot gather* data seismik dari lapangan.

Setelah melakukan proses *shorting*, kemudian data waktu tiba setiap *trace* dalam *CDP gather* dikoreksi *Normal Move Out* (NMO) seperti ditunjukkan oleh **Gambar 2.2.c**, yaitu koreksi waktu tiba refleksi tiap *trace* terhadap waktu mula-mula ($t=0$). Setelah dilakukan koreksi NMO kemudian dilanjutkan dengan proses *stacking* yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.2.d**. *Stacking trace* adalah *trace* hasil penjumlahan (*stack*) *trace-trace* dalam *CDP gather* yang telah dikoreksi NMO sehingga amplitudo refleksi akan saling menguatkan sedangkan untuk amplitudo *noise* yang sifatnya *random* akan saling melemahkan.



Gambar 2.2. Ilustrasi Pengumpulan Data Rekaman Seismik Refleksi
 (a) CDP Gather, (b) CDP Gather Sebelum Koreksi NMO, (c) CDP Gather Sebelum Koreksi NMO, dan (d) Stacking Trace (Sheriff and Geldart, 1995)

2.3. Migrasi Seismik

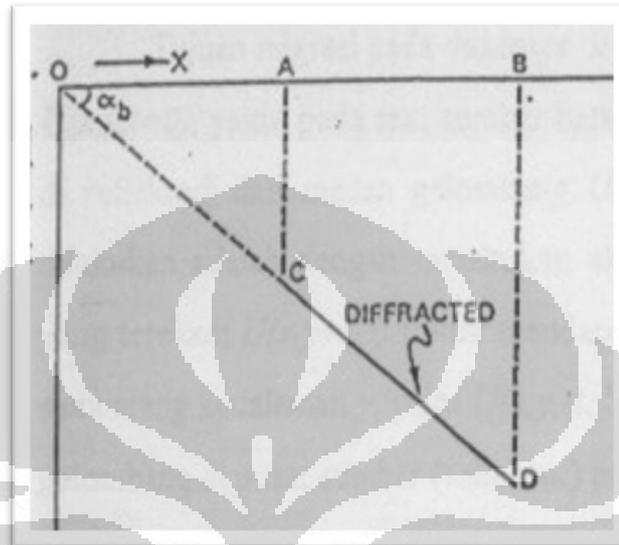
Migrasi data seismik adalah suatu proses pengolahan data seismik yang bertujuan untuk memetakan *event-event* seismik pada posisi yang sebenarnya (Sheriff and Geldart, 1995). Pengolahan data seismik secara umum dibagi menjadi 4 kategori utama (Berkhout and Wulfften, 1980) yakni:

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

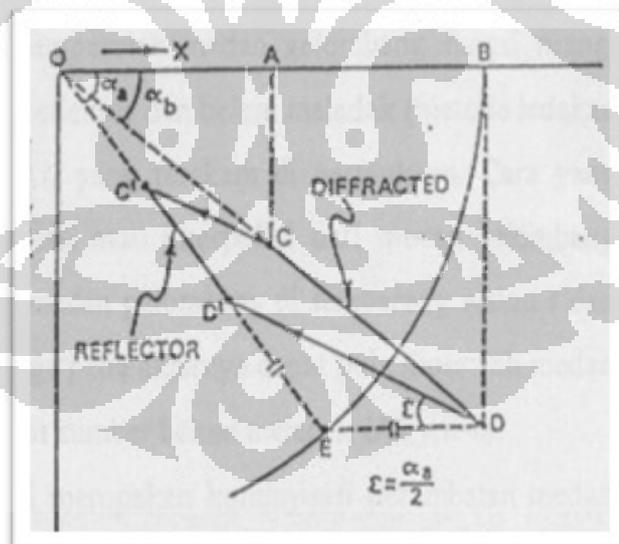
Proses migrasi yang menghasilkan penampang migrasi dalam kawasan waktu disebut dengan migrasi waktu (*time migration*). Migrasi ini umumnya dapat berlaku selama variasi kecepatan secara lateral kecil hingga sedang. Jika variasi kecepatan lateral besar, migrasi waktu ini tidak dapat menghasilkan gambar bawah permukaan dengan baik dan benar. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan teknik migrasi dalam kawasan kedalaman (*depth migration*), di mana hasil migrasi ditampilkan dalam kawasan kedalaman, sehingga menghasilkan gambar bawah permukaan sesuai dengan kondisi geologi yang sebenarnya.

2.3.1 Prinsip Dasar Migrasi Seismik

Prinsip dasar migrasi seismik secara geometris seperti terlihat pada **Gambar 2.3.** dibawah ini,



(a)



(b)

Gambar 2.3. Tahapan Migrasi Seismik Dari Reflektor Miring, (a) Penampang Rekaman Seismik Reflektor CD, (b) Hasil Proses Migrasi C'D' (Sheriff and Geldart, 1995)

Konstruksi geometri pada **Gambar 2.3**. menunjukkan bahwa reflektor pada penampang waktu $C'D'$ harus dimigrasi ke posisi kedalaman yang sesungguhnya. Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari **Gambar 2.3** adalah:

1. Sudut kemiringan dalam penampang geologi lebih besar daripada dalam penampang waktu, dengan demikian migrasi akan mencuramkan reflektor.
2. Panjang reflektor seperti yang diperlihatkan dalam penampang geologi, lebih pendek daripada dalam penampang waktu, dengan demikian proses migrasi akan memperpendek reflektor.
3. Proses migrasi akan memindahkan reflektor miring relatif ke arah atas.

Rekonstruksi pada **Gambar 2.3** dapat dilakukan pada tahapan-tahapan :

- a. Memperpanjang garis CD sampai memotong permukaan di titik O ,
- b. Menggambar sebuah garis tegak lurus sampai ke permukaan dari titik D , titik perpotongannya dinotasikan sebagai titik B ,
- c. Menggambar sebuah lingkaran dengan O sebagai pusat, berjari-jari OB ,
- d. Menggambar garis horizontal dari titik D hingga memotong lingkaran tersebut, titik potongnya dinamakan titik E ,
- e. Menghubungkan pusat lingkaran O ke titik E untuk menentukan sudut migrasi (α_a), dan
- f. Menentukan titik D' dengan menggunakan hubungan $ED=ED'$. D' adalah titik hasil migrasi dari titik D . Sudut DD' adalah $\varepsilon=\alpha/2$. Dengan memproyeksikan garis CD dengan sudut ε tersebut ke garis OE , maka proses migrasi telah selesai, dengan hasil garis $C'D'$.

Seandainya semua titik pada garis CD diproyeksikan ke permukaan dan panjang setiap garis proyeksi dijadikan sebagai jari-jari lingkaran, maka hasil penjumlahan dan penggabungan semua titik singgung antara lingkaran-lingkaran tersebut dengan garis khayal yang memotong titik O akan membentuk suatu garis dengan kemiringan tertentu. Garis yang terbentuk inilah yang merupakan reflektor yang sebenarnya, yaitu garis $C'D'$.

Dalam terminologi migrasi, lingkaran-lingkaran tadi disebut dengan pola-pola difraksi dari suatu titik reflektor yang memiliki catatan waktu kedatangan gelombang tertentu, dalam hal ini didefinisikan sebagai jari-jari lingkaran. Prinsip inilah yang merupakan asal mula dari pengembangan metode migrasi dengan penjumlahan amplitudo sepanjang kurva difraksi yang lebih dikenal dengan sebutan migrasi integral Kirchhoff. Prinsip migrasi ini dapat berlaku baik untuk migrasi dalam kawasan waktu maupun untuk migrasi dalam kawasan kedalaman.

2.3.2 Konsep Migrasi seismik

Migrasi merupakan suatu proses mengembalikan perambatan gelombang. Aspek teknis dari proses migrasi dapat dipandang dari sudut yang berbeda yaitu :

1. Migrasi sebagai suatu proses kontinuitas ke atas
2. Migrasi sebagai suatu proses penjumlahan difraksi
3. Migrasi sebagai suatu *reverse time*.

Aspek-aspek tersebut menggambarkan tujuan yang sama akan tetapi menggunakan pendekatan yang digunakan berbeda.

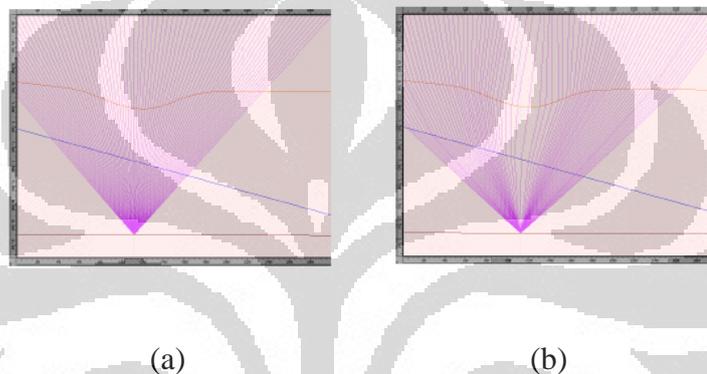
2.4. Klasifikasi Migrasi

Migrasi data seismik sebagai bagian dari proses pengolahan data seismik berusaha menghilangkan pengaruh difraksi dan efek kemiringan reflektor. Ada banyak metode migrasi yang digunakan untuk menghasilkan penampang seismik yang mendekati struktur geologi bawah permukaan. Migrasi dilakukan untuk memindahkan reflektor miring ke posisi sebenarnya di bawah permukaan dan menghilangkan pengaruh difraksi, dengan cara ini kemenerusan penampakan bawah permukaan dapat digambarkan secara detail, misalnya bidang patahan ataupun zona sesar.

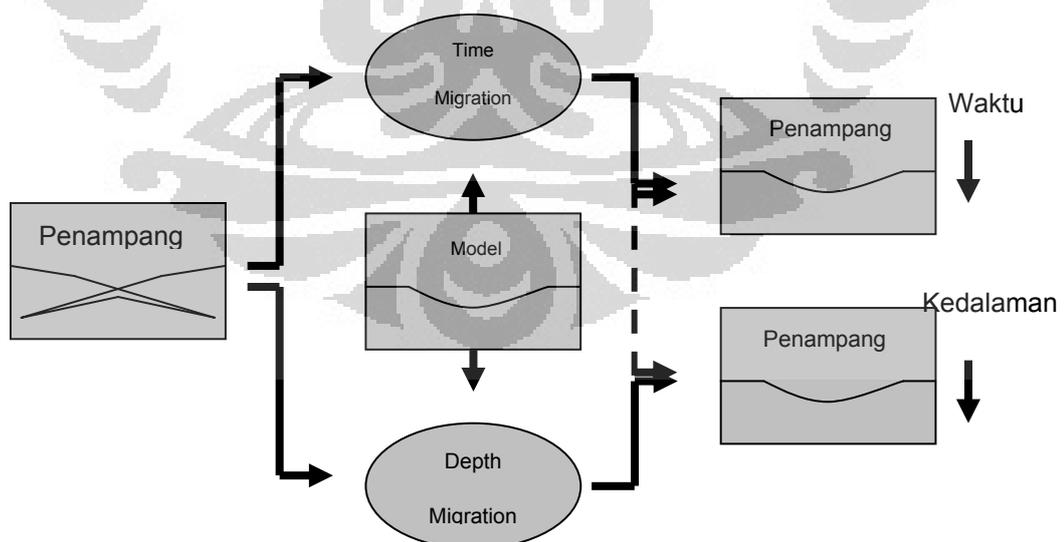
Migrasi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori antara lain berdasarkan kawasan dimana migrasi bekerja, berdasarkan urutan tipe, dan berdasarkan algoritma yang dipakai.

2.4.1. Migrasi Berdasarkan Kawasan

Migrasi berdasarkan kawasan dimana migrasi bekerja dibedakan menjadi dua macam yaitu migrasi waktu (*time migration*) dan migrasi kedalaman (*depth migration*). Perbedaan mendasar antara *time migration* and *depth migration* bukanlah masalah domain waktu ataupun domain kedalaman, akan tetapi yang membedakan hanyalah model kecepatan yang digunakan (Abdullah, 2007). *Time migration* memiliki variasi kecepatan yang *smooth* dan *depth migration* memiliki kecepatan yang kompleks.



Gambar 2.4. Analogi perambatan gelombang pada (a) *Time Migration* dan (b) *Depth Migration* (Paradigm Geophysical Corp, 2008)



Gambar 2.5. Perbedaan Hasil Akhir *Time Migration* dan *Depth Migration* (Abdullah, 2007)

2.4.1.1. Migrasi Waktu (*Time Migration*)

Seperti terlihat pada **Gambar 2.4**, bahwa migrasi waktu (*time migration*) berasumsi pada perambatan gelombang lurus di bawah permukaan. Hasil akhir dari proses migrasi waktu adalah berupa penampang seismik yang ditampilkan dalam skala waktu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. Migrasi ini berasumsi bahwa model kecepatan merupakan gradien kecepatan vertikal. Dari asumsi tersebut perbedaan antara sumbu waktu dan sumbu kedalaman hanya dalam skalanya saja.

Pada proses kontinuasi ke bawah untuk setiap pencuplikan (*sample*) dilakukan dengan Δ_t konstan, sehingga berlaku persamaan (2.9);

$$\Delta_z = \Delta_t \frac{V}{2} \quad (2.9)$$

Dimana Δ_t adalah interval pencuplikan dengan nilai konstan dari penampang waktu, V adalah kecepatan penjalaran gelombang pada medium yang dilewati, dan Δ_z adalah interval pencuplikan kedalaman. Kecepatan V yang digunakan dalam hal ini adalah kecepatan RMS. Dari pendekatan tersebut maka hasil migrasi waktu dapat ditampilkan secara langsung dalam penampang waktu.

2.4.1.2. Migrasi Kedalaman (*Depth Migration*)

Berbeda dengan migrasi waktu, dalam hal ini migrasi kedalaman seperti terlihat pada **Gambar 2.4** menggunakan asumsi gerak perambatan gelombang yang sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Hasil akhir dari proses migrasi kedalaman adalah berupa penampang seismik yang ditampilkan dalam penampang kedalaman seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. Sebagai *input* kecepatan untuk migrasi kedalaman adalah kecepatan interval, dimana kecepatan tersebut sangat sesuai untuk migrasi dengan pendekatan penjumlahan kurva difraksi. Model kecepatan ini dapat menelusuri dengan baik jejak-jejak sinar dari titik difraksi ke permukaan (Holt, 2002). Dari model kecepatan itu pula hasil akhir proses migrasi dapat ditampilkan langsung dalam penampang kedalaman.

2.4.2. Migrasi Berdasarkan Tipe

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

Migrasi *Post Stack* adalah metode migrasi yang dalam pengolahan datanya dilakukan setelah proses *stack*. Metode *Post Stack Migration* dilakukan setelah NMO dan setelah *stack*. Migrasi *Post Stack* dilakukan pada reflektor-reflektor yang sederhana atau memiliki kecuraman yang relatif datar. Metode migrasi *Post Stack* merupakan metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode *Pre-Stack*, terutama dalam algoritma dan proses yang dilakukannya (Yilmaz, 2000).

2.4.2.2. Migrasi Sebelum Stack (*Pre-Stack Migration*)

Pre-Stack Migration adalah proses migrasi yang dilakukan sebelum dilakukan proses *stack*. Pada suatu reflektor miring, pengaruh kemiringan reflektor dan *offset* yang besar akan menyebabkan kecepatan *stacking* (V_{stack}) lebih besar dari kecepatan *Root Mean Square* atau RMS (V_{rms}) (Utama, 2009). Sehingga jika pada reflektor miring diasumsikan V_{stack} sama dengan V_{rms} untuk menentukan kecepatan interval, maka hasil yang diperoleh tidak akurat. Selanjutnya informasi kecepatan yang tidak akurat ini tidak bisa menggambarkan model-model bawah permukaan yang sebenarnya.

Proses pengolahan data migrasi *pre-stack* meliputi koreksi statik sisa, pengaturan *trace* dalam tiap-tiap *common offset gather*, migrasi setiap *common offset gather* dari *offset* yang terdekat (*near offset*) sampai dengan *offset* terjauh (*far offset*), pengembalian lagi ke bentuk CDP *gather*, dan koreksi NMO (Chevron Geoscience Co., 1983). Pada proses pengolahan migrasi *pre-stack* dilakukan dengan cara memfokuskan energi *event* seismik sebelum proses *stack*, sehingga data untuk proses *stack* lebih sederhana. *Event* seismik akan ditempatkan pada tempat yang sebenarnya sebelum proses *stack*, sehingga akan membantu dalam proses *stack* tersebut. Dengan kata lain proses *Pre-Stack Migration* dan koreksi NMO akan mengoreksi ketidaktepatan posisi reflektor.

2.4.3. Migrasi Berdasarkan Algoritma yang Dipakai

2.4.3.1. Migrasi *Finite Difference*

Asumsi dasar yang dipakai untuk migrasi *finite difference* adalah teori reflektor meledak. Berawal dari teori tersebut maka migrasi merupakan proses kontinuasi ke bawah (Claerbout, 1985). Teknik migrasi ini didasarkan pada penyelesaian persamaan differensial gelombang skalar.

2.4.3.2. Migrasi Kirchhoff

Metode ini merupakan suatu pendekatan secara statistik di mana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama. Secara praktis migrasi Kirchhoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya.

2.4.3. Migrasi Frekuensi- Bilangan Gelombang (migrasi F-K)

Pada umumnya migrasi biasa dilakukan pada kawasan jarak (*offset*) dan waktu ($t-x$). Migrasi F-K adalah migrasi yang dilakukan dalam kawasan yang berbeda, yaitu kawasan frekuensi dan bilangan gelombang (Stolt, 1978).

2.5. *Pre Stack Time Migration (PSTM)*

PSTM merupakan teknik migrasi data seismik yang diterapkan sebelum proses stacking. Dibandingkan dengan *Post Stack Time Migration*, *Pre-Stack Time Migration* memberikan hasil yang lebih baik terutama untuk didalam pencitraan struktur yang cukup kompleks seperti *conflicting dips structure* dan pengurangan energi dari titik refleksi akibat *side swipe*.

Metodologi yang biasa diterapkan untuk melakukan PSTM adalah: *pertama*, melakukan konvolusi dengan *elliptical impulse response*, *kedua* dengan melakukan penjumlahan disepanjang *diffraction response curve* (Kirchhoff migration). Untuk metodologi yang pertama, data seismik disortir ke dalam domain *common-offset*. Selanjutnya data tersebut dikonvolusikan dengan *elliptical impulse*, dikarenakan PSTM biasanya memiliki variasi kecepatan yang *smooth*, maka *residual NMO corection* diterapkan setelah NMO yang utama. *Elliptical impulse response* dibangun berdasarkan persamaan *ellips* sbb:

$$\frac{x^2}{L^2} + \frac{z^2}{d^2} = 1$$

$$L^2 = h^2 + d^2 \quad (2.10)$$

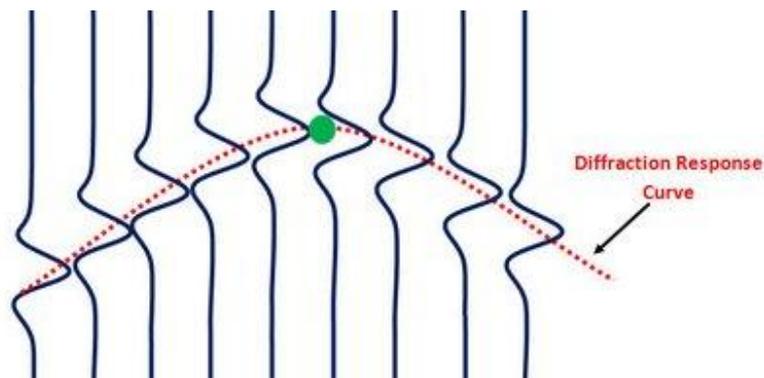
Dimana h merupakan *offset/2*, L adalah $T/2$, z merupakan kedalaman = $V \cdot T/2$, sedangkan $x = \text{offset}$, dan T adalah waktu (TWT).

Cara yang kedua untuk PSTM adalah dengan melakukan penjumlahan disepanjang *diffraction response curve* (Kirchhoff migration). *Diffraction Response curve* dapat dibangun berdasarkan persamaan (2.11) berikut ini:

$$T = \frac{(\sqrt{(y-h)^2+z^2} + \sqrt{(y+h)^2+z^2})}{V} \quad (2.11)$$

Dimana T adalah waktu tempuh, z adalah kedalaman, $z = V \cdot T_0/2$, h adalah *offset/2*, y adalah *aperture*, z merupakan kedalaman, dan V adalah kecepatan RMS sementara T_0 adalah waktu pada kecepatan V .

Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan *diffraction response curve* (ditunjukkan kurva putus-putus) yang dibangun berdasarkan persamaan (2.11) di atas. PSTM dengan teknik ini hanyalah penjumlahan di sepanjang kurva putus-putus tersebut. Penjumlahan dari sinyal akan saling menguatkan, sedangkan penjumlahan dari *noise* akan saling menghilangkan, sehingga difraksi yang disebabkan oleh titik bulat (tengah) akan dikembalikan seperti keadaan sesungguhnya.



Gambar 2.6 Kurva Respons Difraksi (Abdullah, 2007)

2.6. Pre-Stack Depth Migration (PSDM)

Pre Stack Depth Migration (PSDM) merupakan teknik migrasi sebelum *stack* dengan variasi kecepatan medium sangat kompleks seperti *thrust belt*, zona di sekitar karbonat (*reef*), kubah garam, dll (Holt, 2007). Yang membedakan *time migration* dan *depth migration* bukanlah masalah domain waktu atau domain kedalaman akan tetapi yang membedakan di antara kedua metode tersebut adalah model kecepatan yang digunakan. *Time migration* memiliki variasi kecepatan yang *smooth* dan *depth migration* memiliki kecepatan yang kompleks. PSDM dilakukan dalam domain waktu, konversi kecepatan ke dalam domain kedalaman adalah untuk keperluan perhitungan waktu tempuh untuk mencari solusi Kirchhoff *migration operator*. Demikian juga dengan seismik yang di konversi menjadi kedalaman adalah untuk pembandingan model geologi dalam pembuatan model kecepatan.

PSDM dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (tahapan di bawah hanya salah satu contoh, tahapan yang digunakan dalam proses PSDM akan sangat mempengaruhi hasil yang akan didapatkan);

1. Data di-*sorting* dalam CMP atau *shot gather* (domain waktu)
2. *Data conditioning*: edit geometri, filtering, AGC, koreksi statik, koreksi *spherical divergence*, *noise attenuation*, dll.
3. Analisa kecepatan I
4. *Velocity stack* (dapat diproduksi berupa *time* atau *depth domain*)

Universitas Indonesia

5. *Initial structural interpretation (depth domain)* untuk model kecepatan
6. PSTM (dengan menggunakan *time domain velocity*)
7. Analisa kecepatan II dari PSTM CMP *gather*
8. Dengan menggunakan model kecepatan II dilakukan PSDM
9. Produksi CRP (*Common Reflection Point*) *gather* (dalam domain kedalaman)
10. *Velocity Analysis* dari CRP *gather* (domain kedalaman)
11. *Sorting* ke dalam CMP *gather* jika analisis dilakukan dalam *shot gather*
12. *Stacking*
13. *Depth Migrated Section / Volume*
14. Jika hasil akhirnya masih berbeda dengan model geologi yang diharapkan, diterapkan metodologi lanjut untuk memperbaiki model kecepatan seperti *reflection tomography* atau kembali ke tahap (7).

2.7. Migrasi Kirchhoff

Migrasi Kirchhoff atau sering disebut dengan migrasi penjumlahan Kirchhoff adalah metode migrasi yang didasarkan pada penjumlahan kurva difraksi (*diffraction summation*). Metode ini merupakan suatu pendekatan secara statistik di mana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama. Secara praktis migrasi Kirchhoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya.

Suatu bidang reflektor (horizon reflektor untuk penampang 2 dimensi) representasinya pada penampang *offset nol* adalah superposisi dari hiperbola-hiperbola difraksi dari titik-titik pada bidang tersebut yang bertindak sebagai *Huygens Secondary Source*. Migrasi Kirchhoff membawa titik-titik pada hiperbola difraksi ke puncak-puncaknya menghasilkan titik-titik yang berada pada posisi seharusnya.

Migrasi Kirchhoff dapat dilakukan dalam suatu migrasi kawasan waktu menggunakan kecepatan RMS dan straight ray atau dalam migrasi kawasan kedalaman menggunakan kecepatan interval dan *ray tracing*.

Keuntungan utama dari migrasi Kirchhoff ini adalah penampilan kemiringan curam yang baik. Sedangkan salah satu kerugiannya adalah kenampakan yang buruk jika data seismik mempunyai *signal to noise* yang rendah.

2.8. Migrasi *Normal Incidence Ray* dan Migrasi *Image Rays*

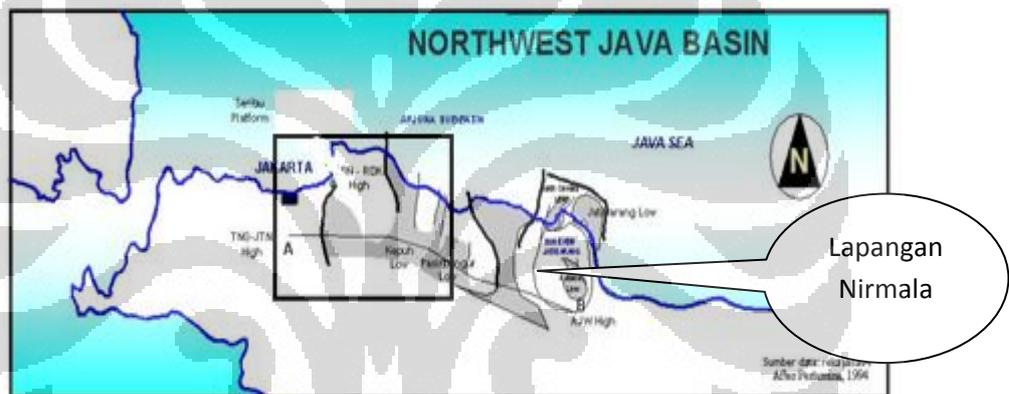
Migrasi *Normal Incidence Ray* merupakan transformasi dari horison kawasan waktu ke kedalaman. Sedangkan *Image Ray Migration* digunakan untuk mengubah horison kawasan waktu yang termigrasi ke kedalaman. *Image Ray Migration* memiliki prosedur yang sama dengan *Normal Incidence Migration* dalam prosesnya. Perbedaannya pada input data yang digunakan.

BAB 3 DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1. Data Studi

3.1.1 Lokasi Akuisisi Data

Daerah yang menjadi objek studi adalah lapangan Nirmala (bukan nama sebenarnya) yang merupakan salah satu lapangan minyak dan gas PERTAMINA EP Region Jawa yang berada di Cekungan Jawa Barat Utara.



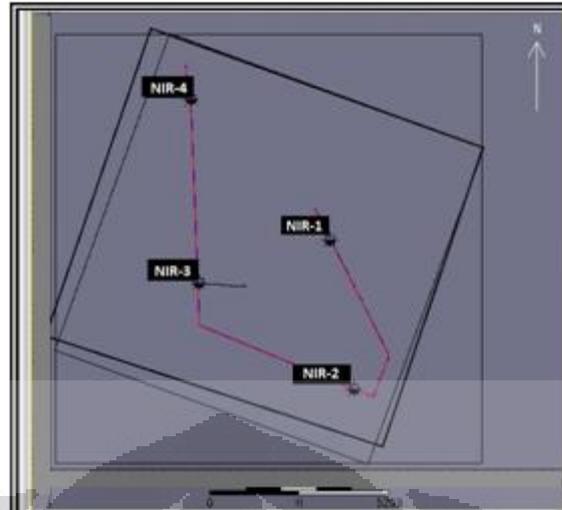
Gambar 3.1. Lokasi Daerah Studi, Lapangan Nirmala (Pertamina, 1994)

3.1.2. Data Utama

Data yang digunakan dalam studi antara lain;

a. CDP *Gathers*

CDP *gathers* yang digunakan terdiri atas *inline* (IL) dan *crossline* (XL). Rentang *inline* dari IL 1320 s.d. IL 1440 dengan interval 25 m, sementara rentang *crossline* dari XL 5001 s.d. XL 5240 dengan interval 12,5 m. *Record length* 6000 ms. *Base map* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2. *Base Map* Daerah Studi, Lapangan Nirmala

b. *RMS Velocity*

RMS velocity hasil pengolahan data awal (*Preprocessing*)

c. *Time Migrated Horizon*

Time migrated horizon yang digunakan terdiri atas 7 horizon, antara lain;

- i. PARIGI (nama horizon untuk Formasi Parigi),
- ii. PARIGI_LITH (nama horizon untuk Formasi Parigi Lith),
- iii. PARIGI_B (nama horizon untuk Formasi bawah PARIGI),
- iv. MMC (nama horizon untuk Formasi Cibulakan Atas),
- v. BOT_MMC (nama horizon untuk Formasi Bawah Cibulakan Atas),
- vi. BRF_LITH (nama horizon untuk Formasi Baturaja), dan
- vii. SB0_Full (nama horizon untuk formasi Talang Akar).

3.1.3. Data Penunjang

3.1.3.1. *Sonic Log*

Sonic log mengukur kecepatan gelombang $P(V_p)$ atau inversinya ($1/V_p$) yang biasa disebut kelambatan (*slowness*) pada formasi yang ditembus mata bor dengan jarak interval 1 *feet*. Waktu yang diperlukan gelombang untuk sampai ke *receiver* disebut *interval transit time*.

Hasil pengukuran *sonic log* biasanya dapat mewakili kecepatan batuan *subsurface* yang mendekati kenyataan. Nilai pengukuran yang tidak akurat biasanya disebabkan oleh *cave-ins*, *cycle skipping* dan *mud infiltration*. Data sonic log dalam studi ini diperoleh dari data dua sumur yaitu sumur NIR-1, NIR-2, NIR-3, dan NIR-4.

3.1.3.2. Marker Log

Marker log adalah data pengukuran sumur yang memberikan informasi mengenai kedalaman lapisan batuan atau formasi yang ada pada daerah studi. Data ini digunakan untuk menentukan batas lapisan, misalnya *top formasi* maupun *bottom formasi* yang berguna untuk keperluan interpretasi. Data ini juga digunakan untuk *mistie* analisis pada penampang seismik yang diharapkan dapat mendukung hasil analisis di daerah yang bersangkutan, khususnya mengenai kedalaman masing-masing horizon yang telah didapatkan.

3.2. Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data dibagi ke dalam dua bagian besar, yakni *time model* dan *depth model*.

3.2.1. Time Model

Pada studi ini, sebelum proses PSDM, terlebih dahulu dilakukan proses PSTM (*Prestack Time Migration*). Proses PSTM ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama menggunakan penampang kecepatan RMS dari kecepatan *stacking* dan tahap kedua dengan menggunakan penampang kecepatan RMS berdasarkan horizon yang telah dilakukan interpretasi sebelumnya. Tahap ini dilakukan untuk memberikan kontrol struktural terhadap model kecepatan RMS yang dibuat.

Kecepatan RMS untuk setiap horizon dibuat lebih akurat dengan menggunakan modul *velocity navigator* dengan tipe aplikasi: penghalusan (*refinement*) kecepatan RMS sepanjang horizon waktu termigrasi.

3.2.1.1. Analisis Horizon

Studi ini diawali dengan melakukan analisis horizon pada penampang seismik *time migrated* 3D hasil pengolahan data *Team* G&G PT Pertamina EP Region Jawa. Dalam proses ini dilakukan penentuan horizon yang akan digunakan untuk proses membangun volume kecepatan RMS dan kecepatan interval.

Tujuh horizon digunakan dalam studi ini. Horizon tersebut antara lain: PARIGI, PARIGI_LITH, PARIGI_B, MMC, BOTH_MMC, BRF_LITH, dan SB0_Full. Setiap horizon memiliki warna yang berbeda. Pewarnaan horizon bermanfaat untuk keperluan identifikasi setiap horizon. Penentuan urutan horizon dari satu sampai tujuh merupakan urutan horizon yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya, dan tidak boleh dirubah selama studi.

	Formation	Color/Pattern
0	Floating_datum	Black
1	PARIGI	Orange cross-hatch
2	PARIGI_LITH	Blue
3	PARIGI_B	Brown cross-hatch
4	MMC	Purple
5	BOT_MMC	Cyan cross-hatch
6	BRF_LITH	Green cross-hatch
7	SB0_Full	Red cross-hatch

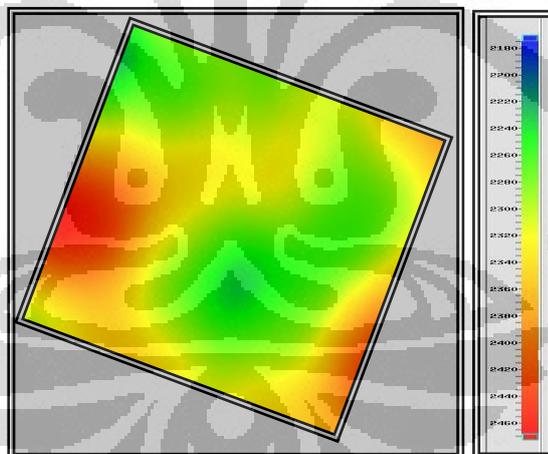
Gambar 3.3. *Surface Table* Menunjukkan 7 Horizon Yang Akan Dianalisis Dalam Proses PSDM.

3.2.1.2. Membuat Peta Model 3D dari Horizon Termigrasi

Setelah menentukan horizon yang termigrasi dalam kawasan waktu, langkah selanjutnya adalah membuat peta model tiga dimensi (3D) dari ketujuh horizon tersebut. Pembuatan model tiga dimensi diperlukan untuk membangun volume model kecepatan RMS dalam ruang tiga dimensi. Nama dan urutan horizon sesuai dengan *surface table* pada **Gambar 3.3**.

3.2.1.3. Membuat Peta Model 3D dari Interpretasi Kecepatan RMS

Kecepatan RMS hasil input data digunakan untuk membuat peta model 3D yaitu dengan melakukan *intersection* fungsi vertikal dengan model 3D horizon yang telah termigrasi dari proses sebelumnya (langkah 3.3.1.2). **Gambar 3.4** menunjukkan peta model 3D Formasi Baturaja hasil dari interpretasi kecepatan RMS.

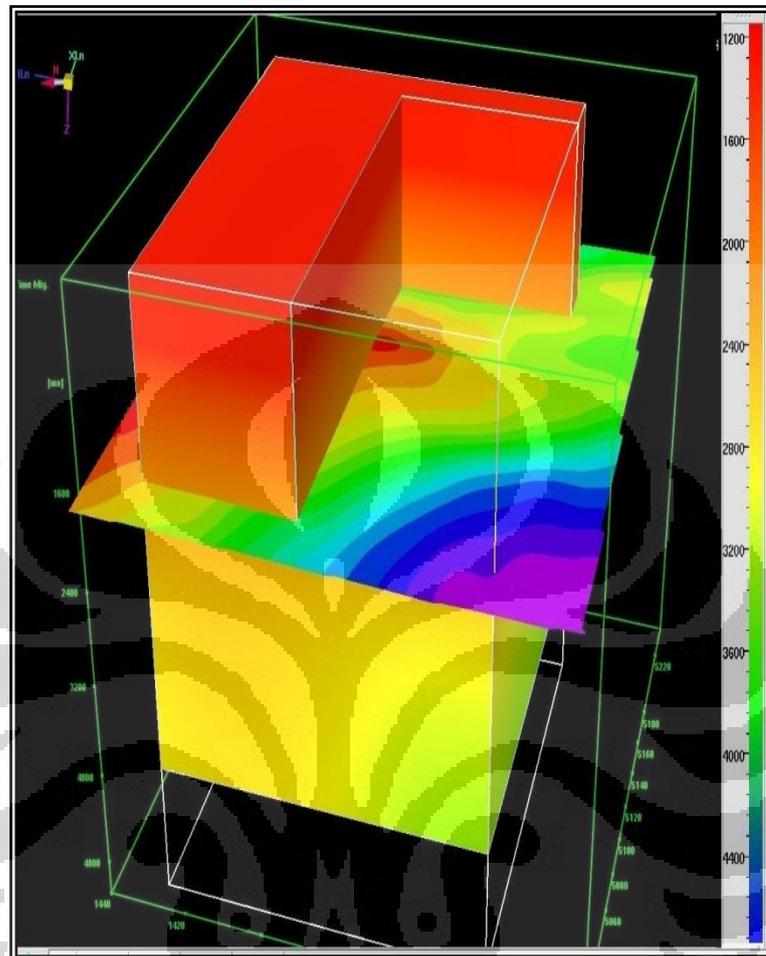


Gambar 3.4. Peta Model 3D Formasi Baturaja dari Interpretasi Kecepatan RMS

3.2.1.4. Membangun Model Awal Volume Kecepatan RMS

Tahap setelah analisis horizon dan membangun peta model 3D dari tujuh horizon termigrasi dan interpretasi kecepatan RMS adalah membangun volume kecepatan

RMS awal. Model volume kecepatan RMS digunakan untuk membuat volume *Pre-Stack Time Migration* (PSTM)



Gambar 3.5. Model Awal Volume Kecepatan RMS

3.2.1.5. *Pre-Stack Time Migration* (PSTM)

Volume kecepatan RMS yang telah dibangun pada proses 3.3.1.4 digunakan sebagai input bersama *CDP gathers* (data utama) untuk membentuk Model 3D *Pre-Stack Time Migration* (PSTM).

3.2.1.6. Perbaikan Penampang *Pre-Stack Time Migration* (PSTM)

3D-PSTM menghasilkan gambar yang teliti seperti *gathers* termigrasi dan penampang seismik. kecepatan RMS yang teliti akan menghasilkan penampang yang baik pula. Namun, dalam proses PSTM masih terdapat *noise* ataupun *image* yang kurang jelas, masalah tersebut dapat diselesaikan dengan proses perbaikan penampang PSTM yakni dengan melakukan *Automatic Gain Control* (AGC).

3.2.2. Depth Model

Model kedalaman (*depth model*) dan model kecepatan interval diturunkan dari model kecepatan RMS yang diperoleh dari PSTM. Pada tahap ini meliputi proses membangun model kecepatan interval hingga proses analisis tomografi.

3.2.2.1. Membangun Model Kecepatan Interval

Membangun penampang seismik dalam kawasan kedalaman diperlukan masukan berupa kecepatan interval dan CDP *gathers* yang sudah atau mendekati datar (*flat gathers*). *Input* dalam pembuatan penampang seismik kawasan kedalaman memerlukan kualitas kecepatan interval yang baik karena dalam proses membangun *image Pre-stack Depth Migration* dengan model kecepatan interval memerlukan waktu dan tenaga yang lebih besar dari pengolahan *Pret-Stack Time Migration*, baik kemampuan *processor computer* maupun penyimpanannya (*storage*) sehingga harus benar-benar efektif dan efisien.

Kecepatan interval diperoleh dari kecepatan RMS hasil pengolahan data *processing* sebelumnya. Kecepatan RMS yang digunakan dalam *input* ini harus baik. Pembuatan model kecepatan interval terdapat beberapa langkah didalamnya, seperti membuat model peta kecepatan interval dan membuat peta model 3D serta mengubah horizon yang telah termigrasi dalam kawasan waktu ke dalam horizon kawasan kedalaman. Rumus dasar konversi kecepatan RMS ke kecepatan interval adalah formula Dix.

Prosedur untuk memperkirakan kecepatan setiap lapisan dan kedalaman reflektor menggunakan formula Dix meliputi beberapa langkah:

1. Ekstraksi kecepatan RMS pada horison kawasan waktu yang telah termigrasi.
2. Menggunakan formula Dix untuk menghitung kecepatan interval pada setiap lapisan.
3. Menggunakan kecepatan interval dan batas waktu setiap lapisan untuk menghitung kedalaman pada batas lapisan. Jika *input* berasal dari yang belum termigrasi gunakan *normal-incidence rays* untuk konfersi kedalaman. Jika masukan berasal dari yang telah termigrasi maka digunakan *image rays* untuk konversi kedalaman.

3.2.2.2. Mengubah Model Peta Kecepatan RMS ke Kecepatan Interval

Pembuatan model peta kecepatan interval diperoleh dari formula Dix dengan input model peta kecepatan RMS hasil pengolahan sebelumnya. Hasil pemetaan kecepatan interval selanjutnya dibuat model 3D. Dalam pembuatan peta kecepatan interval sangat penting untuk melakukan perbaikan dengan menghilangkan efek *noise* frekuensi tinggi akibat ekstrapolasi yang muncul setelah dilakukan analisis secara statistik, sehingga kecepatan interval tetap konsisten.

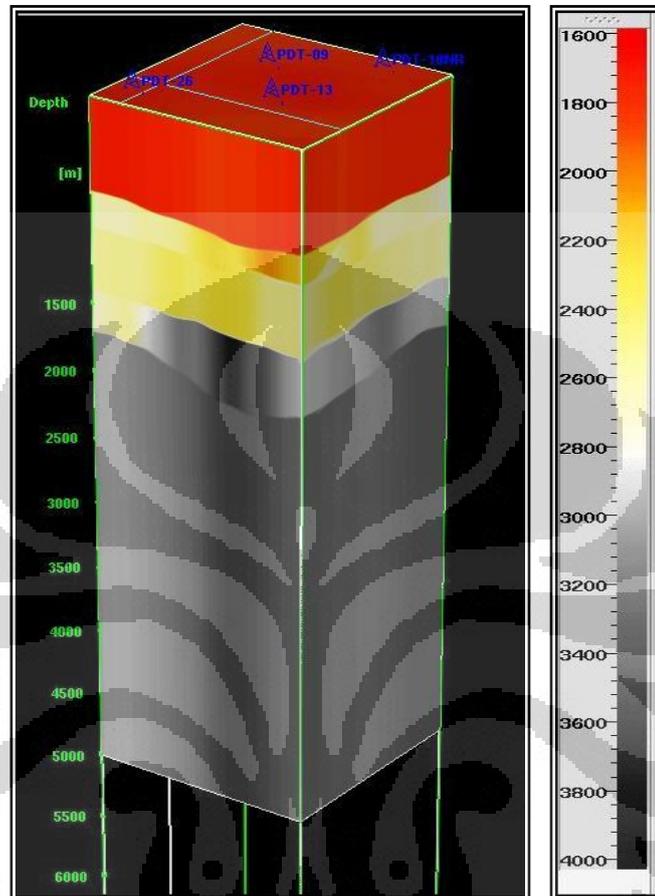
3.2.2.3. Mengubah Horizon Termigrasi Waktu ke Kawasan Kedalaman

Mengubah Horizon termigrasi kawasan waktu ke kawasan kedalaman dilakukan dengan proses transformasi *Image Ray Migration*. Hal ini dilakukan karena *input* berupa horizon yang telah termigrasi.

3.2.2.4. Membangun Model Awal Volume Kecepatan Interval

Tahap setelah mendapatkan peta kecepatan interval dari ketujuh horizon dan mengubah horizon termigrasi waktu ke kawasan kedalaman adalah membuat

volume kecepatan interval awal yang nantinya akan digunakan untuk membuat volume *Pre-Stack Time Migration* (PSTM)



Gambar 3.6. Model Awal Volume Kecepatan Interval

3.2.2.5. *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM)

Setelah mendapatkan volume kecepatan interval maka langkah selanjutnya adalah menjalankan proses *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM). 3D PSDM dilakukan dengan konsep migrasi Kirchhoff. Dalam *software* GeoDepth prosedur migrasi dilakukan dengan dua tahap, pertama menghitung waktu penjarangan (*traveltime*) gelombang dan yang kedua proses migrasi Kirchhoff. Dalam *software* GeoDepth terdapat beberapa *input* penting yang harus dimasukkan seperti *aperture* dan maksimum *depth*. *Input* yang dimasukkan akan sangat mempengaruhi waktu proses dan kualitas hasil yang diperoleh.

Dalam menjalankan *Pre-Stack Depth Migration*, dihasilkan *gathers* termigrasi dan penampang seismik. Studi akan selesai hingga tahap ini jika hasil penampang seismik yang dihasilkan dan *gathers* termigrasi memenuhi syarat *quality control*. Yakni penampang seismik sesuai dengan *marker log* yang ada, serta *gathers* yang dihasilkan lurus (*flat*). Jika tidak maka dilakukan langkah berikutnya, yakni *picking residual moveout* sepanjang horizon kemudian dilakukan proses analisis tomografi.

3.2.2.5. Picking Residual Moveout Sepanjang Horizon

Picking Residual moveout dilakukan disepanjang horizon di setiap lokasi *inline* ataupun *crossline*. Analisis *Residual Moveout* dilakukan untuk mendapatkan *gathers* yang lurus (*flat*). Analisis Residual ini merupakan satu dimensi, karena itu diperlukan *intersection* dari *depth* horizon dan *gather* termigrasi.

3.2.2.6. Membuat Model Peta 3D Hasil Picking Residual Moveout

Hasil dari proses *picking residual moveout* adalah peta *residual moveout* kedalaman yang digunakan sebagai input untuk melakukan analisis tomografi. Pemodelan kecepatan interval sangat penting, hal tersebut dikarenakan hasil migrasi kawasan kedalaman sangat dipengaruhi oleh model kecepatan interval awal, sedikit *error* dalam pemodelan cukup untuk mempengaruhi kualitas hasil migrasi. Untuk meningkatkan kualitas model kecepatan interval dapat dilakukan dengan metode tomografi.

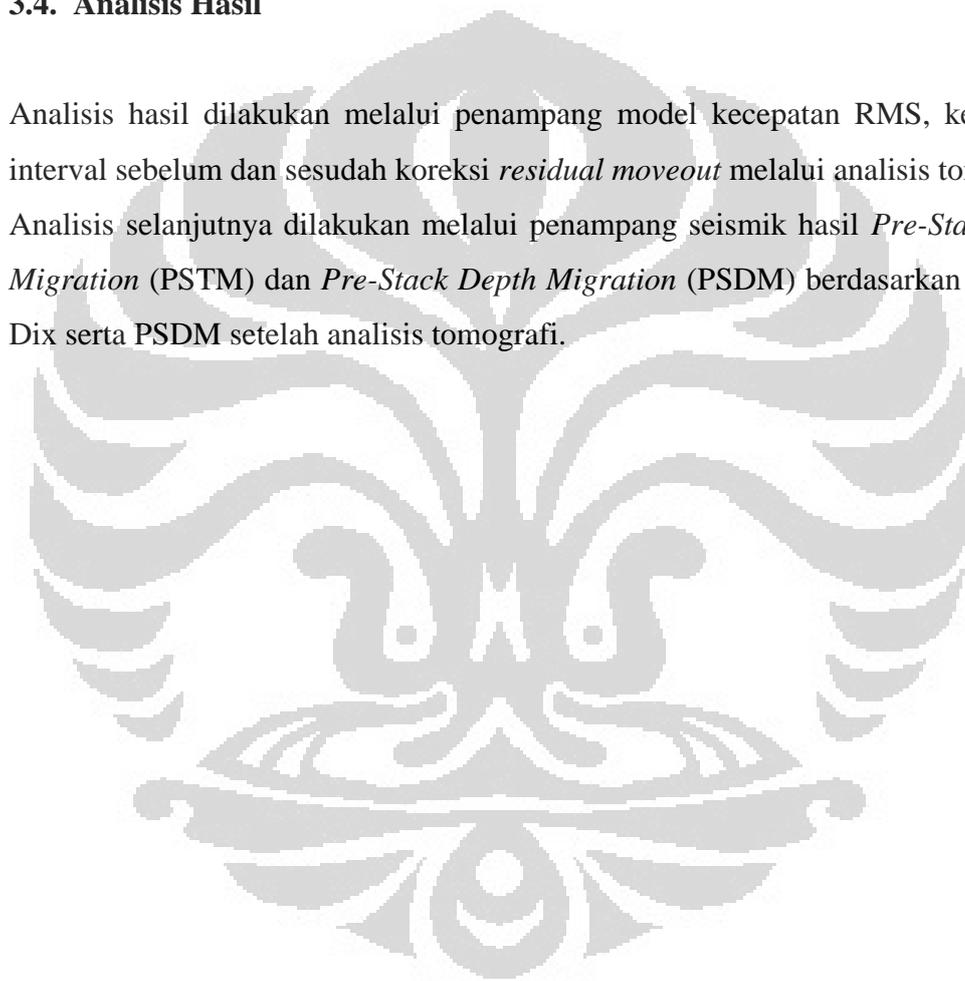
3.3. Analisis Tomografi

Tomografi merupakan cara yang tepat dan handal untuk memperbaiki model kecepatan pada kawasan kedalaman dengan melakukan analisis *residual delay* setelah proses *Pre-Stack Depth Migration*. Perbaikan model kecepatan interval untuk proses *pre-stack depth migration* dengan menggunakan metode tomografi merupakan hal yang sangat diperlukan dan cukup mampu untuk menghasilkan

penampang seismik yang berkualitas dan mencerminkan keadaan yang sebenarnya. Untuk mendapatkan keuntungan secara penuh dari migrasi dalam kawasan kedalaman, tomografi dengan segala kelebihanannya bisa digunakan untuk mengembalikan posisi reflektor pada lokasi yang sebenarnya, maka harus difokuskan pada pembuatan model kecepatan interval dengan sebaik-baiknya. **Gambar 1.2** menunjukkan diagram alir analisis tomografi.

3.4. Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan melalui penampang model kecepatan RMS, kecepatan interval sebelum dan sesudah koreksi *residual moveout* melalui analisis tomografi. Analisis selanjutnya dilakukan melalui penampang seismik hasil *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) dan *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) berdasarkan formula Dix serta PSDM setelah analisis tomografi.



BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Kecepatan dan *Gathers*

Secara umum langkah kerja dalam studi ini dapat dibagi menjadi dua langkah, pertama adalah membangun model kecepatan awal dan yang kedua membangun model kecepatan setelah perbaikan (*updating velocity*). Langkah *updating velocity* dilakukan dengan iterasi hingga mendapatkan model kecepatan yang baik.

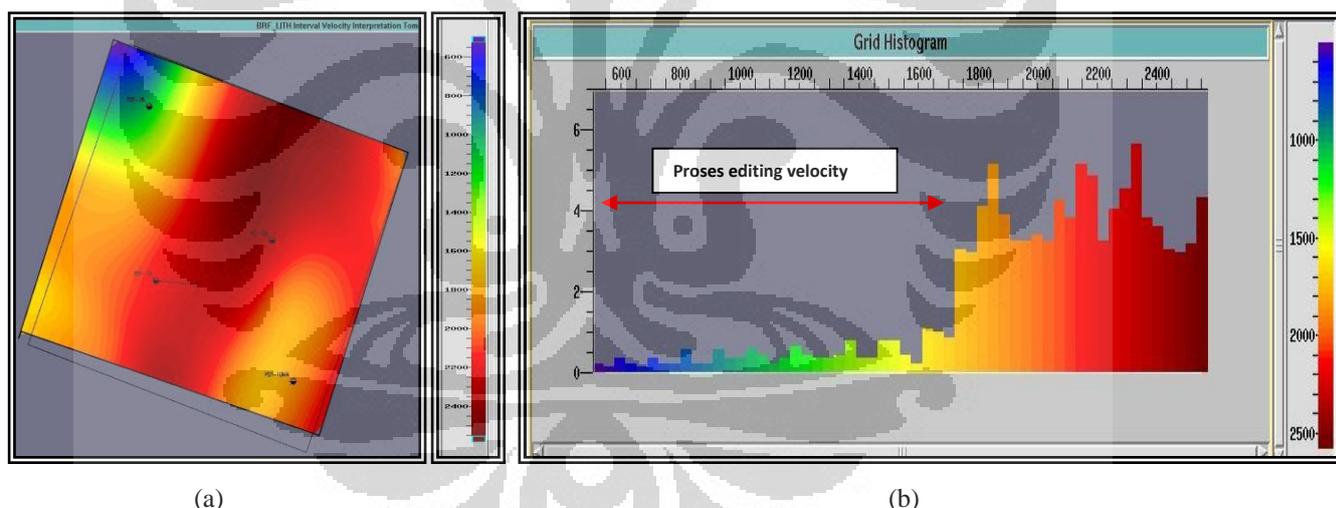
4.1.1. Membangun Model Awal

Dalam studi tiga dimensi (3D) pada umumnya membangun model kecepatan awal berdasarkan *input data* yang terdiri peta horizon termigrasi waktu dan kecepatan RMS. Langkah pertama dalam membangun model awal adalah membangun struktur model tiga dimensi (3D) dari horizon termigrasi kawasan waktu dan dari interpretasi kecepatan RMS. Setelah mendapatkan struktur model tiga dimensi, model awal kecepatan RMS seluruh volume bisa dijalankan proses *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) untuk mendapatkan penampang seismik.

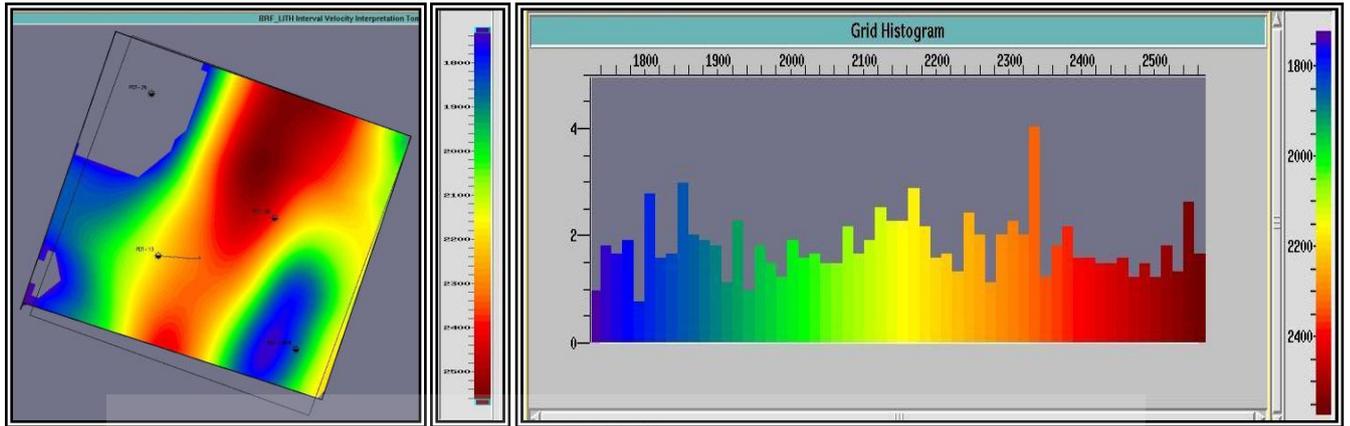
Langkah selanjutnya adalah membuat model kecepatan interval. Kecepatan RMS diubah menjadi kecepatan interval menggunakan formula Dix. Tahapan dalam proses ini meliputi beberapa langkah antara lain mengubah peta kecepatan RMS menjadi peta kecepatan interval, mengubah horizon yang termigrasi dalam kawasan waktu ke kawasan kedalaman, dan membuat struktur model tiga dimensi. Apabila struktur model 3D telah dibuat, model kecepatan interval awal bisa dibangun dan dapat digunakan untuk menjalankan *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) bersama CDP *gathers*.

4.1.2. Analisis Statistik Untuk Memperbaiki Model Kecepatan

Dalam proses membangun model kecepatan interval melewati prosedur *editing*, seperti analisis statistik. Analisis statistik dilakukan untuk menghilangkan data kecepatan yang tidak akurat, seperti efek kecepatan yang mempunyai nilai yang jauh berbeda dari kecepatan dominannya (*extreme*), efek tersebut biasanya muncul disekitar batas atau pinggiran area studi. Perbaikan ini penting untuk dilakukan, apabila hal tersebut dibiarkan akan merusak model lapisan kecepatan diatas maupun dibawahnya, apabila model kecepatan ini digunakan dalam proses *Pre-Stack Depth Migration* akan menghasilkan penampang seismik yang tidak akurat. **Gambar 4.1** menunjukkan analisis statistik dengan memotong data kecepatan yang relatif *extreme* dari kecepatan dominannya. Area yang ditandai panah dalam **Gambar 4.1** adalah area pemotongan data kecepatan yang tidak benar.



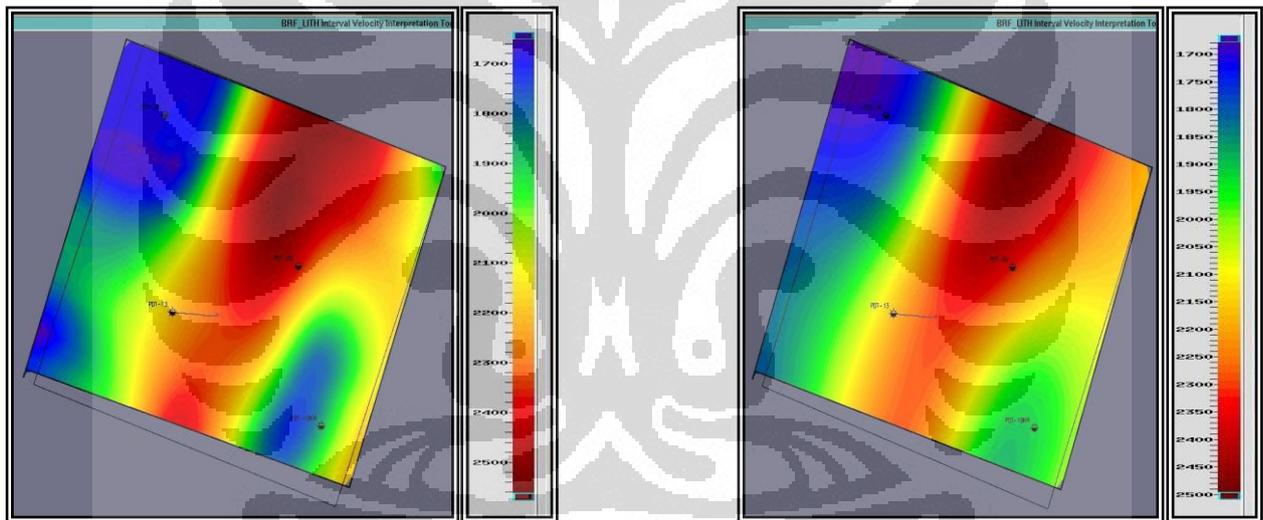
Gambar 4.1 (a) Peta Kecepatan Interval Dari Formasi Baturaja, (b) Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja



(a)

(b)

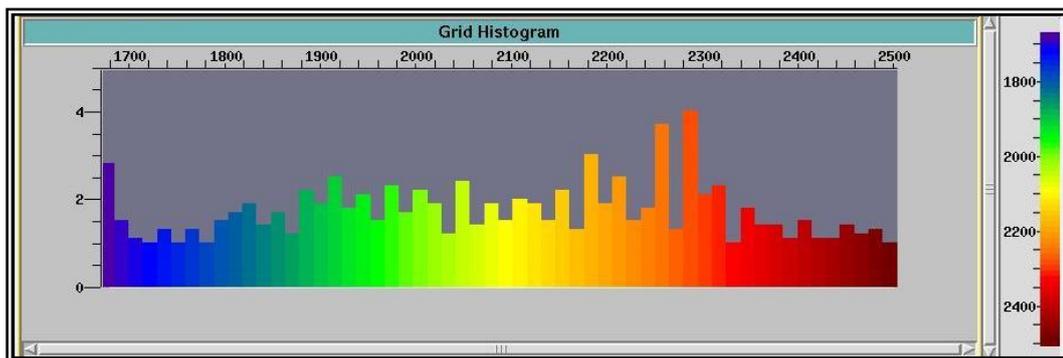
Gambar 4.2 (a) Peta Kecepatan Interval dari Formasi Baturaja Setelah Analisis Statistik *Grid*, (b) Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja Setelah Analisis Statistik *Grid*



(a)

(b)

Gambar 4.3. (a) Peta kecepatan Interval Dari Formasi Baturaja Setelah Dilakukan Extrapolation Bilinear (b) Peta Kecepatan Interval Dari Formasi Baturaja Setelah Dilakukan *Smoothing*



Gambar 4.4. Diagram Variasi Kecepatan Interval Formasi Baturaja Setelah Proses Editing

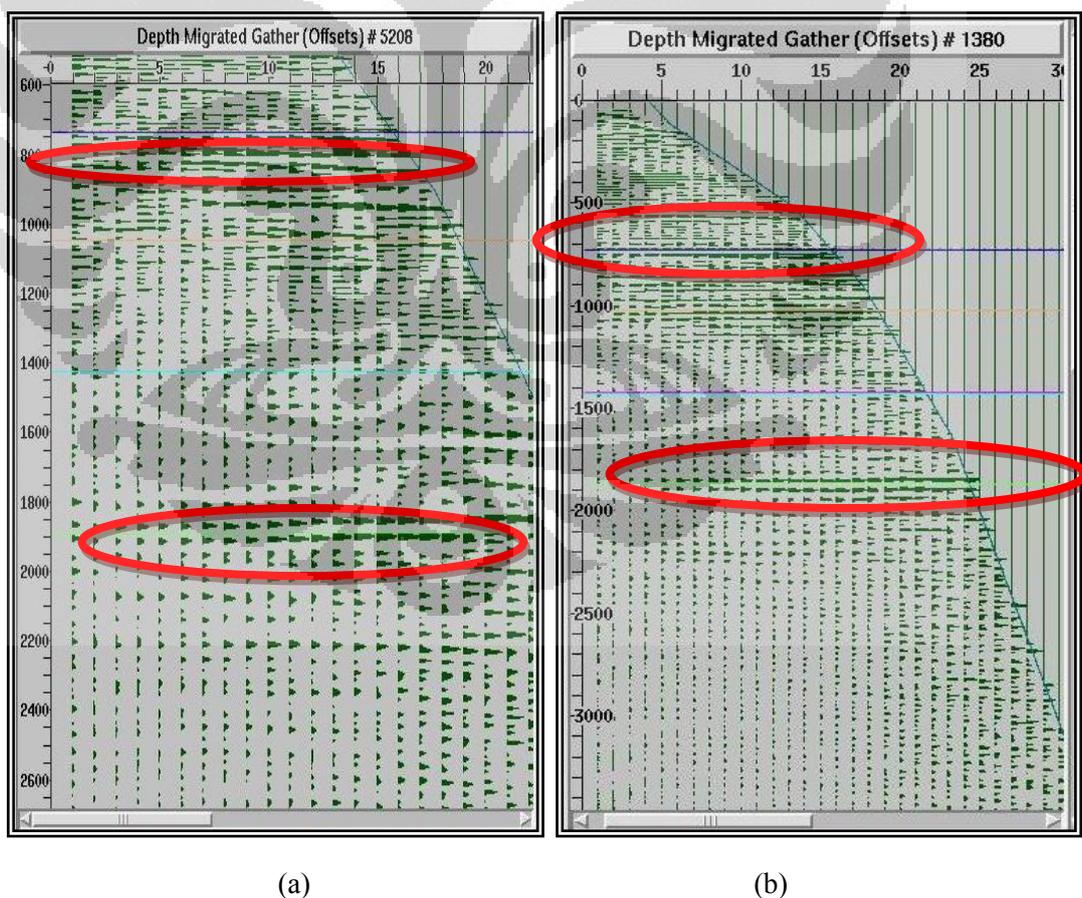
Dari **Gambar 4.1.b** terlihat bahwa variasi kecepatan interval pada Formasi Baturaja mulai dari 600 m/s hingga 2400 m/s, sementara informasi geologi yang didapat pada formasi tersebut, tidak memungkinkan terdapat kecepatan sebesar 600 m/s. Untuk menghilangkan nilai kecepatan interval yang tidak diinginkan sekaligus untuk mengurangi variasi kecepatan interval, pemotongan nilai kecepatan perlu dilakukan. Hasil pemotongan kecepatan interval ditunjukkan pada **Gambar 4.2.a**, sementara hasil distribusi kecepatan interval hasil pemotongan ditunjukkan oleh **Gambar 4.2.b**.

Proses *editing* kecepatan selanjutnya adalah dengan melakukan *extrapolation bilinear* yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.3.a**, hal ini dilakukan untuk mengisi nilai kecepatan yang hilang setelah proses analisis statistik *grid*. *Smoothing* juga perlu dilakukan setelah proses *extrapolation bilinear*, hal tersebut bertujuan untuk mengestimasi nilai yang sebenarnya dari data. Hasil *smoothing* dapat dilihat pada **Gambar 4.3.b**. Untuk mendapatkan hasil *editing* yang baik perlu dilakukan beberapa kali percobaan parameter sehingga mendapatkan kecepatan yang mendekati data kecepatan dari *log sonic*. Pada studi ini, diagram variasi kecepatan interval formasi Baturaja setelah proses *editing* ditunjukkan oleh **Gambar 4.4**.

4.1.3. Membangun Model Kecepatan Setelah Perbaikan (*Updating Velocity*)

Membangun model kecepatan setelah perbaikan disini adalah memperbaiki model kecepatan awal dengan melakukan *residual depth moveout* sepanjang horizon dan tomografi. Hasil *picking* residual moveout yang dilakukan pada jendela *velocity navigator* yang ditunjukkan pada **Lampiran A** digunakan sebagai koreksi model kecepatan awal sehingga diperoleh model kecepatan baru hasil perbaikan (*velocity refinement*).

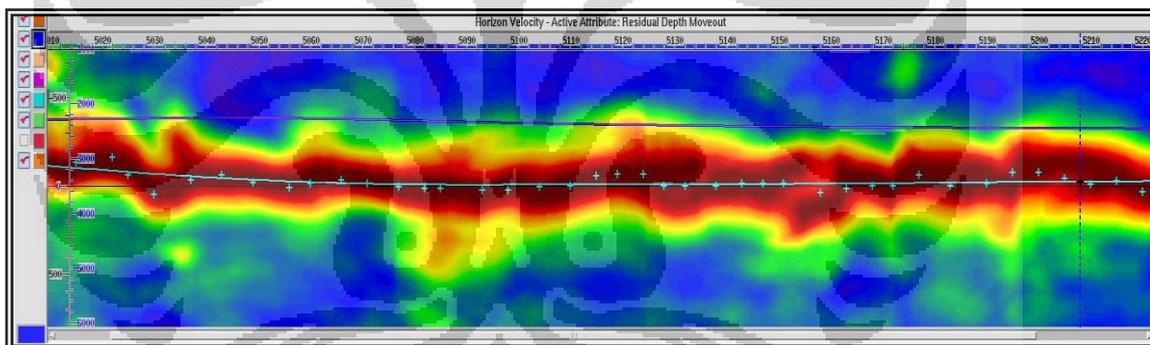
Tingkat kualitas dari model kecepatan yang digunakan pada *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM) dapat diperkirakan dengan melakukan analisis terhadap output dari *depth migrated gathers*, jika model kecepatan yang digunakan pada migrasi benar maka output dari *depth migrated gathers* menunjukkan bentuk yang datar, seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.5**.



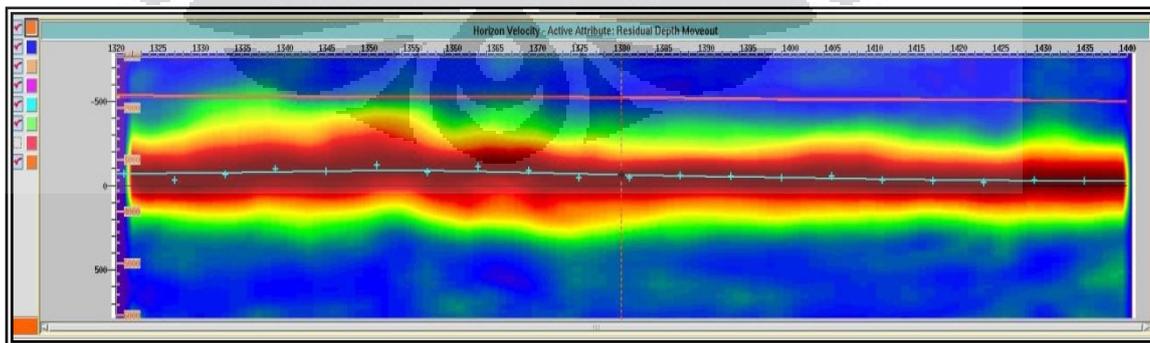
Gambar 4.5. *Depth migrated gathers* Menunjukkan Bentuk yang Datar Dalam Proses Refining Velocity pada (a) IL 1420 dan (b) XL 5190 Formasi Baturaja

Residual delay pada *depth migrated gather* tidak hanya mengurangi ketajaman pada penampang migrasi tetapi juga mengakibatkan posisi titik-titik pada bidang refleksi tidak sesuai akibat model yang tidak benar. Model kecepatan yang baru dihasilkan dari proses perbaikan kecepatan dengan metode tomografi akan dipakai lagi sebagai *input* pada *Pre-Stack Depth Migration*, proses ini akan terus diulang hingga diperoleh *depth migrated gather* yang datar.

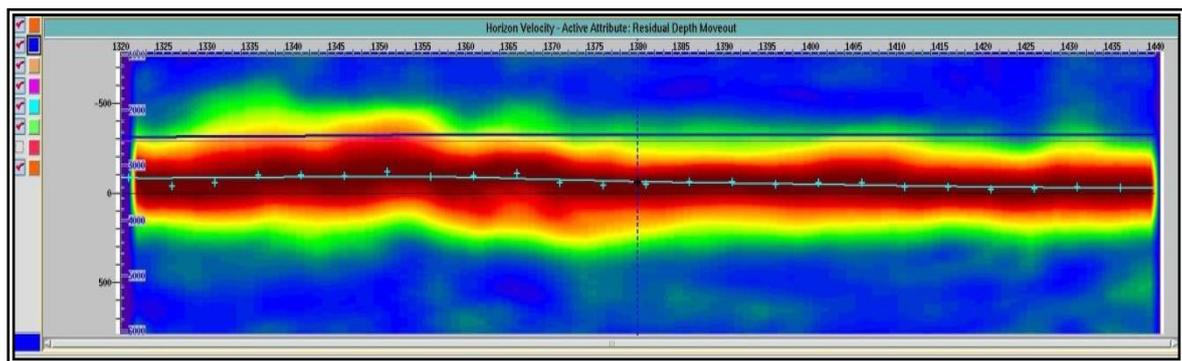
Selain bentuk *depth migrated* yang datar, *residual depth moveout* sepanjang horizon dan tomografi juga dikatakan berhasil jika *picking semblance* mencapai nilai maksimum, dan *depth delay* mendekati atau sama dengan nol seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6**. **Gambar 4.6 (a), (b), (c), dan (d)** menunjukkan *picking semblance* dan *depth delay* setelah *residual depth moveout* sepanjang horizon pada *crossline* (XL) 5160, XL 5213, XL5083, dan XL 5032 pada Formasi Baturaja.



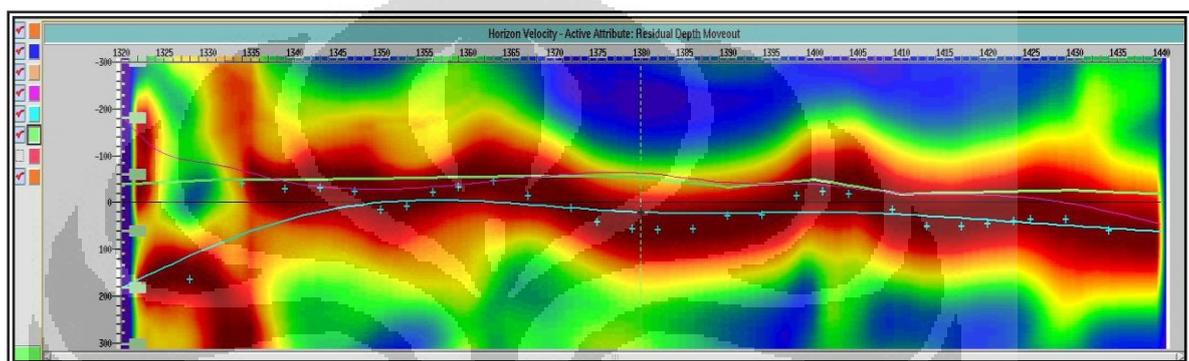
(a)



(b)



(c)



(d)

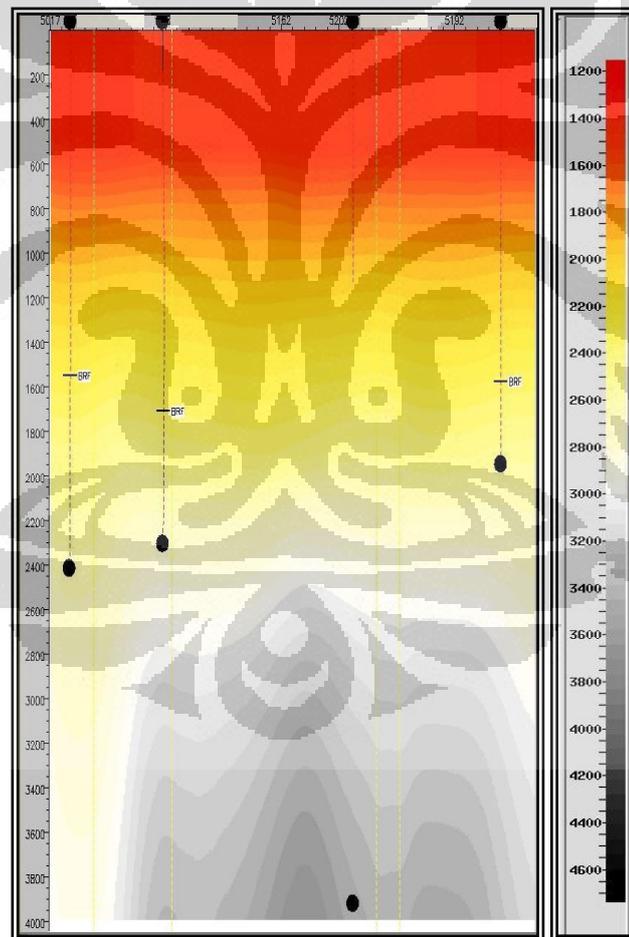
Gambar 4.6. *Picking Semblance* dan *Depth Delay* Setelah *Residual Depth Moveout* Sepanjang Horizon Pada (a) XL 5160 (b) XL 5213 (c) 5083, dan (d) XL 5032 Di Formasi Baturaja

4.1.4. Analisis Kecepatan Tomografi

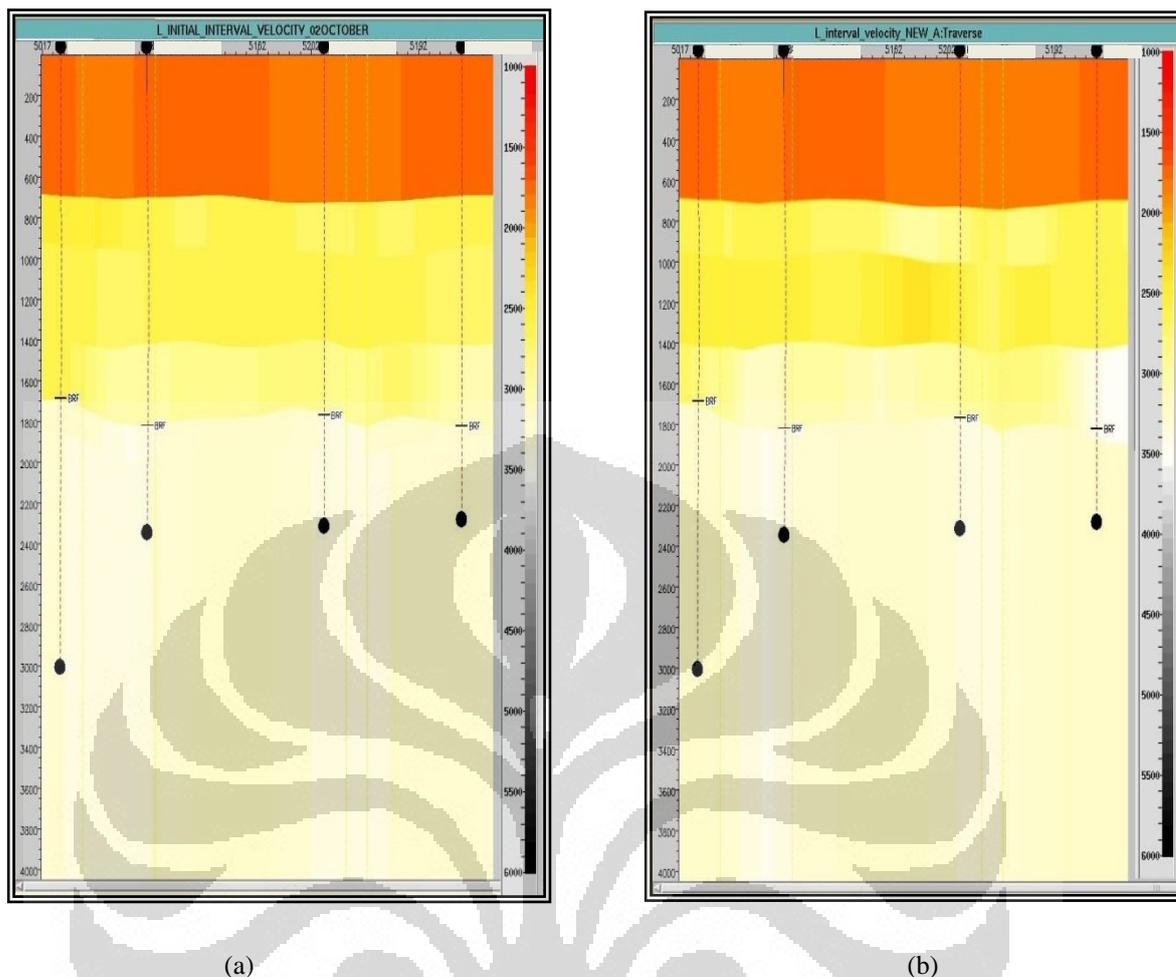
Metode tomografi dapat digunakan untuk menentukan struktur dan kecepatan yang mendekati kondisi geologi sebenarnya (Kosloff, 1999). Tahapan pertama pada tomografi adalah melakukan perbaikan *depth-migrated gathers* dengan *picking semblance horizontal depth moveout*, *error* yang terlihat pada *offset* yang jauh akan berbeda dengan *zero offset*.

Delay (dt) yang dihasilkan dari analisis tiap *depth migrated gathers* akan diakumulasikan dari kesalahan (*error*) pada masing-masing lapisan, dengan tujuan untuk mendapatkan kesalahan kecepatan dan kedalaman pada masing-masing *depth migrated gathers* setiap lapisan.

Analisis kecepatan merupakan bagian utama dari proses migrasi, karena pada tahapan inilah dilakukan iterasi untuk perbaikan (*refine*) model kecepatan interval dengan menggunakan tomografi yaitu horizon tomografi. **Gambar 4.7**, menunjukkan kecepatan RMS, sementara **Gambar 4.8.a dan Gambar 4.8.b** kecepatan interval berdasarkan formula Dix dan kecepatan interval berdasarkan formula Dix setelah dilakukan tomografi, terlihat bahwa penyebaran kecepatan RMS dan kecepatan interval sebelum dilakukan koreksi tomografi tidak sesuai dengan data *sonic well*. Formula Dix baik untuk lapisan yang kurang dalam, sehingga untuk lapisan yang cukup dalam model kecepatan interval yang dihasilkan relatif tidak sebaik lapisan yang lebih dangkal.



Gambar 4.7 Model Kecepatan RMS



Gambar 4.8 (a) Kecepatan interval berdasarkan Formula Dix , (b)Kecepatan Interval Setelah Dilakukan Tomografi

Model kecepatan pada **Gambar 4.8** menunjukkan adanya perubahan kecepatan secara lateral yang cukup signifikan. Model kecepatan interval menunjukkan gambaran yang lebih baik untuk merepresentasikan model geologi bawah permukaan dibandingkan dengan model kecepatan RMS.

4.2. Analisis Penampang Seismik PSTM dan PSDM

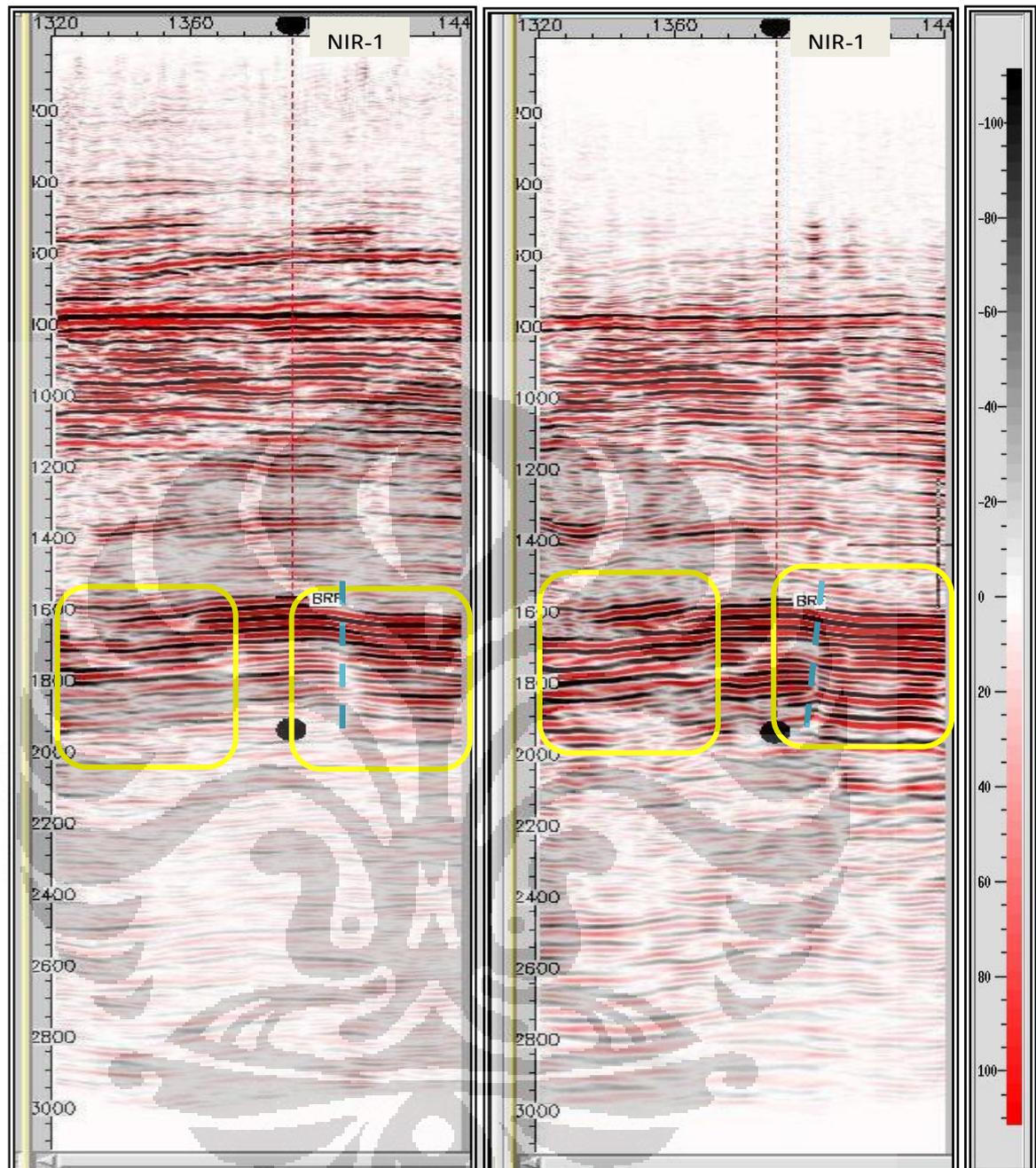
Gambar 4.9.a menunjukkan penampang seismik hasil *Pre-Stack Time Migration*. Proses *Pre-Stack Time Migration* relatif tidak dapat mengatasi variasi kecepatan lateral secara benar. Migrasi kawasan waktu mengasumsikan bahwa model kecepatan diwakili dengan beberapa gradien kecepatan vertikal dan tidak ada

variasi kecepatan lateral. Berdasarkan kecepatan RMS, *Pre-Stack Time Migration* terbatas oleh reflektor yang datar saja sehingga menghasilkan penampang kurang mencerminkan hubungan dengan keadaan geologi bawah permukaan lapangan yang sebenarnya.

Perhitungan migrasi kawasan waktu menggunakan asumsi yang sederhana, hasilnya menunjukkan adanya *residual error* akibat adanya variasi kecepatan *lateral* karena perhitungan migrasi dalam kawasan waktu tidak menggunakan perhitungan untuk variasi kecepatan lateral.

Pada migrasi kawasan kedalaman seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.9.b**, algoritma yang dipakai mampu mencegah pemakaian asumsi-asumsi dan penyederhanaan yang menyebabkan kesalahan posisi sebagaimana pada migrasi kawasan waktu. Tidak hanya posisi *reflector* yang tepat, tetapi juga mampu menghasilkan kemenerusan *event* dan ketidakmenerusan yang disebabkan oleh struktur. Hal ini menyebabkan hasil penampang seismik kawasan kedalaman lebih akurat dibandingkan dengan penampang seismik kawasan waktu seperti yang ditunjukkan pada kotak berwarna kuning.

Untuk memudahkan perbandingan antara PSTM dan PSDM, penulis melakukan *scalling* penampang pada PSDM menjadi domain *time*. Proses *scalling* tidak mengubah hasil dari PSDM secara signifikan, proses ini dilakukan agar hasil penampang seismik dari hasil PSDM memiliki domain yang sama dengan hasil PSTM. Dengan domain yang sama, maka perbandingan hasil akan menjadi mudah, perbedaan antara penampang seismik hasil PSDM dan PSDM dapat terlihat dengan jelas.

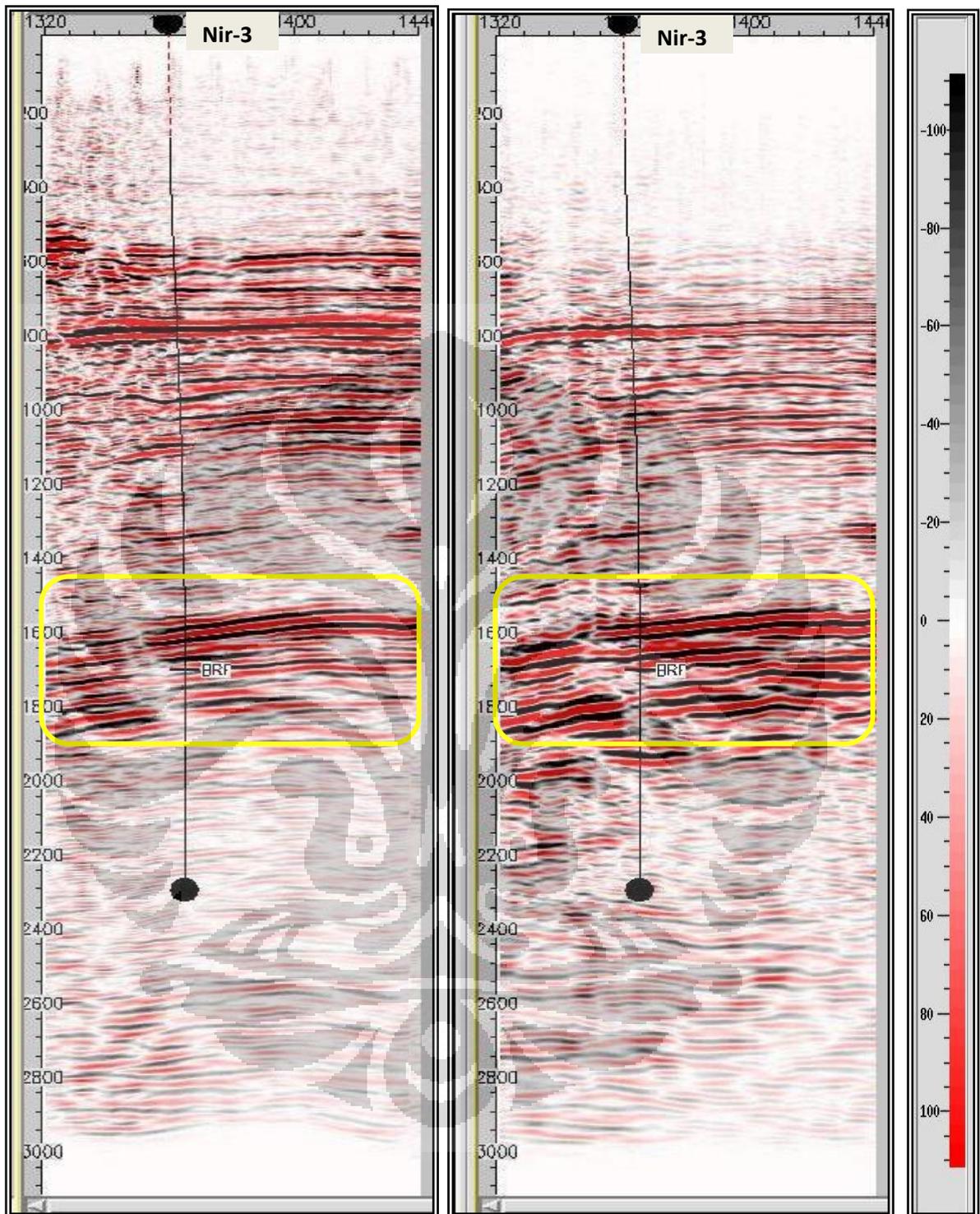


(a)

(b)

Gambar 4.9. (a) Penampang seismik hasil *Pre-Stack Time Migration*, (b) Penampang seismik hasil *Pre-Stack Depth Migration* pada XL 5160

Data hasil PSDM yang dilakukan pada data seismik 3D lapangan Nirmala memperlihatkan adanya peningkatan citra cukup signifikan dan pola yang tegas pada zona-zona sesar dibandingkan dengan data PSTM yaitu pada XL 5160 seperti pada **Gambar 4.9**, diperlihatkan dengan garis biru titik-titik.



(a)

(b)

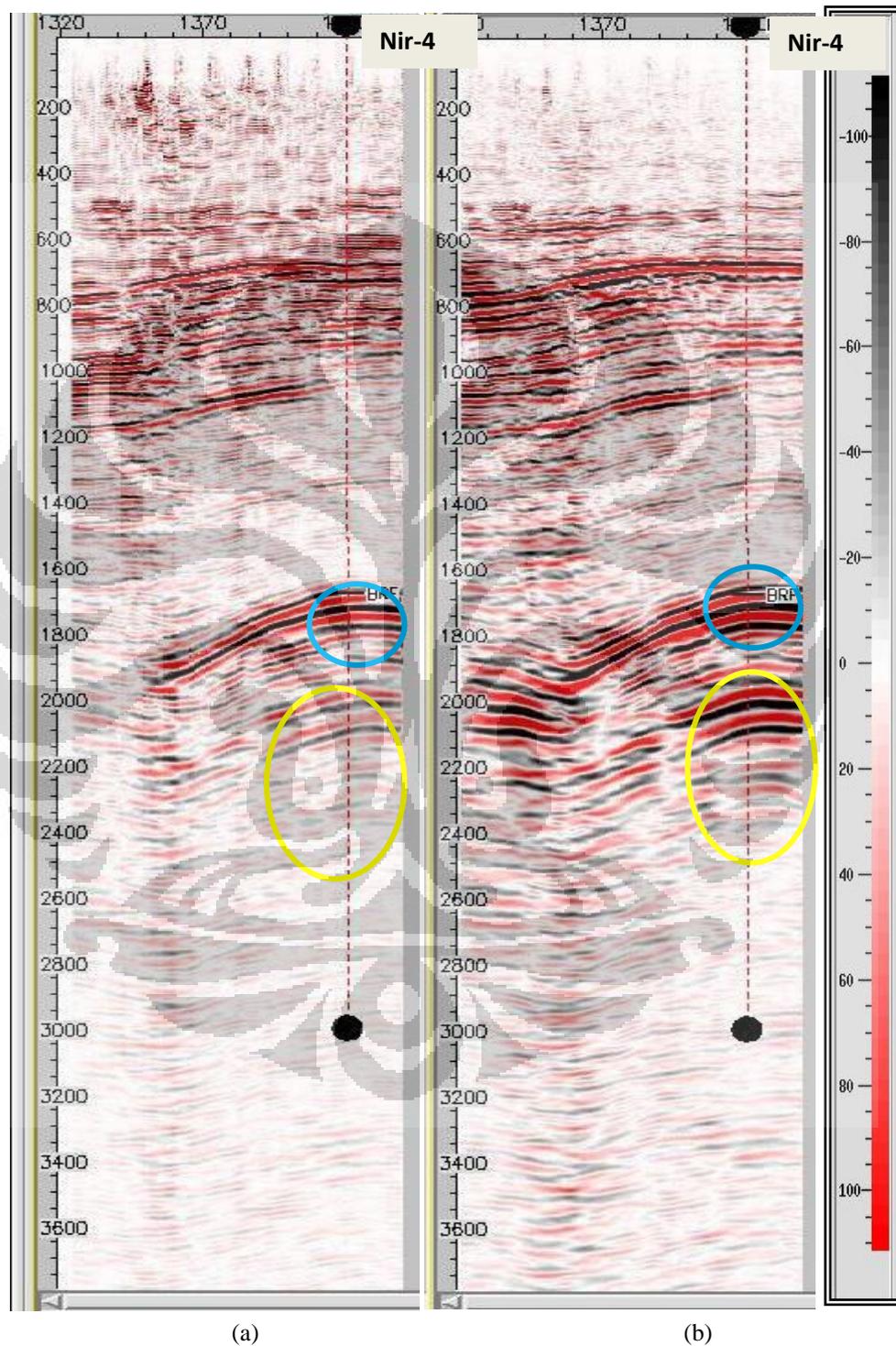
Gambar 4.10. (a) Penampang seismik hasil *Pre-Stack Time Migration*, (b) Penampang seismik hasil *Pre-Stack Depth Migration* pada XL 5083

Gambar 4.10.b yang merupakan penampang seismik hasil PSDM memperlihatkan citra yang lebih jelas dan koheren dibandingkan **Gambar 4.10.a** yang merupakan penampang seismik hasil dari PSTM, perbedaan terlihat jelas pada daerah yang dibatasi kotak berwarna kuning. Fenomena tersebut dapat dijelaskan bahwa pada data migrasi domain waktu yang berasumsikan *hyperbolic move out* atau koreksi NMO yang dilakukan pada *time gather* relatif tidak tepat, sehingga menyebabkan terjadinya distorsi amplitudo. Oleh karena itu saat *time gather* tersebut dilakukan *stacking* maka menghasilkan citra yang tidak menerus.

Ketidakterusan reflektor pada zona sesar pada data *stack* domain waktu disebabkan gagalnya *positioning* pada pencitraan *time migrated*, sehingga menyebabkan citra data seismik pada zona-zona sesar menjadi tidak tegas (Mualimin, dkk, 2004). Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada zona sesar terjadi variasi kecepatan secara lateral, pencitraan pada domain *time* dengan kecepatan RMS menghasilkan kesalahan dalam mendiskripsikan geometri kurva difraksi, *apex* kurva difraksi (waktu tempuh minimum) tidak berimpit dengan titik difraksi, *apex* berada pada posisi tegak lurus terhadap kedatangan gelombang pada permukaan. Posisi tersebut merupakan lintasan terpendek antara permukaan dengan dengan titik difraktor sehingga teridentifikasi sebagai *apex* kurva difraksi yang menghasilkan ketidaktepatan posisi (*mispositioning*) event.

Berbeda dengan migrasi pada domain waktu, PSDM tidak berasumsi pada *hyperbolic move out*, akan tetapi setiap titik pada data seismik dilakukan *focusing* sehingga setiap amplitudo pada setiap *offset* berada pada posisi kedalaman sebenarnya. Algoritma pada PSDM tidak menggunakan asumsi *hyperbolic move out*, akan tetapi memperhitungkan variasi kecepatan baik secara lateral maupun vertikal, refraksi dan struktural *dip* dalam model sehingga mampu mencitrakan titik reflektor pada posisi kedalaman sebenarnya.

4.3. Analisis Penampang Seismik PSDM Sebelum dan Setelah Perbaikan dengan Tomografi.



Gambar 4.11. (a) Penampang Seismik Hasil PSDM Sebelum Analisis Tomografi, (b) Penampang Seismik Hasil PSDM Hasil Analisis Tomografi Pada XL 5032

Analisis kecepatan merupakan bagian yang utama dari studi ini, karena pada tahapan ini dilakukan *iterasi* untuk perbaikan (*refine*) model kecepatan interval dengan menggunakan metode *horizon based tomography*.

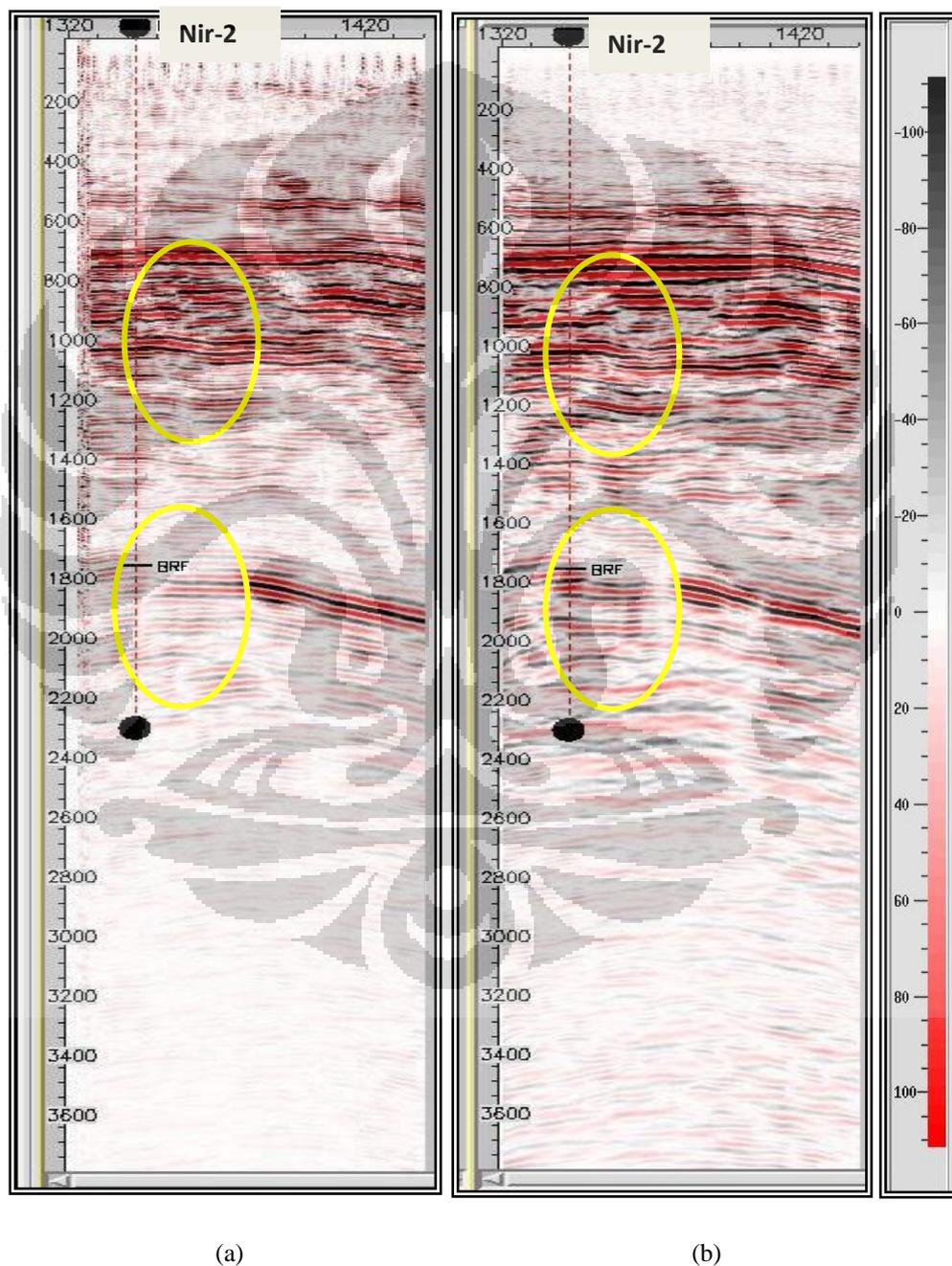
Gambar 4.7 menunjukkan kecepatan RMS dan **Gambar 4.8.a** menunjukkan kecepatan interval berdasarkan formula Dix, terlihat bahwa penyebaran kecepatan interval yang cukup kacau, perubahan kecepatan medium tidak signifikan, dan kurang *smooth*. Model kecepatan interval berdasarkan formula Dix baik untuk lapisan dangkal. Dengan melakukan analisis pada *depth migrated gather* yang dihasilkan menunjukkan adanya *depth residual delay* yang cukup besar seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.8.a** terutama pada lapisan yang lebih dalam. Hal ini menunjukkan bahwa model kecepatan interval berdasarkan formula Dix masih belum benar untuk lapisan yang cukup dalam.

Sementara model kecepatan interval setelah analisis tomografi pada **Gambar 4.8.b** menghasilkan penyebaran kecepatan interval yang cukup halus, hal ini ditunjukkan dengan perubahan kecepatan interval yang tidak signifikan ke arah lateral. *Depth migrated gathers* hasil tomografi juga menunjukkan *depth residual delay* yang semakin sedikit, atau *gathers* hampir *flat*, hal ini mengindikasikan model kecepatan interval pada lapisan yang bersangkutan telah sesuai dengan kecepatan yang sebenarnya.

Model kecepatan yang dihasilkan akan sangat mempengaruhi penampang seismik yang dihasilkan. Jika *gathers* pada lokasi dan formasi yang bersangkutan belum menunjukkan *flat*, sebaiknya dilakukan iterasi hingga mencapai *flat gathers*.

Gambar 4.11.a dan **Gambar 4.11.b** serta **Gambar 4.12.a** dan **Gambar 4.12.b** menunjukkan perbandingan penampang seismik sebelum dilakukan analisis tomografi dan setelah dilakukan analisis tomografi. Pada **Gambar 4.11.b** terlihat bahwa reflektor dari *top* Formasi Baturaja telah sesuai dengan *marker log* yang ada seperti ditunjukkan oleh lingkaran berwarna biru.

Mistie analysis merupakan salah satu *quality control* dari analisis kecepatan yang diaplikasikan pada penampang seismik hasil proses PSDM. Selain *mistie analysis*, penampang seismik hasil tomografi juga memperlihatkan gambaran yang lebih jelas dari pada PSDM sebelum analisis tomografi seperti ditunjukkan oleh lingkaran berwarna kuning, **Gambar 4.11.b** dan **Gambar 4.12.b** menunjukkan penampang seismik hasil dari analisis tomografi.



Gambar 4.12. (a) Penampang Seismik Hasil PSDM Sebelum Analisis Tomografi, (b) Penampang Seismik Hasil PSDM Hasil Analisis Tomografi Pada XL 5213

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Kecepatan interval lebih mendekati kecepatan model bumi sebenarnya dibandingkan dengan kecepatan RMS.
2. Baik PSTM maupun PSDM membutuhkan model kecepatan yang akurat untuk menghasilkan gambar penampang seismik yang tepat.
3. PSDM menghasilkan gambar penampang seismik yang lebih jelas dari pada PSTM, seperti kemenerusan dan kualitas gambar reflektor yang lebih tajam. Hal ini dikarenakan keunggulan PSDM yang menggunakan asumsi-asumsi geologi yang sebenarnya seperti penggunaan kecepatan interval.
4. Analisis tomografi dapat memberikan kecepatan yang lebih baik dari pada kecepatan hasil formula Dix, sehingga penampang seismik yang dihasilkan terlihat lebih baik.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal diperlukan iterasi beberapa kali pada model kecepatan interval.
2. Kontrol kualitas PSDM akan lebih optimal apabila terdapat *Well Marker* atau *Sonic Log* yang lebih banyak di area penelitian.
3. Diperlukan analisis *velocity* yang kuat saat *editing* pada peta kecepatan hasil transformasi kecepatan RMS ke kecepatan interval.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperjelas tampilan reflektor-reflektor pada penampang seismik PSDM setelah tomografi.
5. Diperlukan beberapa kali percobaan memasukan parameter nilai *aperture* dari batas minimal (*displacement vektor*) untuk menghasilkan gambar penampang 3D PSDM yang baik.

DAFTAR ACUAN

- Abdullah, Agus, 2007, *Ensiklopedia Seismik Online*, 13 Oktober 2009, <http://ensiklopediseismik.com>,
- Berkhout, A.J., and Wulfften, D.W., 1980 , *Migration in the Presence of Noise*, Geophysical Prospecting, vol. 28, no. 3, p. 372 – 383,
- Chevron Geoscience Co., 1983, *Seismic Data Processing*,
- Claerbout, J. F., 1985, *Imaging The Earth's Interior*, Blackwell Scientific Publications Inc.,
- Fagin S, 2002, *Becoming Effective Velocity Model Builders and Depth Imagers, Part 1-The Basics of Pre-Stack Depth Migration*, TLE, Texas,
- Haris, Abdul, 2006 , *Seismik Eksplorasi*, Program Studi Geofisika UI, Depok.
- Holt, R. A., 2007, *An Interpreter's Guide to Successful Pre-Stack Depth Imaging*, CSPG CSEG Convention,
- Kosloff, 1999, *Subsurface Velocity And Interface Depth Determination By 3D Tomography On A Solid Model*, EAGE Extended Abstract,
- Mualimin, Hisan, F.R., dan Nugraha, T.B., 2004, *Velocity Model Building Pada Pre-Stack Depth Migration*, PIT Hagi ke-29, Yogyakarta.
- Paradigm Geophysical Corp, 2008, *Epos 3 2nd Ed Geodepth 3D Tutorial*,
- Pertamina, 1994, *Rekayasa 1994 After Pertamina*,
- Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995. *Exploration Seismology 2nd edition*, Cambridge University Press,
- Sismanto, 1996, *Pengolahan Data Seismik Modul 2*, Prodi Geofisika Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Stolt, R.H., 1978, *Extended FK Domain Migration "An Efficient Variable Velocity Algorithm"*, Australian Society of Exploration Geophysicists,
- Utama, Wiji, 2009, *Analisis Pre-Stack Depth Migration (PSDM) Data Seismik Tiga Dimensi (3D) Lapangan WU-3D*, Skripsi S-1, Jurusan Geofisika , Universitas Gajah Mada, Yogyakarta,
- Yilmaz, Oz., 2000, *Seismic Data Analysis*, SEG, Tulsa.

LAMPIRAN

Window Velocity Navigator

