

**METODE KHUSUS DALAM ANALISIS KECEPATAN  
GELOMBANG SEISMİK BERDASARKAN DATA *PRESTACK*  
SEISMİK DENGAN MELAKUKAN *HYPERBOLIC STACKING*  
UNTUK PENENTUAN NILAI KEDALAMAN**

**TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh:  
**YANTI DHANIATY**  
**0610930058 – 93**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2010**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**METODE KHUSUS DALAM ANALISIS KECEPATAN  
GELOMBANG SEISMIK BERDASARKAN DATA *PRESTACK*  
SEISMIK DENGAN MELAKUKAN *HYPERBOLIC STACKING*  
UNTUK PENENTUAN NILAI KEDALAMAN**

Oleh:

**YANTI DHANIATY**

**0610930058 – 93**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji

Pada tanggal

Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Drs. Adi Susilo., M.si., Ph.D.**  
**NIP. 19631227 199103 1002**

**Prof. Dr. Suprajitno Munadi**  
**NIP.10.0003427**

**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Fisika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo., M.si., Ph.D.**  
**NIP. 19631227 199103 1002**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : YANTI DHANIATY

NIM : 0610930058-93

Jurusan : FISIKA

Penulisan tugas akhir berjudul:

**METODE KHUSUS DALAM ANALISIS KECEPATAN  
GELOMBANG SEISMIK BERDASARKAN DATA *PRESTACK*  
SEISMIK DENGAN MELAKUKAN *HYPERBOLIC STACKING*  
UNTUK PENENTUAN NILAI KEDALAMAN**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka TA ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi TA saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 27 Agustus 2010  
Yang menyatakan,

(YANTI DHANIATY)  
NIM. 0610930058-93

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil Alamin*, puji syukur hanya untuk Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir “*Metode Khusus Dalam Analisis Kecepatan Gelombang Seismik Berdasarkan Data Prestack Seismik dengan Melakukan Hyperbolic Stacking untuk Penentuan Nilai Kedalaman*” yang telah dilaksanakan di Laboratorium Seismik, Geofisika, PPPTMGB “LEMIGAS” dengan baik.

Banyak pihak yang dengan tulus membantu penulis dalam pelaksanaan kerja praktek ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Hadi Purnomo, M.sc, DIC selaku Kepala PPPTMGB “LEMIGAS”
2. Bapak Ir. Dwi Purwanto sebagai Kepala Bidang Afiliasi PPPTMGB “LEMIGAS”
3. Bapak Adi Susilo, P.hD, selaku Ketua Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing yang telah bersedia memberikan masukan, ide, dan saran dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Bapak Drs. Sudarman M.si, selaku Ketua Kelompok Geofisika PPPTMGB “LEMIGAS”
5. Bapak. Prof. Dr. Suprajitno Munadi selaku dosen pembimbing lapang yang telah memberikan ilmu, ide, saran, pengalaman, cerita bijak dan motivasi selama pelaksanaan Tugas Akhir.
6. Ibu Firidy Yuana M.si selaku pembimbing akademik, Bapak Ahmad Hidayat, Bapak Abdurouf, Bapak Didik Yudianto, Ibu Iswarin, Ibu Lailatin, Ibu Istiroyah, Bapak A.M Juwono, Bapak Wiyono, Bapak Hari Arief, Bapak Dzamil, Bapak Heru, Bapak Sunaryo, Bapak Sukir, Bapak Nurhuda serta seluruh dosen yang telah memberikan pendidikan dan pengetahuan kepada penulis selama belajar di UNIBRAW.
7. Mas Humbang sebagai asisten Bapak. Prof. Dr. Suprajitno Munadi yang telah banyak membantu dan mengajari pemrograman menggunakan Matlab.
8. Mama, ayah dan saudaraku tercinta (Windra, Dita, Nana, Nini) atas segala doa, dukungan tak pernah berhenti baik

materiil maupun spirituil yang sangat berharga bagi penulis serta yang senantiasa memberi semangat berjuang.

9. Mas Deni Achmad yang tak henti-hentinya memberi cinta, kasih sayang, dukungan dan semangat untuk terus berjuang demi terwujudnya masa depan yang cerah.
  10. Teman seperjuangan di Jakarta Yulia Hernawati (UNDIP) yang tak pernah bosan membagi ilmu dan menemani selama pelaksanaan Tugas Akhir.
  11. Sahabat seperjuangan Yuli Nur Reny dan Sapto Hadi W yang telah memberi dukungan sprituil di ibu kota
  12. Kakak-kakak Alumni Fisika UB (Mas Arul, Mas Kowi, Mas Riki, Mas Ivan, Mas Pras, Mas Erwin, Mbak Kiki, Mbak In) atas bantuannya selama di Jakarta.
  13. Sahabat Fisika 2006 (Cholisina, Zulkarnain, Choy, Oyonk, Aridy, Irwan Novi, Ika, Dian, Via) atas segala dukungan, doa dan semangat persahabatannya.
  14. Sahabat Fisika 2007 spesial untuk Winarto atas bantuannya memperbaiki dan menginstal *Matlab for Unix*.
  15. Sahabat Fisika 2008 (Chandra, Panji, Arin, Hana) spesial untuk Ratri Andini atas segala bantuannya mengurus beasiswa selama penulis tidak berada di Malang
  16. Mas Samsul Hadi W. yang telah membantu pengerjaan program pada awal pelaksanaan Tugas Akhir.
  17. Keluarga Mbak Ida dan Mas Darmadi yang telah memberikan dukungan yang sangat berharga selama pelaksanaan Tugas Akhir
  18. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan secara khusus pada lembar ini. Terima kasih semoga Allah membalas dengan kebaikan yang banyak.
- Saran, kritik, dan masukan yang membangun sangat diharapkan. Semoga hasil karya tulis ini dapat bermanfaat.

Malang, September 2010

Penulis

# DAFTAR ISI

## Halaman

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengenalan Metode Seismik Eksplorasi	7
2.2 Rekaman Data Seismik	8
2.3 Penjalaran Gelombang Seismik	10
2.3.1 Gelombang seismik dan sinar seismik	10
2.3.2 Waktu tempuh penjalaran gelombang seismik refleksi	12
2.3.3 <i>Ray tracing</i>	14
2.3.4 Koefisien refleksi	17
2.4 Rekaman Seismik Buatan	18
2.5 Metode Dalam Analisis Kecepatan	19
2.6 Kecepatan Gelombang Seismik	22
2.7 Koreksi NMO Lapisan Datar	23
2.8 <i>Stacking</i>	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Prosedur Penelitian	29

3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3	Data Penelitian	32
3.4	Perangkat yang Digunakan	33
3.5	Pengolahan Data	33
3.5.1	<i>Forward modeling</i> untuk membuat program yang tepat dalam analisis kecepatan	
3.5.2	Membuat model geologi awal	33
3.5.3	Penelusuran sinar	34
3.5.4	Kurva waktu tempuh gelombang refleksi	34
3.5.5	Membuat rekaman seismik buatan	34
3.5.6	Penyapuan nilai kecepatan yang paling tepat	34
3.5.7	<i>Hyperbolic stacking</i>	35
3.5.8	Kontur spektrum kecepatan	35
3.5.9	Mencari nilai kecepatan yang paling tepat	36
3.5.10	Penentuan nilai kedalaman	36
3.5.11	Penerapan program pada data <i>prestack</i> seismik	36

#### **BAB IV PEMBAHASAN**

4.1	Analisa Hasil <i>Forward Modeling</i> Program yang Tepat dalam Analisis Kecepatan	39
4.2	Analisa Kecepatan Berdasarkan Data <i>Pretack</i> Seismik	50
4.2.1	Analisa kecepatan lapisan pertama	54
4.2.2	Analisa kecepatan lapisan kedua	56
4.2.3	Analisa kecepatan lapisan ketiga	60
4.3	Bentuk Kedalaman Dari Tiap Lapisan Berdasarkan Nilai Kecepatan yang Didapat	64

#### **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65

#### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Metode seismik	7
<b>Gambar 2.2</b>	Rekaman data seismik	8
<b>Gambar 2.3</b>	Jenis gelombang yang terekam	10
<b>Gambar 2.4</b>	Penjalaran gelombang pada satu medium	12
<b>Gambar 2.5</b>	Lintasan sinar seismik pada medium yang berbeda kecepatannya	13
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Ray tracing</i>	14
<b>Gambar 2.7</b>	Deferensial dari elemen ds pada kedalaman z dengan sudut pantul $\theta(z)$	15
<b>Gambar 2.8.</b>	Koofisien refleksi	17
<b>Gambar 2.9</b>	Proses pembuatan rekaman seismik buatan	18
<b>Gambar 2.10</b>	Rekaman seismik buatan	19
<b>Gambar 2.11</b>	Prinsip analisis kecepatan berdasarkan kecocokan kurva hiperbola terbaik	20
<b>Gambar 2.12</b>	Spektrum kecepatan	21
<b>Gambar 2.13</b>	a) Sebelum koreksi NMO b) Setelah koreksi NMO	24
<b>Gambar 2.14</b>	Proses penjumlahan <i>trace-trace</i> dalam satu CDP ( <i>stacking</i> )	25
<b>Gambar 2.15</b>	Proses <i>hyperbolic stacking</i>	26
<b>Gambar 2.16</b>	<i>Stretching</i> akibat pantulan miring ke pantulan normal	27
<b>Gambar 3.1</b>	Daerah survei penelitian	32
<b>Gambar 3.2</b>	Geometri penembakan	33
<b>Gambar 4.1</b>	Model geologi awal	40
<b>Gambar 4.2</b>	Penelusuran sinar seismik	41
<b>Gambar 4.3</b>	Kurva waktu tempuh hasil penelusuran sinar	41
<b>Gambar 4.4</b>	Rekaman seismik buatan satu lapisan	42
<b>Gambar 4.5</b>	Prinsip penyapuan nilai kecepatan	44
<b>Gambar 4.6</b>	Penyapuan nilai kecepatan dengan perubahan $t_0$	45
<b>Gambar 4.7</b>	Kontur spektrum kecepatan	47
<b>Gambar 4.8</b>	Kontur spektrum kecepatan yang diperbesar	48
<b>Gambar 4.9</b>	Kedalaman lapisan dari model yang diberikan	50
<b>Gambar 4.10</b>	Data <i>prestack</i> seismik	51
<b>Gambar 4.11</b>	Kurva hiperbolik hasil digitasi	52

<b>Gambar 4.12</b>	Rekaman seismik buatan berdasarkan data <i>prestack</i> seismik	53
<b>Gambar 4.13</b>	Sinyal-sinyal yang berinterferensi	54
<b>Gambar 4.14</b>	Kontur spektrum kecepatan lapisan pertama	56
<b>Gambar 4.15</b>	Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan pertama	57
<b>Gambar 4.16</b>	Kontur spektrum kecepatan lapisan kedua	58
<b>Gambar 4.17</b>	Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan kedua	59
<b>Gambar 4.18</b>	Kontur spektrum kecepatan lapisan ketiga	61
<b>Gambar 4.19</b>	Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan ketiga	62
<b>Gambar 4.20</b>	Bentuk lapisan bawah permukaan berdasarkan data <i>prestack</i>	64



# METODE KHUSUS DALAM ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG SEISMIK BERDASARKAN DATA *PRESTACK* SEISMIK DENGAN MELAKUKAN *HYPERBOLIC STACKING* UNTUK PENENTUAN NILAI KEDALAMAN

## Abstrak

Kecepatan gelombang seismik adalah parameter yang sangat penting di dalam seismik eksplorasi karena nilai kecepatan tersebut dapat digunakan untuk mengubah penampang seismik dari domain waktu ke domain kedalaman. Oleh karena itu, analisis kecepatan dalam pengolahan data seismik merupakan hal yang harus dilakukan secara baik agar didapatkan nilai kecepatan yang paling tepat.

Analisis kecepatan dengan melakukan koreksi NMO (*Normal Move Out*) adalah prosedur lama, tetapi masih banyak digunakan di industri. Koreksi NMO memiliki kelemahan berupa pelemahan nilai amplitudo dan frekuensi gelombang seismik yang sebenarnya akibat proses perenggangan (*stretching*) gelombang refleksi dari pantulan miring ke pantulan normal. Penelitian tugas akhir ini mencoba memberikan solusi atas masalah tersebut. Penelitian tugas akhir ini menekankan pada metode khusus dalam analisis kecepatan menggunakan metode *hyperbolic stacking* yang mengabaikan koreksi NMO sehingga amplitudo dan frekuensi gelombang seismik yang terekam tidak akan mengalami perenggangan (*stretching*) dan sinyal akan tetap dipertahankan secara baik.

Dengan membuat *forward modeling* yang meliputi penyapuan nilai kecepatan dan *hyperbolic stacking*, maka akan didapatkan kontur spektrum kecepatan yang menunjukkan nilai kecepatan dari tiap lapisan zona target. Nilai kecepatan inilah yang digunakan sebagai parameter acuan dalam penentuan kedalaman. Program ini memiliki keakuratan hingga 99.98 %, sehingga program ini dapat membantu dalam interpretasi nilai kecepatan daerah survei beserta nilai kedalamannya.

# **SPECIFIC METHOD IN VELOCITY ANALYSIS OF SEISMIC WAVE BASED ON PRESTACK SEISMIC DATA WITH HYPERBOLIC STACKING FOR DEPTH DETERMINATION**

## **Abstract**

Velocity of seismic wave is a very important parameter in seismic exploration because the velocity value can be used to convert seismic section from time domain into the depth domain. This velocity value is the most important parameter. Therefore, velocity analysis in seismic data processing is to be done correctly to obtain the most appropriate velocity.

Velocity analysis with NMO (Normal Move Out) correction is an old procedure, but still widely used in industry. NMO correction has the disadvantage of weakening of the amplitude and frequency of seismic wave that actually because of the reflection wave stretching from non normal incidence to normal incidence. Thus, this research tries to provide solutions to those problems. This research focuses on specific methods in velocity analysis using hyperbolic stacking method that ignores the NMO correction. So the amplitude and frequency of the recorded seismic wave will not have stretching and the signal will be maintained properly.

With making forward modeling that includes velocity scanning and hyperbolic stacking, it will get velocity spectrum contour which shows the velocity value of each layer. This velocity value is used as a reference parameter in the determination of depth. The accuracy of this program up to 99.98% , so this program can assist in the interpretation of the velocity and depth value of the survey area.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nilai kecepatan gelombang seismik adalah parameter yang sangat penting di dalam seismik eksplorasi karena nilai kecepatan tersebut dapat digunakan untuk mengubah penampang seismik dari domain waktu ke domain kedalaman. Pengambilan keputusan untuk melakukan pengeboran di dalam domain waktu merupakan hal yang sangat membahayakan karena eringkali interpretasi di dalam domain waktu akan menghasilkan penafsiran yang menyesatkan (Abdullah, 2009). Terutama pada zona di bawah kecepatan tinggi seperti *sub-salt* ataupun *sub-carbonate*. Dengan demikian, perlu adanya penafsiran penampang seismik ke domain kedalaman. Jika data sumur tersedia, nilai kecepatan ini dapat diukur secara akurat menggunakan *vertical seismic profiling*. Akan tetapi, pengeboran sumur tidak dapat dilakukan secara mudah karena biaya pembuatannya yang sangat mahal. Untuk itu dibutuhkan sebuah metode yang spesifik untuk menganalisis kecepatan gelombang seismik dari data seismik.

Analisis kecepatan merupakan salah satu langkah dalam pengolahan data seismik. Pengolahan data seismik bertujuan menghasilkan penampang seismik dengan S/N (*signal to noise ratio*) yang baik tanpa mengubah bentuk kenampakan refleksi, sehingga keadaan dan bentuk dari perlapisan di bawah permukaan bumi dapat diinterpretasi seperti apa adanya (Sismanto, 1996). Analisis kecepatan dalam pengolahan data seismik merupakan metode dalam menentukan kecepatan gelombang seismik dari data seismik (Sheriff, 1995). Analisis kecepatan dengan melakukan koreksi NMO adalah prosedur lama. Akan tetapi, masih banyak digunakan di industri (Munadi, 1994). Koreksi NMO memiliki kelemahan berupa pelemahan nilai amplitudo dan frekuensi gelombang seismik. Pelemahan tersebut diakibatkan oleh proses perenggangan (*stretching*) yang dialami gelombang refleksi dari pantulan miring ke pantulan normal (Yilmaz, 2001).

Penelitian dengan tema analisis kecepatan tanpa penerapan koreksi NMO telah banyak dilakukan karena analisis kecepatan merupakan mata rantai yang paling lemah dalam pengolahan data

seismik. Disebut sebagai mata rantai yang paling lemah karena analisis kecepatan gelombang seismik merupakan bagian dari pengolahan data yang paling susah untuk ditentukan keakuratannya.

Pada tahun 1968 Muirhead melakukan penelitian analisis kecepatan dengan nama *N-Th Root Stack* dan mulai diterapkan oleh Kanasewich et al pada tahun 1973 (dalam Munadi, 1989). *N-th Root Stack* merupakan metode analisis kecepatan dalam kelas multichannel dan tergolong sebagai filter nonlinier. Munadi melakukan pula penelitian ini dengan menggunakan formulasi dari Muirhead (Persamaan *N-th Root*), dengan mengambil nilai rata-rata akar  $N$  pada data kemudian meningkatkan hasilnya menjadi pangkat  $N$ .  $N$  merupakan derajat akar pada persamaan *N-Th Root*. Dengan bertambahnya nilai pangkat  $N$ , diharapkan nilai amplitudo akan semakin berkurang. Hasilnya adalah sinyal yang memiliki amplitudo dan fase yang sama akan dipertahankan sedangkan *noise* yang bersifat random akan diperlemah sehingga penentuan nilai kecepatan sinyal seismik menjadi semakin efektif dan akurat. Kelemahan dari metode multichannel ini adalah adanya parameter yang susah didapat yaitu parameter  $N$  sehingga metode ini tidak banyak digunakan dalam industri.

De Vries (1984) melakukan penelitian tentang analisis kecepatan berdasarkan entropi minimum. Entropi minimum atau biasa disebut *Minimum Entropy Velocity Analysis* memanfaatkan dispersi spasial dalam medan akustik gelombang. Entropi minimum didefinisikan sebagai sesuatu yang dapat diinterpretasi sebagai bentuk penyelesaian energi dari satu atau banyak *trace*. Nilai ini sangat ditentukan oleh sparsity dan sistem dispersi. Fungsi entropi minimum ini digunakan untuk menginversi data dan merupakan alat untuk menganalisis kecepatan. Metode entropi minimum ini menghasilkan pendeteksian kecepatan yang lebih baik dibandingkan dengan teknik koherensi. Entropi minimum ini juga biasa disebut *Minimum Entropy Spectral Analysis*.

Munadi (1994) melakukan penelitian lanjutan yang berjudul *An Shorter Technique For Velocity Analysis From CMP Gather*. Penelitian ini merupakan penelitian tentang analisis kecepatan dengan metode *Hough Transform* dengan proses yang relatif lebih cepat karena mengabaikan proses koreksi NMO. *Hough Transform* merupakan transformasi yang mengubah kurva menjadi titik atau sebaliknya. Oleh karena itu, jika ada sinyal yang memiliki amplitudo

dan fase yang sama akan dipertahankan atau sebaliknya. Metode ini sangat efektif jika digunakan untuk mereduksi efek *multiple*.

Selanjutnya penelitian analisis kecepatan dilakukan lagi oleh Sacchi (1998) dengan judul penelitian *A Bootstrap Procedure For High Resolution Velocity Analysis*. Penelitian ini menggunakan metode analisis kecepatan dengan cara meningkatkan koherensi nilai amplitudo dalam setiap *trace*. Menurutnya, analisis kecepatan merupakan suatu proses identifikasi sifat koheren dari puncak gelombang yang terekam. Dengan menggunakan nilai eigen dari *covariance* matrik dan melibatkan operasi kuantum, metode ini dapat menghasilkan *amplitude stack* dengan resolusi yang tinggi sehingga nilai kecepatan yang didapat sangat akurat. Akan tetapi kelemahan dari metode ini adalah proses matematik yang rumit dan membutuhkan teknologi komputasi yang tinggi sehingga tidak semua orang dapat menerapkan metode ini.

Dengan demikian, industri memerlukan sebuah metode analisis kecepatan yang memiliki keakuratan tinggi, tidak rumit dan biaya yang terjangkau. Oleh sebab itu, penelitian tugas akhir ini mencoba memberikan solusi dalam masalah tersebut. Kelebihan dari penelitian tugas akhir ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah metode analisis yang digunakan. Yaitu dengan menggunakan metode *hyperbolic stacking* yang mengabaikan koreksi NMO sehingga amplitudo dan frekuensi gelombang seismik yang terekam tidak akan mengalami perenggangan (*stretching*) dan sinyal akan tetap dipertahankan secara baik. Selain itu, hasil metode *hyperbolic stacking* lebih baik jika dibandingkan dengan *stacking* biasa. Amplitudo *stack* yang dihasilkanpun menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Tidak hanya itu, analisis kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan yang ada di dalam *software* industri. Di dalam *software* industri analisis kecepatan dilakukan secara otomatis dan langsung dapat diketahui nilai kecepatannya melalui *picking* oleh *software* tersebut. Ibarat kata, *software* tersebut adalah kotak hitam dimana ada masukan dan keluaran tanpa mengetahui proses yang ada di dalamnya. Analisis kecepatan menggunakan *software* industri tidak dapat dianalisis secara maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba sesuatu metode baru yang lebih spesifik dengan mengembangkan program analisis kecepatan melalui hasil *forward modeling* untuk mendapatkan nilai

kecepatan yang tepat. Dengan demikian, nilai kecepatan tersebutlah yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan kedalaman suatu lapisan zona target.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang akan dikaji adalah :

1. Bagaimana cara menentukan nilai kecepatan gelombang seismik yang tepat berdasarkan data *prestack* seismik menggunakan metode *hyperbolic stacking* ?
2. Bagaimana cara menentukan kedalaman suatu lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan yang telah didapat?
3. Bagaimanakah persentase kesalahan dan keakuratan dari tiap-tiap nilai kecepatan yang telah diperoleh melalui metode *hyperbolic stacking* pada hasil *forward modeling* dan dari data *prestack* seismik lapang?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah;

1. Menentukan nilai kecepatan gelombang seismik yang tepat berdasarkan data *prestack* seismik menggunakan metode *hyperbolic stacking*.
2. Menentukan kedalaman suatu lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan yang telah didapat.
3. Mengetahui persentase kesalahan dan keakuratan dari tiap-tiap nilai kecepatan yang telah diperoleh melalui metode *hyperbolic stacking* pada hasil *forward modeling* dan data *prestack* seismik lapang.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini hanya membahas analisis kecepatan berdasarkan data *prestack* seismik dengan metode *hyperbolic stacking*.
2. Tidak membahas sifat-sifat fisis batuan seperti elastisitas, porositas, dan densitas.
3. Tidak membahas program lain selain MATLAB.
4. Penelitian hanya sebatas medium homogen isotropis.

5. Hanya mengolah pada satu titik penembakan saja.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dalam pengolahan data seismik khususnya pada ilmu analisis kecepatan di dunia industri minyak dan gas. Di samping itu, diharapkan pula penelitian ini dapat membantu PPPTMGB “LEMIGAS” dalam interpretasi nilai kecepatan daerah survei beserta nilai kedalamannya, serta diharapkan penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian berikutnya.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

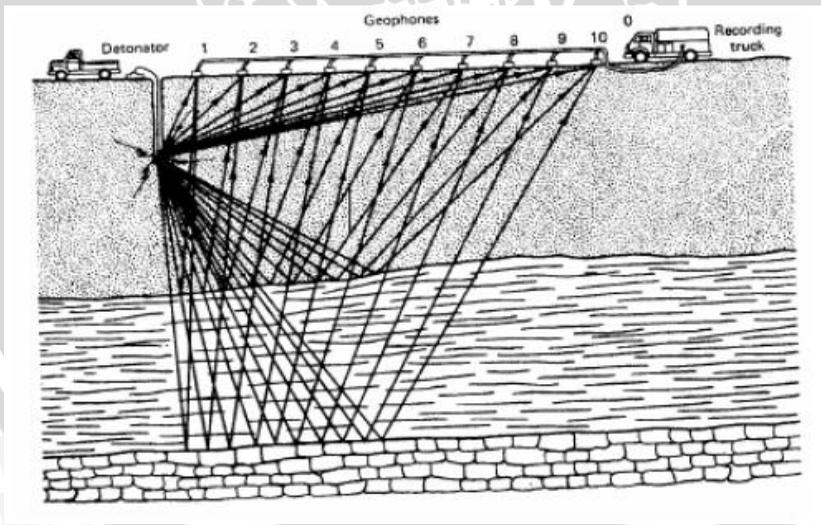


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengenalan Metode Seismik Eksplorasi

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber gelombang yang menjalar ke dalam bumi (Sheriff, 1982). Respon bumi sebagai bidang pemantul, membuat gelombang seismik ditangkap oleh penerima (*geophone/hydrophone*) di permukaan. Dari sinilah didapatkan data waktu gelombang seismik yang melewati medium bumi dan kembali lagi ke permukaan yang dicatat sebagai *two way time*.

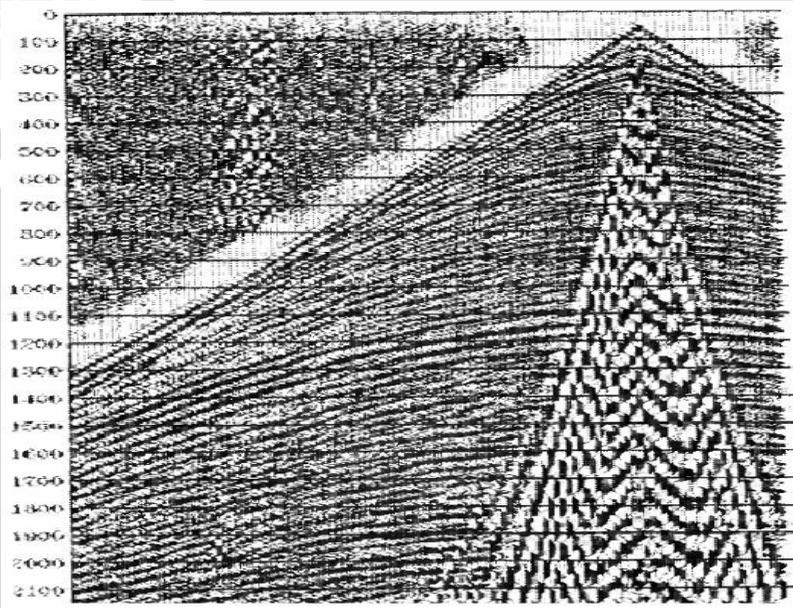
Prinsip dasar dari eksplorasi seismik dapat digambarkan sebagai berikut. Suatu sumber gelombang seismik dibangkitkan dipermukaan bumi. Karena material bumi bersifat elastik, gelombang seismik yang terjadi akan dirambatkan ke dalam bumi ke segala arah. Pada saat mencapai bidang batas antar lapisan, gelombang tersebut akan dipantulkan sebagian dan sebagian yang lain akan dibiarkan. Baik yang terpantul maupun yang terbiarkan akan diteruskan menuju kepermukaan bumi. Dipermukaan bumi gelombang tersebut dapat ditangkap oleh serangkaian penerima (*geophone/ hydrophone*).



**Gambar 2.1** Metode seismik (Gadallah,2009)

## 2.2 Rekaman Data Seismik

Rekaman seismik dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari *trace* seismik. Jika ditampilkan dalam penampang dua dimensi, arah lateral mencerminkan jarak dan arah vertikal mencerminkan waktu (*two way travel time/ TWT*) atau kedalaman. (Abdullah, 2009)



**Gambar 2.2** . Rekaman data seismik (Asyafe, 2009)

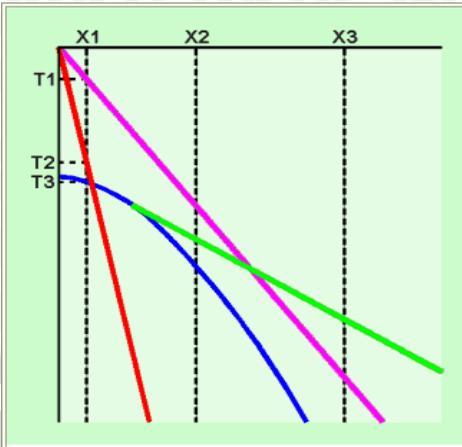
Di dalam data rekaman seismik lapang tersebut terdapat pola gelombang yang terekam. Pola tersebut menggambarkan jenis gelombangnya. Yaitu gelombang langsung, gelombang refleksi dan gelombang refraksi.

1. Gelombang Langsung (*Direct Wave*). Gelombang ini hanya datang dari lapisan atas, langsung dari sumber ke penerima. Ketika lapisan atas mempunyai distribusi kecepatan yang homogen, dapat diasumsikan bahwa gelombang datang paralel dengan permukaan. Dalam kurva waktu tempuh, gelombang langsung ditunjukkan oleh kemiringan  $1/V_1$ ,

- yang mana  $V_1$  merupakan kecepatan gelombang langsung pada lapisan pertama.
2. Gelombang Pantul (*Reflection Wave*). Gelombang yang dipantulkan oleh suatu medium akibat adanya perbedaan lapisan batuan di dalam bumi. Gelombang pantul terjadi jika ada minimal dua lapisan yang berbeda kecepatannya. Sudut sinar gelombang pantul akan memenuhi hukum Snellius, yaitu sudut sinar gelombang datang sama dengan sudut sinar gelombang pantulnya.
  3. Gelombang Bias (*Refraction Wave*). Gelombang yang ditangkap oleh penerima setelah mengalami pembiasan (biasanya pembiasan kritis atau *critical refraction*). Gelombang ini terjadi bila kecepatan pada medium lapisan di bawah lebih besar daripada lapisan sebelumnya.

Pantulan gelombang-gelombang seismik oleh bidang batas antar lapisan membentuk pola-pola hiperbolik. Gelombang langsung yang berpola garis lurus bermula dari titik sumber dan mengarah pada kemiringan tertentu. Kemiringan ini sesuai dengan seperkecepatan di lapisan pertama. Ada gelombang lain yang berpola garis lurus dengan kemiringan yang berbeda dan sinyalnya mengalami dispersi. Gelombang ini disebut gelombang reyleigh (*ground roll*). Dari kemiringannya dapat disimpulkan bahwa kecepatan penjarangan gelombang reyleigh lebih rendah dari penjarangan gelombang langsung (Munadi, 2000).

Rekaman data seismik tersebut diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan gelombang-gelombang yang tidak dibutuhkan. Seperti gelombang permukaan, gelombang langsung, dan gelombang refraksi. Yang dibutuhkan hanya informasi dari rekaman data gelombang refleksi saja, waktu tempuh dalam rekaman data gelombang refleksi tersebut yang dapat dijadikan parameter untuk mencari nilai kecepatan dari gelombang seismik tersebut. Tentu saja dengan parameter yang lain yaitu offset atau jarak antara sumber ke penerima.



	Gelombang Permukaan
	Gelombang Langsung
	Gelombang Refraksi
	Gelombang Refleksi

**Gambar 2.3.** Pola dan Jenis gelombang yang terekam (Abdullah,2009)

## 2.3 Penjalaran Gelombang Seismik

### 2.3.1 Gelombang seismik dan sinar seismik

Pada dasarnya teori dasar gelombang seismik atau gelombang elastik adalah mencari bentuk solusi dari persamaan gerak yang didasarkan pada hubungan persamaan *stress-strain* pada media elastik. Oleh karena itu, persamaan gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan bumi dapat menjelaskan informasi yang berkaitan dengan medium tersebut. Salah satunya yaitu kecepatan jalar gelombang pada medium.

Gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan bumi tidak sertamerta menjalar begitu saja. Akan tetapi, sesuai dengan hukum-hukum penjalaran gelombang pada medium berlapis. Dengan demikian, perambatan gelombang seismik dapat diperlakukan sebagai sinar seismik. Berkas sinar seismik di dalam medium mematuhi pula hukum-hukum fisika pada sinar optik, yaitu;

#### a. Prinsip Fermat

Azas ini di kemukakan oleh Pierre de Fermat (1601-1665), Ia menyatakan bahwa gelombang akan memilih lintasan dengan waktu yang tersingkat. Prinsip Fermat biasanya disebut juga dengan prinsip waktu minimum. Akibat dari prinsip Fermat, anggapan dasar media atau lapisan yang

dilalui gelombang elastik mempunyai sifat homogen isotropis. (Triyoso, 1991)

b. Hukum Snellius

Prinsip perambatan gelombang yang menjadi dasar dari perambatan gelombang seismik dikemukakan oleh Willbrod Snell Von Royen (1591-1626). Jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya, gelombang yang datang pada bidang batas dua medium yang sifat fisiknya berbeda akan dibiaskan dan akan dipantulkan jika sudut datang lebih besar daripada sudut kritisnya. Sudut kritis adalah sudut datang yang menyebabkan gelombang dibiaskan  $90^\circ$ . (Tipler, 1991)

c. Prinsip Huygens

Menurut Christian Huygens (1629-1695), setiap titik pada permukaan gelombang akan merupakan sumber gelombang baru, sehingga akan terbentuk gelombang yang bersifat sferis. Semakin jauh dari sumbernya semakin besar pula radius permukaan gelombang tersebut. (Tipler, 1991)

Menurut Jean-Pierre Cordier (1983) selain hukum-hukum tersebut, digunakan pula asumsi-asumsi medium bawah permukaan sebagai berikut :

1. Medium bumi dianggap berlapis dan tiap lapisan menjalarkan gelombang seismik yang memiliki kecepatan yang berbeda.
2. Seakin bertambahnya kedalaman, lapisan bumi bertambah padat yang dapat berakibat pada kecepatan semakin tinggi.

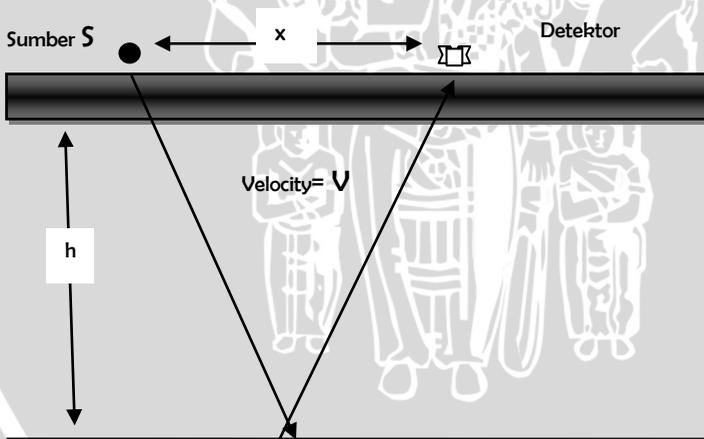
Sedangkan asumsi yang dipakai untuk penjalaran gelombang adalah :

1. Panjang gelombang seismik jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan ketebalan lapisan bumi.
2. Gelombang seismik dipandang sebagai sinar seismik yang memenuhi hukum Snellius dan prinsip Huygens.
3. Pada batas antar lapisan, gelombang seismik menjalar dengan kecepatan gelombang pada lapisan dibawahnya.
4. Kecepatan gelombang bertambah terhadap kedalaman.

### 2.3.2 Waktu tempuh penjalaran gelombang seismik refleksi

Tujuan utama seismologi eksplorasi adalah menentukan distribusi dari kecepatan batuan dibandingkan dengan kedalaman (Abdullah, 2009). Hal ini dapat dilakukan dengan mengukur waktu penjalaran gelombang dari sumber ke penerima dengan mengasumsikan bahwa tiap batuan memiliki kecepatan yang berbeda. Jika distribusi dari variasi kecepatan penjalaran gelombang dan geometri struktur dalam batuan dapat ditentukan, dengan demikian kita dapat menggambarkan lipatan, patahan, dan kedalaman tiap lapisan berdasarkan diskontinuitas kecepatan batuan.

Menurut John K. Costain and Çoruh (2004), segala upaya dalam penentuan kecepatan adalah untuk mengukur dua kuantitas secara akurat yaitu waktu tempuh penjalaran gelombang seismik dari sumber ke penerima dan jarak antara sumber dan penerima di permukaan. Hal tersebut disajikan dalam bentuk data yang ditampilkan sebagai kurva waktu tempuh (*traveltime curves*) yang mana dalam kurva tersebut menjelaskan bentuk kurva waktu tempuh gelombang seismik dibandingkan jarak dari sumber ke penerima.



**Gambar 2.4.** Penjalaran gelombang pada satu medium

Secara Matematis dapat dijelaskan,

$$T_x = \sqrt{T_o^2 + \left(\frac{x}{v}\right)^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

$$T_o = \frac{2h}{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

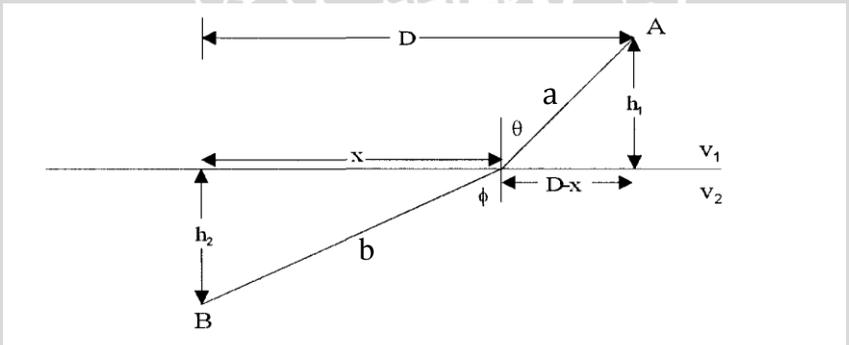
Sehingga,

$$T_x = \sqrt{\left(\frac{2h}{v}\right)^2 + \left(\frac{x}{v}\right)^2} \text{ (Pendekatan Hiperbolik) } \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk mempermudah penelusuran penjalaran gelombang di bawah permukaan yang lebih kompleks, dipakailah prinsip-prinsip sinar seismik (**Gambar 2.5**).

Waktu tempuh yang dibutuhkan gelombang dari titik A ke titik B

$$T = \frac{a}{V_1} + \frac{b}{V_2} \dots\dots\dots (2.4)$$



**Gambar 2.5.** Lintasan sinar seismik pada medium yang berbeda kecepatannya (Costain,2004)

$$T = \frac{\sqrt{(D-X)^2+h_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{X^2+h_2^2}}{v_2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Berdasarkan azas Fermat

$$\frac{dT}{dx} = \frac{-(D-X)}{v_1 \sqrt{(D-X)^2 + h_1^2}} + \frac{X}{v_2 \sqrt{X^2 + h_2^2}} = 0 \quad \dots (2.6)$$

Sehingga didapat,

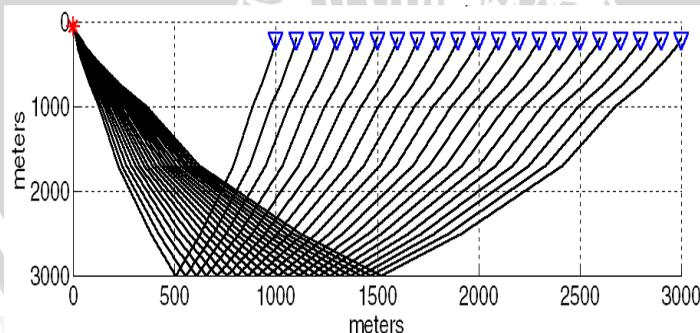
$$\frac{(D-X)}{v_1 \sqrt{(D-X)^2 + h_1^2}} = \frac{X}{v_2 \sqrt{X^2 + h_2^2}} \quad \dots (2.7)$$

Yang tak lain adalah

$$\frac{\sin \theta}{v_1} = \frac{\sin \phi}{v_2} \quad (\text{Hukum Snellius}) \quad \dots (2.8)$$

### 2.3.3 Ray tracing

Struktur bawah permukaan memiliki karakteristik yang berbeda antar lapisan. Hal tersebut dapat diketahui dengan perbedaan kecepatan antar batuan. Apabila kecepatan dari struktur lapisan bawah permukaan diketahui maka jejak sinar seismik dan waktu tempuhnya dapat diperoleh dengan perhitungan numerik. Perhitungan jejak sinar seismik dan waktu tempuh penjalaran gelombang seismik antara sumber dan penerima disebut *ray tracing*. (Sheng, 2004)



**Gambar 2.6 . Ray tracing (Margrave, 2009)**

*Ray tracing* merupakan suatu proses penelusuran sinar dalam medium yang bertujuan untuk mengetahui waktu penjaralan gelombang di dalamnya. Menelusuri sinar berarti setiap saat mengetahui posisi, arah dan panjang lintasan yang ditempuh sinar. Sehingga tahapan ini merupakan tahapan yang penting dalam pemodelan yang bertujuan mengetahui bentuk lapisan bawah permukaan.

Gelombang seismik yang menjalar di permukaan berlaku sebagai sinar seismik yang harus memenuhi hukum snellius.

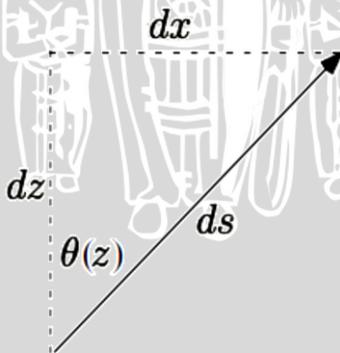
$$\frac{\sin\theta}{v_{j-1}} = \frac{\sin\phi}{v_j} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana  $\theta$  adalah sudut datang dan  $\phi$  adalah sudut pantul. Pada reflektor yang datar berlaku  $\phi = \theta$  sehingga,

$$\frac{\sin\theta_{j-1}}{v_{j-1}} = \frac{\sin\theta_j}{v_j} \dots\dots\dots (2.10)$$

Pada sebuah medium yang memiliki kedalaman  $z$  dengan kecepatan  $v$  parameter sinar berlaku persamaan,

$$p = \frac{\sin(\theta(z))}{v(z)} = a \text{ constant} \dots\dots\dots (2.11)$$



**Gambar 2.7.** Deferensial dari elemen  $ds$  pada kedalaman  $z$  dengan sudut pantul  $\theta(z)$ (Margrave,2009)

Persamaan umum yang dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 2.7. adalah

$$dx = \tan(\theta(z)) dz \dots\dots\dots(2.12)$$

dan

$$dt = \frac{ds}{v(z)} = \frac{dz}{v(z)\cos(\theta(z))} \dots\dots\dots(2.13)$$

Hukum sinellius tersebut dapat diganti dengan fungsi trigonometri

$$pv(z) = \sin(\theta(z)) \dots\dots\dots(2.14)$$

sehingga,

$$x(p) = \int_{z1}^{z2} \frac{pv(z)}{\sqrt{1-p^2 v^2(z)}} dz \dots\dots\dots(2.15)$$

dan

$$t(p) = \int_{z1}^{z2} \frac{dz}{v(z)\sqrt{1-p^2 v^2(z)}} \dots\dots\dots(2.16)$$

atau secara umum dapat ditulis,

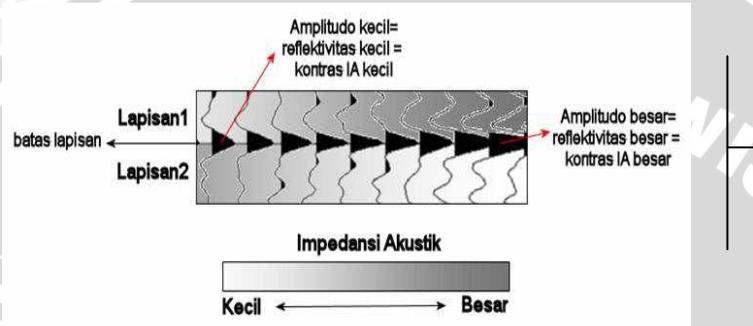
$$x(p) = \sum_{k=1}^n \frac{pv_k}{\sqrt{1-p^2 v_k^2}} \Delta z_k \dots\dots\dots(2.17)$$

dan

$$t(p) = \sum_{k=1}^n \frac{\Delta z_k}{v_k \sqrt{1-p^2 v_k^2}} \dots\dots\dots(2.18)$$

### 2.3.4 Koefisien refleksi

Koefisien refleksi merupakan cerminan dari bidang batas medium yang memiliki harga impedansi akustik yang berbeda. Perbandingan antara amplitudo gelombang pantul dan gelombang datang disebut sebagai koefisien refleksi.



**Gambar 2.8.** Koefisien refleksi sebagai respon dari impedansi akustik (Abdullah, 2009)

Pada dasarnya setiap koefisien refleksi dapat dianggap sebuah respon dari wavelet seismik terhadap sebuah perubahan impedansi akustik (IA) di dalam bumi. Impedansi akustik (IA) didefinisikan sebagai hasil perkalian antara kecepatan kompresional dan densitas. Secara matematis konversi dari impedansi akustik ke reflektivitas meliputi pembagian beda impedansi akustik dengan jumlah impedansi akustik tersebut. Hal ini akan memberikan persamaan koefisien refleksi pada batas antara kedua lapisan yaitu :

$$KR = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} = \frac{\rho v_2 - \rho v_1}{\rho v_2 + \rho v_1} \dots\dots\dots(2.19)$$

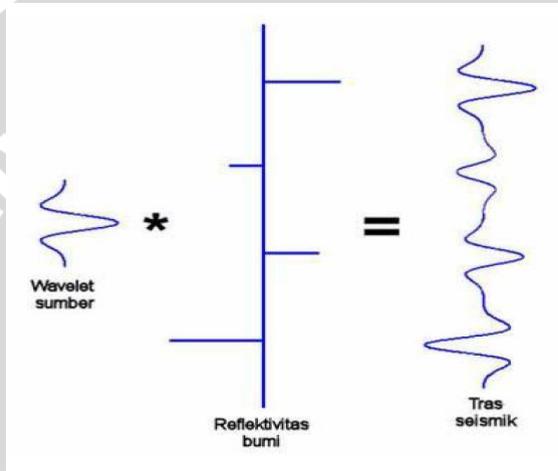
Dimana  $\rho$  = densitas batuan ( $gr/cm^3$ )

$v$  = kecepatan gelombang seismik (m/s)

(Sukmono, 1999)

## 2.4 Rekaman Seismik Buatan

Rekaman seismik buatan dipergunakan untuk memodelkan rekaman data seismik yang sesungguhnya. Rekaman seismik buatan ini dibuat dengan cara mengkonvolusikan wavelet sumber dengan koefisien refleksi (Sismanto, 1996). Secara skematis dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9.** Proses pembuatan rekaman seismik buatan (Abdullah, 2009)

Wavelet didefinisikan sebagai gelombang mini atau 'pulsa' yang memiliki komponen amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan fase. Dalam istilah praktis wavelet dikenal dengan gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu *geophone* (Abdullah, 2009).

*Trace* seismik merupakan konvolusi antara wavelet sumber dan koefisien refleksi, secara matematis dapat ditulis,

$$Z(t) = S(t) * KR(t) \dots\dots\dots (2.20)$$

- Dimana,  $Z(t)$  = *Trace* seismik
- $S(t)$  = Wavelet sumber
- $KR(t)$  = Koefisien refleksi

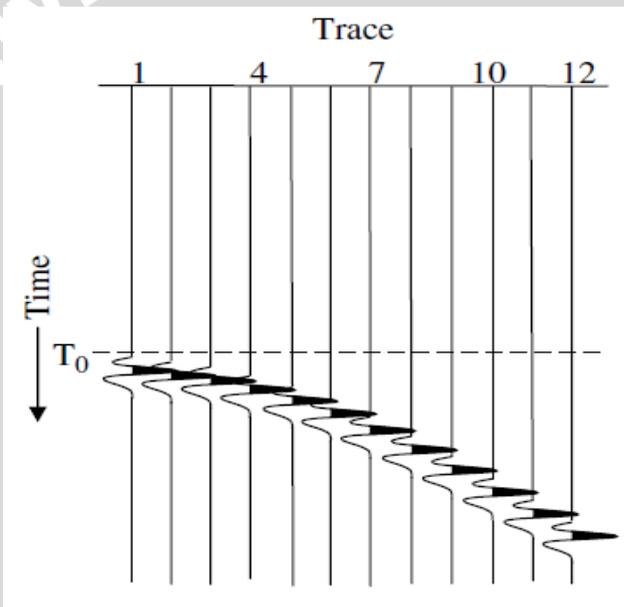
Atau dapat pula ditulis

$$Z_n = \Delta t \sum_{k=1}^n x_k y_{n+1-k} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$Z_n = \Delta t \sum_{k=1}^n x_{n+1-k} y_k \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana  $x_k$  = Koefisien refleksi pada lapisan ke-k

$y_k$  = Wevelet sumber pada lapisan ke-k



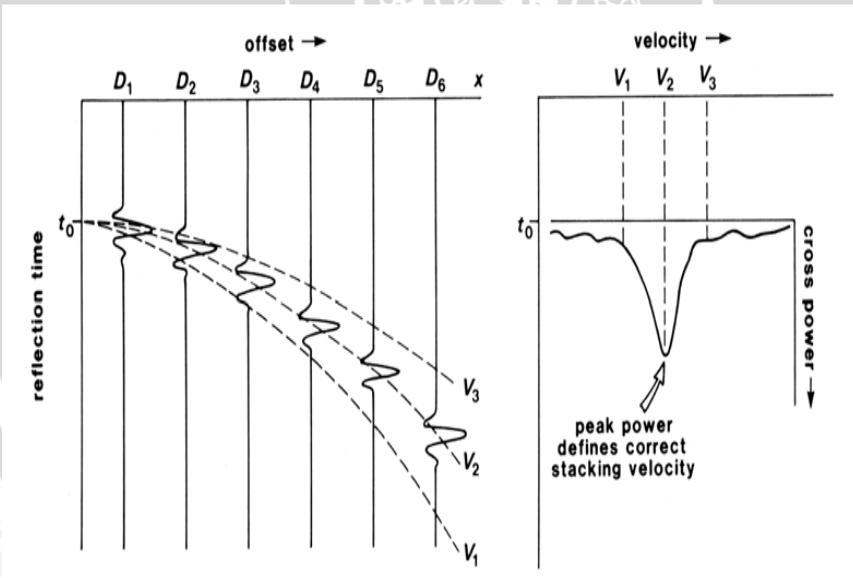
**Gambar 2.10.** Rekaman seismik buatan (Gadallah, 2009)

## 2.5 Metode dalam Analisis Kecepatan

Analisis kecepatan (*velocity analysis*) adalah upaya untuk memprediksi kecepatan gelombang seismik sampai kedalaman tertentu. Analisis kecepatan dilakukan didalam proses pengolahan data seismik pada data CMP (*Common Mid Point*) gather. (Abdullah, 2009). Analisis kecepatan dapat diartikan pula sebagai proses

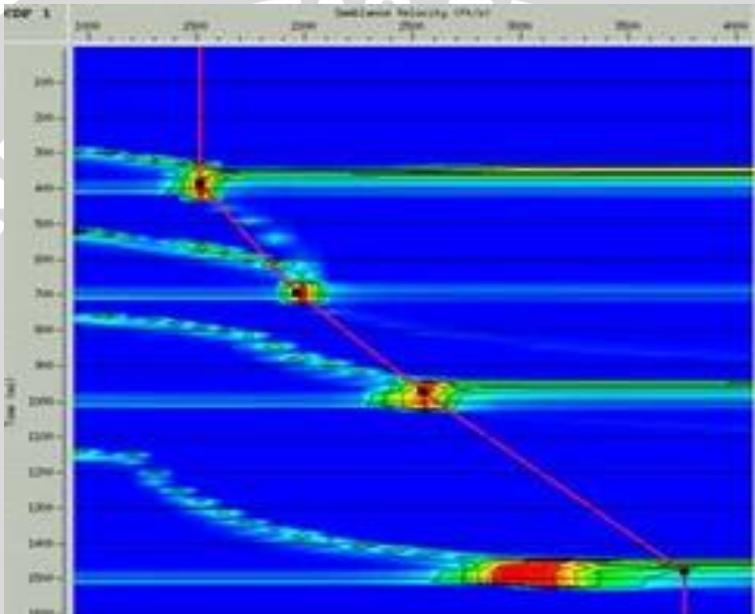
menentukan kecepatan penjalaran gelombang di bawah permukaan. Prinsip dari analisis kecepatan ini adalah mencari persamaan hiperbolik yang sesuai dengan sinyal yang dihasilkan. Waktu tempuh yg terekam adalah dua kali waktu tempuh gelombang atau dapat disebut *two way time* (TWT). Hal ini disebabkan semakin jauh jarak (*offset*) suatu penerima maka semakin besar waktu yang diperlukan gelombang untuk merambat dari sumber ke penerima. Efek yang ditimbulkan dari peristiwa ini adalah reflektor yang terekam berbentuk hiperbolik. Estimasi kecepatan didapat dari pengukuran waktu rambat dibandingkan offset dengan pendekatan kecocokan kurva hiperbola terbaik (*best fit approach*). (Asyafe, 2010).

Prinsip dasar dari analisis kecepatan ini adalah mencoba-coba nilai kecepatan sampai memperoleh hasil yang tepat (*trial and error*). Apabila kecepatan yang dicari bernilai  $V_s$  maka dilakukan coba-coba nilai kecepatan dari  $V_1$  sampai  $V_2$  yang mana nilai  $V_1 > V_s > V_2$  dengan interval  $\Delta V$  yang cukup kecil.



**Gambar 2.11.** Prinsip analisis kecepatan berdasarkan kecocokan kurva hiperbola terbaik (Cordier,1983)

Keluaran dari salah satu tipe analisis kecepatan ialah berupa tabel angka. Tabel angka tersebut merupakan fungsi kecepatan terhadap waktu tempuh dua arah untuk pantulan tegak lurus (normal) atau biasa disebut spektrum kecepatan. Angka – angka ini mewakili hasil penghitungan koherensi sinyal-sinyal pantul sepanjang lengkung hiperbolik yang terbentuk oleh kecepatan, *offset*, dan waktu tempuh.



**Gambar 2.12.** Spektrum kecepatan (Asyafe,2010)

Analisis kecepatan biasa dilakukan dengan memilih nilai kecepatan berdasarkan koherensi maksimum. Koherensi maksimum berhubungan dengan pantulan utama sehingga terbentuk suatu fungsi kecepatan pada lokasi yang dianalisis.

Ada beberapa cara dalam proses analisis kecepatan gelombang seismik yang menjalar dipermukaan yaitu melalui data seismik, *vertical seismic profiling* dan *well log drilling*. Pada prinsipnya metode-metode ini adalah untuk mencari nilai kecepatan gelombang yang tepat pada tiap lapisan.

## 2.6 Kecepatan Gelombang Seismik

Ada beberapa macam definisi kecepatan gelombang seismik yaitu:

1. Kecepatan sesaat (*Instantaneous Velocity*) adalah laju gelombang yang melalui satu titik dan diukur pada arah rambatan gelombang.

$$V = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta z}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.23)$$

2. Kecepatan Interval (*Interval Velocity*) adalah laju rata-rata antara dua titik yang diukur tegak lurus terhadap kecepatan lapisan yang dianggap sejajar.

$$V_i = \frac{\Delta z}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.24)$$

3. Kecepatan Semu (*Apparent Velocity*) adalah laju gelombang yang merambat sepanjang bentang perekaman. Misalnya pada sistem lapisan miring ( $\xi$ ).

$$V_a = \frac{v}{\sin(\theta_c - \xi)} \dots\dots\dots (2.25)$$

$\theta_c$  = sudut kritis,  
 $v$  = kecepatan sebenarnya

4. Kecepatan rata-rata adalah perbandingan jarak vertikal  $\Delta z_f$  terhadap waktu perambatan gelombang  $\Delta t_f$  yang menjalar dari sumber ke kedalaman tersebut.

$$\bar{V} = \frac{\sum_f v_f \cdot \Delta t_f}{\sum_f \Delta t_f} = \frac{\sum_f \Delta z_f}{\sum_f \Delta t_f} \dots\dots\dots (2.26)$$

5. Kecepatan RMS (*Root Mean Square*) adalah kecepatan total dari system perlapisan horizontal dalam bentuk akar kuadrat pukul rata. Apabila waktu rambat vertikal  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots \Delta t_n$ , dan kecepatan masing-masing lapisan  $v_1, v_2, \dots v_n$  maka kecepatan RMS-nya untuk n lapisan adalah,

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n V_k^2 \cdot \Delta t_k}{\sum_{k=1}^n \Delta t_k}} \dots\dots\dots (2.27)$$

- Kecepatan *Stack* (*Stacking Velocity* atau  $V_{NMO}$ ), adalah nilai kecepatan empiris dengan tepat hubungan antara  $T_x$  dengan  $T_o$  pada persamaan NMO,

$$T_x = T_o^2 + \left(\frac{x}{V_{NMO}}\right)^2 \dots\dots\dots (2.28)$$

- Kecepatan migrasi (*Migration Velocity*), adalah nilai kecepatan empiris yang memberikan hasil terbaik ketika digunakan dalam perhitungan migrasi.

(Sismanto, 1996)

## 2.7 Koreksi NMO Lapisan Datar

*Normal Move Out* (NMO) merupakan selisih waktu datang gelombang pantul pada masing –masing *offset* dengan waktu datang gelombang pantul untuk *offset* nol (Yilmaz, 2001). Adanya jarak *offset* mengakibatkan waktu datang gelombang pantul tidak membawa informasi langsung dimana letak reflektor berada. Hal ini dipengaruhi oleh semakin besar *offset* semakin lama waktu datangnya. Oleh karena itu, waktu datang gelombang seismik perlu dikoreksi NMO terlebih dahulu sebelum dilakukan penjumlahan *trace* atau *stacking*. Koreksi NMO atau koreksi dinamik adalah suatu koreksi untuk memindahkan pengaruh perbedaan letak antara sumber dan penerima pada data CDP Gather. Hasil dari proses ini adalah seolah olah sumber dan penerima terletak padapantulan (Sukmono,1995).

Waktu tempuh gelombang refleksi adalah

$$T_x = \left[ T_o^2 + \left(\frac{x}{v}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan ,

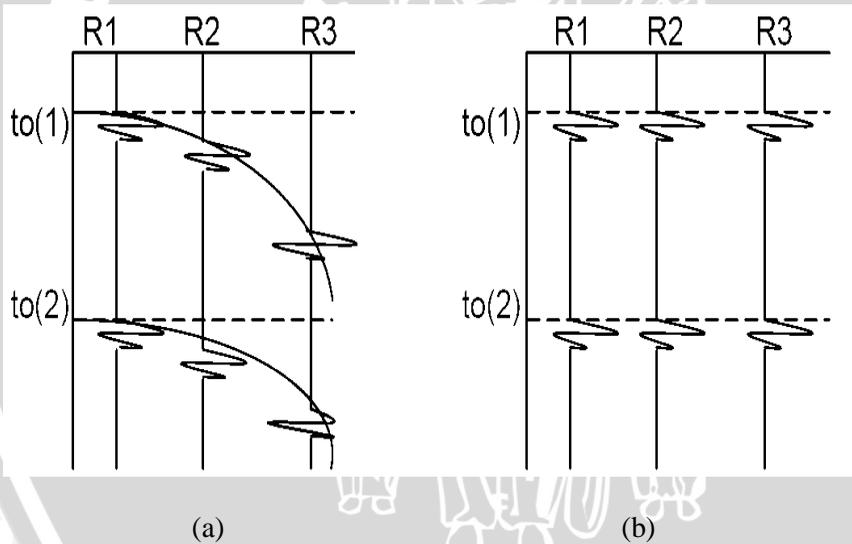
$T_0 = 2h/V$  yakni waktu rambat bolak balik (TWT) gelombang refleksi pada pantulan normal

$h$  = Ketebalan lapisan

Koreksi NMO adalah koreksi yang diperlukan untuk membawa gelombang refleksi dari pantulan miring (NNI = *Non Normal Incidence*) ke pantulan normal (tegak lurus)

$$\Delta T_x = T_x - T_0 \quad \dots \dots \dots (2.30)$$

Dapat diamati bahwa  $\Delta T_x$  berubah dengan waktu. Hal ini disebabkan oleh lengkung hiperbola refleksi yang dinyatakan dalam persamaan 2.26 berperilaku semakin landai untuk  $T_0$  yang semakin besar. (Munadi, 2002)

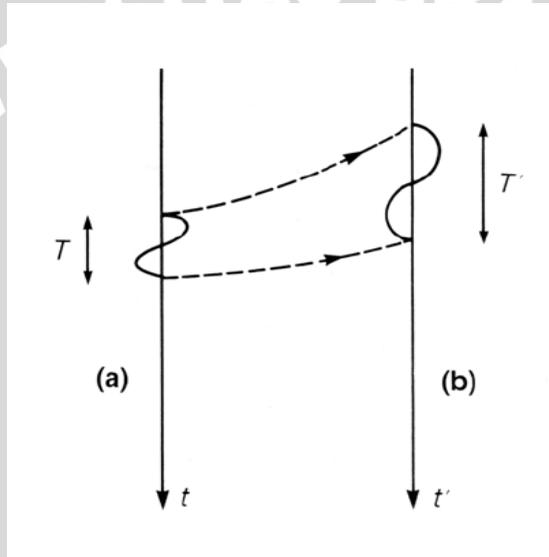


**Gambar 2.13** a) Sebelum koreksi NMO b) Setelah koreksi NMO (Pratama, 2008)

Dapat dilihat pada **Gambar 2.13**, lengkung hiperbolik yang telah dikoreksi NMO berubah menjadi datar. sementara lengkung

hiperbolik yang belum dikoreksi NMO tidak berubah menjadi datar karena kecepatannya kurang tepat. Kecepatan yang kurang tepat hanya akan menghasilkan amplitudo hasil *stacking* yang rendah.

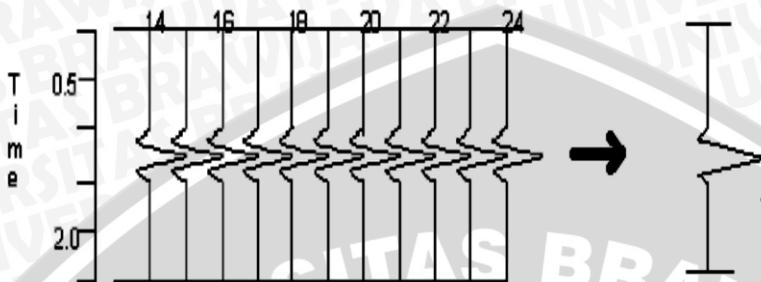
Kelemahan dari koreksi NMO ini adalah adanya proses *stretching*. *Stretching* merupakan pelemahan nilai amplitudo dan frekuensi gelombang seismik. Pelemahan tersebut diakibatkan oleh proses perenggangan gelombang refleksi dari pantulan miring ke pantulan normal (Yilmaz, 2001).



**Gambar 2.14.** *Stretching* akibat pantulan miring ke pantulan normal (Yilmaz, 2001)

## 2.8 *Stacking*

*Stacking* adalah proses penjumlahan *trace-trace* dalam satu *gather*. Tujuannya untuk mempertinggi *signal to noise ratio* (S/N). Proses ini biasanya dilakukan berdasarkan CDP yang tergabung pada satu CDP dan telah dikoreksi NMO. Kemudian dijumlahkan untuk mendapat satu *trace* yang tajam dan bebas *noise* inkoheren. (Sukmono, 1999)



**Gambar 2.15** Proses penjumlahan *trace-trace* dalam satu CDP (*stacking*) (Yilmaz, 2001)

Persamaan dari *stacking* ini adalah :

$$S_t = \sum_{i=1}^m A(i) \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

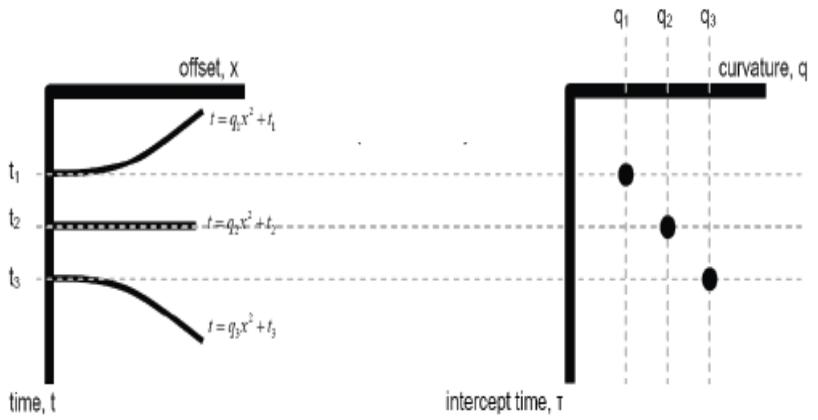
Dimana  $S_t$  = *Stacking* amplitudo

$A(i)$  = Amplitudo *trace* ke- $i$

(Sukmono, 1995)

*Hyperbolic Stacking* merupakan penjumlahan *trace-trace* seismik dengan pendekatan persamaan hiperbolik atau persamaan kecepatan *stack* (ottolini, 1983). Menurut Bazelaire (1991) (dalam Munadi ,1994) *stacking* sepanjang kurva hiperbolik disebut pula *Hyperbolic Hough transform*. *Hough Transform* merupakan transformasi yang mengubah kurva menjadi titik.

*Hyperbolic stacking* ini memiliki kelebihan dari pada *linier stack* pada point 2.5. *Hyperbolic stacking* ini tidak memerlukan koreksi NMO sehingga dapat mempersingkat proses pengolahan data seismik selain itu tidak akan terkena proses *stretching* akibat penerapan NMO.



**Gambar 2.16.** Proses *hyperbolic stacking* (PGS Publication, 2008)



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB III METODE PENELITIAN

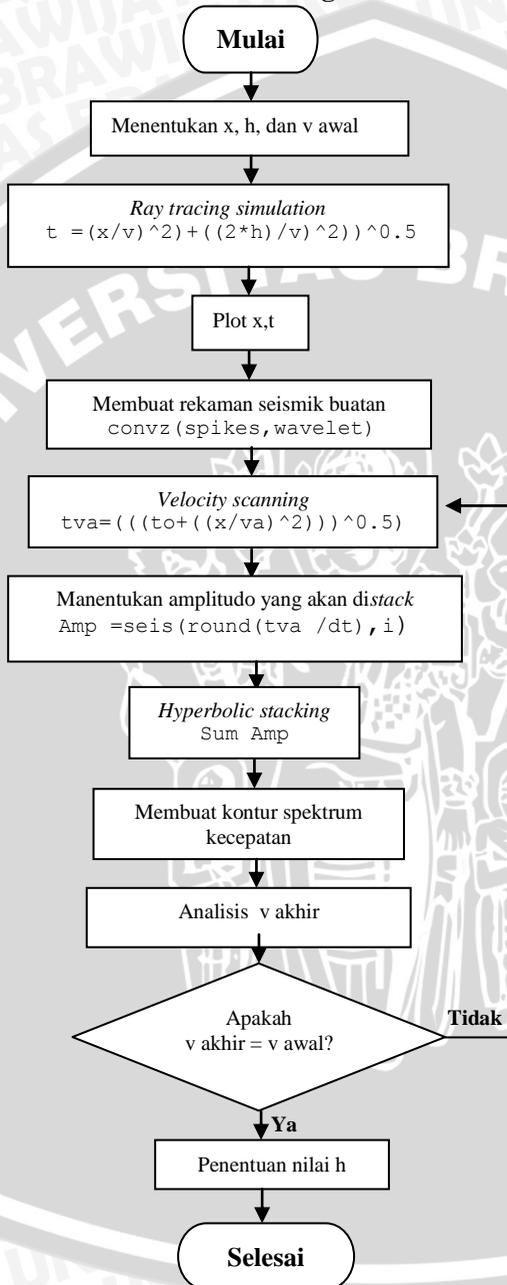
### 3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua bagian utama yaitu pembuatan program *forward modeling* dan penerapan data lapangan pada program *forward modeling*.

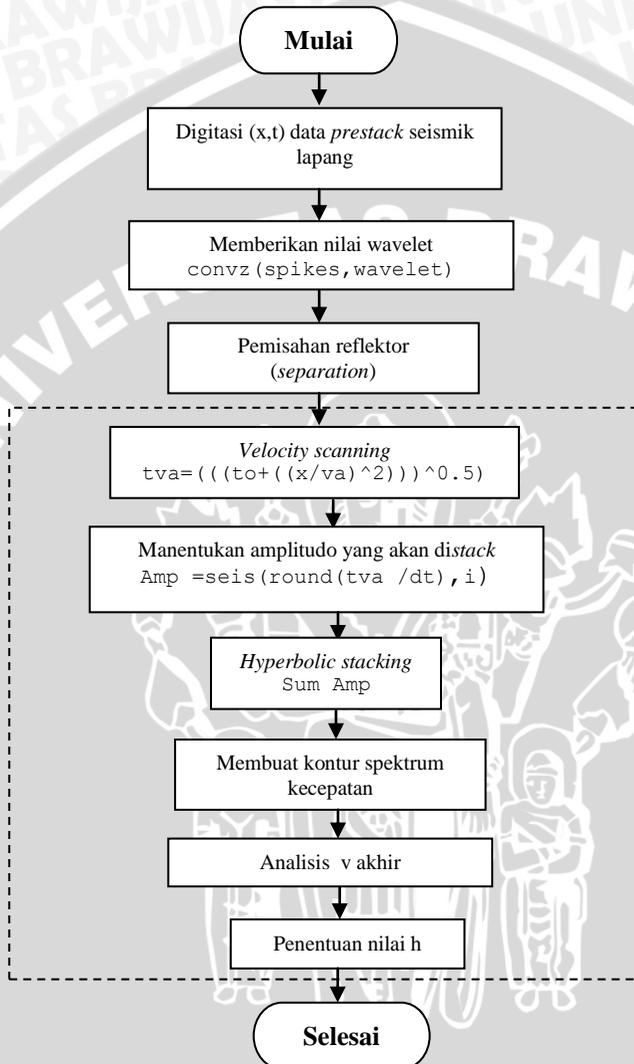
1. Menentukan nilai *offset* ( $x$ ) dalam meter, kecepatan ( $v$ ) dalam meter per sekon dan kedalaman ( $h$ ) dalam meter. Proses ini dapat disebut sebagai pendefinisian geologi awal.
2. Melakukan simulasi penyapuan sinar (*ray tracing*) guna memperoleh waktu tempuh gelombang refleksi yang tepat berdasarkan model geologi awal.
3. Membuat rekaman seismik buatan berdasarkan kurva waktu tempuh yang telah diperoleh sebelumnya.
4. Membuat program penyapuan nilai kecepatan.
5. Melakukan *hyperbolic stacking*.
6. Membuat spektrum kecepatan dengan metode *contouring* berdasarkan nilai amplitudo hasil sapuan nilai kecepatan.
7. Nilai kecepatan yang paling tepat berdasarkan nilai amplitudo maximum yang tampil pada spektrum kecepatan.
8. Mencocokkan hasil nilai kecepatan yang diperoleh dengan masukan model geologi awal.
9. Penentuan nilai kedalaman berdasarkan nilai kecepatan yang diperoleh.
10. Program analisis kecepatan dan penentuan kedalaman yang telah siap diterapkan pada data *prestack* seismik lapang.

Data *prestack* seismik lapang yang telah didigitasi dan diberi wavelet akan dianalisis kecepatannya menggunakan program *forward modeling* yang telah dibuat sebelumnya.

## Diagram Alir Pembuatan Program *Forward Modeling*



## Diagram Alir Pengolahan Data *Prestack* Seismik Lapang



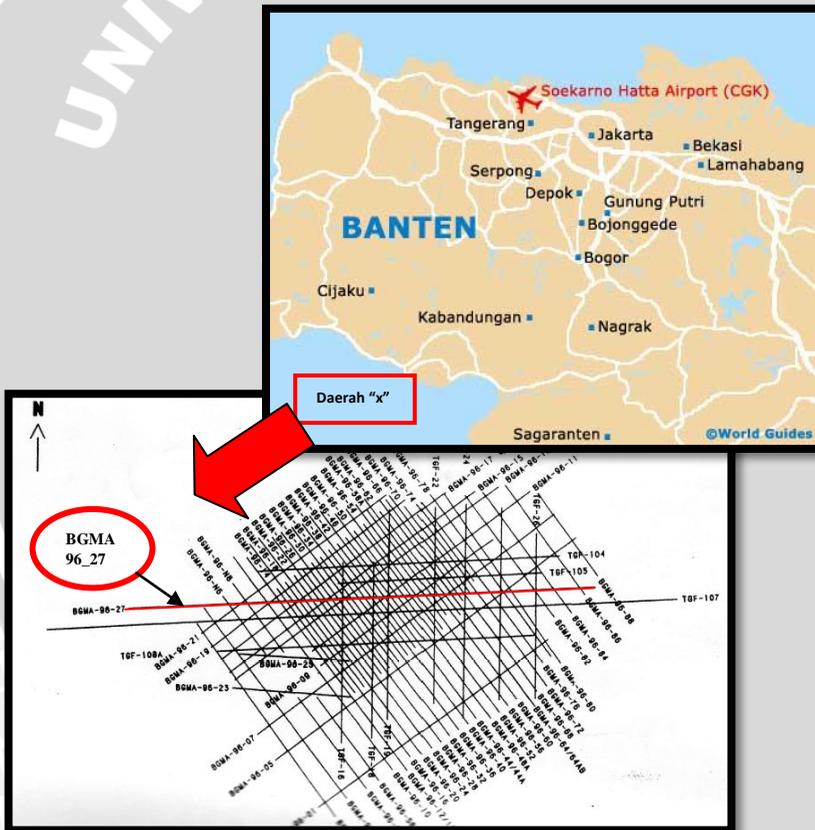
**Keterangan** ---- : Diagram alir di dalam garis putus-putus merupakan bagian dari hasil penerapan *forward modeling* yang telah dibuat sebelumnya.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 22 Februari 2010 sampai 31 Agustus 2010 di Laboratorium Geofisika, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak Gas Bumi “LEMIGAS”, Jakarta.

### 3.3 Data Penelitian

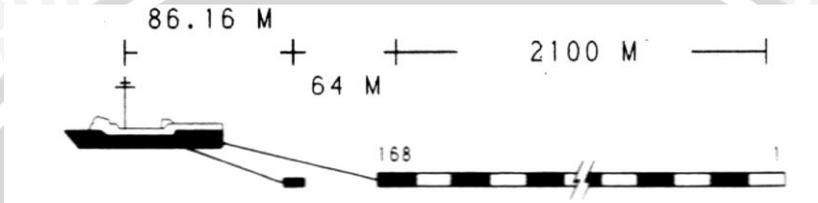
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data 2D *Prestack* Seismik Laut yang dihasilkan dari perekaman gelombang seismik yang diterima oleh *hydrophone*. Dengan daerah penelitian adalah daerah “x” *line 2D Survey BGMA96-27Offshore*



Gambar 3.1. Daerah survei penelitian (yang ditandai garis merah)

Geometri penembakan dari survei ini adalah :

- Jumlah *Channel* : 168 *Channel*
- Jarak Interval *Shot Point* : 12.5 m
- Jarak Interval *Group* : 12.5 m



**Gambar 3.2.** Geometri penembakan

### 3.4 Perangkat yang Digunakan

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 set laptop dengan spesifikasi Intel Celeron Processor (1.86 GHz, 2 GB DDR2, 80 GB HDD). Dengan menggunakan program MATLAB 7.1 dan *software* Geoview Humpson Russel

### 3.5 Pengolahan Data

#### 3.5.1 Pembuatan program *forward modeling*

*Forward modeling* merupakan tahap awal yang harus dilakukan pada penelitian ini. Pada tahap ini program analisis kecepatan gelombang seismik harus dibuat seakurat mungkin. Dengan demikian program ini dapat diterapkan pada data lapang.

#### 3.5.2 Membuat model geologi awal

Model geologi awal merupakan masukan awal pada penelitian ini. Model ini dibuat dengan cara memberikan nilai kedalaman ( $h$ ), *offset* ( $x$ ), dan kecepatan ( $v$ ) dari tiap lapisan. Pada penelitian ini tidak memberikan masukan parameter fisis batuan berupa porositas dan densitas karena parameter tersebut tidak digunakan dalam pengolahan data. Model geologi awal yang diberikan pada penelitian ini adalah model geologi satu lapisan.

Program ini sengaja dibuat untuk menganalisis tiap lapisan sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat.

### **3.5.3 Penelusuran sinar ( *Ray tracing simulation* )**

Pada penelitian ini, penelusuran sinar yang digunakan adalah penyapuan sinar pada medium homogen sederhana. *Ray tracing* merupakan suatu proses penelusuran sinar dalam medium yang bertujuan untuk mengetahui waktu penjalaran gelombang di dalamnya. Menelusuri sinar berarti setiap saat mengetahui posisi, arah dan panjang lintasan yang ditempuh sinar. Tahapan ini merupakan tahapan yang penting dalam pemodelan yang bertujuan mengetahui bentuk lapisan bawah permukaan. Penelusuran sinar ini dapat menghasilkan nilai waktu tempuh yang tepat. Waktu tempuh ini yang akan diplot dengan *offset* sebagai kurva waktu tempuh gelombang refleksi.

### **3.5.4 Kurva waktu tempuh gelombang refleksi**

Kurva waktu tempuh gelombang refleksi ini merupakan plot antara *offset* ( $x$ ) dan waktu tempuh ( $t$ ) gelombang seismik pada model geologi awal. Saat gelombang seismik ditembakkan, energi dari gelombang seismik tersebut akan masuk ke dalam bumi. Pada saat gelombang tersebut menemui bidang batas antar lapisan energi tersebut akan dipantulkan menuju ke penerima dan direkam sebagai waktu tempuh sesuai persamaan 2.25.

### **3.5.5 Membuat rekaman seismik buatan**

Proses ini bertujuan membuat rekaman seismik berdasarkan kurva waktu tempuh yang telah dibuat sebelumnya, dengan cara mengkonvolusikan wavelet sumber dengan koefisien refleksi. Tidak ada *input* awal berupa nilai densitas pada penelitian ini sehingga koefisien refleksi diasumsikan memiliki nilai 0.25.

### **3.5.6 Penyapuan nilai kecepatan ( *Velocity Scanning* )**

Rekaman seismik buatan yang telah dibuat sebelumnya merupakan representasi dari gelombang seismik refleksi yang melewati suatu lapisan batuan. Dari rekaman tersebut dapat diketahui informasi lapisan batuan yang dilewati olehnya, salah satunya adalah

kecepatan. Untuk mengetahui nilai kecepatan dari rekaman seismik buatan yang telah dibuat sebelumnya adalah dengan cara penyapuan nilai kecepatan. Penyapuan nilai kecepatan ini dibuat dengan memberikan berbagai nilai kecepatan dengan variasi nilai waktu awal dengan selisih waktu ( $dt$ ) 0.02 detik. Cara kerja dari penyapuan nilai kecepatan ini adalah dengan memberi nilai kecepatan  $V_a$ . Jika kecepatan yang dicari bernilai  $V_a$ , dilakukan coba-coba nilai kecepatan dari  $V_1$  sampai  $V_2$  dimana nilai  $V_1 > V_a > V_2$  dengan interval  $\Delta V$  yang cukup kecil. Nilai kecepatan  $V_a$  adalah  $V_1$  m/s dengan  $t_o = t_1$  s kemudian berganti dengan  $V_1 + \Delta V$  m/s dengan  $t_o = t_1$  s dan terus berganti kecepatan dengan  $t_o$  yang tetap. Saat kecepatan telah mencapai batas yang diberikan yaitu  $V_2$  m/s, secara otomatis penyapuan kecepatan beralih pada  $t_o$  selanjutnya yaitu  $t_1 + \Delta t$  s dengan kecepatan dimulai kembali dari  $V_1$  m/s. Demikian seterusnya hingga  $t_o$  mencapai  $t_2$  s dengan kecepatan  $V_2$  m/s.

### **3.5.7 *Hyperbolic stacking***

Penyapuan nilai kecepatan dengan variasi  $t_o$  akan menghasilkan ribuan kurva hiperbolik. Pada saat kecepatan dan  $t_o$  tertentu, beberapa kurva hiperbolik tersebut akan melewati *trace* seismik buatan dan bertemu dengan nilai amplitudo. Masing-masing dari kurva hiperbolik yang berjumlah ribuan tersebut dijumlah (*stack*) dengan metode *hyperbolic stacking*. Dengan demikian akan ada satu nilai amplitudo dari tiap kurva hiperbolik. Amplitudo kurva hiperbolik yang bernilai maksimumlah yang dicari karena mendekati dengan nilai amplitudo dari *trace* seismik buatan.

### **3.5.8 Kontur spektrum kecepatan**

Kontur spektrum kecepatan ini dibuat berdasarkan nilai amplitudo yang didapat dari ribuan kurva hiperbolik. Nilai amplitudo dicari nilainya yang paling mendekati amplitudo *trace* seismik. Nilai inilah yang disebut nilai maximum yang terletak ditengah dengan warna merah gelap.

### **3.5.9 Mencari nilai kecepatan yang paling tepat**

Nilai amplitudo maksimum yang dilihat melalui kontur spektrum kecepatan mengandung informasi kurva hiperbolik asalnya. Kurva hiperbolik tersebut memiliki nilai kecepatan yang mendekati

nilai sesungguhnya. Demikian pula dengan  $t_0$ , dapat diketahui pula berdasarkan informasi kurva hiperbolik tersebut. Nilai kecepatan tersebutlah yang dianggap benar.

### 3.5.10 Penentuan nilai kedalaman

Nilai kedalaman pada model ini dicari berdasarkan persamaan 2.25. Nilai  $V$  yang tepat disubstitusikan supaya nilai kedalaman yang didapat bernilai tepat pula. Kecepatan yang didapat merupakan nilai kecepatan yang dicari berdasarkan metode *hyperbolic stacking* yang sebelumnya dilakukukan dengan cara penyapuan nilai kecepatan.

### 3.5.11 Penerapan program pada data *prestack* seismik lapang

Data *prestack* seismik lapang merupakan data rekaman gelombang seismik yang masih mentah dan belum diolah. Data *prestack* seismik ini mengandung informasi yang dibutuhkan dalam pengolahan data yaitu waktu tempuh ( $t$ ), dan *offset* ( $x$ ). Data *prestack* seismik difilter menggunakan *band pass filter* 20-50 Hz terlebih dahulu untuk memperkuat sinyal dan melemahkan *noise* menggunakan *software* Geoview Humpson Russel. Kemudian gelombang refleksi yang mempunyai amplitudo sangat kuat dipilih untuk diolah lebih lanjut. Gelombang yang telah dipilih ini didigitasi dengan cara memplot antara nilai  $x$  dan  $t$  sehingga pada akhirnya akan membentuk sebuah kurva refleksi dari data *prestack* seismik.

Hasil digitasi yang telah diperoleh masih berupa kurva hiperbolik  $x, t$  yang belum memiliki wavelet. Oleh karena itu perlu dikonvolusikan terlebih dahulu dengan koefisien refleksi. Koefisien refleksi pada penelitian ini diasumsikan 0.25. Setelah proses ini selesai, hasil rekaman data *prestack* seismik dimasukkan dalam program analisis kecepatan yang telah dibuat sebelumnya. Rekaman data *prestack* seismik ini tidak langsung dianalisis sekaligus tiga lapisan. Akan tetapi, dipisahkan satu per satu dan dianalisis satu per satu.

Rekaman data *prestack* seismik yang telah dimasukkan dalam program diproses lebih lanjut oleh program tersebut untuk dicari nilai kecepatan yang paling mendekati akurat. Nilai kecepatan dicari melalui penyapuan nilai kecepatan (*velocity scanning*)

menggunakan metode *hyperbolic stacking*. Hasil dari nilai kecepatan ini akan tampil pada *command window* program MATLAB 7.1.

Kontur spektrum kecepatan ini dibuat berdasarkan nilai amplitudo. Nilai amplitudo dari kurva hiperbolik yang paling mendekati nilai amplitudo *trace* seismik adalah nilai maximum yang terletak ditengah dengan warna merah. Nilai kecepatan dilihat berdasarkan kontur spektrum kecepatan. Nilai amplitudo yang paling tinggi ditunjukkan oleh kontur yang berwarna merah gelap. Nilai amplitudo pada model ini adalah *minimum V* sampai dengan *maximum V*. Sehingga perlu dicari nilai tengahnya yaitu *middle V*. Nilai *middle V* inilah yang digunakan sebagai nilai kecepatan yang tepat dari tiap lapisan.

Nilai kecepatan dari tiap lapisan yang telah diperoleh dari program *forward modeling* dapat diolah lebih lanjut untuk mencari nilai kedalaman. Jika nilai *offset* (x), waktu tempuh (t), dan kecepatan (v) telah diketahui, nilai kedalaman (h) dari tiap-tiap lapisan dapat diketahui pula dengan cara menggunakan persamaan 2.25.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Hasil Pembuatan Program *Forward Modeling*

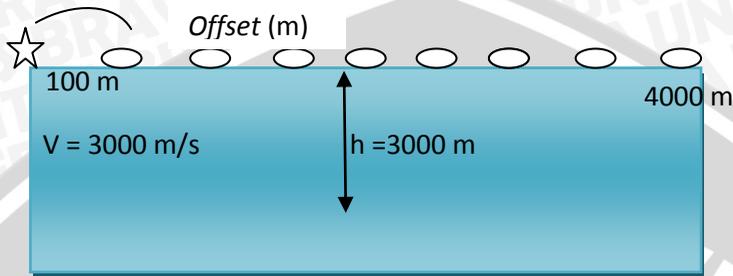
*Forward modeling* merupakan pemodelan kedepan untuk mendapatkan program analisis kecepatan yang tepat berdasarkan data *prestack* seismik. Data *prestack* seismik ini merupakan data mentah hasil rekaman gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan. Setelah mengalami proses pengolahan data seismik, data tersebut dapat menggambarkan bentuk lapisan bawah permukaan daerah yang disurvei.

Gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan memiliki bentuk yang bermacam-macam. Tidak hanya gelombang refleksi saja, akan tetapi gelombang refraksi dan gelombang langsung juga ikut terekam. Sementara itu, untuk menggambarkan struktur lapisan bawah permukaan daerah yang disurvei hanya dibutuhkan informasi dari gelombang yang memiliki pola kurva hiperbolik. Data *prestack* yang memiliki bentuk selain kurva hiperbolik merupakan data yang tidak informatif.

Bentuk hiperbolik ini terjadi karena adanya faktor jarak dari sumber ke penerima. Semakin jauh penerima maka akan semakin lama pula waktu tempuh gelombang seismik untuk sampai ke penerima. Waktu tempuh gelombang refleksi inilah yang dapat memberi gambaran bentuk lapisan bawah permukaan daerah yang disurvei. Tidak hanya waktu tempuh saja yang dibutuhkan untuk mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan, akan tetapi faktor utama yang tak kalah pentingnya adalah kecepatan gelombang seismik refleksi. Kecepatan gelombang seismik refleksi ini tidak dapat diketahui secara langsung didalam data *prestack* seismik. Akan tetapi harus diolah terlebih dahulu dengan suatu proses yang dinamakan analisis kecepatan. Sehingga dari proses analisis kecepatan ini, nilai kecepatan gelombang seismik refleksi dapat diketahui. Oleh karena itu, tahap awal yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah pembuatan program yang tepat dalam analisis kecepatan dengan pembuatan model awal terlebih dahulu.

Model awal yang diberikan adalah model satu lapisan homogen isotropis. Yaitu *offset* ( $x$ ) dimulai dari 0 sampai dengan 4000 meter

dengan interval 100 meter, kecepatan ( $v$ ) = 3000 m/s dan kedalaman ( $h$ ) = 3000 m

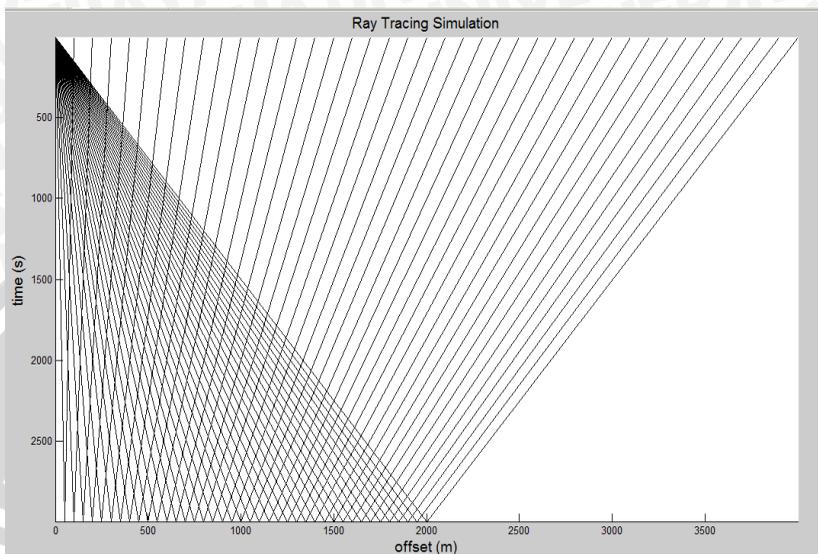


**Gambar 4.1.** Model geologi awal

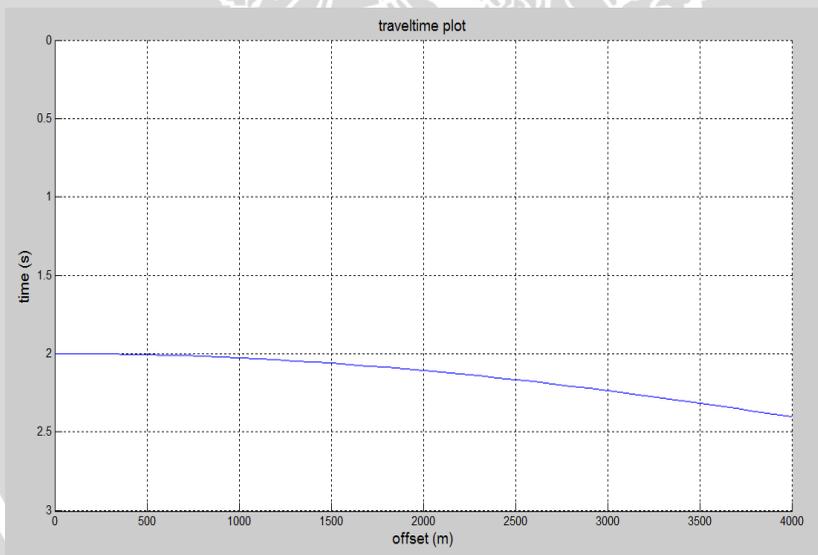
Waktu tempuh gelombang seismik yang melewati medium paa model awal ini dapat dicari dengan persamaan 2.25. Untuk mengetahui nilai tempuh gelombang seismik secara akurat, perlu dilakukan penelusuran sinar (*ray tracing*). **Gambar 4.2** Dengan penelusuran sinar ini berarti setiap saat mengetahui posisi, arah dan panjang lintasan yang ditempuh sinar. Pada penelitian ini penelusuran sinar yang digunakan adalah penelusuran sinar pada medium homogen sederhana. Nilai waktu tempuh  $t_x$  yang dihasilkan dari penelusuran sinar dan *offset* ( $x$ ) diplot. Sumbu  $x$  sebagai *offset* ( $x$ ) dan sumbu  $y$  sebagai waktu tempuh ( $t_x$ ). Hasilnya adalah kurva hiperbolik waktu tempuh gelombang seismik (**Gambar 4.3**)

Kenyataan yang ada dalam dunia seismik eksplorasi adalah data yang didapatkan bukanlah sebuah kurva hiperbolik waktu tempuh saja. Akan tetapi, dalam kurva tersebut mengandung nilai amplitudo yang menggambarkan polaritas dan koefisien refleksi dari gelombang seismik. Koefisien refleksi tersebut merupakan cerminan dari bidang batas media yang memiliki harga impedansi akustik yang berbeda. Impedansi akustik mengandung arti perkalian antara densitas dan kecepatan.

Untuk mendapatkan nilai densitas dari batuan yang ada di bawah permukaan, haruslah dilakukan pengeboran terlebih dahulu. Dengan demikian proses *well logging* dapat dilakukan dan nilai densitas batuan dapat dicari.

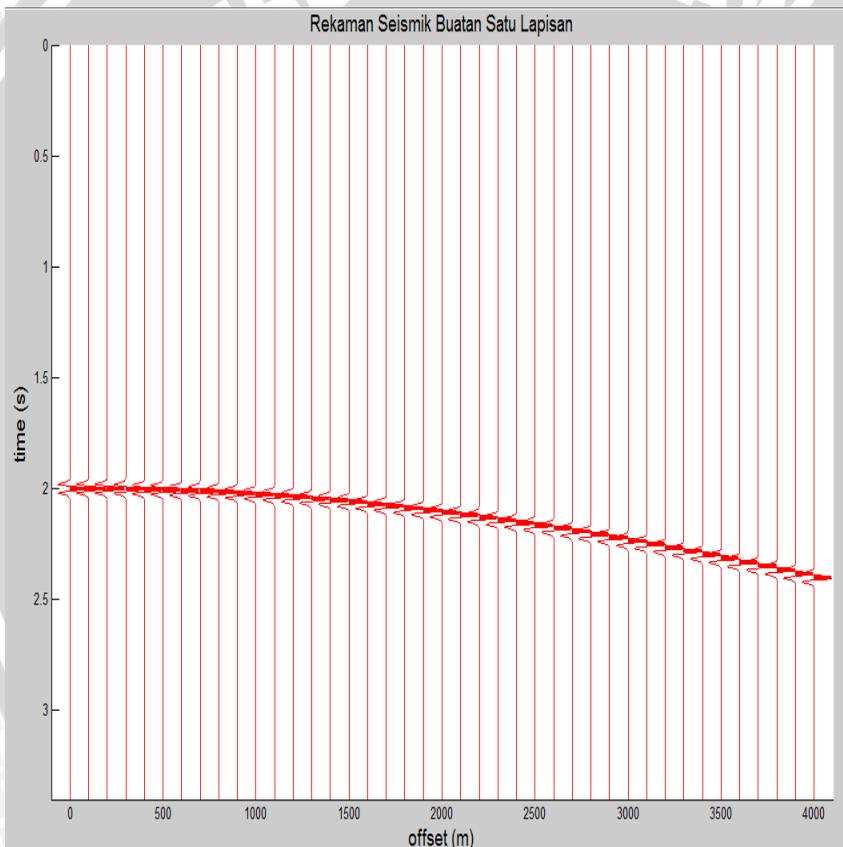


**Gambar 4.2.** Penelusuran sinar seismik



**Gambar 4.3.** Kurva waktu tempuh hasil penelusuran sinar

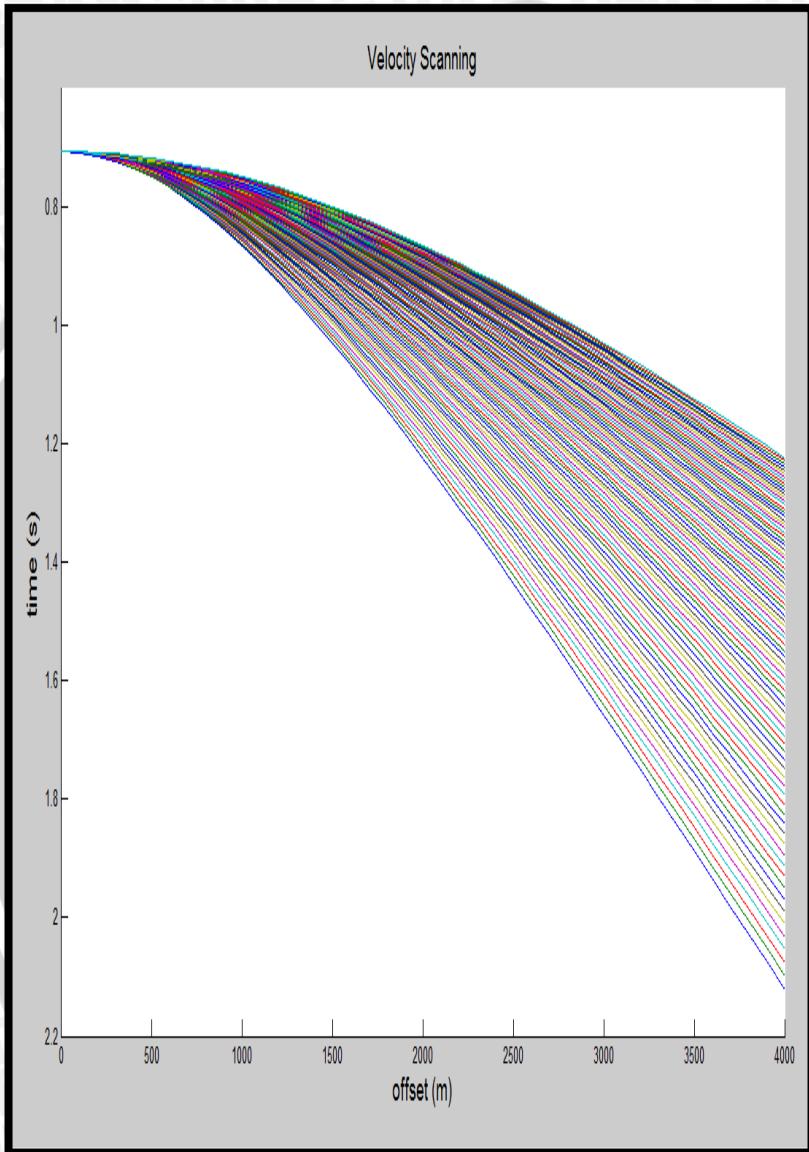
Akan tetapi, data yang ada pada penelitian ini hanyalah data *prestack* seismik saja. Oleh karena itu, nilai dari koefisien refleksi dari tiap lapisan tidak diketahui. Koefisien refleksi diasumsikan memiliki nilai 0.25. Nilai ini mengandung arti bahwa amplitudo dari gelombang seismik ketika melewati suatu batas medium memiliki nilai 0.25. Kurva hiperbolik waktu tempuh gelombang seismik yang telah menjadi data rekaman seismik buatan, dibuat dengan cara mengkonvolusikan wavelet sumber dan koefisien refleksi sebesar 0.25. (**Gambar 4.4**)



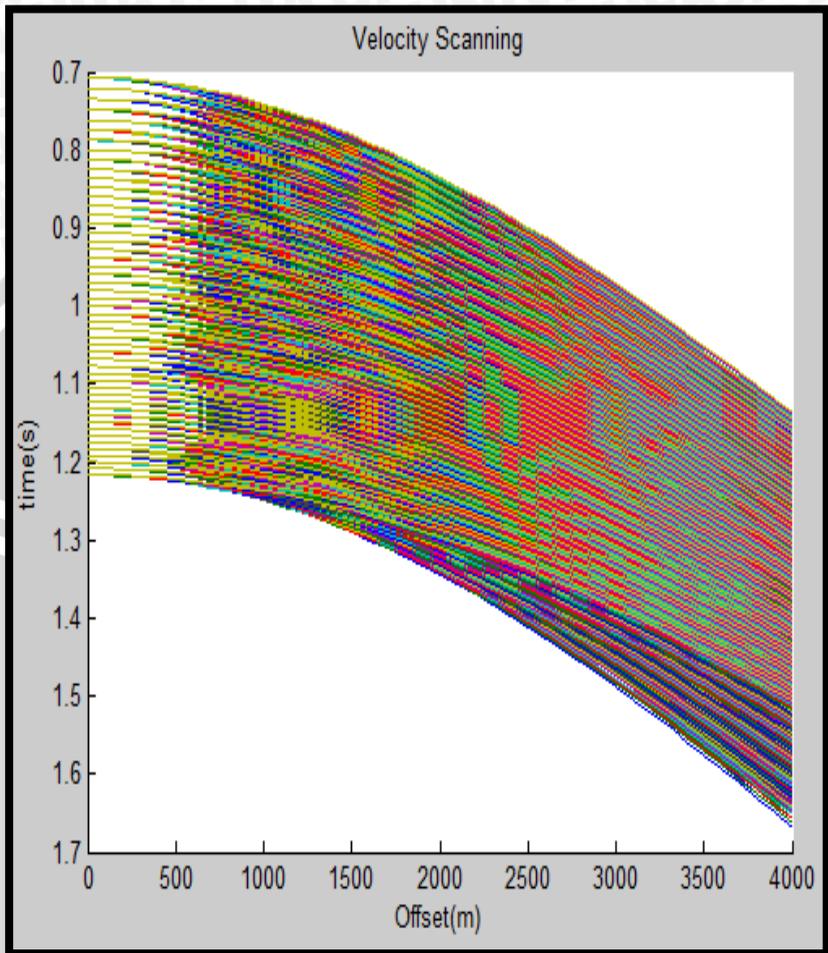
**Gambar 4.4 .** Rekaman seismik buatan satu lapisan

Rekaman seismik buatan yang dianalisis kecepatannya lebih lanjut. Kecepatan awal yang dijadikan masukan awal adalah 3000 m/s. Harapannya program ini juga bisa memberi keluaran hasil nilai kecepatan yang sama persis yaitu 3000 m/s. Dengan demikian penentuan kedalaman dari suatu lapisan dapat diperkirakan secara akurat. Penyapuan nilai kecepatan sangatlah penting pada program ini.  $V_a$  yang diberikan dimulai dari nilai 2500 m/s sampai dengan 3500 m/s dengan interval sebesar  $\Delta V = 25$ . Nilai waktu awal pendekatan waktu awal ( $t_0$ ) yang diberikan dimulai dari 0.5 s sampai 4 s dengan interval  $dt = 0.002$  s. Penjelasan adalah saat pertama kali penyapuan,  $V_a$  yang diberikan adalah 2500 m/s dengan  $t_0$  0.5 s. Selanjutnya berganti dengan 2525 m/s dengan  $t_0$  0.5 s dan terus berganti kecepatan dengan  $t_0$  yang tetap. Saat kecepatan telah mencapai batas yang diberikan yaitu 3500 m/s, secara otomatis penyapuan kecepatan beralih pada  $dt$  selanjutnya yaitu 0.502 s. Kecepatan dimulai kembali dari 2500 m/s. Demikian seterusnya hingga  $t_0$  mencapai 4 s dan kecepatan mencapai 3500 m/s. (**Gambar 4.6**)

Penyapuan nilai kecepatan menghasilkan ribuan kurva hiperbolik waktu tempuh. Kurva waktu hiperbolik inilah yang akan *distack* menggunakan *hyperbolic stacking*. Inilah bagian inti dari program analisis kecepatan. Kurva hiperbolik waktu tempuh ini memiliki posisi yang dapat diketahui keberadaannya. Yaitu dengan cara membagi nilai waktu tempuh  $t_x$  dengan  $dt$ . Demikian pula pada data rekaman seismik buatan sebelumnya juga ditentukan posisinya, Dengan demikian dapat diketahui titik perpotongan dari kedua kurva tersebut. Kurva yang dicari berdasarkan nilai kecepatan  $V_a$  akan melewati data rekaman seismik buatan. Rekaman seismik buatan ini memiliki sinyal-sinyal yang tiap sinyal itu memiliki nilai amplitudo. Tiap kurva tersebut akan memiliki nilai amplitudo. Nilai amplitudo inilah yang akan *distack* dengan metode *hyperbolic stacking*. Ribuan kurva yang dicari menggunakan kecepatan  $V_a$  akan memiliki satu nilai amplitudo. Amplitudo yang berjumlah ribuan tersebut dicari yang maximum. Amplitudo yang maximum inilah yang dicari asal  $V_a$  dan  $t_0$  berapa. Inilah keunggulan dari metode ini, *stacking* dilakukan tanpa koreksi NMO. Jika koreksi NMO diterapkan, ada distorsi frekuensi dan amplitudo akibat peristiwa perenggangan (*stretching*).



**Gambar 4.5.** Prinsip penyapuan nilai kecepatan



**Gambar. 4.6** Penyapuan nilai kecepatan dengan perubahan  $t_0$

Pada model ini amplitudo maximum berasal dari  $V_a$  ke-21, yaitu bernilai 3000 m/s dengan persentase kesalahan matematis sebesar 1.17 % dan persentase kesalahan model sebesar 0.02 % . Kesalahan matematis ini didapat melalui persamaan 4.1

$$\left| \frac{(\text{Amplitude Stack} - \text{Amplitude Max})}{\text{Amplitude Stack}} \right| \times 100 \% \dots \dots \dots (4.1)$$

Sedangkan persentase kesalahan model didapat melalui,

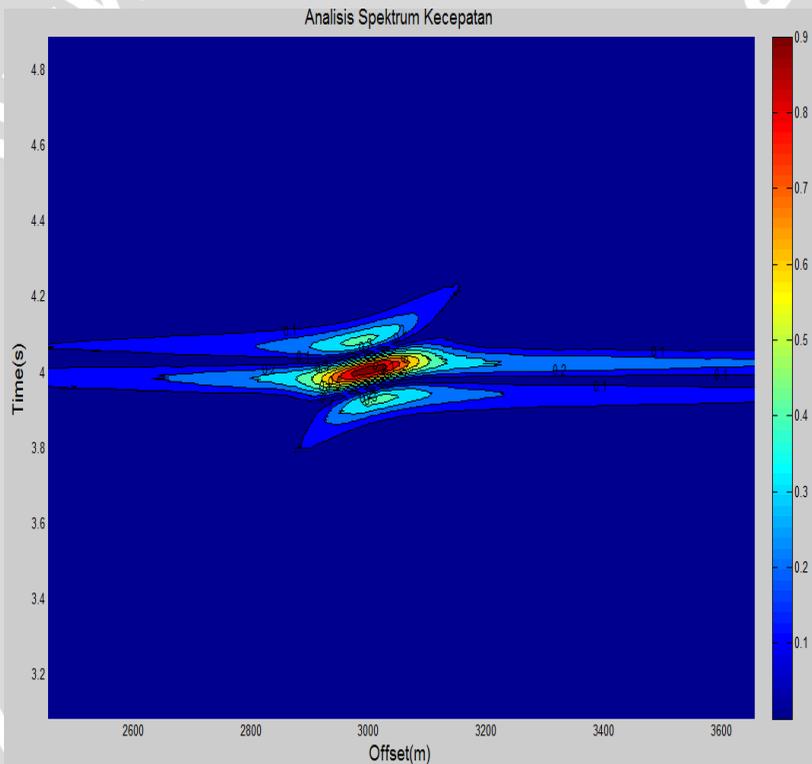
$$\left| \frac{(V_c - \text{Velocity model})}{V_c} \right| \times 100 \% \dots \dots \dots (4.2)$$

V<sub>c</sub> adalah kecepatan yang dilihat berdasarkan kontur spektrum kecepatan. Nilai yang paling tinggi ditunjukkan oleh kontur yang paling dalam yaitu warna merah. Nilai amplitudo maximum pada model ini menunjukkan kecepatan yang bernilai 2969.7 m/s sampai dengan 3031,6 m/s. Selanjutnya dicari nilai tengahnya yaitu 3000,7 m/s. Jika di analisis lebih lanjut nilai ini hampir mendekati nilai kecepatan pada model awal yaitu 3000 m/s. Dengan persentase kesalahan 0.02 %. Program yang dibuat pada penelitian ini memang sengaja menggunakan pembulatan yang menyebabkan nilai kecepatan yang dibaca menjadi bulat. Dalam penentuan posisi amplitudo rekaman data seismik, kolom dan baris pada program MATLAB haruslah dibuat dalam bentuk integer. Supaya posisi lebih mudah untuk ditentukan. Hasil dari penyapuan sinar (*velocity scanning*) menghasilkan nilai kecepatan yang bulat yaitu sebesar 3000 m/s. Hal tersebut terjadi karena interval V (delV) adalah bilangan bulat yaitu 25. Sehingga nilai yang didapat melalui penyapuan nilai kecepatan berganti mulai dari 2525 m/s, 2550 m/s 2575 m/s dan seterusnya. Hal tersebut di atas yang menyebabkan hasilnya bisa tepat 3000 m/s.

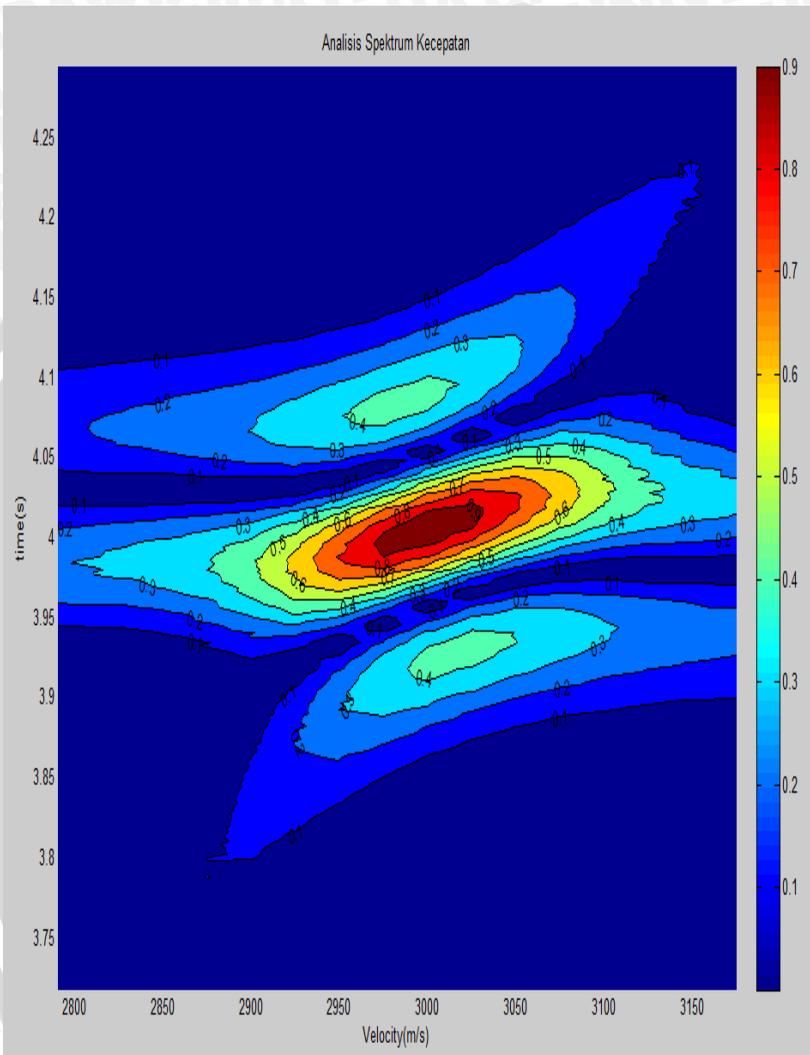
Kesalahan yang dibahas pada penelitian ini ada dua yaitu kesalahan matematis dan kesalahan model. Pada dasarnya kesalahan yang dijadikan tolak ukur keakuratan program ini adalah kesalahan model. Kesalahan matematis hanya menghitung persentase kesalahan akibat adanya perbedaan nilai amplitudo dari hasil *hyperbolic stacking* rekaman data seismik buatan.

**Gambar 4.7** menunjukkan nilai amplitudo dari ribuan data kecepatan V<sub>a</sub> yang telah *distack* menggunakan metode *hyperbolic stacking*. Amplitudo maximum berada di tengah dengan warna merah. Nilai dari amplitudo tersebutlah yang mengandung informasi nilai kecepatan yang tepat. Presentasi kesalahan model sebesar 0.02 %. Nilai 0.02 % didapat karena V masukan awal dengan V<sub>c</sub> yang

didapat bernilai hampir sama. Hanya saja, nilai  $V_c$  lebih teliti karena tidak ada pembulatan. Hal ini dipengaruhi pula oleh interval nilai  $t$  ( $dt$ ),  $dt$  yang digunakan oleh program ini adalah 0.002 s. Jika  $dt$  semakin besar (contoh 0.5 s atau 1 s), nilai kecepatan akhir juga akan berubah tidak lagi 3000 m/s bisa saja menjadi 3050 m/s atau 3100 m/s. Apabila  $V$  masukan awal adalah 3521 m/s, sedangkan rentang  $V_a$  ( $\Delta V$ ) 25 m/s maka program tersebut tidak dapat mencari nilai kecepatan secara teliti. Oleh karena itu  $\Delta V$  harus diperkecil hingga 1 m/s. Program analisis kecepatan ini memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil sehingga program ini sangat akurat dalam proses analisis kecepatan.



**Gambar 4.7** Kontur spektrum kecepatan (index pada sebelah kanan kontur menunjukkan nilai amplitudo)



**Gambar 4.8** Kontur spektrum kecepatan yang diperbesar

Kontur spektrum kecepatan yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.8** menunjukkan nilai amplitudo hasil *hyperbolic stacking*. Sumbu x menunjukkan nilai kecepatan dalam m/s dan sumbu y menunjukkan waktu tempuh gelombang seismik dalam detik. Warna-warna yang

ada menunjukkan nilai amplitudo hasil *hyperbolic stacking*. Semakin rendah nilai amplitudonya maka warnanya semakin biru dan semakin tinggi nilai amplitudonya maka warnanya semakin merah gelap. warna merah gelap inilah yang dilihat nilainya. Nilai amplitudo yang tinggi merepresentasikan kecepatan gelombang pada sumbu y.

Penentuan nilai kedalaman pada model ini dapat dicari berdasarkan persamaan 2.25 perlu adanya nilai V yang tepat supaya nilai kedalaman yang didapat bernilai tepat pula. Pada model ini telah didapatkan nilai kecepatan berdasarkan metode *hyperbolic stacking*. Nilai kecepatan yang didapatkan bernilai 3000 m/s. Dengan demikian nilai kedalaman dapat dicari melalui :

$$h = \sqrt{\frac{t^2 v^2 - x^2}{4}} \dots \dots \dots (4.3)$$

dimana;  $h$  = Kedalaman (m)

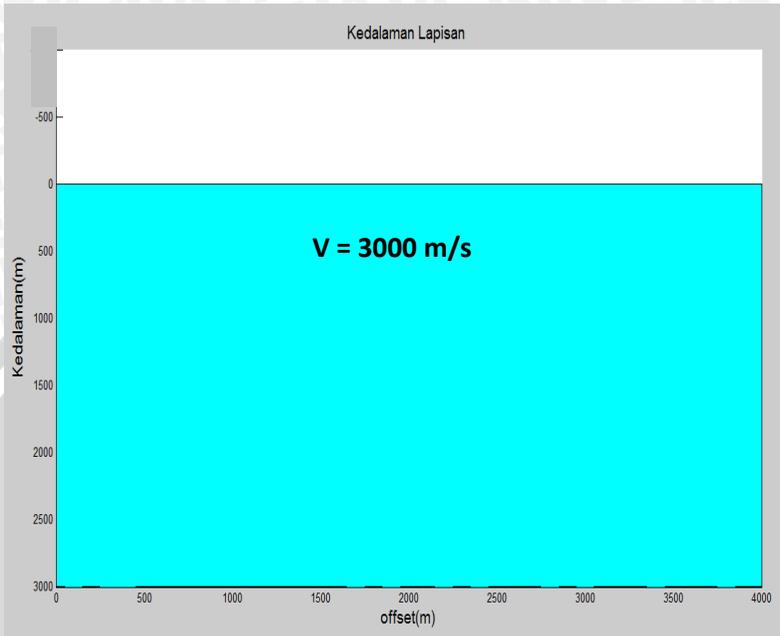
$t$  = Waktu tempuh gelombang seismik (s)

$v$  = Kecepatan *stack* (m/s)

Nilai kedalaman yang didapat berdasarkan perhitungan matematis berdasarkan persamaan 4.3 tidak bernilai satu nilai akan tetapi terdiri dari banyak nilai. Rata-rata nilai kedalaman dari kecepatan yang didapat adalah adalah 3000,8 m. Jika dilihat kembali masukan awal nilai kedalaman pada model yang diberikan adalah 3000 m. persentase kesalahan nilai kedalaman didapatkan berdasarkan,

$$\left| \frac{(hc - \text{kedalaman model})}{hc} \right| \times 100 \%$$

hc adalah nilai kedalaman rata-rata berdasarkan nilai Vc. persentase kesalahan nilai kedalaman pada model ini adalah 0.02 %. Dengan demikian program analisis kecepatan menggunakan *hyperbolic stacking* ini dapat dikatakan akurat. Tidak hanya untuk menganalisis nilai kecepatan tetapi juga untuk menentukan nilai kedalaman suatu lapisan bawah permukaan.



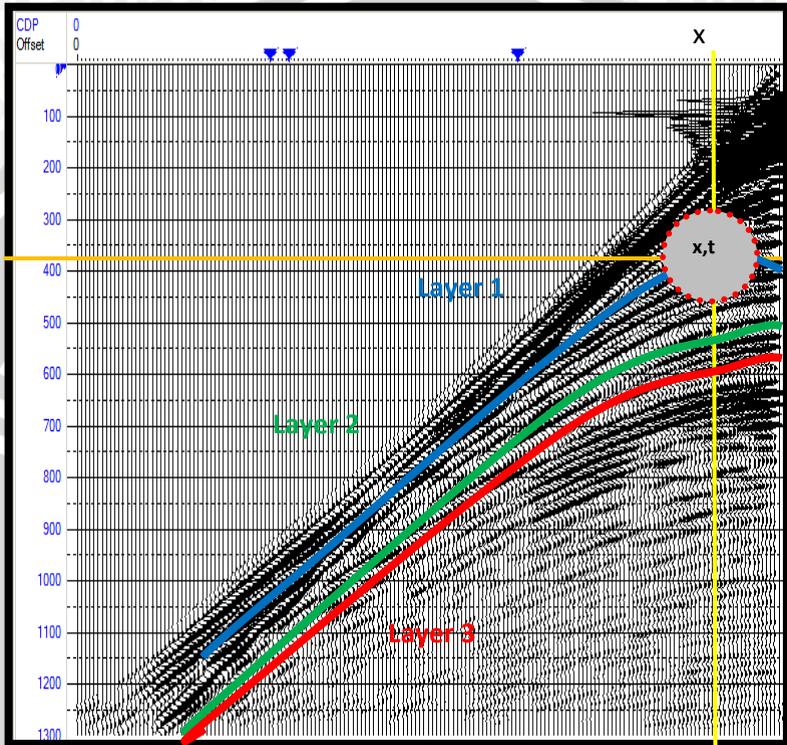
**Gambar 4.9.** Kedalaman lapisan dari model yang diberikan

#### 4.2 Analisis Kecepatan Berdasarkan Data *Prestack* Seismik

Data *prestack* seismik merupakan data hasil perekaman waktu tempuh gelombang seismik yang diterima oleh penerima dengan interval jarak tertentu. Data *prestack* seismik yang digunakan pada penelitian ini adalah data seismik laut dengan pola penembakan *off end*. Jumlah penerima (*hydrophone*) sebanyak 168 *channel* dengan interval antar penerima 12.5 meter. Jarak antara *near offset* dengan *far offset* 2100 meter.

Data *prestack* yang digunakan ini sebelumnya difilter terlebih dahulu menggunakan bandpass filter. Bandpass filter ini dapat mempertahankan sinyal yang ada dan menghilangkan *noise* pada data. Setelah data tersebut difilter, selanjutnya data tersebut dipilih yang memiliki informasi gelombang refleksi atau yang memiliki bentuk kurva hiperbolik dengan cara digitasi. Digitasi

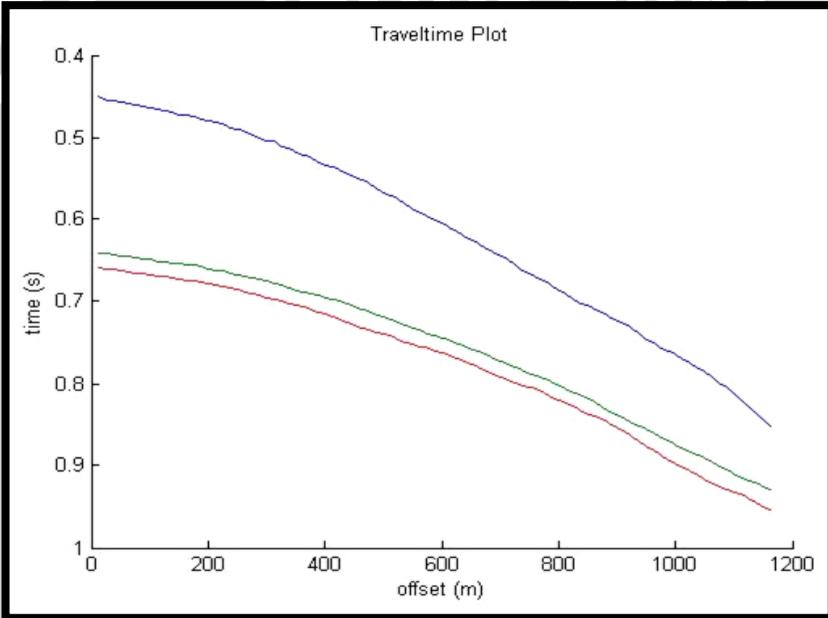
tersebut menghasilkan data offset dan data waktu tempuh (**Gambar 4.10**).



**Gambar 4.10.** Data *prestack* seismik (Warna merah adalah reflektor pertama, warna hijau adalah reflektor kedua, dan warna biru adalah reflektor ketiga), Garis kuning dan oranye menggambarkan perpotongan nilai  $x,t$  pada setiap peristiwa.

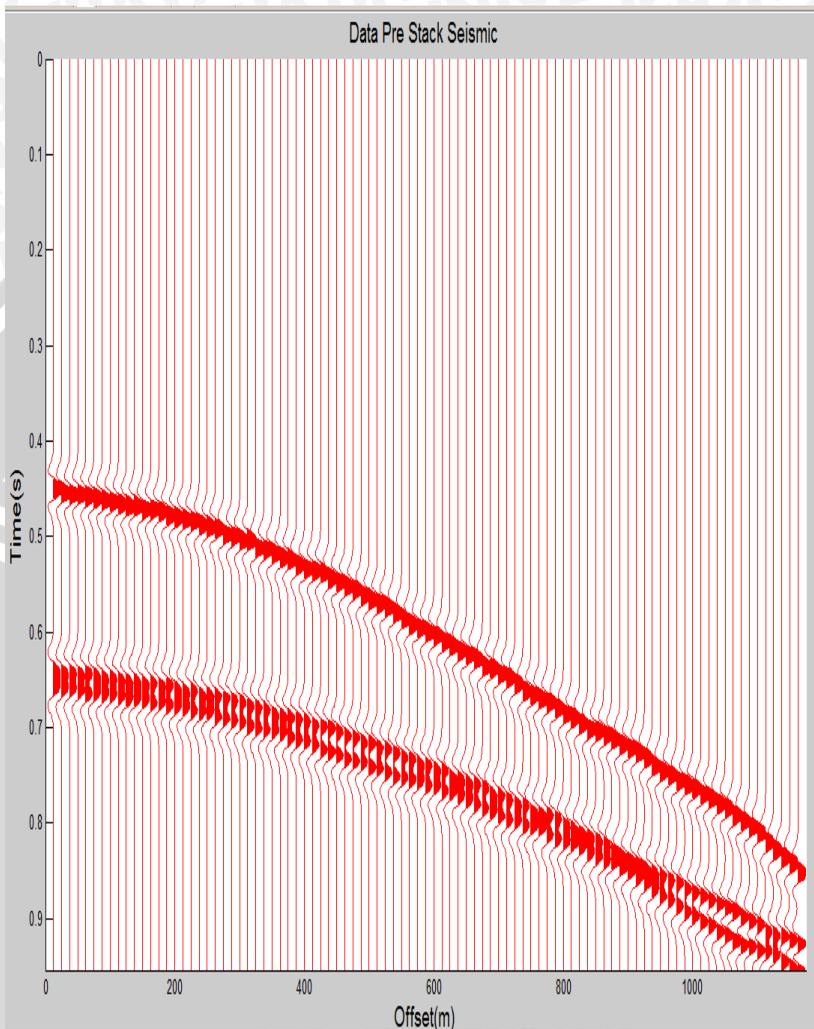
*Plotting* data waktu tempuh dan data *offset* menghasilkan kurva hiperbolik waktu tempuh gelombang seismik (**Gambar 4.11**). Hasil digitasi yang telah diperoleh masih berupa kurva hiperbolik  $x,t$  yang belum memiliki wavelet atau nilai amplitudo. Oleh karenanya perlu dikonvolusikan terlebih dahulu dengan koefisien refleksi. Koefisien refleksi pada penelitian ini diasumsikan 0.25. Hasilnya akan tampak seperti **Gambar 4.12**.

Setelah proses ini selesai, hasil dari rekaman seismik buatan data *prestack* dimasukkan dalam program analisis kecepatan yang telah dibuat sebelumnya. Rekaman data *prestack* seismik ini tidak langsung dianalisis sekaligus tiga lapisan tetapi dipisahkan satu per satu dan dianalisis satu per satu. Tujuan dari pemisahan ini adalah supaya analisis kecepatan pada tiap lapisan dapat diproses dengan baik sehingga program tersebut memiliki efektifitas dan keakuratan yang tinggi.



**Gambar 4.11.** Kurva hiperbolik hasil digitasi

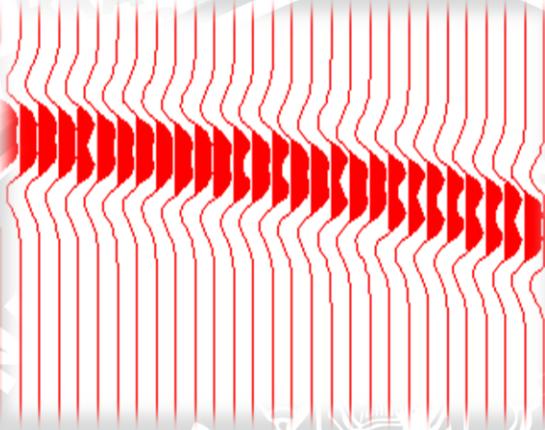
Data *prestack* seismik ini tidak bisa benar-benar lurus dan teratur seperti data rekaman seismik buatan karena adanya faktor statik atau ketinggian wilayah. Selain itu karena proses digitasi yang masih manual. Proses kesalahan akibat perbedaan penglihatan juga tidak bisa diabaikan. Hal-hal tersebut mempengaruhi dari baik tidaknya suatu data *prestack* seismik. Masalah tersebut dapat teratasi apabila proses digitasi dilakukan secara otomatis dengan bantuan *software* dan *processor* komputer yang memiliki spesifikasi yang tinggi.



**Gambar 4.12.** Rekaman seismik buatan berdasarkan data *prestack* seismik

Dapat dilihat pada gambar 4.12 lapisan kedua dan ketiga jaraknya sangat dekat. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua buah reflektor berdekatan.

Kasus yang terjadi pada kedua lapisan tersebut adalah interferensi sehingga tidak jelas dimana letak puncak atau lembah dari masing-masing gelombang.



**Gambar 4.13.** Sinyal-sinyal yang berinterferensi

Solusi untuk permasalahan tersebut adalah pemisahan (*separation*) dari tiap reflektor. Pemisahan ini bertujuan untuk mempermudah pembacaan program saat penyapuan kecepatan. Saat penyapuan kecepatan nilai kecepatan yang tepat akan disapu pada  $V_a$  tertentu. Dengan demikian, akan didapatkan kontur spektrum kecepatan yang terbaik. Jika analisis dilakukan secara bersamaan, spektrum kecepatan tidak memiliki nilai spesifik. Nilai errornya akan tinggi.

#### **4.2.1 Analisis kecepatan lapisan pertama**

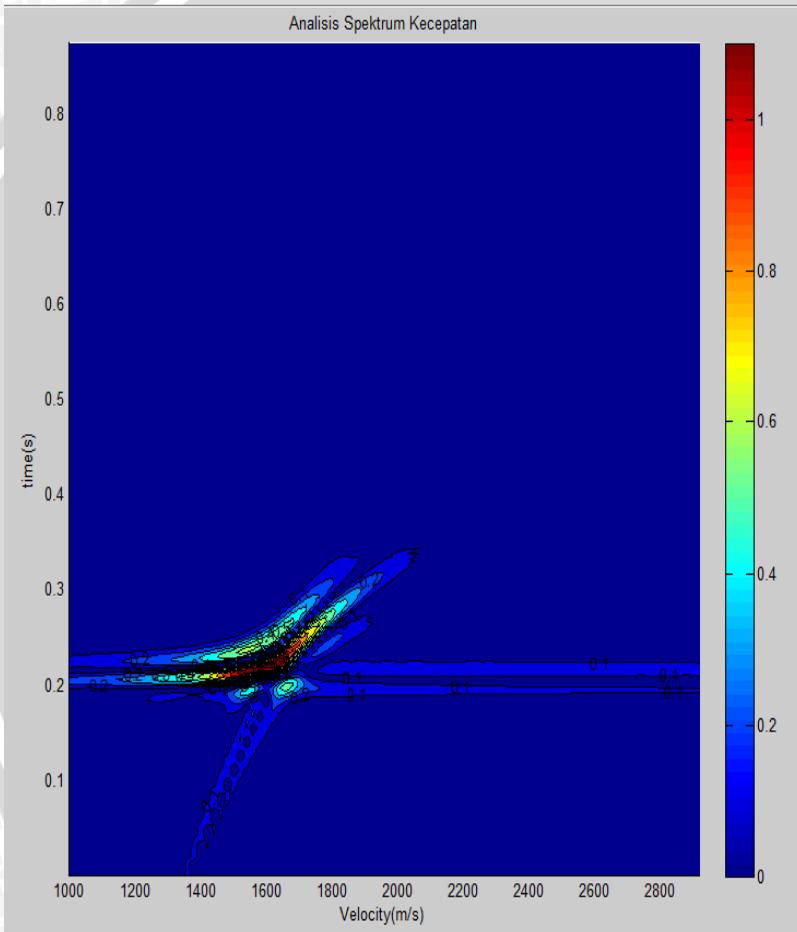
Lapisan pertama pada data *prestack* seismik ini berada pada  $t_0$  0.45 s dan *offset* 12.5 meter sepanjang 1162.5 meter. Analisis kecepatan pada data *prestack* seismik ini tidak semudah pada data rekaman seismik buatan karena data *prestack* pada lapisan pertama ini cenderung tidak teratur (*scatter*). Program yang telah fix tersebut tidak secara mudah menemukan kecepatan gelombang seismik yang tepat. Proses *trial* dan *error* tetap dilakukan guna mencari nilai kecepatan yang paling tepat. Sebelum menentukan nilai kecepatan  $V_a$ , haruslah diketahui terlebih dahulu kecepatan gelombang seismik yang melewati medium. Yaitu berkisar antara 1500 m/s sampai

dengan 4500 m/s . Analisis kecepatan dicoba terlebih dahulu dimulai dari 1500 m/s - 2500 m/s kemudian hasilnya disimpan untuk dianalisis lebih lanjut, selanjutnya kecepatan  $V_a$  diubah menjadi 2500 m/s – 3500 m/s dan 3500 m/s -4500 m/s. Dengan  $\Delta V$  sebesar 1 m/s dan  $\Delta t$  pun dibuat sangat rapat yaitu 0.002 s supaya hasil nilai kecepatan dapat sangat presisi dan akurat. Jika  $\Delta V$  dibuat 10 m/s atau 25 m/s hasil analisis kecepatan yang diperoleh memiliki *error* yang sangat besar ( bisa mencapai 80 % ) . Benar tidaknya nilai kecepatan yang diperoleh juga dapat dilihat berdasarkan spektrum nilai kecepatan. Jika pada data lapisan pertama ini *interval* analisis kecepatan dibuat 2500 m/s - 3500 m/s atau 3500 m/s – 4500 m/s hasil kontur spektrum kecepatan tidak menunjukkan amplitudo maximum (warna merah) bentuknya kacau dan terpecah. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan yang didapatkan masih belum tepat. Tidak demikian apabila *interval* kecepataannya telah tepat, amplitudo maximum akan terlihat melalui kontur spektrum kecepatan yang ditunjukkan oleh warna merah.

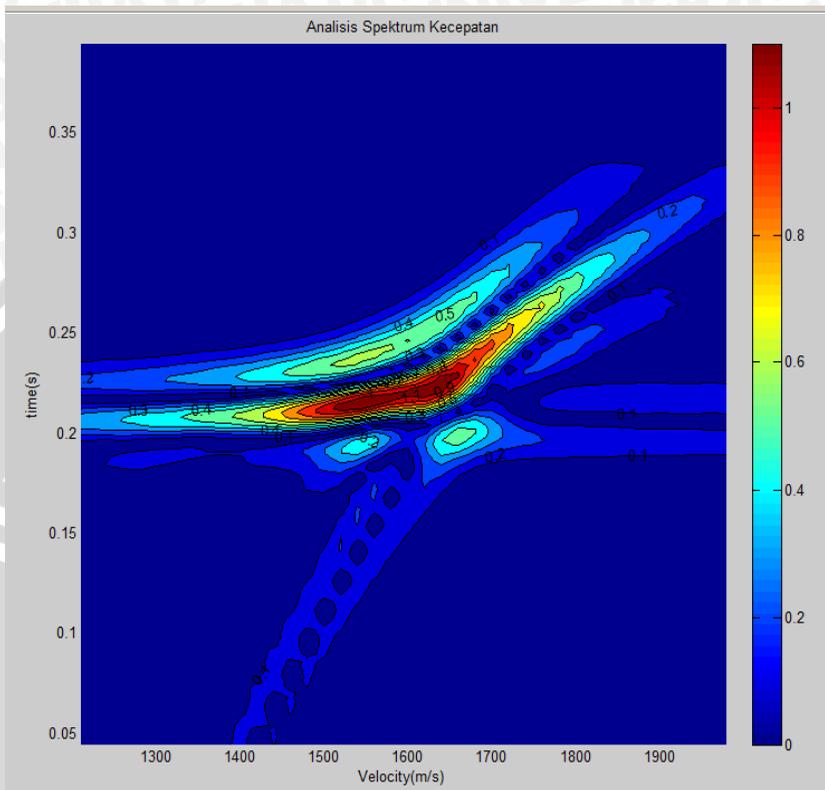
Pada nilai kecepatan lapisan pertama ini berdasarkan hasil penyapuan kecepatan yang tampil pada *command window* adalah 1638 m/s. sedangkan jika diteliti lewat kontur, nilai tengah dari nilai amplitudo yang berwarna merah gelap adalah 1586.44 m/s. Dibandingkan dengan hasil penyapuan kecepatan nilai kecepatan tidak terlalu jauh. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh interval dari amplitudo yang ditunjukkan oleh merah gelap terlalu lebar. Dengan kesalahan matematis sebesar 43,44 %. Kesalahan ini merupakan nilai kesalahan penyapuan secara matematis yang paling kecil dari penyapuan-penyapuan yang pernah dicoba. Dengan memperkecil nilai  $\Delta V$  dan  $\Delta t$  maka penyapuan nilai kecepatan akan diproses secara teliti. Nilai kesalahan ini merupakan nilai kesalahan yang timbul karena ada pergeseran nilai amplitudo. Bukan berarti besarnya nilai kesalahan ini berakibat pada ketidakakuratan program. Akan tetapi hanya untuk menjelaskan seberapa besar nilai pergeseran amplitudo hasil *hyperbolic stacking*. Keakuratan pada program ini sudah ditentukan oleh program yang pertama kali dibuat yaitu menggunakan model sintetik.

Akan tetapi , nilai kecepatan pada data lapangan yang sesungguhnya tidak diketahui sehingga kesalahan model tidak dapat dicari. Itulah gunanya pemodelan kedepan yang sebelumnya dibuat,

yaitu untuk mengetahui seberapa besar keakuratan program tersebut untuk diterapkan di data lapangan. Hasil kesalahan model pada program awal yaitu sebesar 0.02%. Nilai kesalahan model inilah yang diterapkan pada data lapangan ini. Dengan demikian program ini sangat akurat dan efektif untuk menganalisis kecepatan gelombang seismik.



**Gambar 4.14** Kontur spektrum kecepatan lapisan pertama



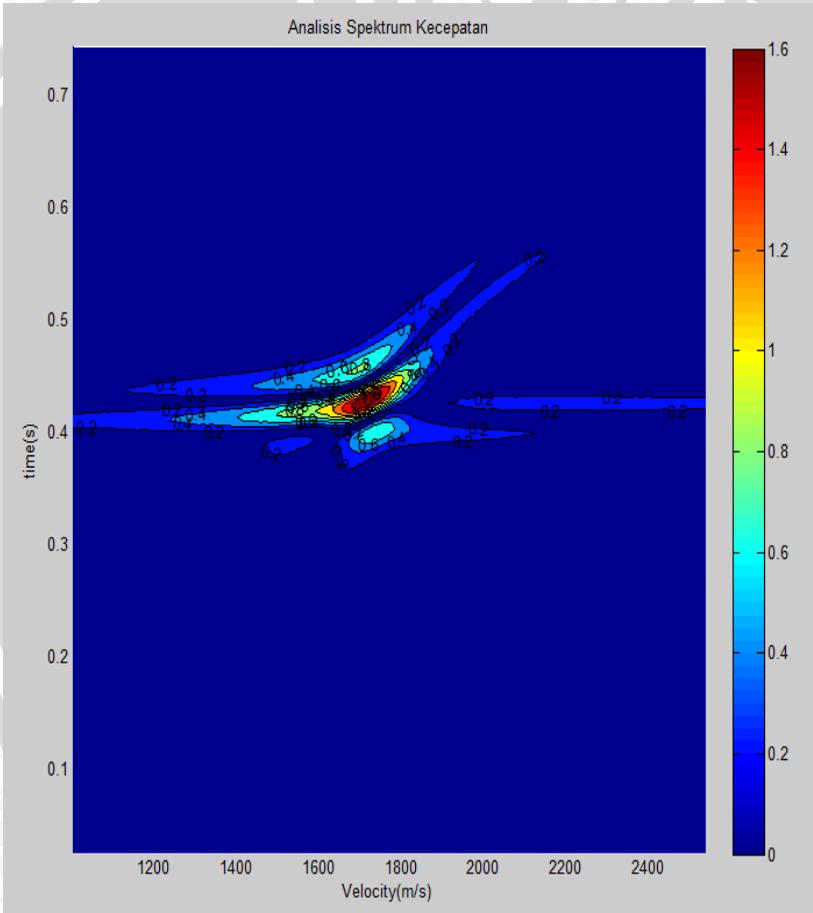
**Gambar 4.15** Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan pertama

#### 4.2.2 Analisis kecepatan lapisan kedua

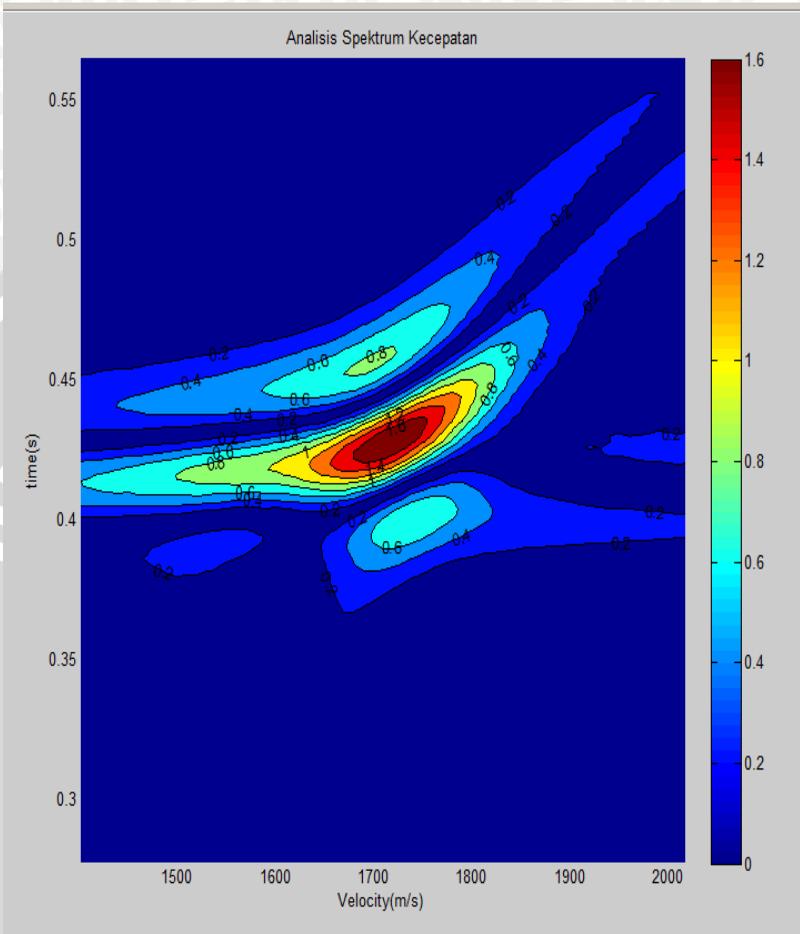
Lapisan kedua pada data *prestack* seismik ini berada pada  $t_0$  0.641 s dan *offset* 12.5 meter sepanjang 1162.5 meter. Pada lapisan kedua ini analisisnya sama seperti analisis pada lapisan pertama. Kecepatan  $V_a$  yang diberikan berkisar antara 1500 m/s -4500 m/s. Tetapi interval tersebut terlalu besar sehingga tidak dapat membuatnya menjadi lebih akurat. Sehingga kecepatan  $V_a$  yang diberikan adalah 1500 m/s - 2500 m/s kemudian hasilnya disimpan untuk dianalisis lebih lanjut. Selanjutnya kecepatan  $V_a$  diubah

menjadi 2500 m/s – 3500 m/s dan 3500 m/s - 4500 m/s. dengan  $\Delta V$  sebesar 1 m/s dan  $\Delta t$  pun dibuat sangat rapat yaitu 0.002 s.

Kontur spektrum kecepatan tampak lebih baik saat kecepatan  $V_a$  berkisar antara 1000 – 2000 m/s. Nilai maximum tampak terlihat lebih jelas dan terfokus. Nilai amplitudo maximum berdasarkan hasil penyapuan nilai kecepatan adalah 1.8 sedangkan amplitudo stacknya adalah 2.2



**Gambar 4.16** . Kontur spektrum kecepatan lapisan kedua



**Gambar 4.17.** Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan kedua

Hal inilah yang menyebabkan kesalahan matematis pada lapisan kedua ini jauh lebih kecil dibandingkan yang pertama. Kontur nilai amplitudo yang ditunjukkan oleh warna merah gelap memiliki interval yang lebih kecil dibandingkan yang pertama karena data seismik pada lapisan kedua ini cenderung lebih rapat dan teratur. Oleh karenanya nilai amplitudo yang dihasilkan mendekati nilai amplitudo *stack*.

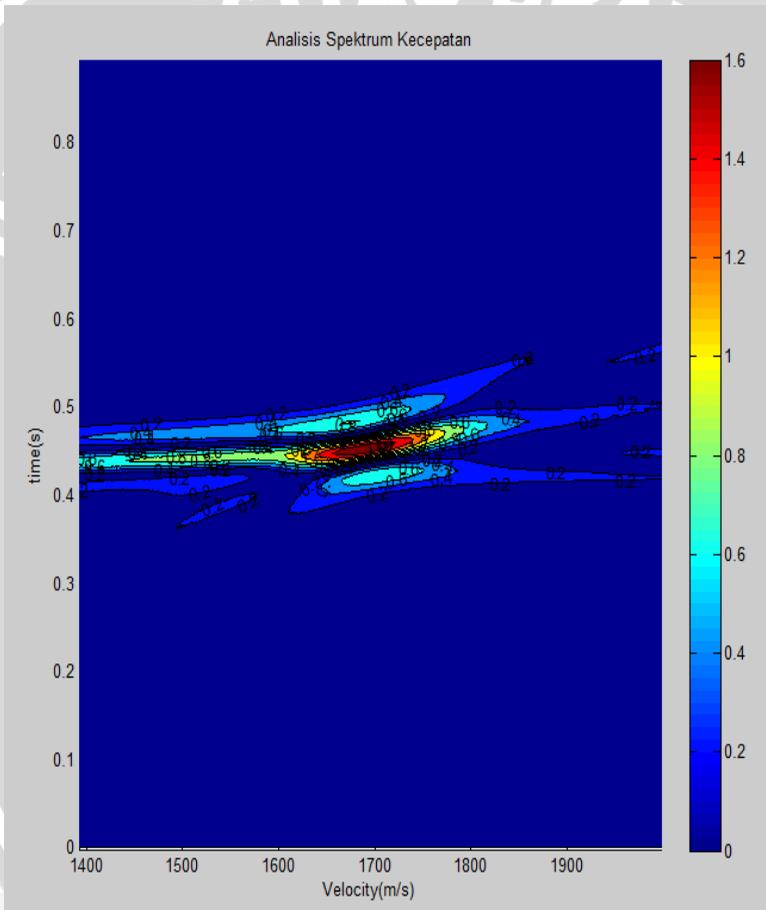
Berdasarkan program analisis kecepatan yang muncul pada *command window*, nilai kecepatan pada lapisan kedua ini adalah 1713 m/s. Jika diteliti melalui kontur spektrum kecepatan, nilai tengah dari kontur ditunjukkan oleh warna merah gelap adalah 1716.6 m/s Dengan kesalahan matematis sebesar 17.4 %. Kesalahan ini merupakan nilai kesalahan penyapuan secara matematis yang paling kecil dari penyapuan-penyapuan yang pernah dicoba. Dengan memperkecil nilai  $\Delta V$  dan  $\Delta t$  maka penyapuan nilai kecepatan akan diproses secara teliti. Nilai kesalahan matematis pada lapisan kedua ini jauh lebih kecil dari lapisan pertama. Hal ini disebabkan data pada lapisan kedua jauh lebih rapat dan lebih *smooth*. Selain itu data ini belum dilakukan koreksi statik atau koreksi datum. Data yang baik adalah data yang nilai waktu tempuhnya mendekati persamaan sebenarnya.

Sama halnya dengan lapisan pertama, persentase nilai kesalahan model pada lapisan kedua ini tidak dapat dicari karena tidak ada nilai kecepatan awal yang diberikan sehingga nilai kecepatan akhir dianggap sama dengan program *forward modeling* sebelumnya yang memiliki kesalahan model sebesar 0.02%.

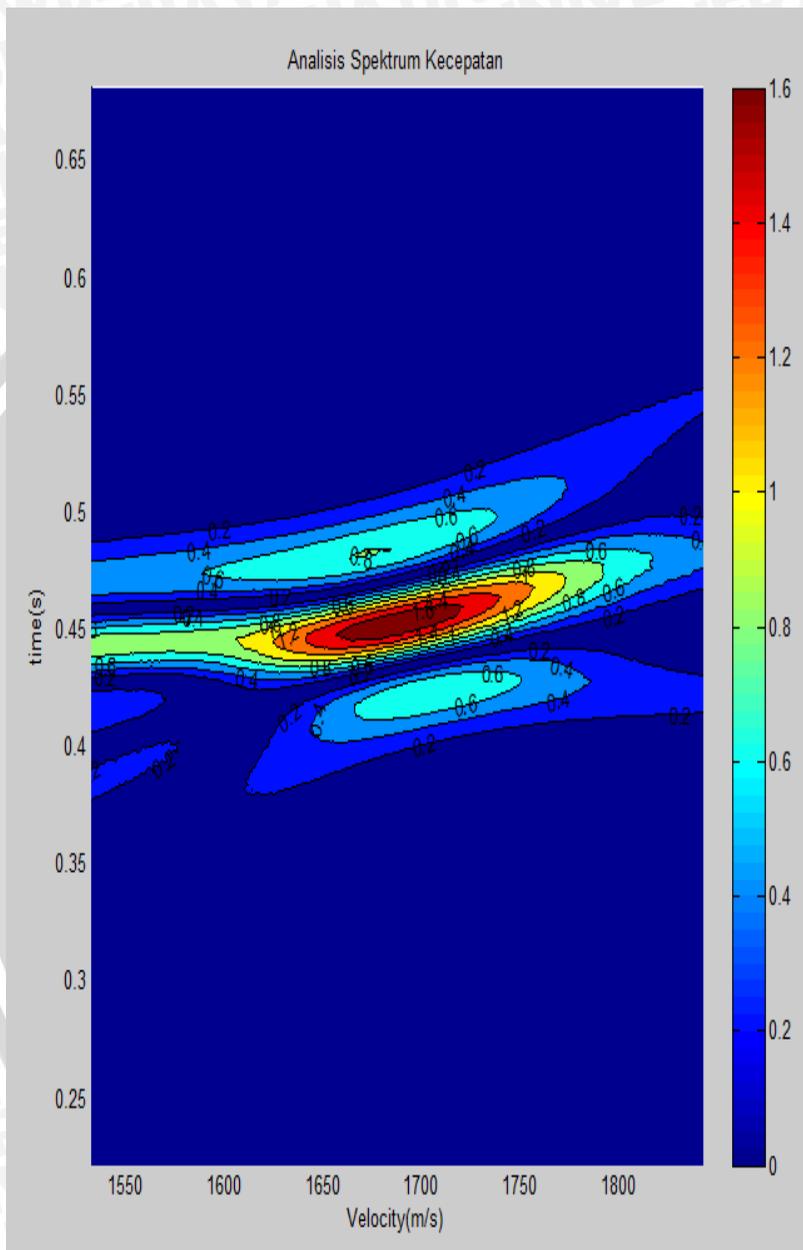
#### **4.2.3 Analisis kecepatan lapisan ketiga**

Lapisan ketiga pada data *prestack* seismik ini berada pada  $t_0$  0.659 s dan *offset* 12.5 meter sepanjang 1162.5 meter. Lapisan kedua dan ketiga ini memiliki jarak  $t_0$  yang kecil dan terlihat sangat rapat. Kecepatan  $V_a$  yang diberikan masih sama dengan sebelumnya yaitu 1000 sampai 2000 m/s karena interval nilai tersebut diatas menghasilkan kesalahan yang sangat besar. Saat dianalisis kecepatannya menggunakan program yang telah digunakan sebelumnya, spektrum kecepatan yang dihasilkan tampak lebih baik dari yang pertama dan kedua. Dengan nilai amplitudo maximum berdasarkan hasil penyapuan nilai kecepatan adalah 1.7649. Sementara nilai kecepatan yang tampil pada *command window* adalah 1687 m/s dengan kesalahan matematis 19.12 %. Kesalahan matematis ini masih jauh lebih kecil dibanding dengan kesalahan matematis pada lapisan pertama. Akan tetapi masih sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan kedua. Jika dianalisis menggunakan kontur spektrum kecepatan lapisan ketiga, nilai

kecepatan ini memiliki nilai sebesar 1688.7 m/s . Nilai ini mendekati dengan nilai kecepatan yang tampil pada *command window*, hanya selisih sebesar 1,71 m/s. Faktor digitasi dan faktor koreksi juga merupakan faktor yang mempengaruhi kesalahan matematis tersebut. Kesalahan model tidak dapat dicari karena tidak ada nilai kecepatan awal yang diberikan sehingga nilai kecepatan akhir dianggap sama dengan program *forward modeling* sebelumnya yaitu sebesar 0.02%.



**Gambar 4.18 .** Kontur spektrum kecepatan lapisan ketiga



**Gambar 4.19.** Perbesaran kontur spektrum kecepatan lapisan ketiga  
62

Nilai kecepatan pada lapisan kedua masih lebih besar nilainya dibandingkan lapisan ketiga. Dalam asumsi medium bawah permukaan. Semakin dalam suatu lapisan semakin besar nilai kecepatannya. Pernyataan tersebut merupakan penjelasan model ideal dari lapisan bawah permukaan tetapi pada kenyataannya tidak selalu demikian. Ada kalanya struktur batuan bawah permukaan memiliki variasi densitas yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pada kasus ini bisa jadi lapisan kedua memiliki densitas yang lebih besar dibanding lapisan yang ketiga. Oleh karena itu, kecepatan gelombang seismik pada lapisan kedua memiliki nilai yang lebih besar dibanding lapisan yang ketiga.

Jika dianalisis secara keseluruhan, metode ini terbukti sangat akurat dan presisi. Terbukti dengan kesalahan model pada ketiga lapisan yaitu 0.02%. Kesalahan matematis hanyalah untuk menghitung kesalahan akibat perbedaan nilai amplitudo hasil *stacking*. Kesalahan matematis ini tidak akan mempengaruhi persentase kesalahan model. Selain itu, metode ini tidak membutuhkan analisis matematis yang rumit dan tidak membutuhkan *memory* komputer yang terlalu besar. Dengan demikian, penerapan pada industri migas akan semakin mudah karena industri tidak mengeluarkan biaya yang besar tetapi hasil bisa maksimal.

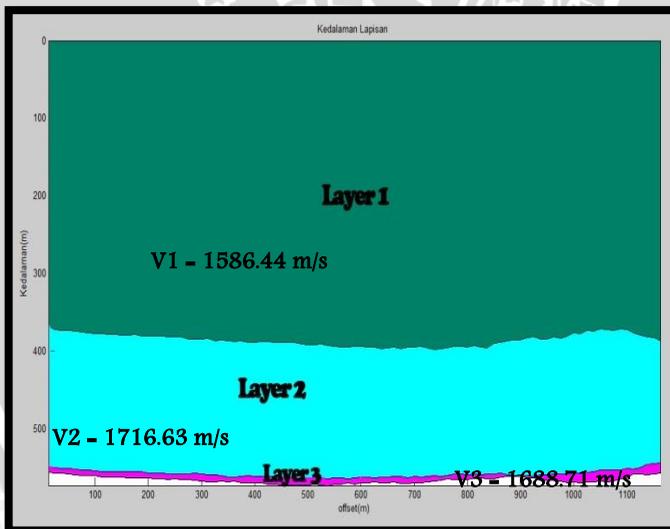
Metode *hyperbolic stacking* ini hanya dapat diterapkan pada reflektor datar saja. Metode ini tidak dapat lagi digunakan pada kasus lapisan miring yang dipengaruhi oleh kemiringan (*dip*) dengan sudut  $\alpha^\circ$  karena program yang dibuat untuk penelitian ini tidak memasukkan nilai kemiringan (*dip*).

Metode analisis kecepatan menggunakan *hyperbolic stacking* ini lebih baik jika dibandingkan dengan metode analisis kecepatan menggunakan koreksi NMO. Koreksi NMO ini menyebabkan frekuensi dari sinyal akan mengalami perenggangan yang berakibat pada hasil *stacking* yang kurang maksimal. Hasil *stacking* yang kurang maksimal dapat berakibat pada ketepatan hasil nilai kecepatan. Bisa jadi bergeser beberapa m/s. Pergeseran yang terlalu jauh membuat analisis kecepatan menjadi *overcorrected*. Sedangkan *hyperbolic stacking* tidak perlu menarik pada *normal incidence* sehingga membuatnya memiliki hasil *stacking* yang lebih maksimal.

### 4.3 Bentuk Kedalaman Dari Tiap Lapisan Berdasarkan Nilai Kecepatan Yang Didapat

Penentuan nilai kedalaman dapat diperoleh melalui persamaan kecepatan *stack*. Jika nilai kecepatan *stack* yang diperoleh telah tepat, nilai kedalaman yang didapatkan juga tepat. Bentuk lapisan bawah permukaan berdasarkan data *prestack* seismik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14** tidak menunjukkan hasil yang benar-benar datar. Masih ada variasi ketinggian pada tiap tiap lapisan. Hal tersebut menunjukkan bentuk lapisan bumi yang sebenarnya. Pada lapisan pertama kedalaman mencapai 356.849 m sampai dengan 344.798 m. Pada lapisan kedua kedalaman mencapai 550.144 m sampai dengan 545.882 m. Pada lapisan ketiga kedalaman mencapai 556.943 m sampai dengan 557.675 m.

Nilai kedalaman dari tiap lapisan bawah permukaan ini tidak dapat diketahui kesalahannya (divalidasi) karena tidak tersedianya data pembanding pada daerah survei. Seperti data log ataupun data VSP (*Vertical Seismik Profiling*). Jika data tersebut tersedia, interpretasi kedalaman akan jauh lebih akurat.



**Gambar 4.20** . Bentuk lapisan bawah permukaan berdasarkan data *prestack*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis data yang didapat dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Salah satu metode yang tepat untuk menganalisis nilai kecepatan gelombang seismik pada data *prestack* seismik adalah dengan metode *hyperbolic stacking*. Untuk melakukan analisis kecepatan dengan metode ini ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan yaitu pembuatan program *forward modeling* dengan cara membuat rekaman seismik buatan, penyapuan nilai kecepatan (*velocity scanning*), *hyperbolic stacking*, kontur spektrum kecepatan, dan penentuan nilai kecepatan.
- b. Metode *hyperbolic stacking* ini merupakan metode yang efektif dan akurat dalam analisis kecepatan data seismik. Hal tersebut terbukti berdasarkan hasil kesalahan model sebesar 0.02%.
- c. Data *prestack* seismik yang dianalisis pada penelitian ini adalah berjumlah tiga lapisan. Lapisan yang pertama memiliki nilai kecepatan 1586.44 m/s sedangkan pada lapisan kedua memiliki nilai kecepatan 1716.63 m/s dan lapisan ketiga memiliki nilai kecepatan 1688.71 m/s.
- d. Pada lapisan pertama kedalaman mencapai 356.849 m sampai dengan 344.798 m. Pada lapisan kedua kedalaman mencapai 550.144 m sampai dengan 545.882 m. Pada lapisan ketiga kedalaman mencapai 556.943 m sampai dengan 557.675 m.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebaiknya pada penelitian-penelitian selanjutnya perlu adanya data sumur sehingga validasi dari program yang telah dibuat dapat benar-benar terbukti secara nyata. Selain itu perlu adanya penelitian lanjutan mengenai metode *hyperbolic stacking* pada lapisan miring dan medium heterogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. **“Ensiklopedia Seismik Online”**, <http://ensiklopedia-seismikonline.net>. Dibaca 16 Februari 2009
- Asyafe . **“A Little Bit Of Adventures on The Earth”**, <http://seismicprocessing.html>. Dibaca 12 Februari 2009
- Červený. 2001. **Seismic Ray Theory**. Cambridge : Cambridge University Press.
- Cordier , Jean-Pierre . 1983. **Velocities In Reflection Seismology**. Belanda : Reidel Publishing Company.
- Costain, J.K. and Çoruh, C. 2004. **Seismic Exploration Volume 1 Basic Theory of Exploration Seismology**. USA : Department of Geological Sciences Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Gadallah, Mamduoh. 2009. **Exploration Geophysics an Introduction**. Berlin : Springer
- Margrave, Gary F. 2003. **Numerical Methods of Exploration Seismology with Algorithms in MATLAB**. USA : The University of Calgary
- Munadi, Suprajitno dan Pambudi. 1989. **Velocity Analysis Using N-Th Root Stack**. Journal Scientific Contribution
- Munadi, Suprajitno. 1994. **A Shorter Technique for Velocity Analysis from CMP Gather**. Journal of Indonesian Association of Geophysicist
- Munadi, Suprajitno. 2000. **Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi. Geofisika** . Depok : Universitas Indonesia.
- Munadi, Suprajitno. 2000. **Pengolahan Data Seismik**. Depok: Geofisika. Universitas Indonesia.

Pratama, Yudha . 2008, *Estimasi Kecepatan*. Depok: Universitas Indonesia.

PGS Publication. 2008. *Radon Transform Demultiple* Technique. Petroleum Geo Services : Houston

Sacchi, Mauricio. 1998. *A Bootstrap Procedure for High Resolution Velocity Analysis*. Journal of Geophysics Vol 63 No. 5

Sheng, Zhou Zhu. 2004. *Seismic Ray Tracing Calculation Based on Parabolic Traveltime Interpolation*. Belanda : Reidel Publishing Company.

Sheriff, R.E., and Geldart. L.P. 1995. *Exploration Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sheriff, R.E., and Geldart, L.P. 1982. *Exploration Seismology volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sismanto. 1996. *Pengolahan Data Seismik*. Jogjakarta : Geofisika Universitas Gadjahmada.

Sukmono, 1995. *Pengambilan dan Pengolahan Data Seismik*. Bandung : Penerbit ITB.

Tipler, A.P. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.

Triyoso, wahyu. 1991. *Konsep-Konsep Dasar Seismologi Suatu Pendahuluan*. Bandung :Jurusan Geofisika Meteorologi Institut Teknologi Bandung .

Yilmaz, O.. 2001. *Seismic Data Analysis: Processing, Interpretation and Inversion*. Tulsa : Society of exploration Geophysics.

## Lampiran

### A. Script Pemrograman Analisis Kecepatan Menggunakan Matlab 7.1

```
% Analisis layer pertama

clc;
clear all;
close all;

x = 0:100:4000;
v = 3000;
dt = 0.002;
h = 3000;

ntrace = length(x);
nint = length(v);

for i = 1:ntrace
    t(i) = (((x(i)/v).^2) + ((2.*h)/v).^2).^0.5;
end

figure; flipy;
hold on
for i = 1:nint
    plot(x,t(i,:));
    axis([min(x) max(x) 0 1.25*max(max(t))]);
    title('travelttime
    plot','fontsize',14,'fontname','arial');
    xlabel('offset
    (m)','fontsize',14,'fontname','arial');
    ylabel('time (s)','fontsize',14,'fontname','arial');
end
hold off

ta = 0:dt:(max(t)+1);
spikes = zeros(length(ta),ntrace);
posisit=round(t./dt);
rk = 0.25.*ones(1,ntrace);
```

```

for i=1:nint
    for j= 1:ntrace
        ir(i,j)= fix((t(i,j)./dt)+0.1)+1;
        b=rk;
        spikes(ir(i,j),j)= spikes(ir(i,j),j)+b(i,j);
    end
end

```

```

[wavelet,tw]=ricker(0.002,20);
for i=1:ntrace
    seis(:,i)=convz(spikes(:,i),wavelet);
end

```

```

%plot synthetic
hold on
figure;flipy;
plotseis(seis,ta,x);
title('Rekaman Seismik Buatan Satu
Lapisan','fontsize',14,'fontname','arial');
set(gca,'xaxislocation','bottom');
xlabel('offset
(m)','fontsize',14,'fontname','arial');
ylabel('time (s)','fontsize',14,'fontname','arial');
hold off

```

```

for i=1:ntrace;
    post(i)=round(t(i)./dt);
    value(:,i)=(seis(post(i),i));
end

```

```

sum_a=0;
Amplitude_stack= sum_a+sum(value)

```

```

v1=2500;
v2=3500;
N=40;
delv=(v2-v1)./N;
va=2000:delv:4000;
to=0.5:dt:5;

```

```

for k = 1:length(to)
for i = 1:length(x)
    for j = 1:length(va)

tva{k}(i,j)=(((to(k)+((x(i)./va(j)).^2))).^0.5);
        Amp{k}(i,j) =
seis(round(tva{k}(i,j)./dt),i);
    end
end
end

%figure
%hold on
%for k = 1:length(to);
%for i = 1:length(x);
    %plot(x,tva{k});
    %title('Velocity Scanning');
    %xlabel('Offset (m)');ylabel('time (s)');
%end
%end

for k=1:length(to)
for i=1:length(va)
    sum_a=0;
    afterstack{k}(:,i) = sum_a+sum(Amp{k}(:,i));
    afterstack1(k,i) = afterstack{k}(:,i);
    afterstackabs(k,i) = abs(afterstack1(k,i));
end
end

afterstackabs_cb=(afterstackabs>=0.4).*afterstackabs
;

Amplitude_max = max(max(afterstackabs))
[to_ke,va_ke] = find(Amplitude_max==afterstackabs)
velocity = va(1,va_ke)
Presentasi_kesalahan_Matematis =
abs((Amplitude_stack-
Amplitude_max)/Amplitude_stack)*100
v_model = v

```

```
Presentasi_Kesalahan_Model = ((velocity-  
v_model)/velocity)*100
```

```
%figure  
%hold on  
%[c h]=contourf(va,to,afterstackabs);  
%label(c,h);  
%title('Analisis Spektrum Kecepatan  
, 'fontsize',14,'fontname','arial');  
%xlabel('Offset (m)', 'fontsize',14,'fontname','arial'  
);  
%ylabel('Time (s)', 'fontsize',14,'fontname','arial');  
%hold off
```

```
vc=3000.6769  
h=0.5*(sqrt(vc.^2*(t(1,:).^2-(x./vc).^2)));
```

```
figure;  
flipy;  
hold on  
area(x,h)  
axis([min(x) max(x) -1000 3100]);  
colormap cool  
title('Kedalaman Lapisan  
, 'fontsize',14,'fontname','arial');  
xlabel('offset (m)', 'fontsize',14,'fontname','arial')  
;  
ylabel('Kedalaman (m)', 'fontsize',14,'fontname','aria  
l');  
hold off
```

```
% plot traveltime  
%figure; flipy;  
%hold on  
%t0=2  
%for k=1:length(t0)  
%plot(x,tva{k});  
%end  
%title('Velocity  
Scanning', 'fontsize',14,'fontname','arial');  
%xlabel('offset  
(m)', 'fontsize',14,'fontname','arial');
```

```
%ylabel('time  
(s)', 'fontsize', 14, 'fontname', 'arial');
```

## B. Skrip Pemrograman Data *Prestack* Seismik Lapang

```
clc;  
clear all;  
close all;  
  
% input parameter  
x = 12.5:12.5:1162.5;% offset  
t = [0.45 0.455 0.456 0.457 0.458 0.46  
0.462 0.464 0.466 0.468 0.469 0.472  
0.473 0.474 0.478 0.48 0.482 0.484  
0.488 0.49 0.492 0.498 0.501 0.504  
0.505 0.512 0.514 0.518 0.522 0.524  
0.53 0.534 0.536 0.539 0.544 0.548  
0.552 0.556 0.562 0.567 0.571 0.575  
0.581 0.586 0.592 0.596 0.6 0.604  
0.61 0.615 0.621 0.625 0.629 0.636  
0.639 0.644 0.648 0.655 0.662 0.666  
0.671 0.674 0.68 0.686 0.69 0.697  
0.703 0.704 0.709 0.713 0.718 0.723  
0.727 0.732 0.74 0.746 0.75 0.757  
0.761 0.764 0.771 0.774 0.781 0.785  
0.792 0.799 0.804 0.811 0.82 0.828  
0.836 0.843 0.852;  
0.641 0.642 0.643 0.644 0.645 0.647  
0.648 0.649 0.651 0.652 0.653 0.654  
0.655 0.656 0.657 0.66 0.662 0.663  
0.666 0.667 0.669 0.671 0.672 0.675  
0.678 0.68 0.683 0.687 0.689 0.691  
0.692 0.695 0.698 0.7 0.703 0.707  
0.71 0.712 0.716 0.719 0.722 0.725  
0.729 0.732 0.735 0.739 0.741 0.744  
0.747 0.752 0.754 0.758 0.761 0.764  
0.77 0.772 0.777 0.78 0.783 0.788  
0.791 0.793 0.797 0.802 0.806 0.811  
0.814 0.819 0.822 0.829 0.834 0.838  
0.843 0.849 0.852 0.856 0.86 0.865
```

```

0.87    0.874    0.879    0.883    0.887    0.89
0.895    0.9    0.905    0.909    0.915    0.918
0.92    0.925    0.929;
0.659    0.66    0.661    0.662    0.664    0.665
0.666    0.667    0.669    0.67    0.671    0.672
0.674    0.675    0.677    0.678    0.68    0.682
0.684    0.685    0.688    0.69    0.692    0.695
0.698    0.7    0.702    0.705    0.706    0.71
0.713    0.715    0.718    0.722    0.725    0.729
0.732    0.735    0.737    0.74    0.742    0.746
0.75    0.752    0.755    0.756    0.761    0.763
0.766    0.769    0.773    0.777    0.78    0.785
0.789    0.792    0.796    0.799    0.802    0.805
0.807    0.812    0.816    0.821    0.823    0.827
0.833    0.837    0.84    0.843    0.848    0.853
0.859    0.864    0.871    0.876    0.881    0.887
0.893    0.897    0.903    0.907    0.912    0.916
0.922    0.926    0.929    0.933    0.934    0.939
0.945    0.95    0.954];
ntrace = length(x);

```

```

% plot traveltime
figure; flipy;
hold on
plot(x,t);
title('Traveltime Plot');
xlabel('offset (m)'); ylabel('time (s)');
hold off

```

```

% input reflection coefficient
dt = 0.002;
t2max = max(max(t));
ta = 0:dt:t2max;
spikes = zeros(length(ta),ntrace);

```

```

for i = 1:3;
    for j = ntrace;
        rk = 0.25.*ones(3,j);
    end
end

```

```

for i=1:3

```

```

for j= 1:ntrace
    ir(i,j) = fix((t(i,j)./(dt)+0.1)+1;
    b = rk;
    spikes(ir(i,j),j) =
spikes(ir(i,j),j)+b(i,j);
    end
end

% convolution ricker wavelet with reflection
coefficient
[wavelet,tw] = ricker(0.002,20);
for i = 1:ntrace
    seis(:,i) = convz(spikes(:,i),wavelet);
end

% plot reflection coefficient
figure; flipy;
hold on
plotseis(spikes,ta,x);
title('koefisien refleksi');
set(gca,'axislocation','bottom');
xlabel('offset (m)');ylabel('time (s)');
hold off

% plot synthetic seismogram
figure; flipy;
hold on
plotseis(seis,ta,x);
title('Data Pre Stack Seismic
','fontsize',14,'fontname','arial');
xlabel('Offset (m) ','fontsize',14,'fontname','arial')
;
ylabel('Time (s) ','fontsize',14,'fontname','arial');
set(gca,'axislocation','bottom');
hold off

```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### C. Tabel Waktu Tempuh Gelombang Seismik Pada Data *Prestack* Seismik Lapang

CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)	CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)	CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)
<b>1</b>	0.45	0.641	0.659	<b>17</b>	0.482	0.662	0.68	<b>33</b>	0.536	0.698	0.718
<b>2</b>	0.455	0.642	0.66	<b>18</b>	0.484	0.663	0.682	<b>34</b>	0.539	0.7	0.722
<b>3</b>	0.456	0.643	0.661	<b>19</b>	0.488	0.666	0.684	<b>35</b>	0.544	0.703	0.725
<b>4</b>	0.457	0.644	0.662	<b>20</b>	0.49	0.667	0.685	<b>36</b>	0.548	0.707	0.729
<b>5</b>	0.458	0.645	0.664	<b>21</b>	0.492	0.669	0.688	<b>37</b>	0.552	0.71	0.732
<b>6</b>	0.46	0.647	0.665	<b>22</b>	0.498	0.671	0.69	<b>38</b>	0.556	0.712	0.735
<b>7</b>	0.462	0.648	0.666	<b>23</b>	0.501	0.672	0.692	<b>39</b>	0.562	0.716	0.737
<b>8</b>	0.464	0.649	0.667	<b>24</b>	0.504	0.675	0.695	<b>40</b>	0.567	0.719	0.74
<b>9</b>	0.466	0.651	0.669	<b>25</b>	0.505	0.678	0.698	<b>41</b>	0.571	0.722	0.742
<b>10</b>	0.468	0.652	0.67	<b>26</b>	0.512	0.68	0.7	<b>42</b>	0.575	0.725	0.746
<b>11</b>	0.469	0.653	0.671	<b>27</b>	0.514	0.683	0.702	<b>43</b>	0.581	0.729	0.75
<b>12</b>	0.472	0.654	0.672	<b>28</b>	0.518	0.687	0.705	<b>44</b>	0.586	0.732	0.752
<b>13</b>	0.473	0.655	0.674	<b>29</b>	0.522	0.689	0.706	<b>45</b>	0.592	0.735	0.755
<b>14</b>	0.474	0.656	0.675	<b>30</b>	0.524	0.691	0.71	<b>46</b>	0.596	0.739	0.756
<b>15</b>	0.478	0.657	0.677	<b>31</b>	0.53	0.692	0.713	<b>47</b>	0.6	0.741	0.761
<b>16</b>	0.48	0.66	0.678	<b>32</b>	0.534	0.695	0.715	<b>48</b>	0.604	0.744	0.763

CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)	CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)	CDP	Waktu L <sub>1</sub> (Detik)	Waktu L <sub>2</sub> (Detik)	Waktu L <sub>3</sub> (Detik)
<b>49</b>	0.61	0.747	0.766	<b>65</b>	0.69	0.806	0.823	<b>81</b>	0.771	0.879	0.903
<b>50</b>	0.615	0.752	0.769	<b>66</b>	0.697	0.811	0.827	<b>82</b>	0.774	0.883	0.907
<b>51</b>	0.621	0.754	0.773	<b>67</b>	0.703	0.814	0.833	<b>83</b>	0.781	0.887	0.912
<b>52</b>	0.625	0.758	0.777	<b>68</b>	0.704	0.819	0.837	<b>84</b>	0.785	0.89	0.916
<b>53</b>	0.629	0.761	0.78	<b>69</b>	0.709	0.822	0.84	<b>85</b>	0.792	0.895	0.922
<b>54</b>	0.636	0.764	0.785	<b>70</b>	0.713	0.829	0.843	<b>86</b>	0.799	0.9	0.926
<b>55</b>	0.639	0.77	0.789	<b>71</b>	0.718	0.834	0.848	<b>87</b>	0.804	0.905	0.929
<b>56</b>	0.644	0.772	0.792	<b>72</b>	0.723	0.838	0.853	<b>88</b>	0.811	0.909	0.933
<b>57</b>	0.648	0.777	0.796	<b>73</b>	0.727	0.843	0.859	<b>89</b>	0.82	0.915	0.934
<b>58</b>	0.655	0.78	0.799	<b>74</b>	0.732	0.849	0.864	<b>90</b>	0.828	0.918	0.939
<b>59</b>	0.662	0.783	0.802	<b>75</b>	0.74	0.852	0.871	<b>91</b>	0.836	0.92	0.945
<b>60</b>	0.666	0.788	0.805	<b>76</b>	0.746	0.856	0.876	<b>92</b>	0.843	0.925	0.95
<b>61</b>	0.671	0.791	0.807	<b>77</b>	0.75	0.86	0.881	<b>93</b>	0.852	0.929	0.954
<b>62</b>	0.674	0.793	0.812	<b>78</b>	0.757	0.865	0.887				
<b>63</b>	0.68	0.797	0.816	<b>79</b>	0.761	0.87	0.893				
<b>64</b>	0.686	0.802	0.821	<b>80</b>	0.764	0.874	0.897				

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**D. Tabel Nilai Kedalaman Lapisan dari Model yang Diberikan**

<b>CDP</b>	<b>h (m)</b>	<b>CDP</b>	<b>h (m)</b>
<b>1</b>	3000.6769	<b>22</b>	3000.76
<b>2</b>	3000.67709	<b>23</b>	3000.768
<b>3</b>	3000.67765	<b>24</b>	3000.776
<b>4</b>	3000.67859	<b>25</b>	3000.785
<b>5</b>	3000.67991	<b>26</b>	3000.794
<b>6</b>	3000.6816	<b>27</b>	3000.804
<b>7</b>	3000.68367	<b>28</b>	3000.814
<b>8</b>	3000.68611	<b>29</b>	3000.824
<b>9</b>	3000.68893	<b>30</b>	3000.835
<b>10</b>	3000.69213	<b>31</b>	3000.846
<b>11</b>	3000.6957	<b>32</b>	3000.858
<b>12</b>	3000.69965	<b>33</b>	3000.869
<b>13</b>	3000.70397	<b>34</b>	3000.882
<b>14</b>	3000.70867	<b>35</b>	3000.894
<b>15</b>	3000.71375	<b>36</b>	3000.907
<b>16</b>	3000.7192	<b>37</b>	3000.921
<b>17</b>	3000.72503	<b>38</b>	3000.934
<b>18</b>	3000.73123	<b>39</b>	3000.948
<b>19</b>	3000.73781	<b>40</b>	3000.963
<b>20</b>	3000.74477	<b>41</b>	3000.978
<b>21</b>	3000.7521		

**E. Tabel Nilai Kedalaman Lapisan dari Data *Prestack* Seismik Lapang**

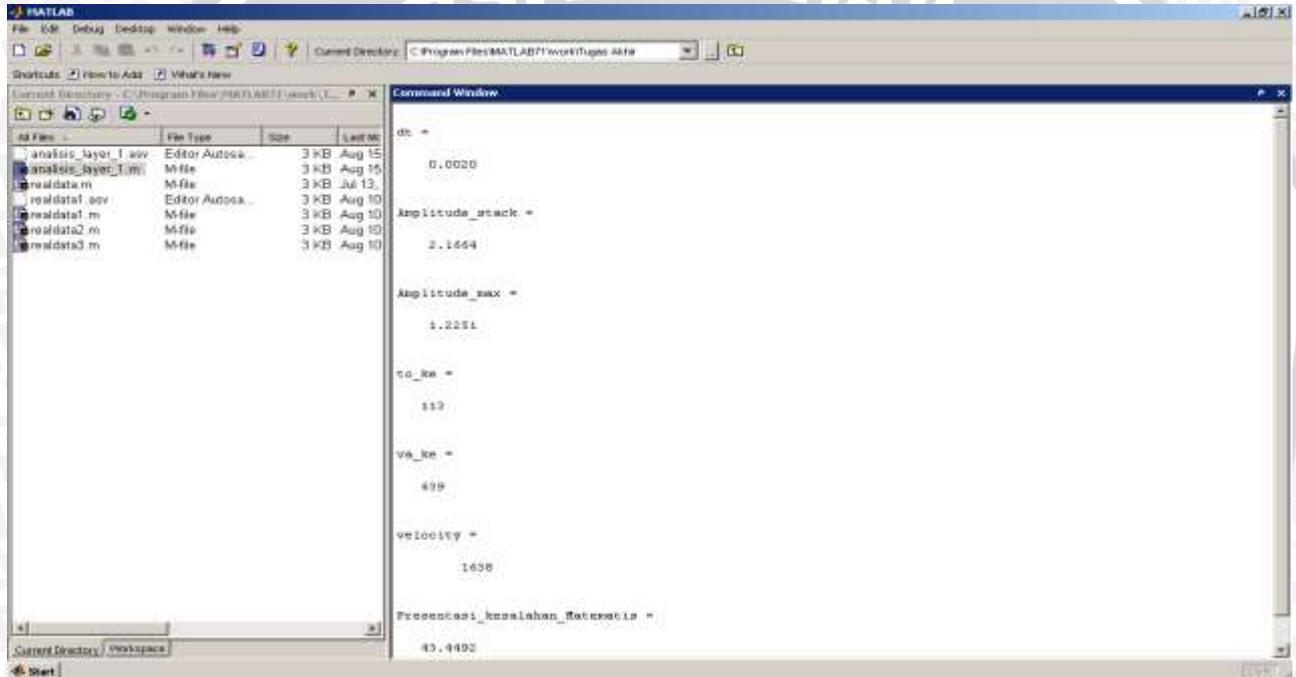
<b>CDP</b>	<b><math>h_1(m)</math></b>	<b><math>h_2(m)</math></b>	<b><math>h_3(m)</math></b>
<b>1</b>	356.8943	550.1444	556.3948
<b>2</b>	360.6986	550.8964	557.1341
<b>3</b>	361.222	551.5779	557.8036
<b>4</b>	361.6384	552.1892	558.4037
<b>5</b>	361.9482	552.7305	559.7801
<b>6</b>	362.9491	554.0622	560.2424
<b>7</b>	363.8468	554.4648	560.636
<b>8</b>	364.642	554.7979	560.9609
<b>9</b>	365.3355	555.9245	562.0658
<b>10</b>	365.9279	556.1203	562.2548
<b>11</b>	365.6124	556.2472	562.3755
<b>12</b>	366.8109	556.3051	562.428
<b>13</b>	366.2899	556.2941	563.2654
<b>14</b>	365.663	556.2142	563.1829
<b>15</b>	367.3862	556.0654	563.8882
<b>16</b>	367.3788	557.5917	563.671
<b>17</b>	367.272	558.1822	564.2448
<b>18</b>	367.0656	557.8318	564.754
<b>19</b>	368.4266	559.1674	565.1987
<b>20</b>	368.0291	558.6831	564.7142
<b>21</b>	367.5318	559.0114	565.895
<b>22</b>	370.3206	559.2749	566.1469
<b>23</b>	370.4933	558.5875	566.3347
<b>24</b>	370.5757	559.6079	567.332
<b>25</b>	368.8457	560.5687	568.2701

CDP	$h_1(m)$	$h_2(m)$	$h_3(m)$
26	372.2019	560.5765	568.2711
27	371.1536	561.4161	568.2084
28	371.7579	563.0957	568.9655
29	372.2832	562.9188	567.8918
30	370.9534	562.6777	569.4159
31	373.0987	561.4644	569.9958
32	373.3893	562.0025	569.623
33	371.7889	562.4823	570.0844
34	370.9973	561.9867	571.3891
35	371.9553	562.3473	571.7387
36	371.9216	563.5744	572.9381
37	371.8099	563.8229	573.1765
38	371.6201	563.0824	573.3579
39	373.2484	564.1471	572.5647
40	373.8719	564.223	572.6285
41	373.4706	564.2413	571.7101
42	372.9911	564.2022	572.5851
43	374.3877	565.0562	573.4105
44	374.752	564.9062	572.3136
45	376.0448	564.6988	572.0921
46	375.2931	565.3969	569.9228
47	374.4626	564.1112	571.4777
48	373.5525	563.7309	570.1306
49	374.6138	563.2928	569.6754
50	374.596	564.7594	569.1625

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## F. Command Window Hasil Pengolahan Data Lapisan Pertama



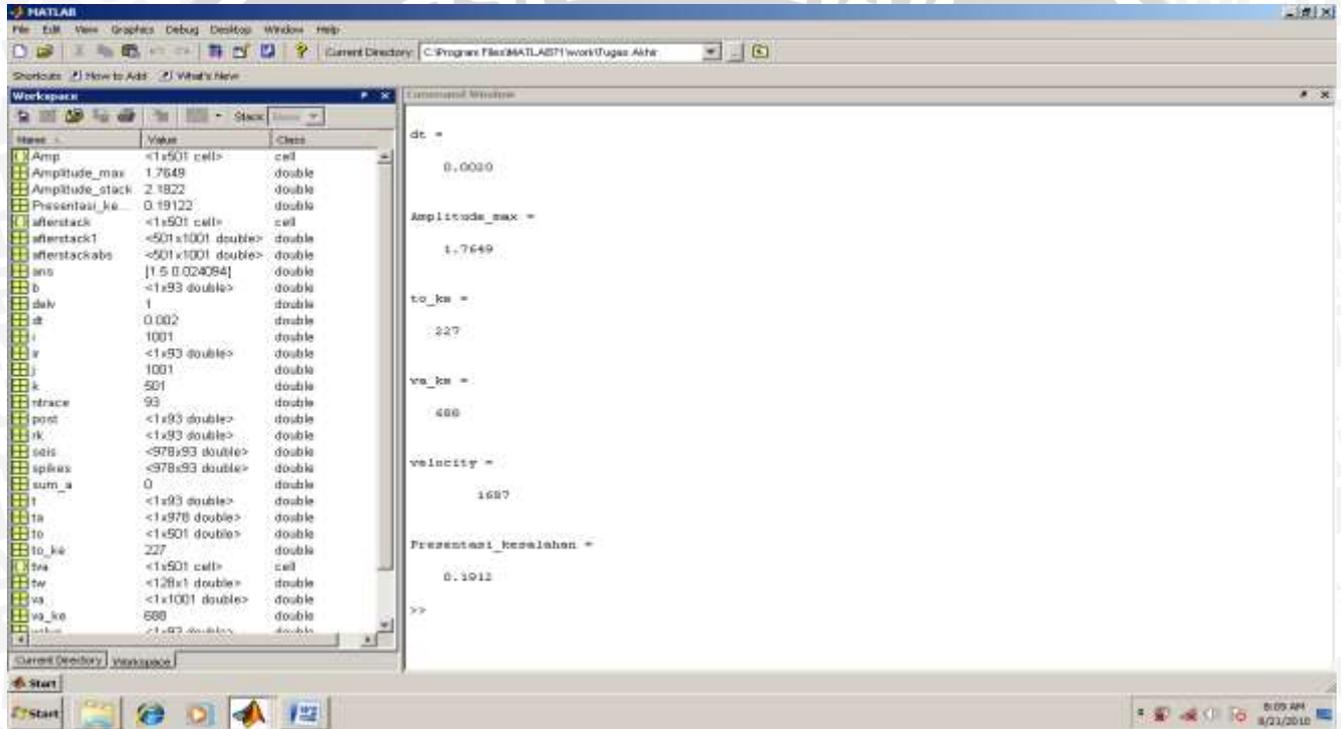
The image shows a MATLAB Command Window with the following output:

```
dt =  
0.0020  
  
Amplitudo_atack =  
2.1664  
  
Amplitudo_max =  
1.2251  
  
to_ke =  
112  
  
va_ke =  
499  
  
velocity =  
1438  
  
Presentasi_kemalahan_Matrosinis =  
43.4402
```

## G. Command Window Hasil Pengolahan Data Lapisan Kedua

```
dt =  
0.0020  
  
Amplitude_stack =  
3.1856  
  
Amplitude_max =  
1.8052  
  
to_ke =  
215  
  
va_ke =  
714  
  
velocity =  
1713  
  
Presentasi_kesalahan =  
0.1740
```

## H. Command Window Hasil Pengolahan Data Lapisan Ketiga



```
dt =  
0.0020  
  
Amplitude_max =  
1.7649  
  
to_kk =  
227  
  
va_kk =  
488  
  
velocity =  
1687  
  
Presentasi_kesalahan =  
0.1012  
>>
```

Name	Value	Class
dt	<1x501 cell>	cell
Amplitude_max	1.7649	double
Amplitude_stack	2.1822	double
Presentasi_ke...	0.19122	double
afterstack	<1x501 cell>	cell
afterstack1	<501x1001 double>	double
afterstackabs	<501x1001 double>	double
ans	[1.5 0.024094]	double
b	<1x93 double>	double
dsk	1	double
dt	0.002	double
i	1001	double
j	<1x93 double>	double
k	1001	double
l	501	double
ntrace	93	double
post	<1x93 double>	double
rk	<1x93 double>	double
seis	<978x93 double>	double
spkss	<978x93 double>	double
sum_a	0	double
t	<1x93 double>	double
ta	<1x978 double>	double
to	<1x501 double>	double
to_kk	227	double
tra	<1x501 cell>	cell
tw	<128x1 double>	double
va	<1x1001 double>	double
va_kk	488	double
vsk	<1x93 double>	double