



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN DESAIN SURVEI SEISMIK 3 DIMENSI
PADA LAPANGAN X JAWA BARAT**

TESIS

**SETYO SAPTO EDI
0806421451**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
MEI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN DESAIN SURVEI SEISMIK 3 DIMENSI
PADA LAPANGAN X JAWA BARAT**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

**SETYO SAPTO EDI
0806421451**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
MEI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Setyo Sapto Edi

NPM : 0806421451

Tanda Tangan : 

Tanggal : 7 Mei 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Setyo Sapto Edi
NPM : 0806421451
Program Studi : Magister Fisika FMIPA UI
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Judul Tesis : Kajian Desain Survei Seismik 3 Dimensi pada Lapangan X Jawa Barat

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Suprajitno Munadi ()

Penguji : Dr. Abdul Haris ()

Penguji : Dr. Yunus Daud ()

Penguji : Dr. Basuki Puspoputro ()

Program Magister Fisika
Program Pascasarjana FMIPA UI
Ketua,



Dr. Yunus Daud
NIP.196811041995121001

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 7 Mei 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains pada Program Kekhususan Geofisika Reservoir, Program Pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Suprajitno Munadi, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, bimbingan, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Pihak PERTAMINA EP dan UTC, khususnya bapak Indra Priatna, Novy Hendri, AD Guntara, dan tim PAFE Melandong dan Randegan yang telah mengizinkan, memberi bimbingan dan membantu saya memperoleh data yang saya perlukan.
3. Orang tua saya tercinta yang telah mendidik dan membesarkan saya. Istri saya tercinta Elisa dan anak saya tersayang Nabila Jingga yang telah banyak memberikan support secara moral.
4. Rekan kerja, sahabat dan teman-teman Geofisika Reservoir yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 7 Mei 2011

Penulis

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Setyo Saptu Edi
NPM : 0806421451
Program Studi : Kekhususan Geofisika Reservoir
Departemen : Pascasarjana Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

Kajian Desain Survei Seismik 3 Dimensi pada Lapangan X Jawa Barat

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 7 Mei 2011

Yang menyatakan



(Setyo Saptu Edi)

ABSTRAK

Lapangan X Jawa Barat merupakan daerah yang akan dikembangkan berdasarkan data-data survei seismik 2D dan data sumur eksplorasi yang telah dilakukan. Tujuannya adalah untuk pengembangan lapangan, pematangan *lead* menjadi prospek dan sebagai data yang akan digunakan untuk *Enhanced Oil Recovery*.

Dengan data-data yang sudah ada sebelumnya, maka diputuskan untuk tidak melakukan survei seismik 2D lagi tetapi melakukan survei seismik 3D dengan desain parameter yang berbeda. Hal ini disebabkan karena pengembangan lapangan X meliputi daerah yang luas, sehingga pemilihan desain parameter survei seismik 3D yang berbeda tersebut bertujuan untuk menekan biaya survei seismik dan tetap mendapatkan hasil data seismik yang baik dan dapat dipergunakan untuk mempercepat pengembangan lapangan.

Teknologi survei seismik 3D umumnya memerlukan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan survei seismik 2D. Hal ini disebabkan jumlah peralatan dan tenaga kerja yang digunakan lebih banyak. Dengan berkembangnya teknologi survei seismik 3D terutama desain parameter, peralatan instrument perekaman data dan peralatan pengolahan data, maka biaya dan operasi survei seismik dapat lebih efektif dan efisien tanpa mengurangi tujuan daripada survei seismik itu sendiri.

Dari hasil kajian, penggunaan desain parameter seismik 3D yang berbeda pada lapangan X, tidak berpengaruh besar pada kualitas data seismik yang diperoleh. Survei seismik 3D tersebut tetap dapat menghasilkan data dengan kualitas yang bagus dan target yang diharapkan dapat terlihat dengan baik. Sehingga survei seismik 3D ini mempunyai keuntungan yaitu tetap mendapatkan data seismik 3D sesuai yang diharapkan dengan biaya yang dapat ditekan mencapai 33% dari perhitungan awal.

ABSTRACT

The X field on West Java province, will be developed based on 2D seismic survey data and exploration wells. The goal is to develop field, establish leads into prospects and Enhanced Oil Recovery.

Referring to the availability data, it is decided to carried out 3D seismic rather than 2D seismic. This is caused by the development of the X field covers a large area, so the selection of different parameters design of 3D seismic survey aims to reduce the cost of seismic surveys and still get good results and seismic data can be used to accelerate the development of the field.

3D seismic survey technologies generally require a higher cost compared with 2D seismic survey. This is due to the amount of equipment and labor. With the development of technology, especially parameters design of 3D seismic survey, recording instrument equipment and data processing equipment, the cost and seismic survey operations can be more effective and efficient without compromising the objectives of the seismic survey itself.

The results of the study, the used of different parameters design on 3D seismic survey of the X field, no significant effect on the quality of seismic data acquired. 3D seismic survey is still to produce data with good quality and the expected target can be seen properly. So the 3D seismic survey has the advantage that it still get the 3D seismic data fit the expected cost can be reduced to 33% of the initial calculations.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Lokasi Penelitian	2
1.3. Tujuan dan Batasan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI DAN METODOLOGI	4
2.1. Gelombang Seismik	4
2.1.1. Sumber Gelombang Seismik	5
2.1.2. Tipe Gelombang Seismik	6
2.1.3. Manifestasi Gelombang Seismik di Lapangan	10
2.2. Sumber Getar Seismik	12
2.2.1. Jenis Sumber Getar Seismik	12
2.2.2. Karakteristik Dinamit	13
2.2.3. Energi Dinamit	14
2.3. Survei Seismik 2D dan Survei Seismik 3D	15
2.4. Parameter Target	15
2.5. Parameter Desain	17
2.6. Metodologi	23
3. DESAIN PARAMETER SURVEI SEISMIK	26
3.1. Parameter Test	26
3.1.1. Pengamatan <i>Raw Data</i>	29
3.1.2. Pengamatan <i>Spectral Analysis</i>	32
3.1.3. Pengamatan <i>F-T Analysis</i>	36
3.1.4. Pengamatan Koherensi	38
3.2. Desain Parameter Survei Seismik 3D	41
3.3. Hasil Survei Seismik	47
3.4. Biaya Survei Seismik	65
4. PEMBAHASAN	66
4.1. Pembahasan Hasil Parameter Test	66
4.2. Pembahasan Hasil Desain Survei Seismik	70
4.3. Pembahasan Biaya Survei Seismik	72
5. KESIMPULAN	75
DAFTAR ACUAN	76

DAFTAR GAMBAR

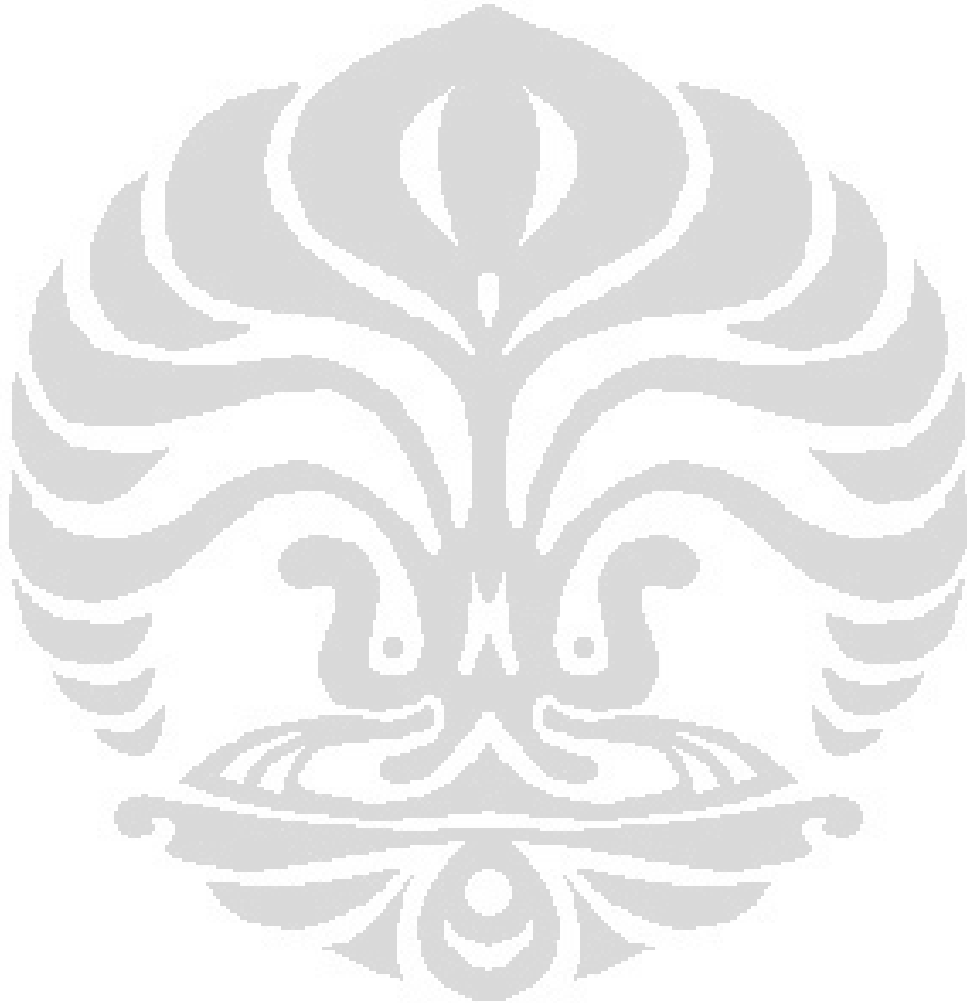
Gambar 1.1.	Lokasi Penelitian	2
Gambar 2.1.	Perambatan gelombang seismik untuk dua model lapisan	4
Gambar 2.2.	Pemampatan dan perenggangan partikel-partikel medium akibat adanya sumber usikan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik tekanan atau pergeseran partikel sebagai fungsi jarak atau waktu yang disebut sinyal seismik	5
Gambar 2.3.	Gelombang P atau Gelombang Kompresi	7
Gambar 2.4.	Gelombang S atau Gelombang <i>Transversal</i>	7
Gambar 2.5.	Gelombang <i>Rayleigh</i> bertipe P-SV. Partikel medium bergerak pada bidang vertikal mengikuti pola elips sementara penjalaran kearah lateral	8
Gambar 2.6.	Gelombang <i>Love</i> bertipe P-SH. Partikel medium bergerak pada bidang horisonal mengikuti pola elips sementara penjalaran kearah lateral	9
Gambar 2.7.	Penjalaran gelombang dalam bentuk diagram muka gelombang satu dimensi yang dibuat oleh <i>Thornburgh</i>	9
Gambar 2.8.	Teknik pengukuran dalam seismik eksplorasi sumber di S dan detektor ditempatkan di posisi 1 sampai 12 atau lebih	10
Gambar 2.9.	Contoh bentuk rekaman dari teknik pengukuran langsung lapangan. Gelombang langsung (P), gelombang terpantul (P) dan gelombang <i>Rayleigh</i> (P-SV) mempunyai pola waktu datang sendiri-sendiri	11
Gambar 2.10.	Anatomi dari desain seismik 3D	23
Gambar 2.11.	Diagram alur penelitian	25
Gambar 2.12.	Diagram alur desain parameter survei seismik 3D	25
Gambar 3.1.	Layout parameter test	27
Gambar 3.2.	Konfigurasi parameter test	28
Gambar 3.3.	Raw data RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian	29
Gambar 3.4.	Raw data RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian	30
Gambar 3.5.	Raw data RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian	30
Gambar 3.6.	Raw data RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian	31
Gambar 3.7.	Raw data RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian	31

Gambar 3.8. Raw data RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian.....	32
Gambar 3.9. <i>Spectral analysis</i> RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian	33
Gambar 3.10. <i>Spectral analysis</i> RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian	33
Gambar 3.11. <i>Spectral analysis</i> RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian	34
Gambar 3.12. <i>Spectral analysis</i> RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian	34
Gambar 3.13. <i>Spectral analysis</i> RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian	35
Gambar 3.14. <i>Spectral analysis</i> RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian	35
Gambar 3.15. <i>F-T analysis</i> RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian.....	36
Gambar 3.16. <i>F-T analysis</i> RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian.....	36
Gambar 3.17. <i>F-T analysis</i> RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian.....	37
Gambar 3.18. <i>F-T analysis</i> RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian.....	37
Gambar 3.19. <i>F-T analysis</i> RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian.....	38
Gambar 3.20. <i>F-T analysis</i> RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian.....	38
Gambar 3.21. Koherensi RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian.....	39
Gambar 3.22. Koherensi RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian.....	39
Gambar 3.23. Koherensi RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian.....	39
Gambar 3.24. Koherensi RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian.....	40
Gambar 3.25. Koherensi RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian.....	40
Gambar 3.26. Koherensi RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian.....	40
Gambar 3.27. Unit Template.....	44

Gambar 3.28. <i>Full fold coverage</i> 30 dan 15.....	45
Gambar 3.29. Batas area perbedaan <i>fold coverage</i> 30 dan 15	45
Gambar 3.30. Distribusi offset dan azimuth	46
Gambar 3.31. Distribusi offset dan azimuth per bin / <i>spider</i> diagram.....	46
Gambar 3.32. Distribusi offset	46
Gambar 3.33. <i>Shot point</i> gather satu perekaman data dengan 12 RL	48
Gambar 3.34. <i>Shot point</i> gather dengan 12 RL setelah dilakukan proses editing.....	49
Gambar 3.35. Crossline field processing stack pada fold yang sama	50
Gambar 3.36. Inline field processing stack pada fold yang berbeda.....	51
Gambar 3.37. <i>CDP Gather</i> sebelum <i>pre-conditioning</i>	52
Gambar 3.38. Perbedaan data <i>fold coverage</i> (Fold 30 dan Fold 15) sebelum <i>pre-conditioning</i>	53
Gambar 3.39. Perbedaan data <i>fold coverage</i> setelah <i>pre-conditioning</i> (Fold 27).....	54
Gambar 3.40. Hasil proses data pada area fold rendah sebelum <i>pre-conditioning</i>	55
Gambar 3.41. Hasil proses data pada area fold rendah setelah <i>pre-conditioning</i>	56
Gambar 3.42. Perbandingan hasil pemrosesan data sebelum dan sesudah <i>pre-conditioning</i> (Fold 15 dan Fold 27)	57
Gambar 3.43. <i>Fold coverage</i> setelah dilakukan pemrosesan data (Fold 27).....	58
Gambar 3.44. Contoh <i>Inline Final Stack</i> hasil processing center (1)	59
Gambar 3.45. Contoh <i>Inline Final Stack</i> hasil processing center (2)	60
Gambar 3.46. Contoh <i>Crossline Final Stack</i> hasil processing center (1)	61
Gambar 3.47. Contoh <i>Crossline Final Stack</i> hasil processing center (2)	62
Gambar 3.48. <i>Time slice</i> pada kedalaman 600 ms	63
Gambar 3.49. <i>Time slice</i> pada kedalaman 1300 ms	64
Gambar 4.1. Raw data pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg.....	66
Gambar 4.2. Spectral Analysis pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg.....	67
Gambar 4.3. F-T Analysis pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg.....	67
Gambar 4.4. Koherensi pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg	68
Gambar 4.5. Layout shot point dan receiver	73

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Resume hasil evaluasi parameter test.....	69
Tabel 4.2. Statistik desain survei.....	71
Tabel 4.3. Perhitungan biaya survei seismik.....	74



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Desain survei seismik adalah merupakan metoda pemilihan parameter akuisisi data dengan mempertimbangkan target yang akan dicapai dan problem-problem yang akan dihadapi dalam proses akuisisi data. Penentuan parameter ini sangat penting karena akan menentukan kualitas data yang akan diperoleh. Parameter akuisisi dari suatu lapangan biasanya tidak sama dengan lapangan yang lain.

Maksud dari penentuan desain survei seismik adalah untuk menetapkan parameter awal dalam suatu rancangan survei seismik yang dipilih sedemikian rupa sehingga dalam pelaksanaannya akan diperoleh informasi target selengkap mungkin dengan *noise* serendah mungkin (perbandingan S/N ratio tinggi).

Kualitas data seismik yang baik akan membantu pekerjaan pemrosesan data dan meningkatkan ketelitian dalam interpretasi data seismik sehingga akan didapatkan penampang seismik yang benar-benar mencitrakan kondisi geologi bawah permukaan. Untuk mendapatkan kualitas data seismik yang baik perlu dilakukan desain survei seismik yang paling optimal sehingga target yang diinginkan dapat tercapai dengan memperhitungkan anggaran survei seismik yang akan dilakukan.

Untuk melakukan desain survei seismik ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan yaitu kedalaman target obyektif utama dan target obyektif selanjutnya, kualitas refleksi, resolusi vertikal yang diinginkan, kemiringan target, ciri-ciri jebakan yang menjadi sasaran, problem *noise* khusus yang akan muncul dilapangan dan logistik pada pelaksanaan operasi survei seismik.

Dengan data-data yang telah didapatkan baik dari survei seismik 2D maupun sumur eksplorasi, maka untuk pengembangan lapangan X dan sekitarnya serta sebagai data untuk *Enhanced Oil Recovery* apakah akan dilakukan survei seismik 2D dan survei seismik 3D ataukah hanya akan dilakukan survei seismik 3D saja.

1.2. Lokasi Penelitian

Lapangan X secara administratif terletak di propinsi Jawa Barat seperti terlihat pada Gambar 1.1. Survei seismik ini bertujuan untuk mengkonfirmasi prospek dan *lead* yang ada pada level Formasi Cisubuh kedalaman 400 - 800 meter, Formasi Parigi kedalaman \pm 800 meter, Formasi Cibulakan Atas kedalaman \pm 1100 meter, dan Formasi Talangakar kedalaman \pm 2000 meter (*Pertamina EP, 2006 dan Martodjojo, S., 1984*).

Pada lapangan X difokuskan untuk dilakukan pengembangan dari hasil survei seismik 2D yang telah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya, dan merupakan tindak lanjut dari hasil pemboran sumur eksplorasi untuk mengkonfirmasi prospek dan *lead* yang ada, sehingga prospek dan *lead* yang ada dapat ditingkatkan menjadi prospek siap bor.



Gambar 1.1. Lokasi Penelitian (*Pertamina EP, 2006*)

1.3. Tujuan dan Batasan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian desain survei seismik 3D yang diterapkan pada lapangan X Jawa Barat, yaitu dengan melakukan penentuan parameter survei yang tepat dan melakukan kajian parameter apa saja yang dipergunakan.

Batasan penelitian adalah desain survei seismik 3D yang dilakukan di darat dan dilakukan untuk pengembangan suatu lapangan yang cukup luas.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah dapat memberikan parameter survei seismik yang tepat serta paling efektif dan efisien dari suatu lapangan sehingga target dari survei seismik dapat tercapai dengan tetap mempertimbangkan efisiensi biaya dari survei seismik.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab. Kelima bab ini menjelaskan pendahuluan, teori dasar, metodologi penelitian, proses penelitian, pembahasan dan kesimpulan.

Pada bab satu akan menjelaskan latar belakang, lokasi penelitian, tujuan dan batasan penelitian serta manfaat penelitian ini.

Pada bab dua akan menjelaskan dasar teori dan metodologi yang digunakan untuk mendukung penelitian mulai dari teori dasar dan aplikasi yang digunakan dalam evaluasi data.

Pada bab tiga akan memaparkan tentang desain parameter survei seismik yang dipergunakan dalam penelitian ini yang meliputi parameter test, desain parameter survei seismik 3D, hasil survei seismik dan biaya survei seismik.

Pada bab empat menjelaskan tentang pembahasan dari hasil penelitian yang mencakup kajian hasil parameter test, hasil desain survei seismik dan biaya survei seismik.

Pada bab lima berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari penelitian.

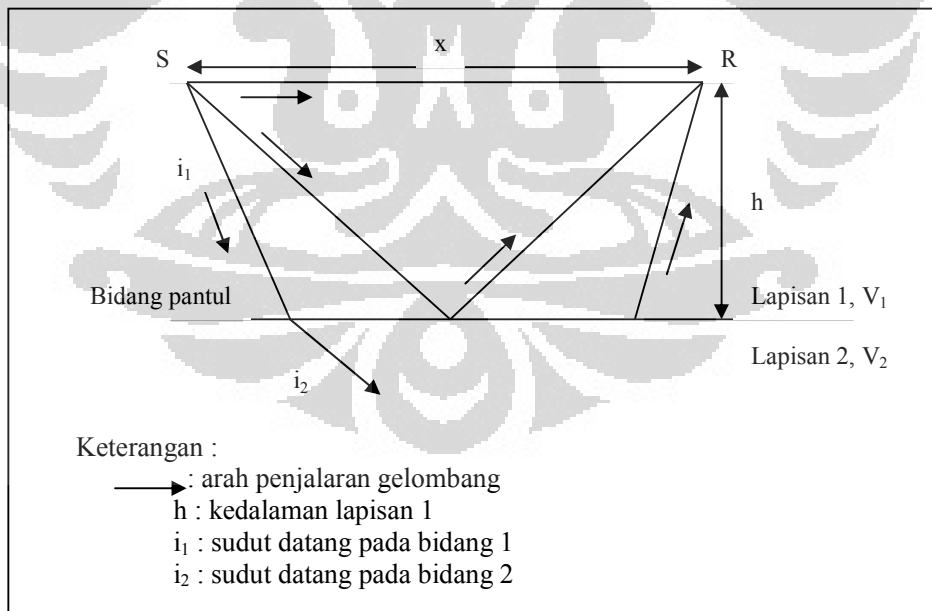
BAB 2

DASAR TEORI DAN METODOLOGI

2.1. Gelombang Seismik

Gelombang secara umum adalah fenomena perambatan gangguan dalam medium disekitarnya. Gelombang seismik adalah jenis gelombang dengan media penjarangannya bumi. Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara gaya gangguan (*gradient stress*) melawan gaya-gaya elastik. Dari interaksi ini dapat muncul gelombang *longitudinal* (gelombang akustik), gelombang *transversal* atau kombinasi keduanya.

Gelombang seismik merambat dari sumber (S) ke penerima (R) dengan kecepatan (V) dan waktu tempuh (t). Waktu tempuh perambatan gelombang seismik untuk model bumi dua lapis yang ideal (*homogeny, isotropis* dan *horizontal*) digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Perambatan gelombang seismik untuk dua model lapisan

Berdasarkan lintasannya (Gambar 2.1), gelombang dapat dibedakan sebagai berikut:

a. Gelombang langsung

Gelombang langsung merambat dari sumber S ke penerima R dengan kecepatan V_1 .

b. Gelombang pantul

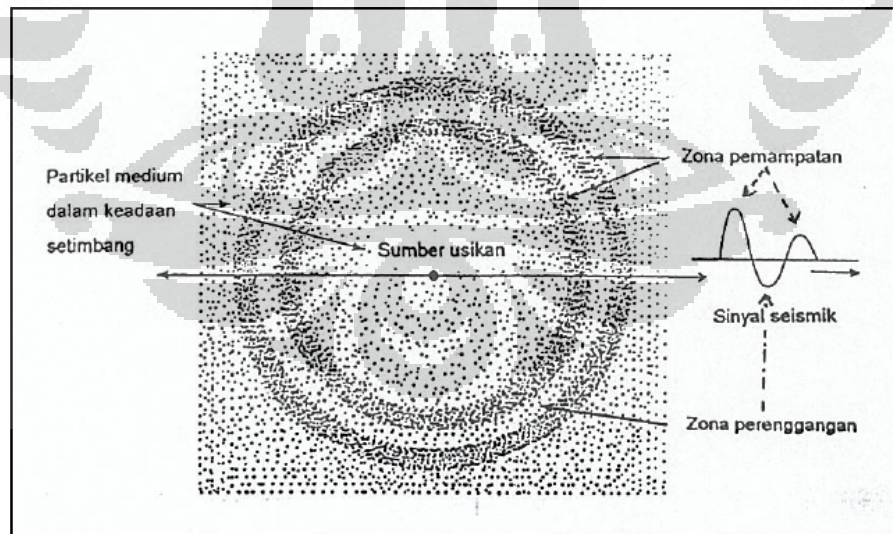
Gelombang pantul merambat dari sumber S ke penerima R setelah dipantulkan oleh bidang batas dengan kecepatan V_1

c. Gelombang bias

Gelombang bias merambat dari sumber S ke penerima R setelah dibiaskan pada bidang batas lapisan dengan kecepatan V_1

2.1.1. Sumber Gelombang Seismik

Terdapat beberapa jenis sumber gelombang seismik buatan yang biasa dipergunakan dalam akuisisi survei seismik yaitu dinamit, *air gun* maupun *vibroseis*. Sumber gelombang seismik buatan pada dasarnya adalah membangkitkan gangguan sesaat dan lokal yang disebut gradien tegangan (*stress*).



Gambar 2.2. Pemampatan dan perenggangan partikel-partikel medium akibat adanya sumber usikan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik tekanan atau pergeseran partikel sebagai fungsi jarak atau waktu yang disebut sebagai sinyal seismik (Dobrin, 1976 *op.cit* Suprajitno, 2000)

Gradien tegangan mengakibatkan terganggunya gaya-gaya di dalam medium sehingga terjadi pergeseran titik materi yang mengakibatkan deformasi yang menjalar dari satu titik ke titik lain. Deformasi dapat berupa pemampatan dan perenggangan partikel-partikel medium yang menyebabkan osilasi tekanan/rapat massa maupun pemutaran (rotasi) partikel-partikel medium seperti terlihat pada Gambar 2.2. Apabila medium bersifat elastik sempurna maka setelah mengalami deformasi sesaat tadi medium akan kembali ke keadaan semula. Kurva osilasi yang bentuknya mirip sinusoidal terpotong dinamakan sinyal seismik (*seismic wavelet*), Dobrin 1976.

2.1.2. Tipe Gelombang Seismik

Tipe gelombang seismik dibedakan berdasarkan cara bergetarnya, tempat menjalarnya dan bentuk muka gelombangnya, (*Suprajitno M., 2002*).

a. Menurut Cara Bergetarnya

Desain survei seismik dibuat berdasarkan prinsip-prinsip pada metode seismik pantul. Di dalam membicarakan desain dan susunan geometri survei seismik maka akan sangat membantu apabila dapat mengenal dua tipe (jenis) gelombang yang sering ditemukan dalam survei seismik yaitu :

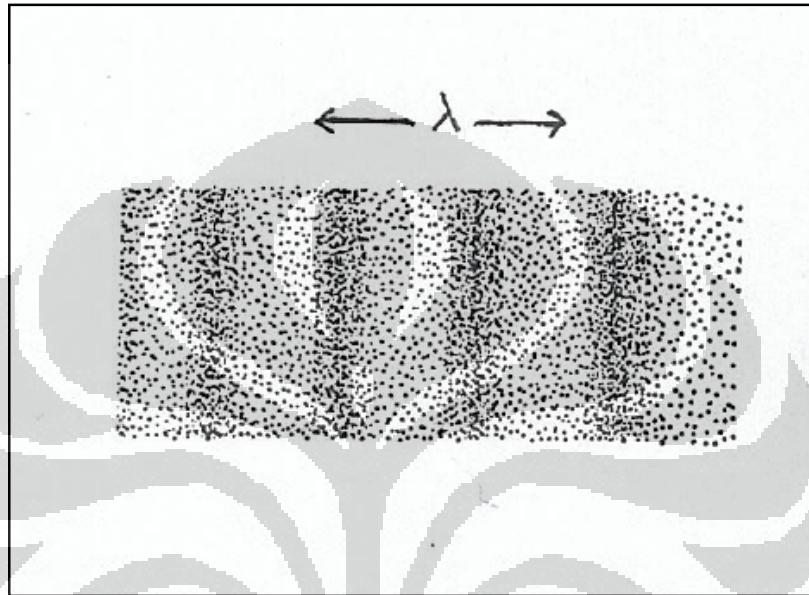
- **Gelombang P (*P-wave*)**

Gelombang P lebih dikenal sebagai **gelombang longitudinal** (*longitudinal wave*) atau gelombang primer, dan bersifat sebagai gelombang tekan (*compressional wave*) karena terbentuk dari osilasi tekanan yang menjalar dari satu tempat ke tempat lain, Bolt, 1976. Gerakan partikel gelombangnya sejajar dengan arah penjalaran / perambatan gelombangnya (Gambar 2.3).

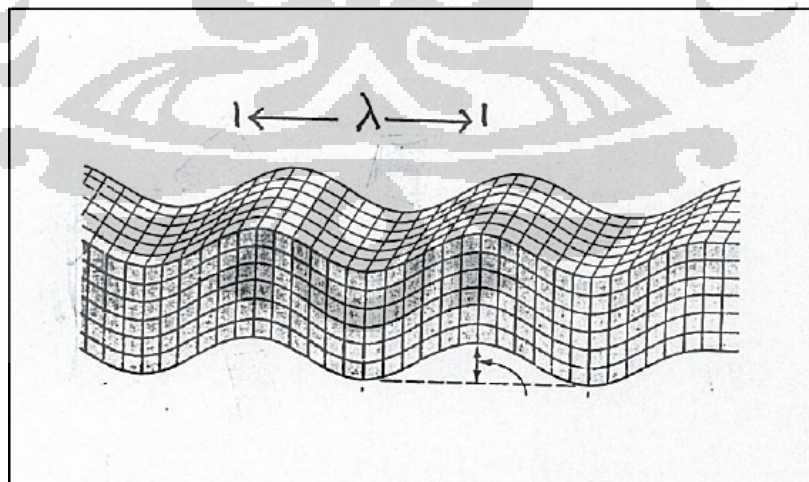
- **Gelombang S (*S-wave*)**

Gelombang S dikenal juga sebagai **gelombang transversal** (*transversal-wave*). Bersifat sebagai gelombang geser (*shear-wave*) dengan gerakan partikel medium tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombangnya (Gambar 2.4). Gelombang ini disebut juga gelombang rotasi, Bolt 1976.

Di dalam survei seismik, signal gelombang yang pertama sekali muncul dalam rekaman diidentifikasi sebagai gelombang P dan kemudian disusul gelombang S. Gelombang P dan gelombang S banyak digunakan untuk menentukan kecepatan gelombang seismik berdasarkan waktu tiba gelombang tersebut. (Haris, A., 2009)



Gambar 2.3. Gelombang P atau Gelombang Kompresi
(Bolt, 1976 op.cit Suprajitno, 2000)



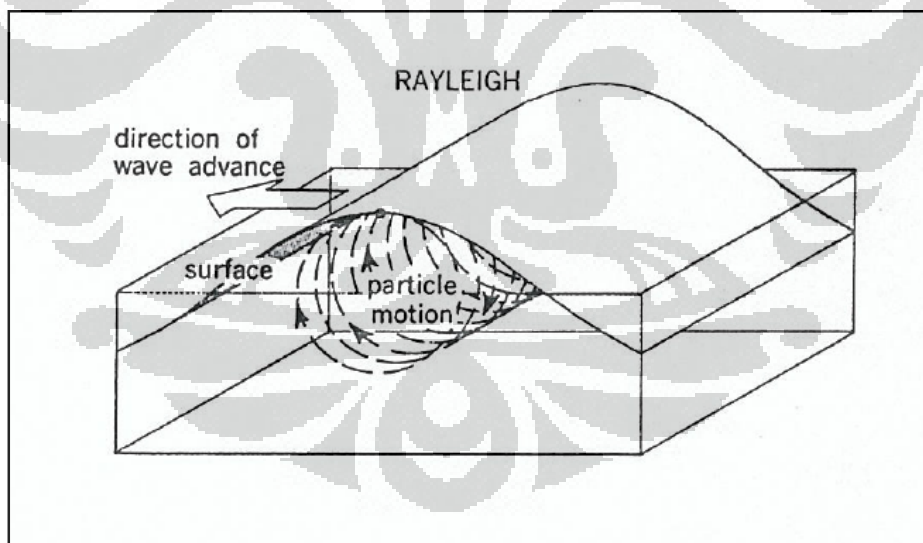
Gambar 2.4. Gelombang S atau Gelombang Transversal
(Bolt, 1976 op.cit Suprajitno, 2000)

Apabila arah getar gelombang S terpolarisir pada bidang vertikal maka disebut gelombang SV. Sedangkan apabila arah getarnya terpolarisir pada bidang horisontal maka disebut gelombang SH (Gambar 2.5). Gelombang yang merupakan kombinasi antara kedua tipe gelombang tersebut misalnya gelombang *Rayleigh* yang bertipe P-SV.

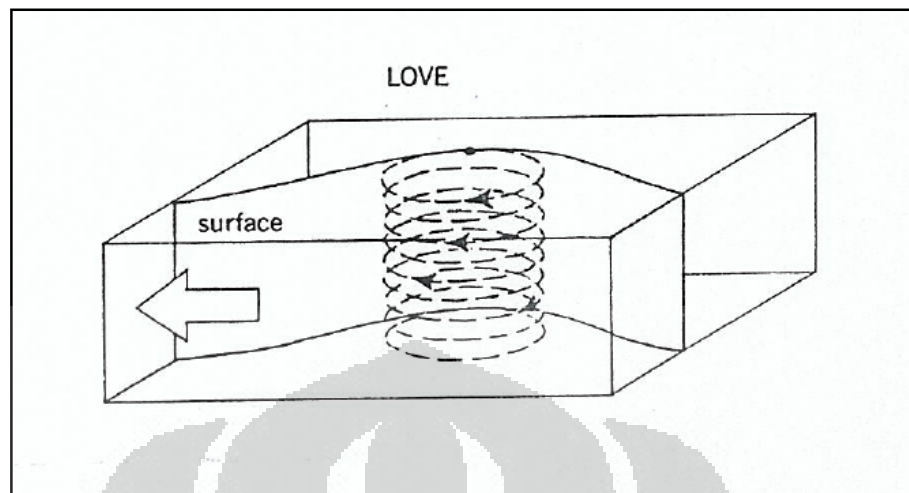
b. Menurut Tempat Menjalarnya

Gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu gelombang tubuh (*body wave*) yang menjalar masuk menembus medium dan gelombang permukaan (*surface wave*), amplitude akan semakin melemah apabila semakin masuk kedalam medium.

Beberapa gelombang yang termasuk dalam gelombang permukaan adalah gelombang *Rayleigh*, gelombang *Love*, *pseudo Rayleigh* (Gambar 2.5), *pseudo Love* (Gambar 2.6) dan gelombang *Stoneley* ataupun gelombang tabung.



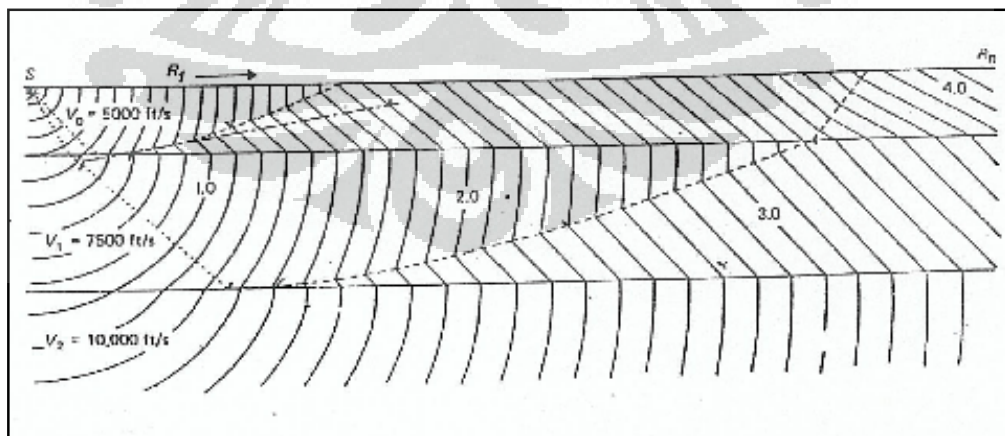
Gambar 2.5. Gelombang *Rayleigh* bertipe P-SV. Partikel medium bergerak pada bidang vertikal mengikuti pola elips sementara penjalaran kearah lateral (*Suprajitno, 2000*).



Gambar 2.6. Gelombang *Love* bertipe P-SH. Partikel medium bergerak pada bidang horisonal mengikuti pola elips sementara penjalaran kearah lateral.
(Suprajitno, 2000)

c. Menurut Bentuk Muka Gelombangnya

Muka gelombang adalah suatu bidang permukaan yang pada suatu saat tertentu membedakan medium yang telah terusik dengan medium yang belum terusik. Muka gelombang merupakan potret dari penjalaran usikan. Gelombang seismik dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu gelombang bidang/datar, gelombang silinder, gelombang bola dan gelombang kerucut, *Thornburgh* (1930).



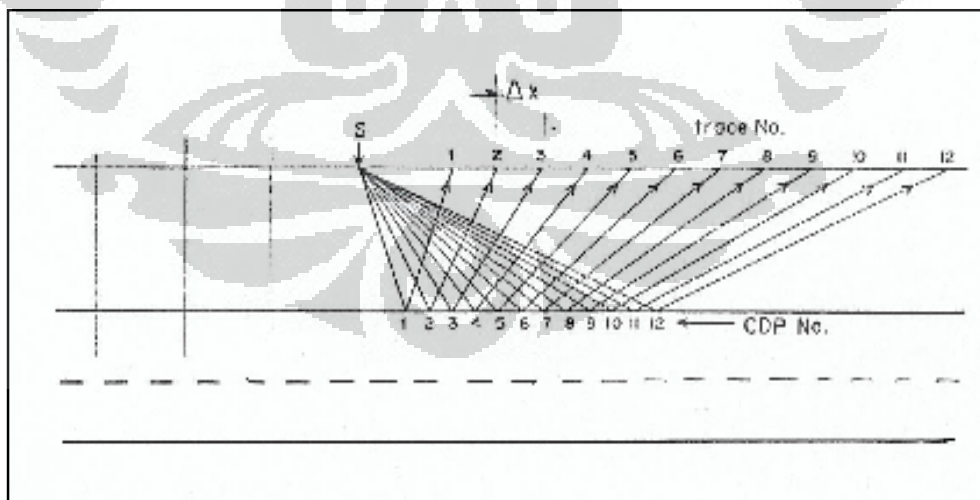
Gambar 2.7. Penjalaran gelombang dalam bentuk diagram muka gelombang satu dimensi yang dibuat oleh *Thornburgh* 1930 op.cit
Suprajitno, 2000.

Pada gambar 2.7. terlihat bahwa sumber S memancarkan gelombang bola di lapisan pertama. Di lapisan kedua yang kecepatannya lebih besar daripada lapisan pertama, muka gelombangnya lebih cepat menjalar. Pada sudut datang lebih besar dari sudut kritis muncul gelombang *head wave* yang muka gelombangnya berupa bidang datar. Hal yang sama terjadi pada bidang batas antara lapisan dua atau tiga, (Thornburgh 1930).

2.1.3. Manifestasi Gelombang Seismik di Lapangan

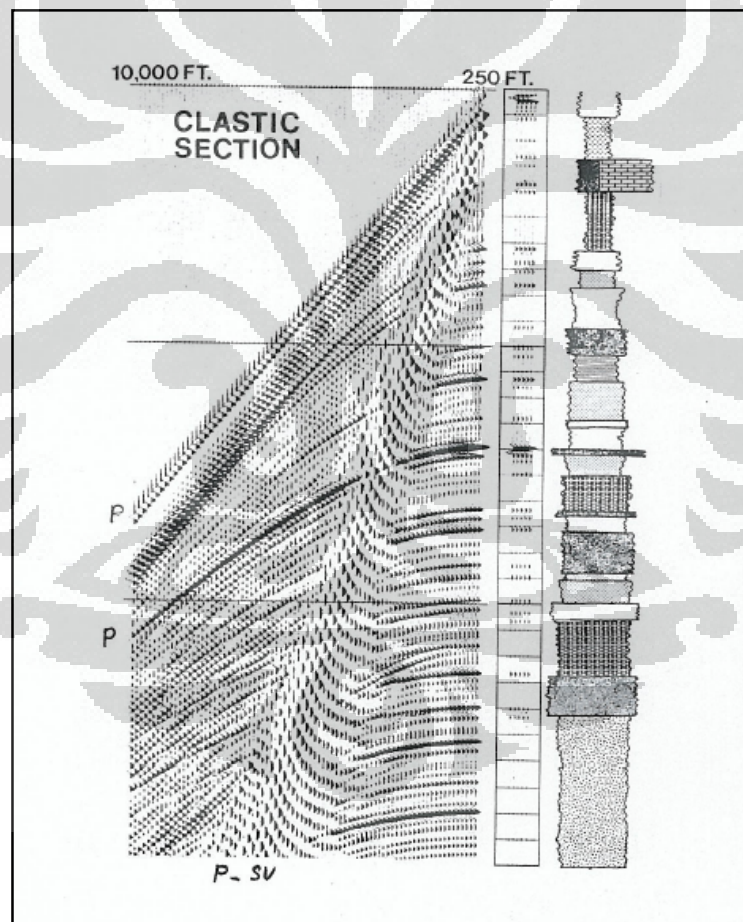
Dengan menggunakan cara pengukuran yang umum dipakai dalam seismik eksplorasi, maka gelombang-gelombang P, SV, *Rayleigh* dan *Stoneley* terekam dengan pola yang berbeda-beda sehingga dapat dikenali dengan mudah. Karena kecepatannya yang tidak sama maka dalam diagram t-x (waktu-jarak) gelombang-gelombang tersebut tampak terpisah.

Pada Gambar 2.8. terlihat cara perekaman gelombang seismik yang umum dipakai dalam seismik eksplorasi (dua dimensi). Sumber gelombang ditempatkan pada suatu posisi tertentu dan detektor ditempatkan di banyak posisi. Jarak antara sumber gelombang terhadap detektor disebut *offset*, sedangkan jarak antara *grup detector* disebut grup interval.



Gambar 2.8. Teknik pengukuran dalam seismik eksplorasi sumber di S dan detektor ditempatkan di posisi 1 sampai 12 atau lebih. (Suprajitno, 2000)

Gambar 2.9 adalah contoh rekaman seismik yang diperoleh. Pantulan gelombang seismik oleh bidang batas antar lapisan membentuk pola-pola hiperbola. Gelombang langsung berpola garis lurus bermula dari titik sumber dan mengarah dengan kemiringan tertentu. Gelombang lain yang berpola garis lurus dengan kemiringan yang berbeda dan sinyalnya mengalami dispersi, gelombang ini disebut gelombang *Rayleigh* (*ground roll*). Dari kemiringannya dapat disimpulkan bahwa kecepatan penalaran gelombang *Rayleigh* lebih rendah dari pada kecepatan penalaran gelombang langsung.



Gambar 2.9. Contoh bentuk rekaman dari teknik pengukuran langsung lapangan. Gelombang langsung (P), gelombang terpantul (P) dan gelombang *Rayleigh* (P-SV) mempunyai pola waktu datang sendiri-sendiri. (Sherwood, 1982 op.cit Suprajitno, 2000).

2.2. Sumber Getar Seismik

2.2.1. Jenis Sumber Getar Seismik

Pada survei seismik darat terdapat beberapa sumber getar seismik yang digunakan, secara garis besar dibagi menjadi dua golongan yaitu :

- Sumber getar seismik *explosive* (dinamit)
- Sumber getar seismik *non explosive* (*vibroseis*, benda jatuh dll)

Dinamit adalah campuran bahan kimia yang dapat berubah menjadi gas atau uap sebagai akibat adanya suatu gesekan, panas, api, impuls, listrik dll dan terjadi dalam proses waktu yang relatif singkat sekali dan menghasilkan suara keras pada suhu dan tekanan yang tinggi.

Sebagai sumber getar dinamit mempunyai beberapa faktor penting (Evans, B.J.,2005) yaitu :

1. Stabilitas
Adalah kestabilan sifat kimia dan fisis dinamit. Apakah masih stabil dalam suatu suhu dan kondisi cuaca tertentu.
2. Sensitivitas
Adalah kepekaan dinamit terhadap ledakan, pukulan, gesekan, panas dan tenaga listrik. Hal ini penting untuk dapat meledakkannya dalam suatu rangkaian dinamit.
3. Kecepatan Detonasi
Adalah kecepatan ledak dinamit atau kecepatan rambat gelombang detonasi dalam lubang dinamit.
4. Kekuatan
Adalah kekuatan dinamit yang diukur berdasarkan energi yang dilepaskan dinamit.
5. Ketahanan terhadap air
Adalah ketahanan dinamit terhadap pengaruh air, apabila perlu bagian luar dinamit harus dilapisi dengan suatu zat sehingga mempertinggi daya tahannya.

6. Sifat-sifat gas yang timbul
Adalah gas-gas yang timbul akibat ledakan dinamit. Ada kalanya gas ini beracun tergantung dari jenis dan kondisi dinamit itu sendiri. Hal ini penting diketahui untuk mencegah terjadinya keracunan.
7. Densitas
Adalah kerapatan dinamit, dimana kerapatan dinamit turut menentukan efek ledakan dinamit. Makin besar densitas suatu dinamit maka semakin besar juga efek ledaknya.
8. Ketahanan terhadap suhu rendah
Terutama untuk dinamit yang mengandung nitroglycerine. Pada kondisi suhu rendah *nitroglycerine* akan membeku dan membuat sifatnya menjadi labil dan berbahaya.

2.2.2. Karakteristik Dinamit

Dinamit merupakan sumber getar yang paling banyak digunakan karena mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- rentangan frekuensi lebar
- tingkat energi tinggi
- rekaman bisa terbaca langsung
- operasi mudah
- perlengkapan mudah dibawa terutama untuk survei daerah terpencil
- dapat ditanam dibawah lapisan lapuk

Pemilihan sumber getar dinamit didasari oleh :

- penetrasi (daya tembus) kedalaman yang dibutuhkan
- rentang frekuensi untuk resolusi
- perbandingan sinyal *noise*, *noise* dari *ground roll*
- lingkungan
- harga dan persediaan

2.5.3. Energi Dinamit

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi pelepasan energi dinamit yaitu :

1. Kecepatan detonasi

Kecepatan Bergeraknya gelombang detonasi sepanjang dinamit adalah berkisar 8000 – 26000 ft/detik (2438 – 7935 m/detik). Kecepatan ini mulai bergerak dari titik permulaan kolom (dari tempat detonator), bergerak dengan kecepatan supersonik dan berhubungan langsung dengan komposisi densitas dinamit.

2. Energi detonasi

Energi detonasi yang dilepaskan pada saat ledakan (sebagai gelombang kejut). Gelombang kejut ini yang digunakan untuk sumber getar dalam survei seismik darat. Persamaan energi detonasi adalah :

$$DP = \rho \times V_{OD} \times pv \quad (2.4)$$

dimana : DP = energi detonasi (kbar)

ρ = densitas (gram/cc)

V_{OD} = kecepatan detonasi (ft/detik)

pv = kecepatan partikel ledakan (in/detik)

Kerapatan dan kecepatan detonasi dapat ditentukan, tetapi kecepatan partikel ledakan sulit ditentukan karena partikel-partikel tersebut tidak terlihat di udara terbuka, maka persamaan energi detonasi sebagai pendekatan :

$$DP = 2.325 \times 10^{-7} \times V_{OD} \times \rho \quad (2.5)$$

3. Densitas

Densitas ledakan menentukan berat dinamit per *foot* dengan persamaan:

$$\text{Berat dinamit / ft} = \rho \times 0.34 \times (De)^2 \quad (2.6)$$

dimana : 0.34 = tetapan koefisien

De = diameter dinamit (in)

4. Pelepasan energi

Energi ledakan dinamit yang dilepaskan ke sekeliling batuan terdiri dari dua bentuk energi yaitu energi detonasi dan energi perusak yang digunakan untuk merusak batuan disekitarnya.

2.2. Survei Seismik 2D dan Survei Seismik 3D

Penentuan obyektif survei seismik 3D lebih sulit dibandingkan survei seismik 2D, hal ini disebabkan karena parameter akuisisi seismik 3D lebih sulit diubah pada saat survei seismik telah berjalan.

Peralatan seismik 3D lebih banyak dilapangan dan posisi peralatan lebih lama berada di lapangan, sehingga bisa dipengaruhi oleh lingkungan, cuaca, kendaraan, pencurian dan kerusakan satwa liar.

Pengambilan *spatial sampling* seismik 3D biasanya lebih kasar dari pada program seismik 2D. Hal ini penting untuk memutuskan apakah sampling kasar cukup untuk menyelesaikan struktur *dip* dan gambaran fitur geologi dengan benar. Untuk lintasan 2D sumber getar linier dan *array geophone* adalah normal. Tidak ada peraturan khusus untuk jenis array yang digunakan dalam seismik 3D.

Sumber getar (*source*) dan *receiver* seismik 3D yang dipasang di permukaan dan perekaman data seismik 3D mempunyai azimuth yang tidak terdapat pada seismik 2D, dimana distribusi azimuth bagus. Jika suatu fenomena muncul pada suatu profil seismik 2D tidak bisa menentukan arah penyebabnya. Sebaliknya migrasi 3D lebih baik dalam hal positioning untuk melihat anomali yang ada.

2.3. Parameter Target

Parameter target adalah parameter yang berhubungan dengan diskripsi (gambaran) geologi bawah permukaan. Parameter target merupakan masukan awal dalam melakukan desain survei seismik 3D, semakin jelas diskripsi target akan semakin baik pula desain yang dihasilkan. Parameter target terdiri dari 7 (tujuh) parameter (*Cordson, A., 2000*) yaitu :

a. Target sasaran / Lapisan obyektif

Target sasaran / lapisan obyektif adalah lapisan batuan dibawah permukaan bumi yang menarik untuk diselidiki dengan seismik 3D karena diperkirakan memiliki kandungan minyak atau gasbumi yang potensial. Target sasaran / lapisan obyektif ditentukan berdasarkan data *marked well log* yaitu dari keadaan lithologi batuannya dan berdasarkan data penampang seismik sebelumnya yaitu dari horizon lapisan atau reflektornya. Lapisan obyektif dibagi menjadi dua yaitu lapisan obyektif utama dan lapisan obyektif sekunder.

b. Kedalaman obyektif

Kedalaman obyektif yang dimaksud adalah kedalaman obyektif utama dan kedalaman obyektif sekunder. Kedalaman diukur dari peta struktur atau dari penampang seismik sebelumnya.

c. Keadaan bawah permukaan

Keadaan bawah permukaan adalah luasan di kedalaman yang membutuhkan penggambaran seismik 3D. Biasanya berbentuk empat persegi panjang sesuai dengan kecenderungan struktur. Luasan ini ditentukan berdasarkan garis batas maksimum dan pola patahan pada struktur. Luasan juga ditentukan dengan mempertimbangkan daerah prospek minyak disekitarnya dan kandungan pengembangan kedepan.

d. Kemiringan (*dip*) target

Dip yang dimaksud adalah *dip* paling tegak secara geologi di arah *inline* dan *crossline*. *Dip* diukur dari peta struktur atau dari penampang seismik sebelumnya.

e. Frekuensi

Frekuensi yang dimaksud adalah frekuensi maksimum yang diharapkan masih bisa diterima yang dikandung dalam jejak seismik yang diperoleh di lapangan. Frekuensi diperoleh dari penampang seismik dengan mengukur jarak dari puncak ke puncak gelombang di sekitar horizon target. Frekuensi dominan dari data seismik sebelumnya juga perlu diketahui untuk menentukan besaran frekuensi maksimum yang diharapkan.

f. Kecepatan gelombang

Kecepatan gelombang adalah kecepatan interval. Kecepatan interval diperoleh dari hasil *well velocity survey* yang dibuat berdasarkan interval kedalaman, sehingga interval merupakan kecepatan gelombang yang sebenarnya dalam lapisan batuan di daerah penelitian.

g. Cadangan minyak

Cadangan minyak tersisa (*total recoverable reserves*) suatu lapangan meliputi cadangan terbukti, cadangan mungkin, cadangan boleh jadi dan cadangan potensial EOR.

2.4. Parameter Desain

Pada dasarnya dalam pembuatan simulasi dengan menggunakan *software* MESA dibutuhkan parameter-parameter antara lain :

a. Parameter untuk *Shot Point* (SP)

Yang termasuk dalam parameter untuk *shot point* adalah jarak antar *shot point*, jarak antar *shot line*, posisi *shot point*, *azimuth* (arah) dari *shot line*, jumlah *shot point* tiap *shot line* (SL), dan jumlah *shot line*-nya.

b. Parameter untuk *Receiver* (Trace)

Yang termasuk dalam parameter *receiver* adalah jarak antar trace (*receiver*), jarak antara *receiver line* (RL), posisi *receiver* terhadap *shot point*, *azimuth* (arah) dari *receiver line*, dan jumlah *receiver line*-nya.

c. Parameter untuk Penembakan

Yang termasuk dalam parameter untuk penembakan adalah jumlah bentangan (RL) yang aktif setiap swathnya, jumlah *receiver* yang aktif di tiap bentangan, jumlah tembakan tiap *salvo*, dan tipe dari *spread*-nya.

Parameter desain untuk survei seismik yang mempengaruhi kualitas data dan suksesnya suatu survei seismik (*Vermeer G.J.O., 2002*) adalah :

a. Offset

Offset adalah jarak antara titik tembak dengan penerima. Terdiri dari dua macam yaitu offset dekat dan offset jauh. Offset dekat atau offset jauh ini ditentukan dari zona interest terdangkal dan terdalam yang diinginkan. Jika kedalaman target adalah Z biasanya offset ditentukan sama atau lebih kecil dari Z .

b. Group interval

Adalah jarak antara satu kelompok geophone terhadap satu kelompok geophone yang lainnya. Satu group geophone ini memberikan sinyal atau *trace* yang merupakan stack atau superposisi dari beberapa geophone yang ada dalam kelompok tersebut. Susunan geophone di dalam kelompok ini dibuat tertentu dengan tujuan untuk meredam *noise*.

c. Ukuran sumber seismik (charge size)

Ukuran sumber seismik merupakan ukuran energi yang dilepaskan oleh sumber seismik. Sumber yang terlalu kecil jelas tidak mampu mencapai target yang dalam, sedangkan ukuran sumber yang terlalu besar dapat merusak *event* (data) dan sekaligus meningkatkan *noise*. Oleh karena itu diperlukan ukuran sumber yang optimal melalui *test charge size*.

d. Kedalaman sumber seismik (charge depth)

Sumber sebaiknya ditempatkan di bawah lapisan lapuk, sehingga energi sumber bisa ditransfer optimal masuk ke dalam lapisan medium dibawahnya.

e. Fold (*Fold coverage*)

Fold coverage adalah jumlah atau seringnya suatu titik di *subsurface* terekam oleh *receiver* di permukaan. Semakin besar jumlah *fold* nya, kualitas data akan semakin baik. *Fold* dalam seismik 3D mempunyai pengertian sama dengan *fold* dalam seismik 2D. Hanya saja dalam seismik 2D trace-trace dikumpulkan berdasarkan *Common Midpoint* (CMP) yang berupa titik, sedangkan dalam seismik 3D trace-trace dikumpulkan

berdasarkan *Common Cellpoint* atau *Bin*. Dalam seismik 3D *fold* terjadi pada arah *inline* dan arah *crossline*.

Fold pada arah *inline* ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mathbf{Fold}_{inline} = \frac{\Sigma \mathbf{TR}}{2} \times \frac{\Delta \mathbf{TR}}{\Delta \mathbf{SP}} \quad (2.1)$$

dimana : $\Sigma \mathbf{TR}$ = jumlah channel pada lintasan *inline* setiap penembakan (channel aktif dalam 1 *receiver line*)

$\Delta \mathbf{TR}$ = interval group (trace)

$\Delta \mathbf{SP}$ = interval sumber *inline* (*interval source*)

Sama seperti *fold* pada arah *inline*, maka *fold* pada arah *crossline* ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\mathbf{Fold}_{crossline} = \frac{\Sigma \mathbf{RL}}{2} \times \frac{\Delta \mathbf{RL}}{\Delta \mathbf{SL}} \quad (2.2)$$

dimana : $\Sigma \mathbf{RL}$ = jumlah channel pada lintasan *crossline* setiap penembakan (jumlah *receiver line*)

$\Delta \mathbf{RL}$ = interval lintasan (*interval receiver line*)

$\Delta \mathbf{SL}$ = interval sumber *crossline* (*interval source line*)

Sedangkan *fold* totalnya adalah :

$$\mathbf{Fold}_{total} = \mathbf{Fold}_{crossline} \times \mathbf{Fold}_{inline} \quad (2.3)$$

f. Laju pencuplikan (*Sampling rate*)

Sampling rate adalah interval waktu maksimum antara 2 sample berurutan yang diperlukan dalam merekam gelombang seismic untuk menghindari *aliasing*.

Laju pencuplikan akan menentukan batas frekuensi maksimum yang masih dapat direkam dan direkonstruksi dengan benar sebagai data. Frekuensi yang lebih besar dari batas maksimum akan mengakibatkan timbulnya *aliasing*. Batas frekuensi maksimum ini disebut frekuensi *Nyquist*. Pada

umumnya sinyal frekuensi tinggi dicuplik dengan laju pencuplikan 2 ms atau 1 ms agar terhindar dari alias.

Sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi $> f_q$ akan direkam dan direkonstruksi menjadi sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi yang lebih rendah dari kandungan frekuensi sebenarnya (*alias*).

Dalam teori sampling, interval sampling (Δt) harus lebih kecil atau sama dengan frekuensi maksimum dari gelombang seismik yang dipantulkan oleh zone target.

g. Low cut filter

Merupakan filter yang dipasang pada instrument perekaman untuk memotong / menurunkan amplitude frekuensi gelombang / trace yang rendah.

h. Frekuensi Geophone

Adalah watak geophone dalam merespon suatu gelombang seismik. Suatu geophone mampu merekam gelombang seismik sampai batas frekuensi rendah tertentu untuk refleksi dan refraksi dan untuk frekuensi tinggi biasanya cukup besar. Responsibilitas geophone ini disebabkan oleh adanya faktor peredaman (*damping*) dari gerakan massa terhadap koil di dalam geophone.

i. Panjang Perekaman (*record length*)

Adalah lamanya merekam gelombang seismik yang ditentukan oleh kedalaman target. Apabila targetnya dalam maka diperlukan lama perekaman yang cukup agar gelombang yang masuk ke dalam setelah terpantul kembali dapat direkam di permukaan. Minimal satu detik dari target, namun pada umumnya dua kali kedalaman target (dalam waktu).

j. Rangkaian geophone (*group geophone*)

Adalah sekumpulan geophone yang disusun sedemikian rupa sehingga *noise* yang berupa gelombang horizontal (*ground roll*) dapat ditekan sekecil mungkin. Kemampuan menekan *noise* oleh susunan geophone

tersebut tergantung pada jarak antar geophone, panjang gelombang *noise* dan konfigurasi susunannya.

k. Panjang lintasan

Panjang lintasan ditentukan dengan mempertimbangkan luas sebaran / panjang target di *sub surface* terhadap panjang lintasan survei di *surface*. Tentu saja panjang lintasan survei di permukaan akan lebih panjang dari pada panjang target yang dikehendaki.

l. Bentang geophone (*geophone array*)

Bentang geophone menentukan informasi kedalaman rambatan gelombang, nilai kelipatan liputan dan alternatif sistem penembakan pada daerah-daerah sulit, seperti lintasan menyeberangi sungai lebar dan lain-lain. Bentuk konfigurasi yang sering dipergunakan adalah *off-end spread*, *split spread* dan *assimetry split spread*.

m. Arah lintasan

Arah lintasan ditentukan berdasarkan informasi studi pendahuluan mengenai target. Survei akan dilakukan pada arah memotong atau membujur atau sembarang terhadap orientasi target.

n. Spasi antar lintasan

Pertimbangan spasi antar lintasan melibatkan segi teknis dan ekonomis. Dari segi teknis akan dilihat pada kepentingan survei, yaitu untuk studi pendahuluan atau studi pengembangan atau sebagai data pelengkap saja. Sedangkan dari segi ekonomis tentu menyangkut besarnya dana yang tersedia. Semakin rapat semakin mahal, namun demikian apakah data yang diperoleh cukup memadai atau mubazir relatif terhadap kepentingannya.

o. Ukuran bin (*Spasial sampling*)

Liputan bawah permukaan disampling dalam luasan-luasan kecil yang dinamakan *bin*. *Interval bin* menunjukkan seberapa jauh jumlah trace akan ditampilkan. Ukuran *bin* ditentukan dari spasial sampling di permukaan.

Spasial sampling adalah interval jarak maksimum dua trace yang berurutan pada penampang seismik yang sudah di stack (*zero offset section*) yang diperlukan dalam merekam gelombang seismic untuk menghindari *aliasing*. Problem *spasial aliasing* timbul akibat terlalu lebarnya *spasial sampling* sehubungan dengan proses migrasi. *Spasial sampling* ditentukan berdasarkan kemiringan (*dip*), kecepatan gelombang dan frekuensi.

Bin Size adalah jarak maksimal antar trace yang diperlukan untuk menggambarkan suatu geometri bawah permukaan secara benar (tidak mengalami aliasing). Kemiringan suatu perlapisan, patahan dan anomali lainnya dapat tergambar secara benar. *Bin size* juga diperlukan untuk membedakan sifat suatu tubuh batuan dengan batuan di sekitarnya. Suatu tubuh batuan di bawah permukaan sekurang-kurangnya diperlukan tiga trace agar dapat tergambar dengan baik.

Secara umum semakin rendah kecepatan dan makin tinggi kemiringan memerlukan *bin size* yang lebih kecil.

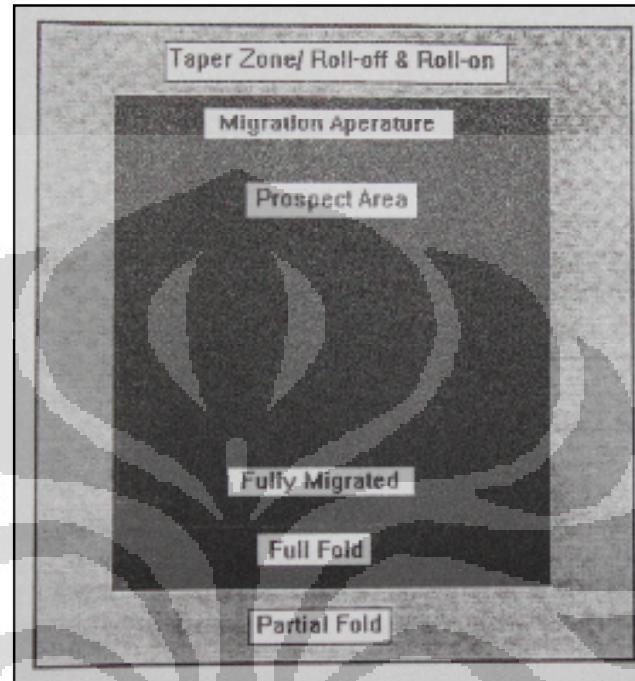
Ukuran *bin* dan *fold* saling mempengaruhi satu sama lain. *Fold* merupakan fungsi kuadrat dari panjang sisi *bin*. Bentuk *bin* yang disarankan adalah bujur sangkar, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk memperpanjang ke salah satu sisi guna menguatkan resolusi kearah itu. Pendesainan ukuran *bin* dipengaruhi oleh tiga factor yaitu ukuran target, frekuensi anti alias maksimum, dan resolusi horizontal. Menurut pengalaman ukuran *bin* sama dengan ukuran target dibagi tiga.

p. *Aperture migrasi*

Pemrosesan data seismik sebelum proses migrasi dilakukan dengan mengasumsikan gelombang seismic dipantulkan dari *reflector horizontal*.

Pada kenyataannya rekaman seismik berasal dari gelombang yang dipantulkan oleh lapisan-lapisan dengan berbagai sudut kemiringan. Akibatnya reflektor pada posisi yang sebenarnya dilakukan proses migrasi. Untuk memindahkan reflektor ke dalam posisi yang sebenarnya, proses

migrasi memerlukan lintasan penerima di permukaan yang cukup panjang, yang melebihi batas tepi reflektor di kedalaman. Anatomi dari desain survei seismik 3D dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Anatomi dari desain seismik 3D (Mesa Training, GMG)

2.6. Metodologi

Untuk memudahkan melakukan simulasi survei seismik 3D, maka dalam membuat suatu parameter survei seismik 3D digunakan suatu *Software Mesa 3D Design* yang dapat menghasilkan parameter desain dari suatu survei seismik. Beberapa parameter desain survei 3D memiliki cara yang sama dengan 2D, yang keduanya memiliki target yang sama, seperti resolusi vertikal dan horizontal, offset terdekat dan terjauh, energi permukaan, *filter*, *array geophone*, interval penembakan dan kelipatan *fold*.

Ada tiga metode yang sering dipergunakan untuk membuat simulasi survei seismik 3D yaitu :

a. Metode lines / bricks

Metode ini biasanya digunakan untuk desain 3D yang mempunyai bentuk reguler (arah *shot point* tegak lurus dengan *receiver line*). Dengan metode ini kita bisa merancang sistem penomoran *shot point* maupun trace-nya sehingga hasil keluarannya sudah dapat diaplikasikan langsung di lapangan.

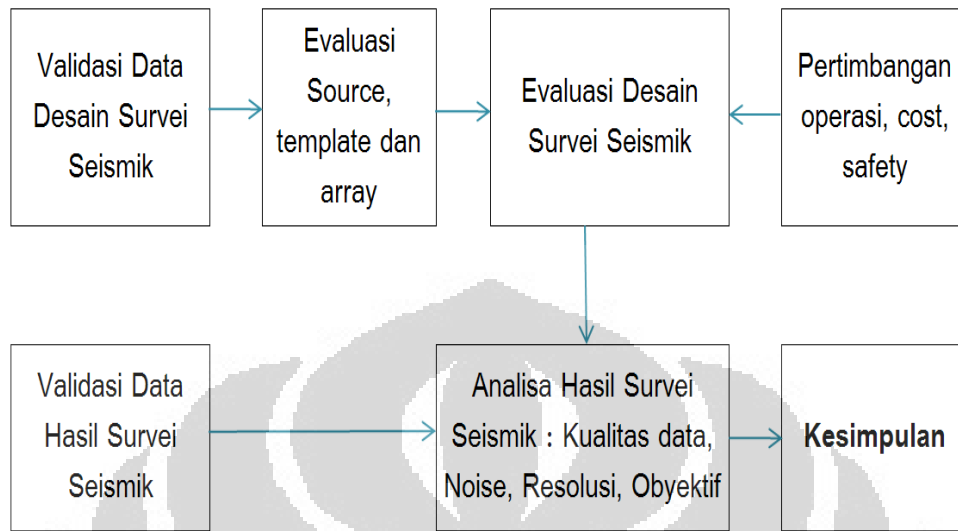
b. Metode Plot Koordinat

Koordinat setiap *receiver* dan *shot point* mutlak dibutuhkan dalam metode ini. *Software* Mesa bisa membaca data koordinat baik dalam format SEG, SPS maupun format yang lain. Dalam hal ini yang dibutuhkan adalah posisi koordinat *Easting* dan *Northing* (tidak termasuk elevasi) serta penomoran dari masing-masing titik tersebut.

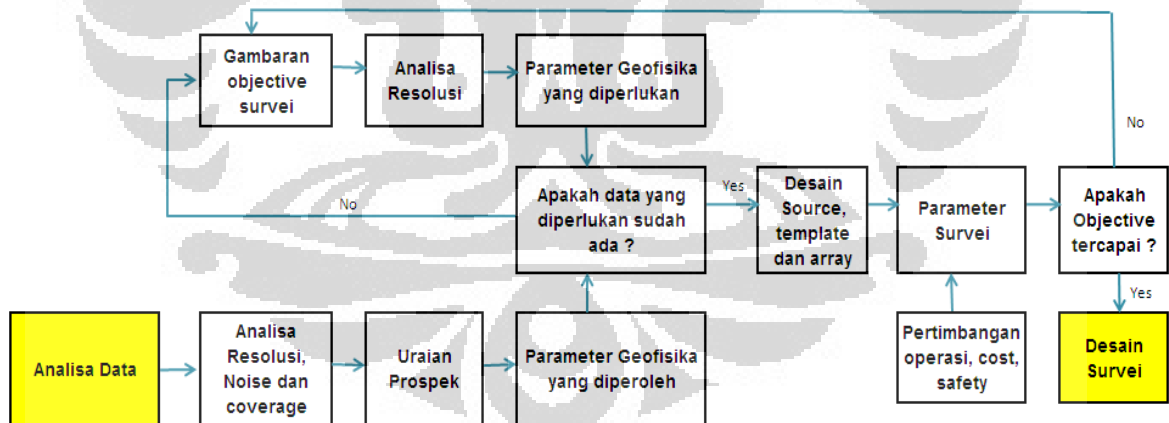
c. Metode Unit Template

Dalam metode ini prinsipnya adalah membuat model penembakan sebanyak satu salvo (lengkap dengan posisi SP, TR serta banyaknya RL yang aktif), baru kemudian kita gandakan baik kearah *crossline* (*Easting*) maupun kearah *inline* (*Northing*) sesuai dengan yang dikehendaki.

Dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yang dimulai dari validasi data sampai pada tahap kesimpulan. Pada tahap validasi data, diperlukan pemahaman mengenai data yang dipergunakan. Hal ini penting dikarenakan kualitas hasil akhir dari penelitian ini akan sangat tergantung dari kualitas data yang ada. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.11. Adapun diagram alur dari desain survei seismik 3D dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11. Diagram alur penelitian



Gambar 2.12. Diagram alur desain parameter survei seismik 3D

BAB 3

DESAIN PARAMETER SURVEI SEISMIK

3.1. Parameter Test

Parameter test diperlukan untuk menentukan jumlah muatan bahan peledak yang akan dipergunakan (*charge size test*) serta menentukan kedalaman lubang tembak (*charge depth test*). *Charge size test* dilakukan dengan membuat beberapa lubang dengan kedalaman yang sama dengan isi bahan peledak yang jumlahnya berbeda-beda. Rekaman dilakukan dengan meledakkan lubang-lubang tersebut satu per satu. *Charge depth test* prinsipnya sama seperti *charge size test*, dengan membuat beberapa lubang dengan kedalaman berbeda-beda dan masing-masing diisi bahan peledak yang sama jumlahnya, berdasarkan hasil *charge size*. Hasil rekaman kemudian dibandingkan satu sama lain dan dipilih jumlah dan kedalaman yang menunjukkan hasil terbaik.

Parameter test dilakukan dengan menggunakan peralatan rekaman instrument SN428 serta direkam dengan format SEG-D di dalam media *cartridge tape* 3490 E, dengan parameter rekaman yang dipergunakan adalah :

- *sampling rate* 2 ms
- *record length* 6 sec
- *High Cut filter* 8 min (200 Hz)
- *Low Cut filter* Out
- *Gain Amp* 0 dB

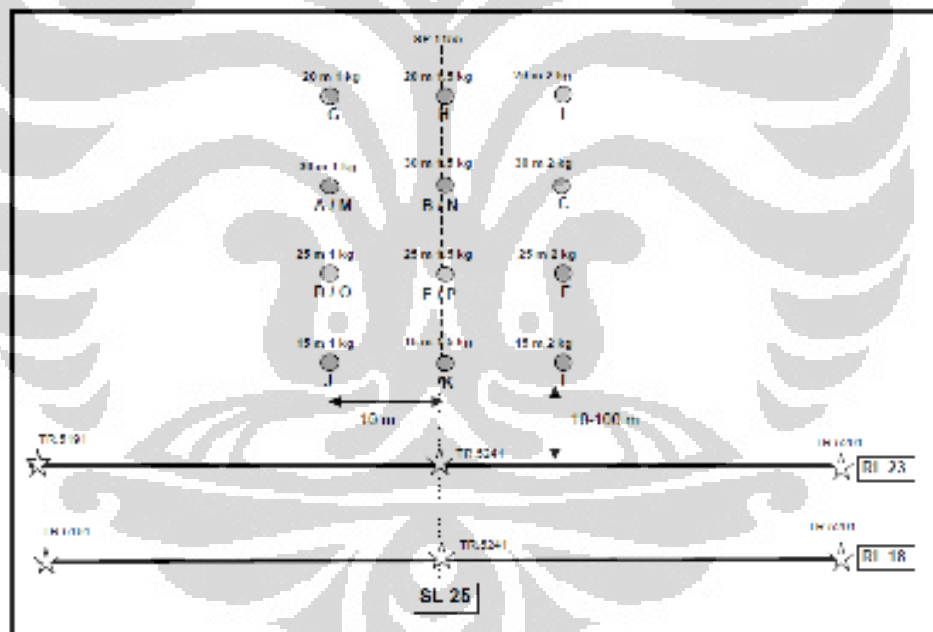
Sebelum dilakukan parameter test dilakukan terlebih dahulu instrument test untuk memastikan bahwa peralatan rekaman berada dalam kondisi yang sesuai spesifikasi, meliputi :

- *Instrument Noise test*
- *Instrument Distortion test*
- *Instrument Gain Phase test*
- *Instrument CMMR test*
- *Instrument Cross Talk test*

Metode parameter test adalah dengan melakukan pengamatan :

- Pengamatan raw data yang telah dikenakan geometri serta *True Amplitude Recovery* yang diamati pada *software ProMax* dengan *mode entire* dan *individual*.
- Pengamatan *Spectral Analysis* pada jendela target
- Pengamatan *F-T Plot*
- Pengamatan koherensi dengan melakukan autokorelasi masing-masing traces pada jendela target

Dari masing-masing pengamatan per *Shot Point test*, dibuat analisis yang menyangkut penetrasi, resolusi, *S/N ratio*, kandungan frekuensi serta koherensi yang ditampilkan dalam bentuk tabulasi matriks sehingga penilaian didasarkan pada masing-masing hasil analisis.



Gambar 3.1. Layout parameter test

Parameter test pada lapangan X Jawa Barat dilakukan dengan membuat dua belas lubang bor dengan variasi kedalaman dan pengisian yang berbeda, kemudian dilakukan juga reload terhadap empat lubang yang telah diledakkan sebagai data pembanding.

Layout parameter test pada Gambar 3.1. memperlihatkan dua belas shot point yang akan direkam dengan menggunakan dua *Receiver Line* terdekat (RL 23 / near offset) dengan jarak dari shot point antara 10 meter sampai dengan 40 meter dan *Receiver Line* terjauh (RL 18 / far offset) dengan jarak 1750 meter dari posisi shot point. Masing-masing *Receiver Line* berjumlah 100 *channel geophone* dengan system *symmetrical split spread*. Konfigurasi parameter test dari layout diatas dapat dilihat pada Gambar 3.2.

SP	KEDALAMAN (M)	JUMLAH LOBANG	DINAMIT (KG)	KETERANGAN
A	30	1	1	normal
B	30	1	1.5	normal
C	30	1	2	normal
D	25	1	1	normal
E	25	1	1.5	normal
F	25	1	2	normal
G	20	1	1	normal
H	20	1	1.5	normal
I	20	1	2	normal
J	15	1	1	normal
K	15	1	1.5	normal
L	15	1	2	normal
M	25	1	1.5	reload
N	25	1	2	reload
O	20	1	1.5	reload
P	20	1	2	reload

Gambar 3.2. Konfigurasi parameter test

Setelah dilakukan perekaman parameter test, maka dilakukan analisa hasil rekaman secara kualitatif yang meliputi :

1. Kontinuitas refleksi

Melihat bentuk reflektor yang kontinyu, semakin kontinyu semakin baik kualitas dari sinyal tersebut. Refleksi dikenali dengan bentuk hiperbola yang simetris pada common shot gather nya.

2. *Ground roll*

Ground roll adalah noise yang sangat mengganggu data rekaman. *Noise* ini mempunyai frekuensi rendah dan amplitudo yang tinggi terutama pada offset-offset pendek.

3. Penetrasi

Kemampuan energi menembus lapisan batuan. Penetrasi dihubungkan dengan obyektif terdalam penyelidikan, semakin dalam obyek maka memerlukan energi semakin besar.

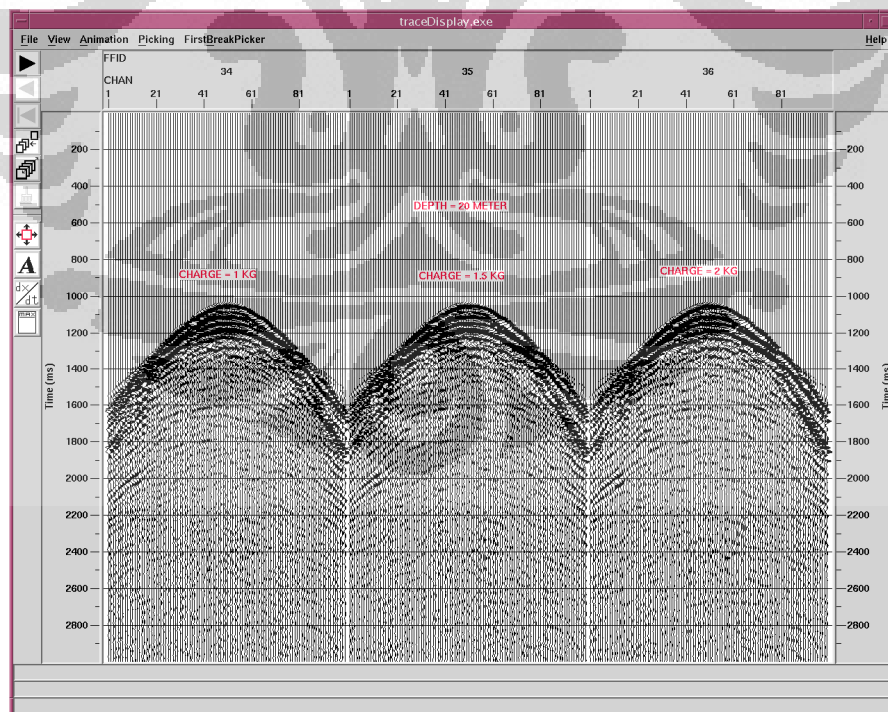
4. Resolusi

Kemampuan untuk membedakan dua kejadian secara vertikal. Resolusi berhubungan dengan frekuensi, semakin tinggi frekuensi sinyal, maka semakin baik resolusinya.

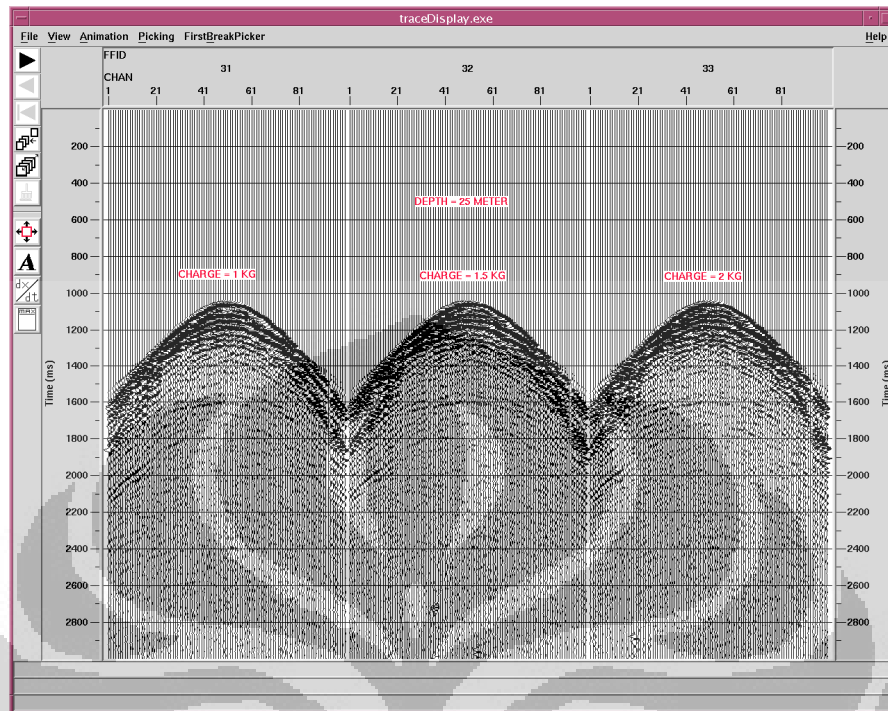
3.1.1. Pengamatan Raw Data

Raw data untuk masing-masing pengisian dan kedalaman akan dibandingkan dan dianalisa untuk masing-masing *Receiver Line* (RL) yaitu RL 18 dan RL 23 untuk memastikan apakah target masih dapat teramati dengan baik atau tidak tepat.

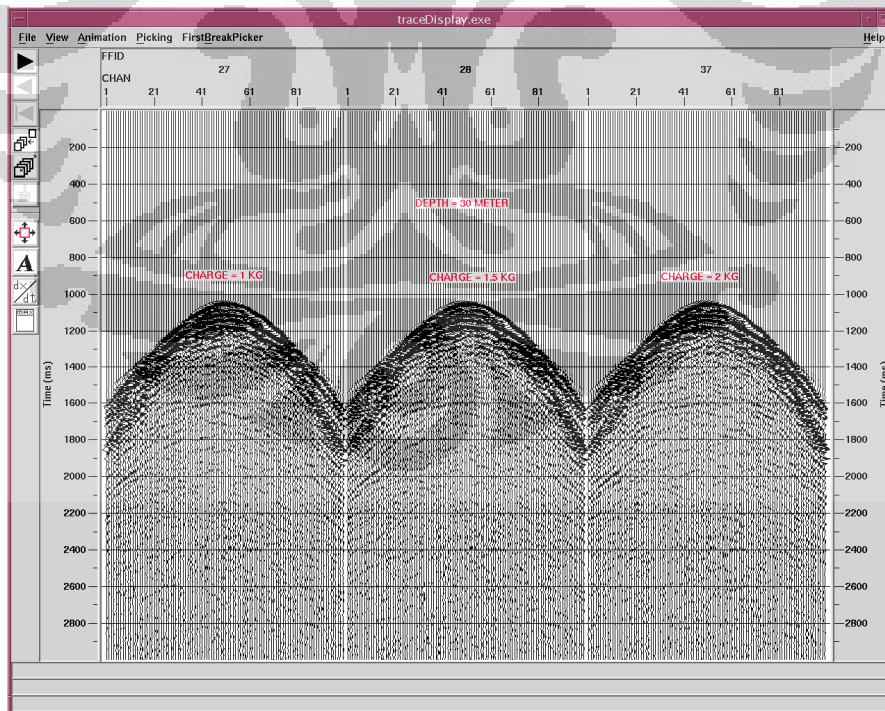
Gambar 3.3 - Gambar 3.5 menunjukkan *Raw data* pada RL 18 (far offset) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.



Gambar 3.3. Raw data RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

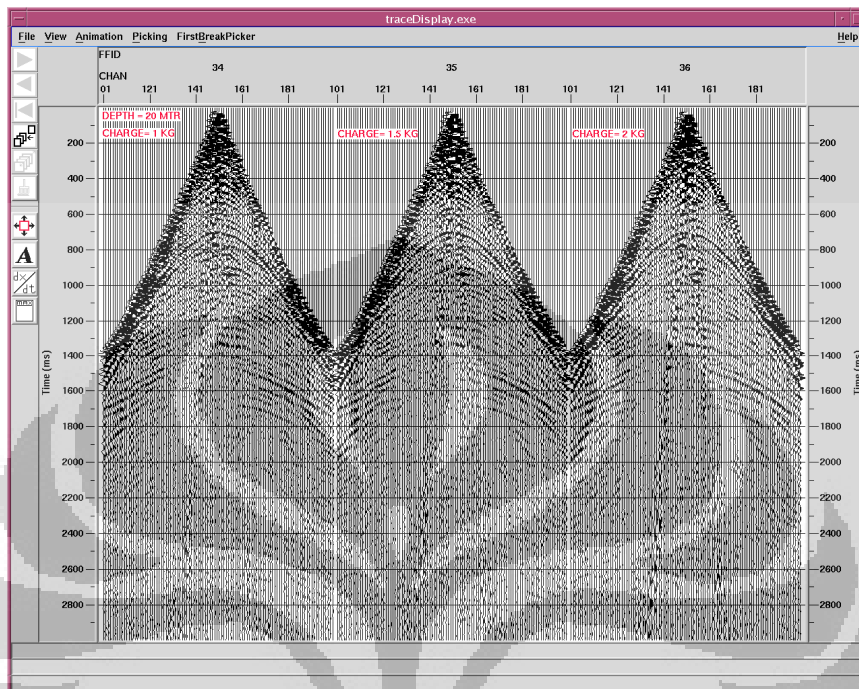


Gambar 3.4. Raw data RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian



Gambar 3.5. Raw data RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

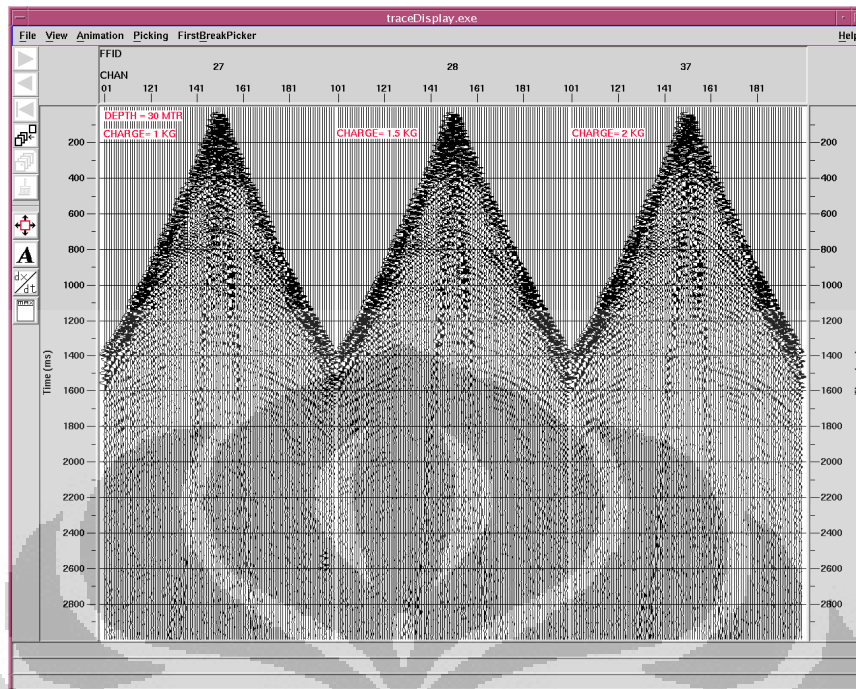
Gambar 3.6- Gambar 3.8 menunjukkan Raw data pada RL 23 (*near offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.



Gambar 3.6. Raw data RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian



Gambar 3.7. Raw data RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian

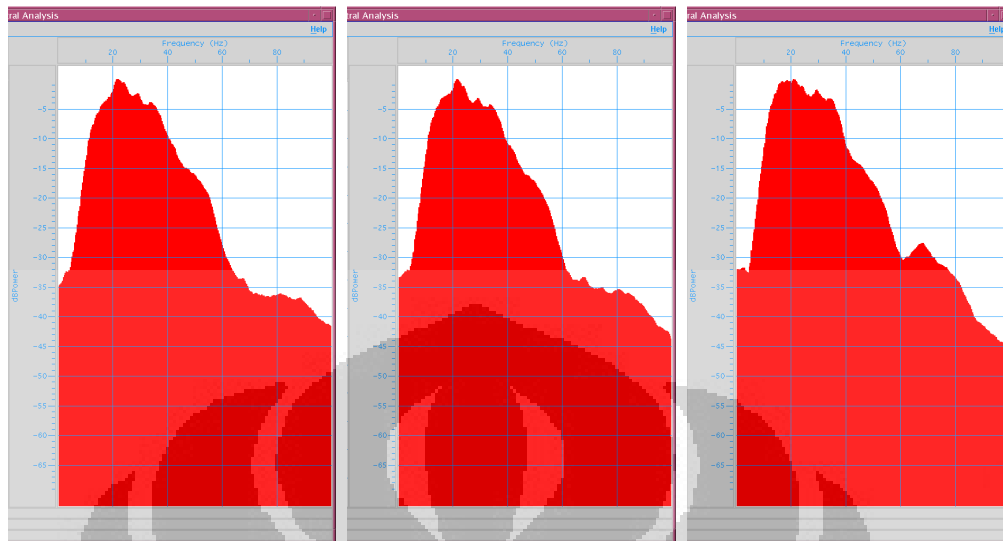


Gambar 3.8. Raw data RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

3.1.2. Pengamatan *Spectral Analysis*

Spectral analysis untuk masing-masing pengisian dan kedalaman akan dibandingkan dan dianalisa untuk masing-masing *Receiver Line* (RL) yaitu RL 18 dan RL 23 untuk memastikan apakah frekuensi yang didapatkan kuat atau tidak, yaitu dengan melihat range frekuensi yang diperoleh dari data tersebut Sumbu X menunjukkan range frekuensi dari data.

Gambar 3.9 sampai dengan Gambar 3.11 menunjukkan spectral analysis pada RL 18 (*far offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.

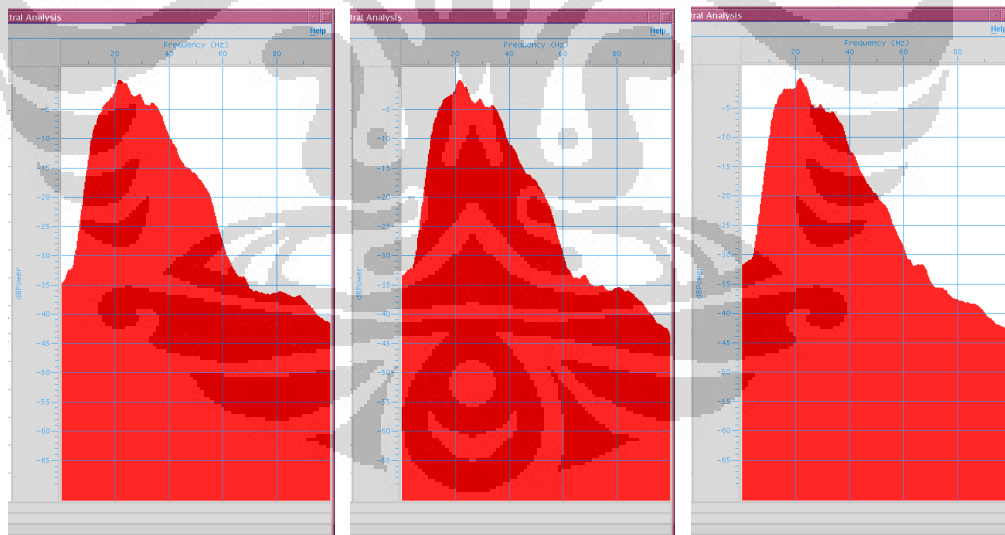


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.9. *Spectral analysis* RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

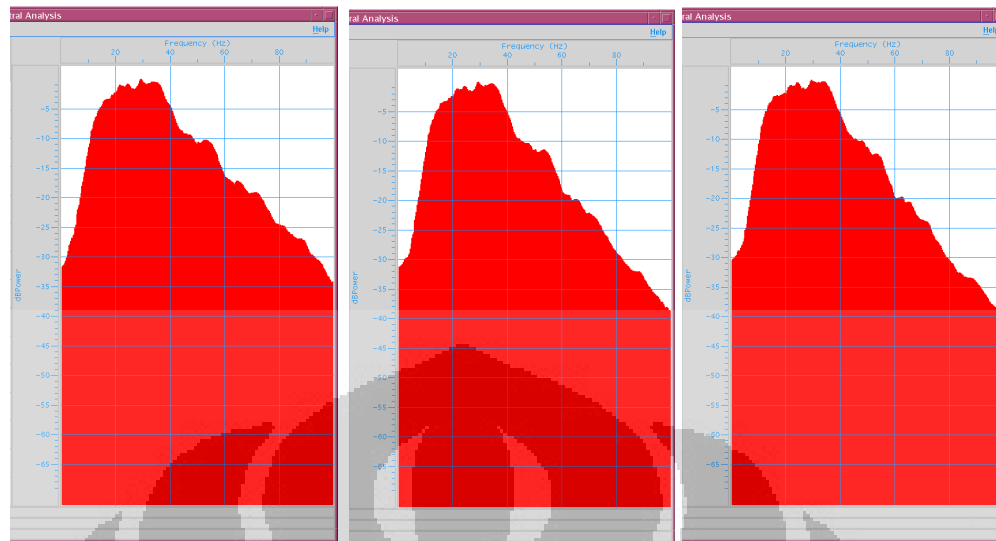


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.10. *Spectral analysis* RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian



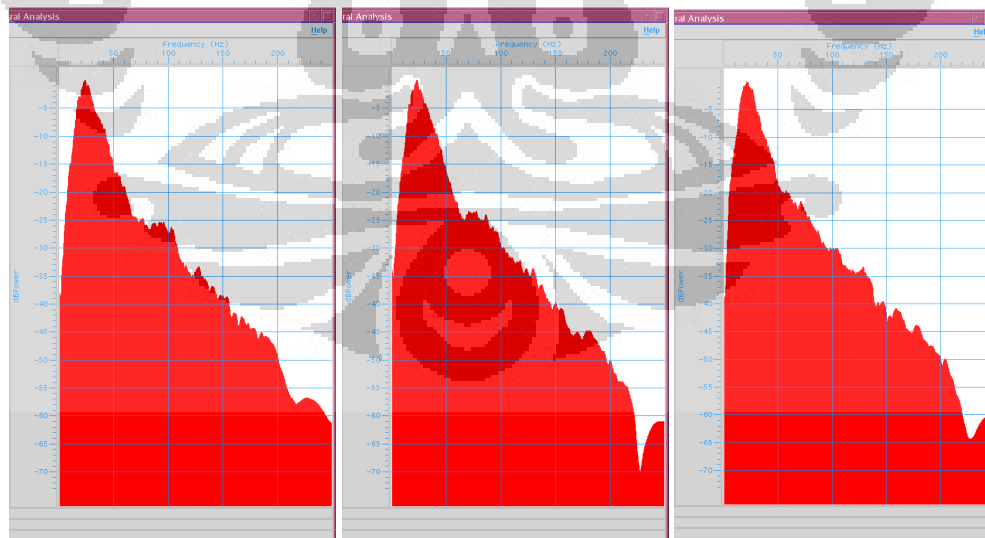
pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.11. *Spectral analysis* RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

Gambar 3.12 sampai dengan Gambar 3.14 menunjukkan *spectral analysis* pada RL 23 (*near offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.

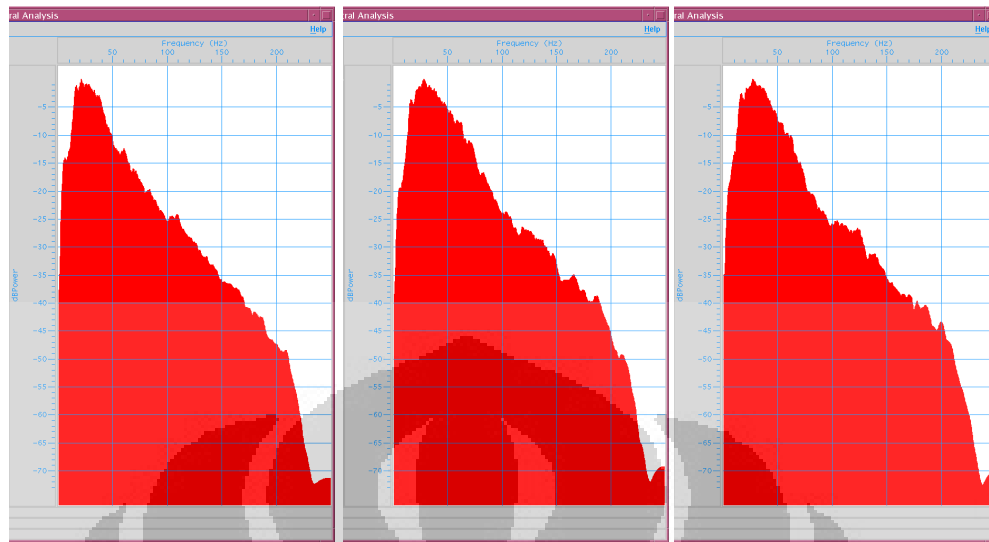


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.12. *Spectral analysis* RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

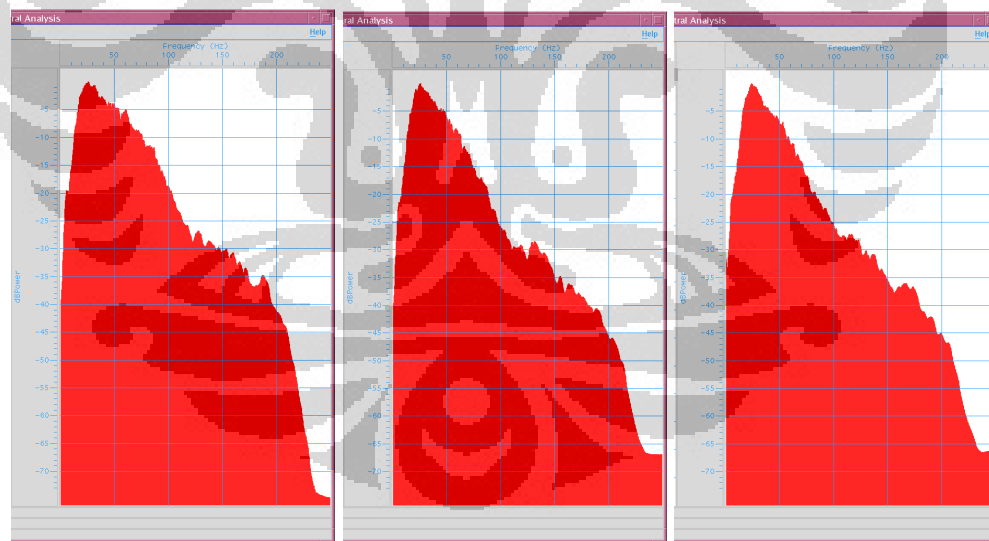


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.13. *Spectral analysis* RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian



pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

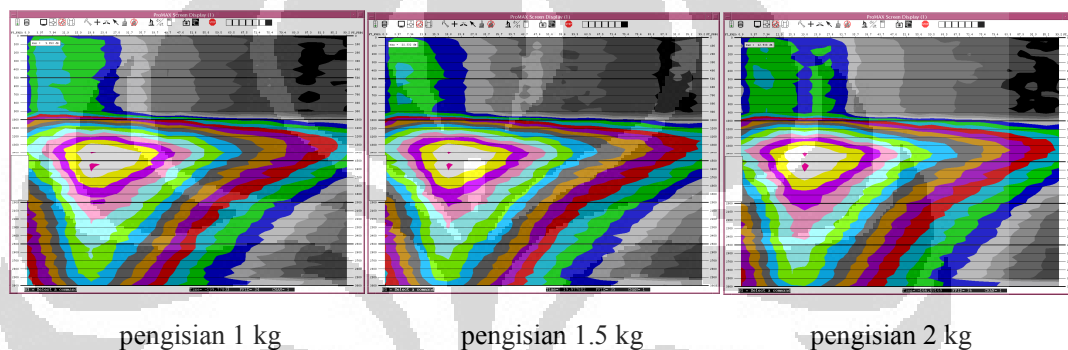
pengisian 2 kg

Gambar 3.14. *Spectral analysis* RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

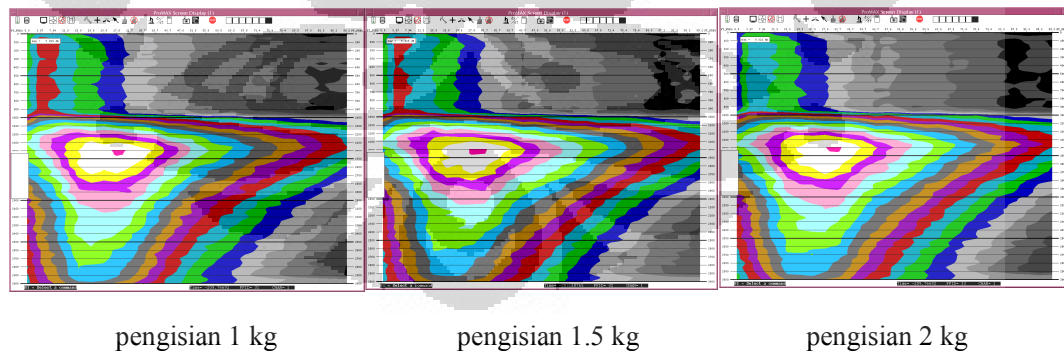
3.1.3. Pengamatan *F-T Analysis*

F-T analysis untuk masing-masing pengisian dan kedalaman akan dibandingkan dan dianalisa untuk masing-masing *Receiver Line* (RL) yaitu RL 18 dan RL 23 untuk memastikan apakah penetrasi yang didapatkan kuat atau tidak.

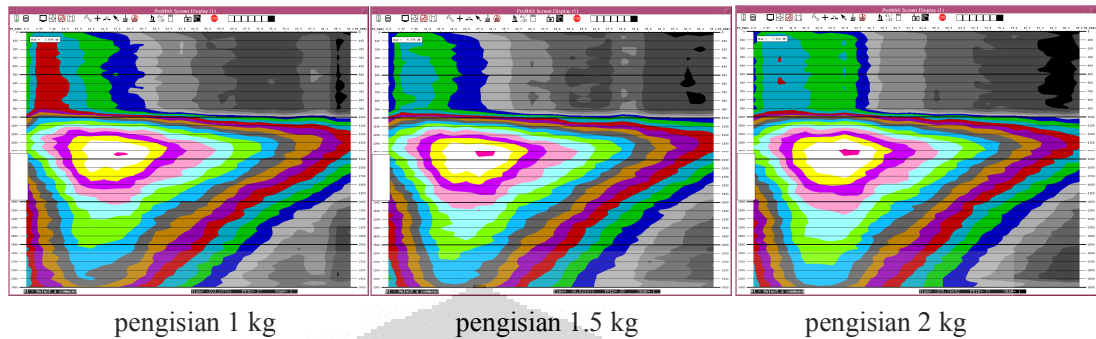
Gambar 3.15 sampai dengan Gambar 3.17 menunjukkan *F-T analysis* pada RL 18 (*far offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.



Gambar 3.15. *F-T analysis* RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

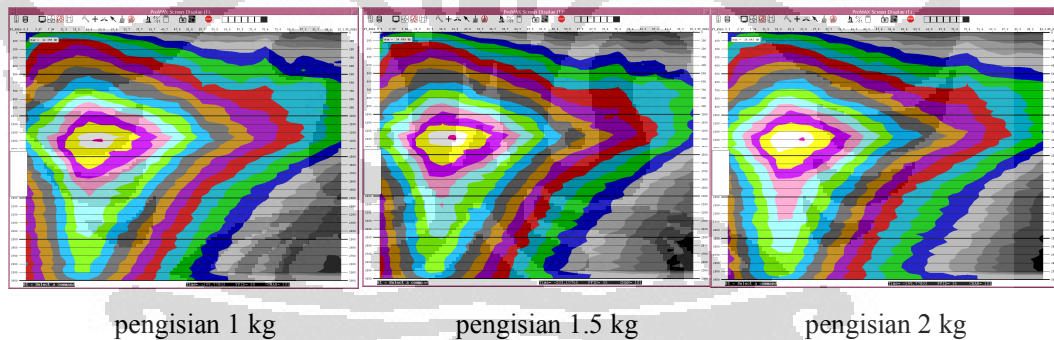


Gambar 3.16. *F-T analysis* RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian

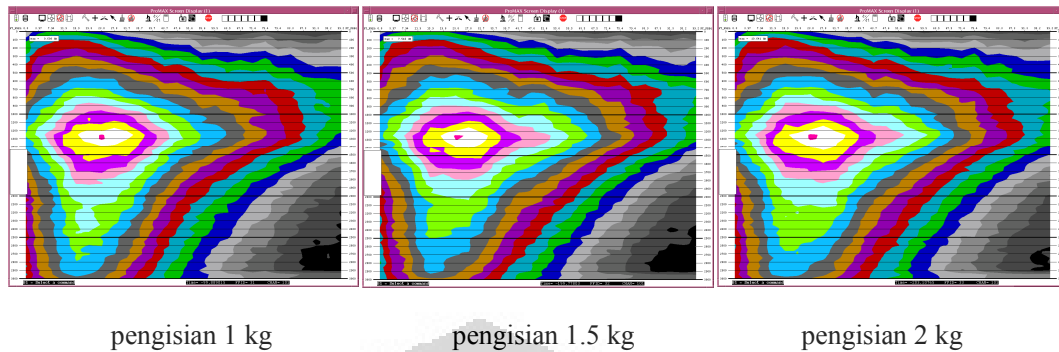


Gambar 3.17. *F-T analysis* RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

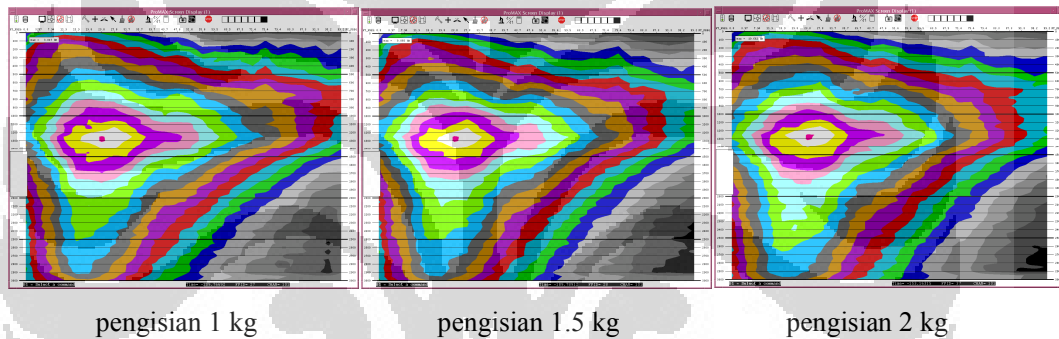
Gambar 3.18 sampai dengan Gambar 3.20 menunjukkan *F-T analysis* pada RL 23 (*near offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.



Gambar 3.18. *F-T analysis* RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian



Gambar 3.19. *F-T analysis* RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian

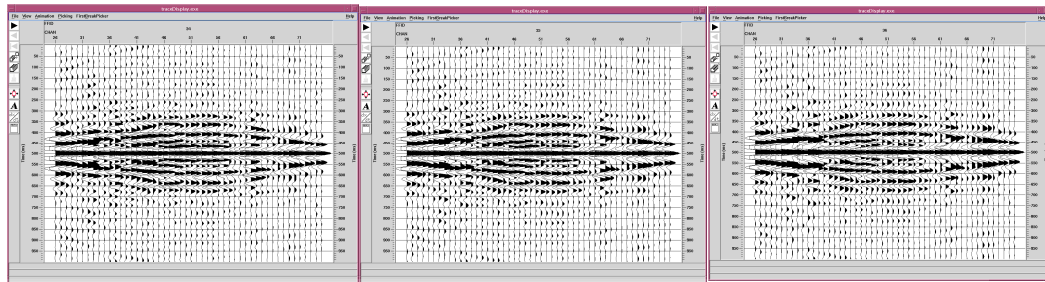


Gambar 3.20. *F-T analysis* RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

3.1.4. Pengamatan Koherensi

Koherensi untuk masing-masing pengisian dan kedalaman akan dibandingkan dan dianalisa untuk masing-masing *Receiver Line* (RL) yaitu RL 18 dan RL 23 untuk memastikan apakah kemenerusan data cukup atau kurang.

Gambar 3.21 sampai dengan Gambar 3.23 menunjukkan koherensi pada RL 18 (*far offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.

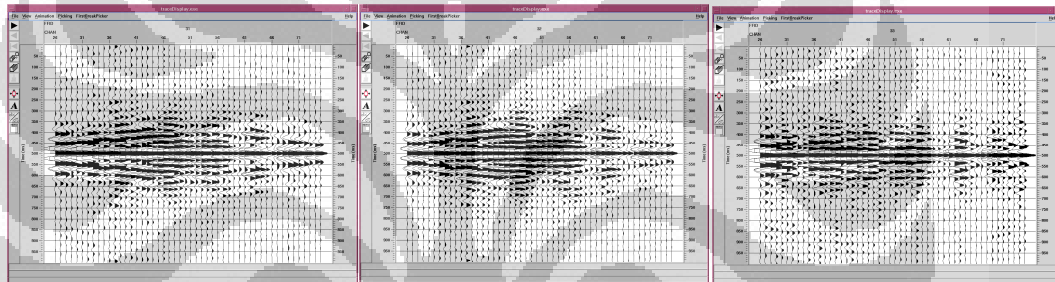


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.21. Koherensi RL 18 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

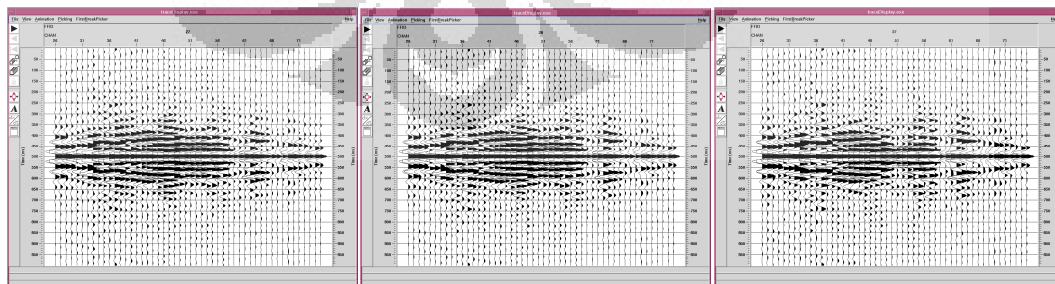


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.22. Koherensi RL 18 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian



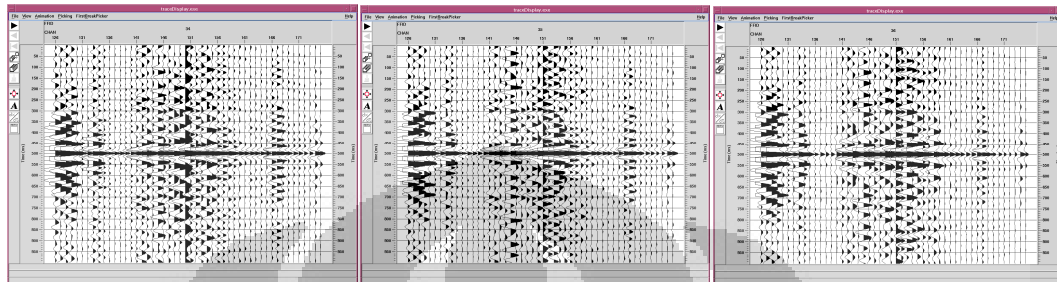
pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.23. Koherensi RL 18 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

Gambar 3.24 sampai dengan Gambar 3.26 menunjukkan koherensi pada RL 23 (*near offset*) dengan pengisian 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg pada kedalaman 20 meter, 25 meter dan 30 meter.

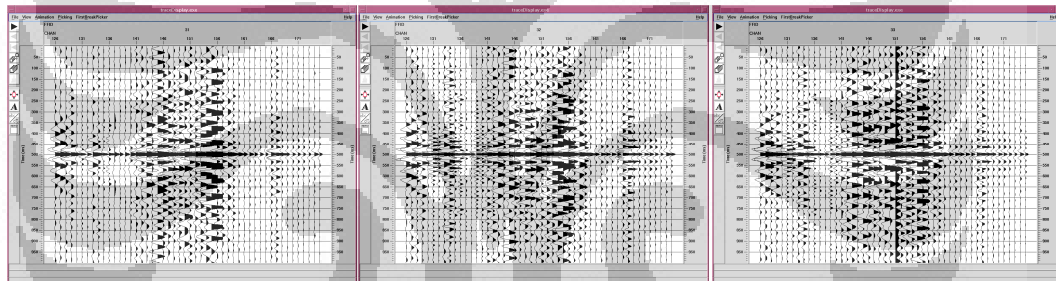


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.24. Koherensi RL 23 pada kedalaman 20 meter dengan variasi pengisian

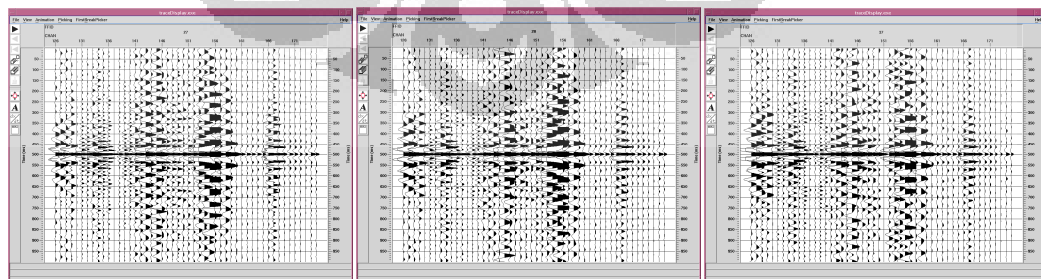


pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.25. Koherensi RL 23 pada kedalaman 25 meter dengan variasi pengisian



pengisian 1 kg

pengisian 1.5 kg

pengisian 2 kg

Gambar 3.26. Koherensi RL 23 pada kedalaman 30 meter dengan variasi pengisian

3.2. Desain Parameter Survei Seismik 3D

Perhitungan desain parameter survei seismik 3D didasarkan pada data-data parameter survei seismik 2D sebelumnya, dimana untuk desain parameter survei seismik pada Lapangan X Jawa Barat mengacu pada parameter survei seismik 2D sebelumnya dengan parameter lapangan :

- Jarak shot point : 50 meter
- Jarak receiver : 25 meter
- Jarak CDP : 25 meter
- Jumlah channel : 120 channel
- Fold coverage : 50 fold
- Charge size : 1,5 kg
- Kedalaman lubang bor : 30 meter

Perhitungan desain parameter survei seismik 3D didasarkan pada informasi-informasi sebagai berikut :

- Lapisan obyektif utama merupakan lapisan batupasir Formasi Cibulakan Atas dan lapisan batugamping Formasi Baturaja.
- Lapisan obyektif sekunder merupakan lapisan Formasi Talang Akar.
- Kedalaman obyektif utama berkisar 1000 - 1600 ms sedangkan kedalaman lapisan obyektif sekunder berkisar 2000 - 2600 ms.
- Obyektif terdangkal yang masih diperlukan untuk marker 400 meter atau sekitar 500 ms.
- Kecepatan rata-rata pada target terdangkal 2000 m/s dan target terdalam adalah 2500 m/s.
- Frekuensi dominan dari data seismik 2D sebelumnya 50 Hz.
- Frekuensi maksimum yang diharapkan masih bisa diterima 50 Hz.
- Besar kemiringan rata-rata target 30° .
- Fold coverage seismik 2D terdahulu 50.

a. Bin Size

Dari data seismik 2D diperoleh beberapa informasi guna perhitungan bin size sebagai berikut :

$$\text{Bin size} = V_{\text{avg}} / (4 \times f_{\text{max}} \times \sin \alpha)$$

dimana :

- Kecepatan rata-rata (V_{avg}) di target utama adalah 2500 m/detik
- Frekuensi tertinggi (f_{max}) pada target diperoleh 50 Hz
- Besar kemiringan (dip) α maksimum berkisar 30^0 .

$$\text{sehingga bin size} = 2500 / (4 \times 50 \times (\sin 30)) = 25$$

Jadi besar bin size dipilih 25 x 25 meter

b. Fold Coverage

Berdasarkan data seismik 2D perhitungan fold 3D dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Fold}_{3D} = (\text{Fold}_{2D} \times X_{3D\text{bin}}^2 \times f \times \pi \times K) / (V_{\text{avg}} \times X_{2D\text{cdp}})$$

dimana :

- Fold_{2D} = Fold coverage 2D adalah 50 fold
- $X_{3D\text{bin}}^2$ = Besar bin data 3D adalah 25 meter
- f = frekuensi target adalah 60 Hz
- π = 3.142
- K = konstanta migrasi (0.4 untuk 45^0 Kirchhoff migration)
- V_{avg} = kecepatan rata-rata di target utama adalah 2500 m/detik
- $X_{2D\text{cdp}}$ = jarak cdp data 2D adalah 25 meter

$$\begin{aligned} \text{sehingga Fold}_{3D} &= (50 \times 25^2 \times 50 \times 3.142 \times 0.4) / (2500 \times 25) \\ &= 31.4 \approx 30 \end{aligned}$$

c. Offset

Offset atau jarak antara shot point dengan receiver terdekat atau terjauh ditentukan berdasarkan target geologi yang akan diperoleh.

Secara umum offset seismik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Offset} = 1.2 \times \text{target}$$

Near offset maksimum diperoleh dari target terdangkal yaitu sekitar 400 - 500 meter dan dari optimalisasi konfigurasi geometri diperoleh harga 570 meter.

Far offset minimum diperoleh dari target terdalam yaitu sekitar 2000 - 2600 meter dan dari optimalisasi konfigurasi geometri diperoleh harga 3250 meter.

d. Migration Aperture

Migration aperture adalah ruang (jarak horizontal) yang diperlukan pada proses migrasi, dengan perhitungan :

$$MA = Z \times \tan (\alpha_{\max})$$

dimana :

- Z = kedalaman target adalah 2000 meter
- α_{\max} = kemiringan target adalah 30°

sehingga $MA = 2000 \times (\tan 30) = 1155$ meter

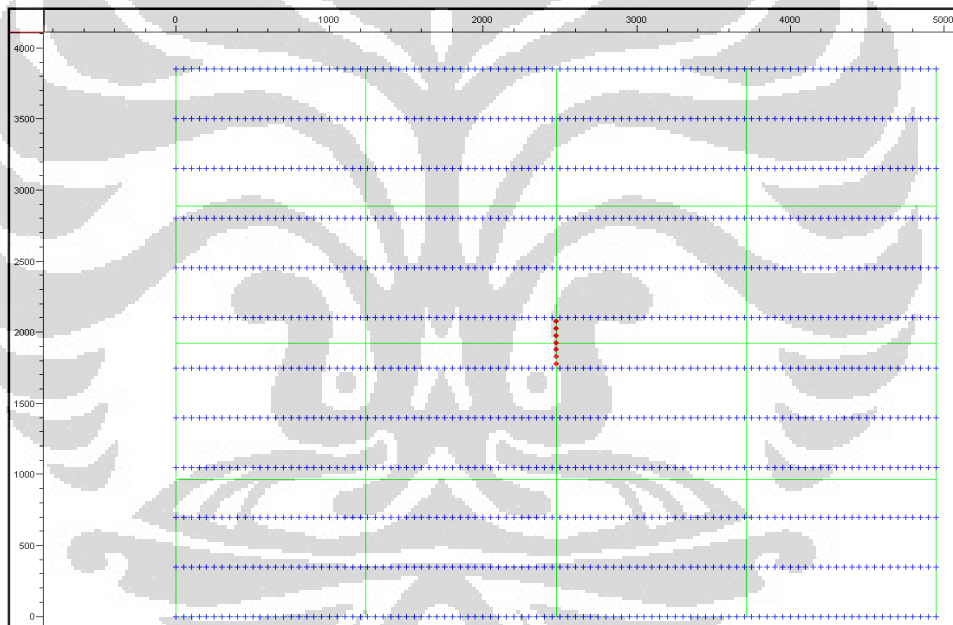
Besaran migration aperture akan ditambahkan pada batas terluar daerah full coverage.

e. Pemilihan Template

Dari hasil perhitungan parameter dasar seperti di atas dan mempertimbangkan kondisi daerah survei, maka untuk model template yang dipergunakan adalah sistem swath dengan posisi Shot Line tegak lurus terhadap Receiver Line. Adapun kombinasi jarak dan jumlah saluran yang digunakan adalah :

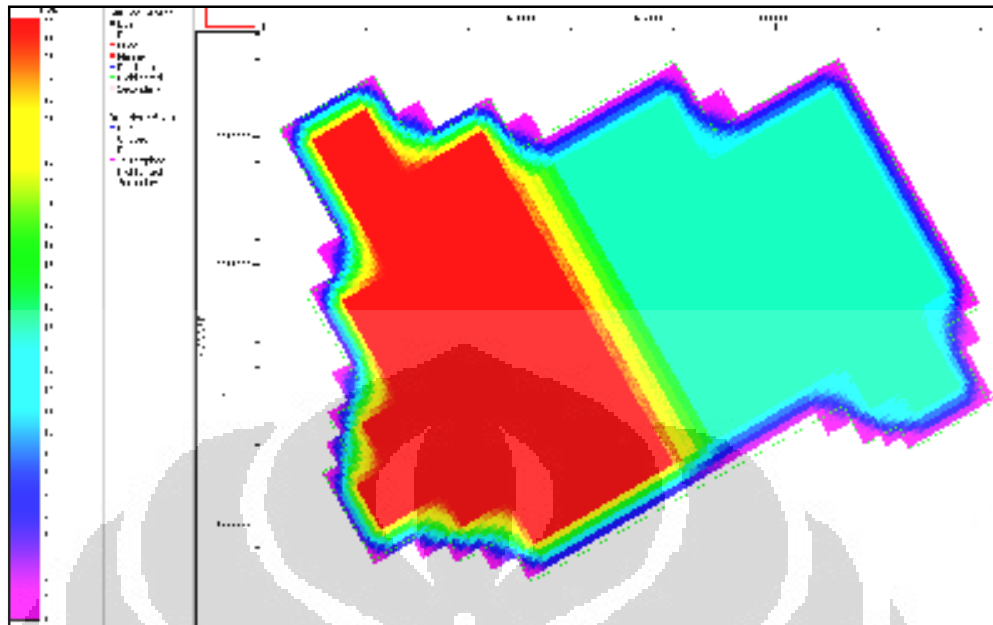
- Jarak Receiver Line = 350 meter
- Jarak Shot Line = 500 meter
- Jarak Shot Point = 50 meter azdan 100 meter
- Jumlah Receiver Line / template = 12 RL
- Jumlah saluran RL = 100 channel
- Jumlah saluran per template = 1200 channel
- Geometri template = symmetrical split spread

Pemilihan membuat desain yang berbeda pada satu lapangan, yaitu dengan membuat penempatan *shot point* dengan kerapatan rendah yaitu secara selang-seling pada prioritas kedua dimana *fold coverage* yang didapatkan menjadi berbeda yaitu 30 pada lokasi prospek prioritas pertama dan *fold coverage* 15 pada lokasi prospek prioritas kedua. Tujuan melakukan selang-seling *shot point* ini adalah apabila suatu saat akan didapatkan data yang sama maka hanya tinggal menempatkan *shot point* di sela-sela posisi *shot point* saat ini. Unit template penembakan per salvo dapat dilihat pada Gambar 3.27. Unit template menggambarkan satu salvo *shot point* yang direkam dengan menggunakan 1200 channel terdiri dari 12 Receiver Line dimana masing-masing Receiver Line terdiri dari 100 channel aktif.

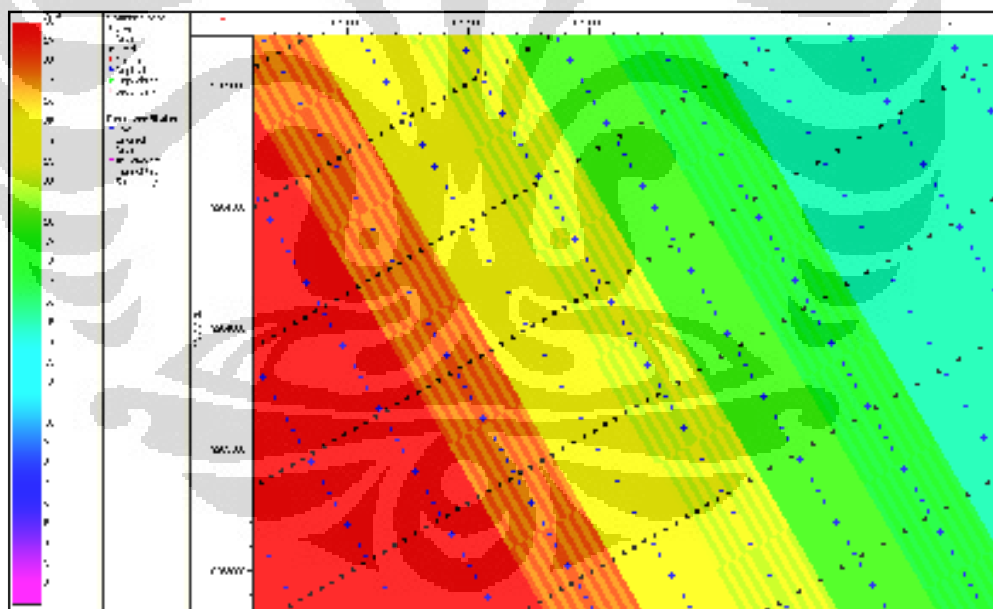


Gambar 3.27. Unit template

Fold coverage dapat dilihat pada Gambar 3.28. Full fold coverage yang didapat adalah 30 fold pada jarak *shot point* 50 meter, sedang *fold coverage* pada jarak *shot point* 100 meter adalah 15 fold. Gambar 3.29 menunjukkan lokasi perbedaan *fold coverage* antara fold 15 dan fold 30.

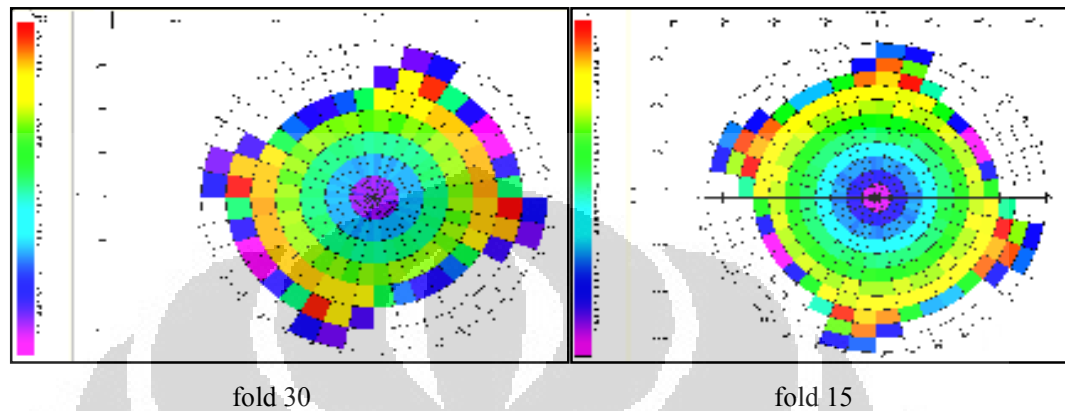


Gambar 3.28. Full *fold coverage* 30 (warna merah) dan 15 (warna biru)

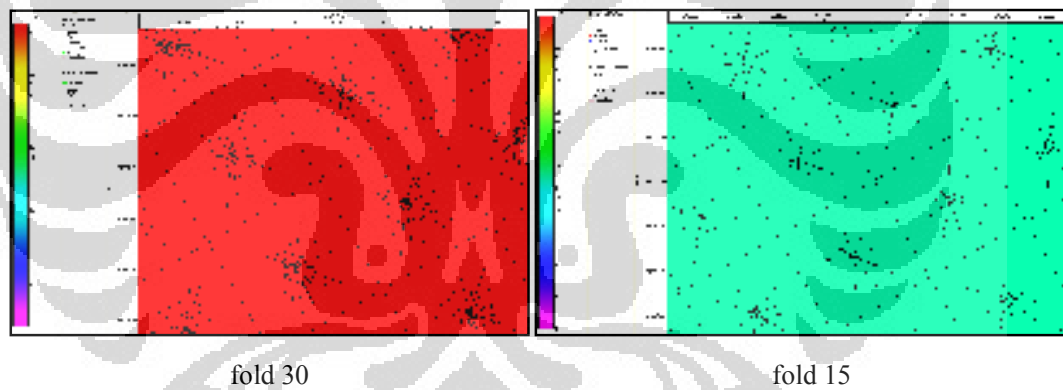


Gambar 3.29. Batas area perbedaan *fold coverage* 30 dan 15

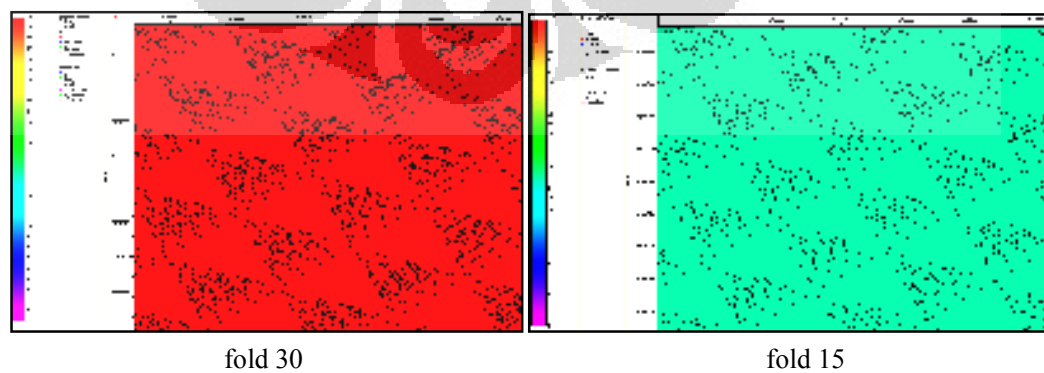
Distribusi offset dan azimuth pada full fold 30 dan full fold 15 dapat dilihat pada Gambar 3.30 sampai dengan Gambar 3.32.



Gambar 3.30. Distribusi Offset dan Azimuth



Gambar 3.31. Distribusi Offset dan Azimuth per Bin / Spider Diagram



Gambar 3.32. Distribusi Offset

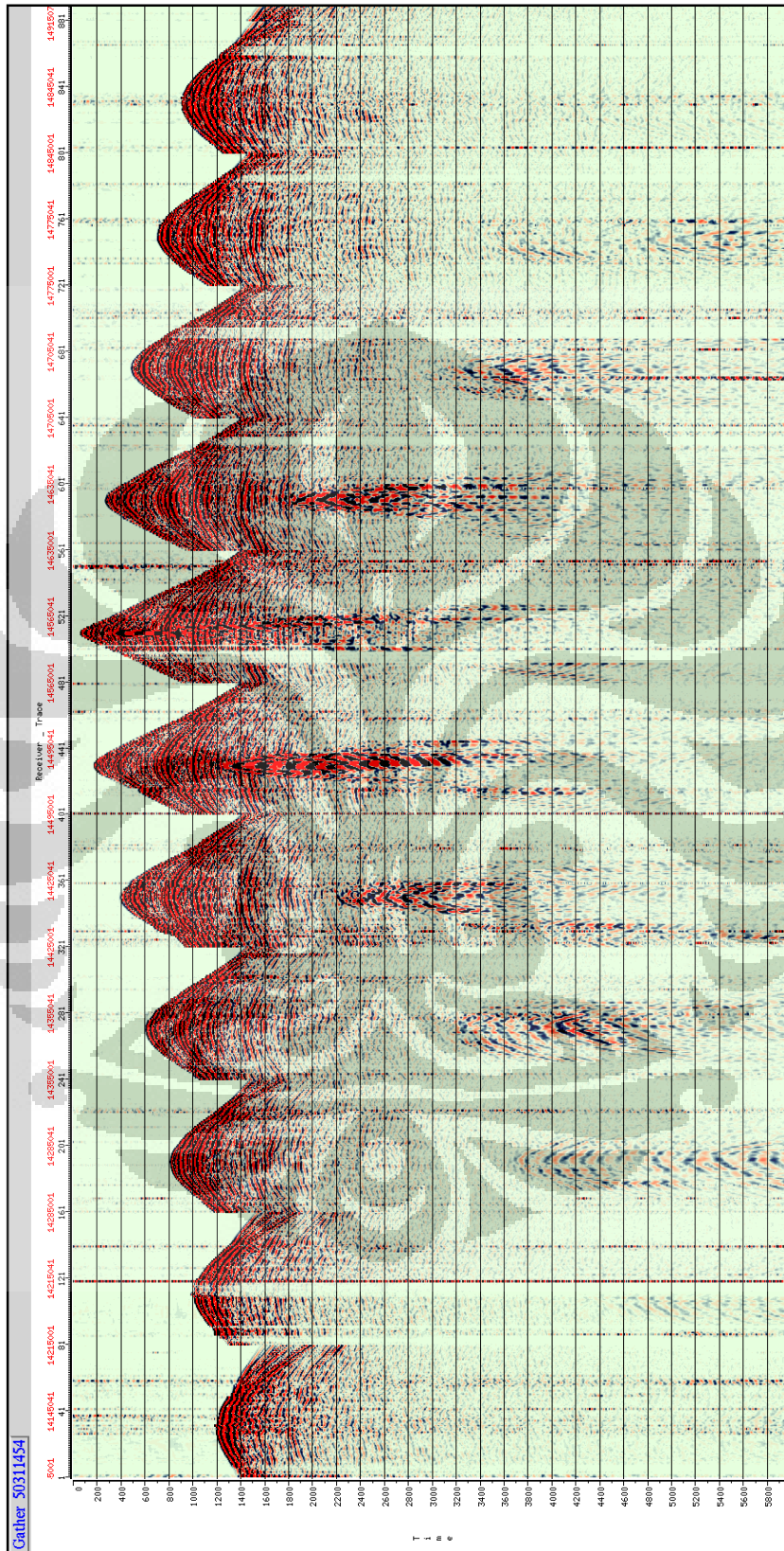
3.3. Hasil Survei Seismik

Processing data seismik 3D lapangan X dengan software ProMax dilakukan dengan mempertimbangkan adanya perbedaan *fold*, dan adanya beberapa *shot point* yang tidak dipasang karena daerah pemukiman padat.

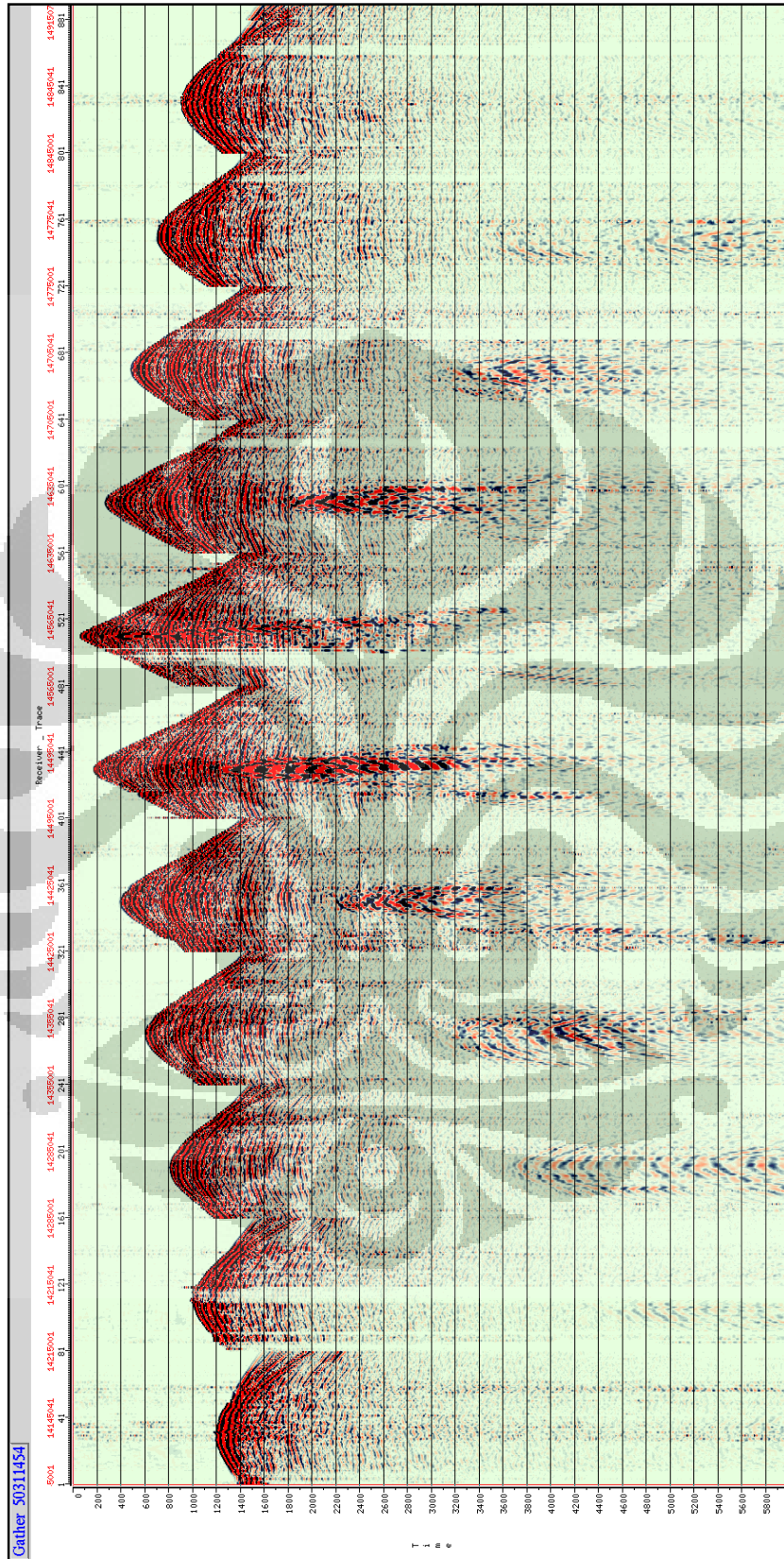
Untuk menambah *fold* di *time* dangkal dan daerah yang tidak bisa ditembak, dilakukan interpolasi dari offset-offset atau *inline* / *crossline* disebelahnya pada process *pre-conditioning*. Untuk menyamakan kualitas data, kelas offset dibuat sama sebelum melakukan proses interpolasi.

Untuk perbedaan *fold* pada dua sisi, untuk mendapatkan hasil yang bagus dibuat interpolasi *fold* dengan cara menaikkan *fold* yang rendah mendekati *fold* yang tinggi.

Shot point awal sebelum dilakukan proses editing dapat dilihat ada Gambar 3.33. Pada Gambar 3.34 menunjukkan data *shot point* setelah dilakukan proses editing. Editing dilakukan dengan cara men-delete noise-noise yang mengganggu data misalnya noise karena kendaraan, noise mesin dan lain-lainnya, karena apabila tidak dilakukan editing maka noise akan mengganggu data pada saat processing data dilakukan.

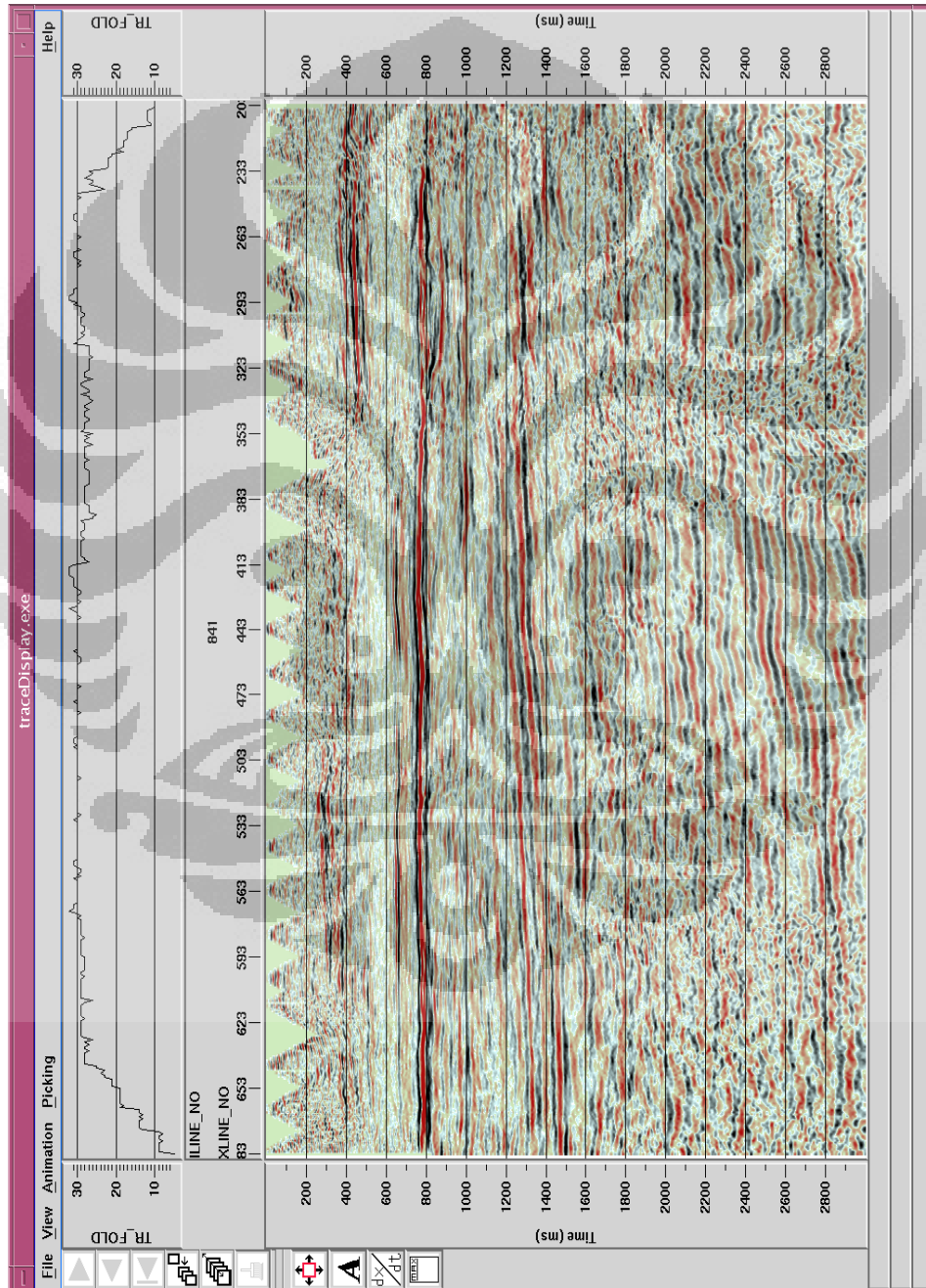


Gambar 3.33. Shot Point Gather satu perekaman data dengan dua belas Receiver Line

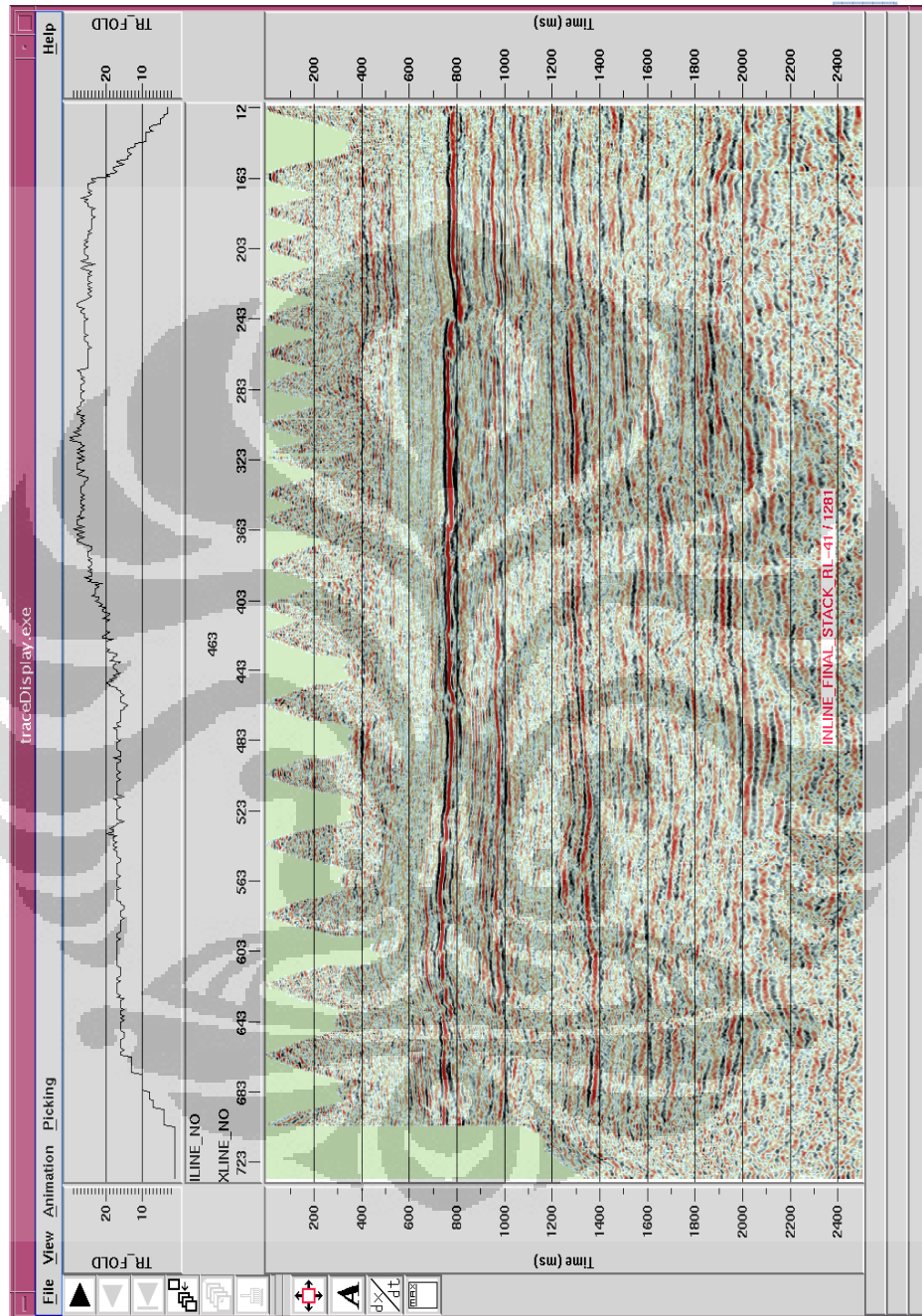


Gambar 3.34. Shot Point Gather dengan dua belas Receiver Line setelah dilakukan proses editing

Gambar 3.35 menunjukkan data *crossline stack* hasil dari *field processing* dimana terlihat bahwa *fold coverage* relatif sama pada semua tempat. Sedangkan Gambar 3.36 menunjukkan data *inline stack* hasil dari *field processing* dimana terlihat bahwa perbedaan *fold coverage* 30 dan 15 menyebabkan perbedaan hasil kualitas data seismik yang diperoleh.

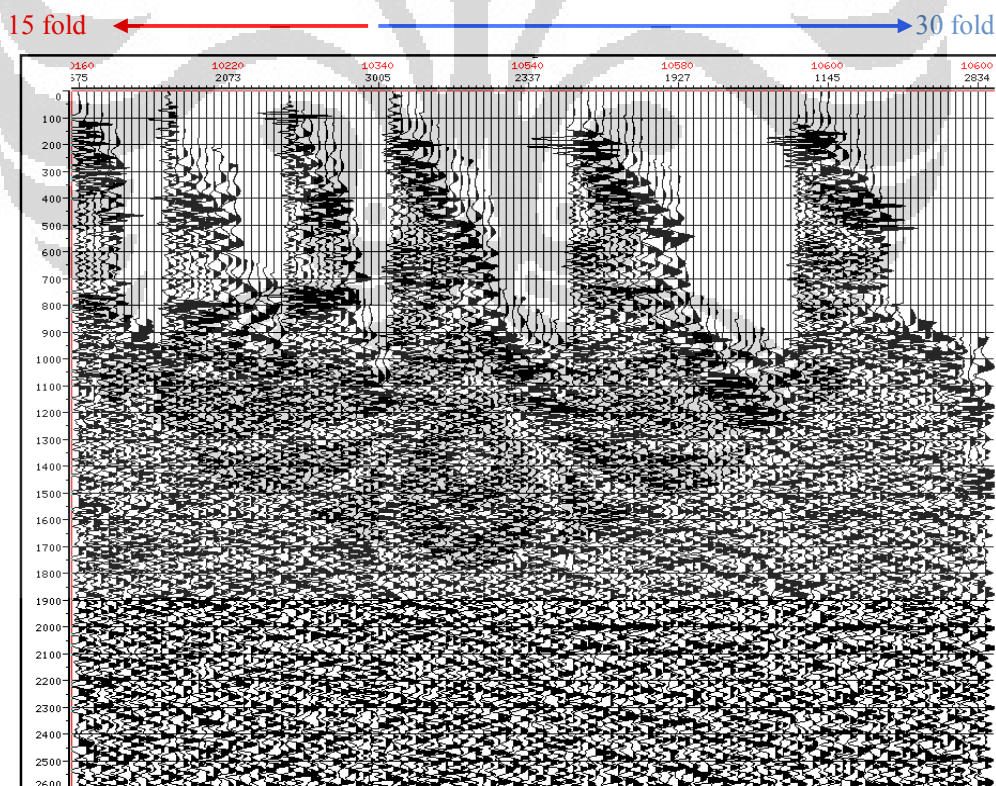


Gambar 3.35. *Crossline Field Processing Stack* pada fold yang sama

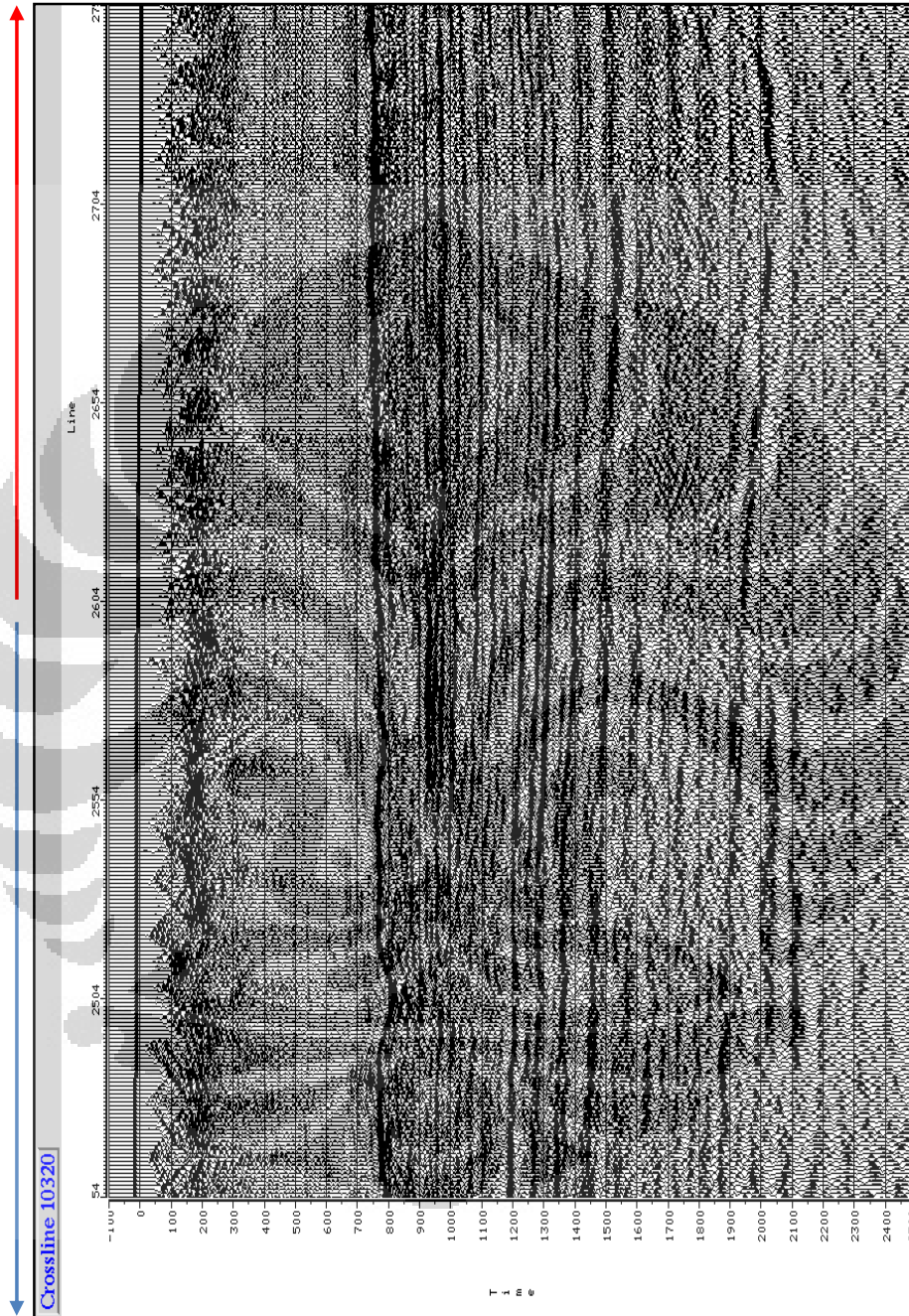


Gambar 3.36. *Inline Field Processing Stack* pada fold yang berbeda

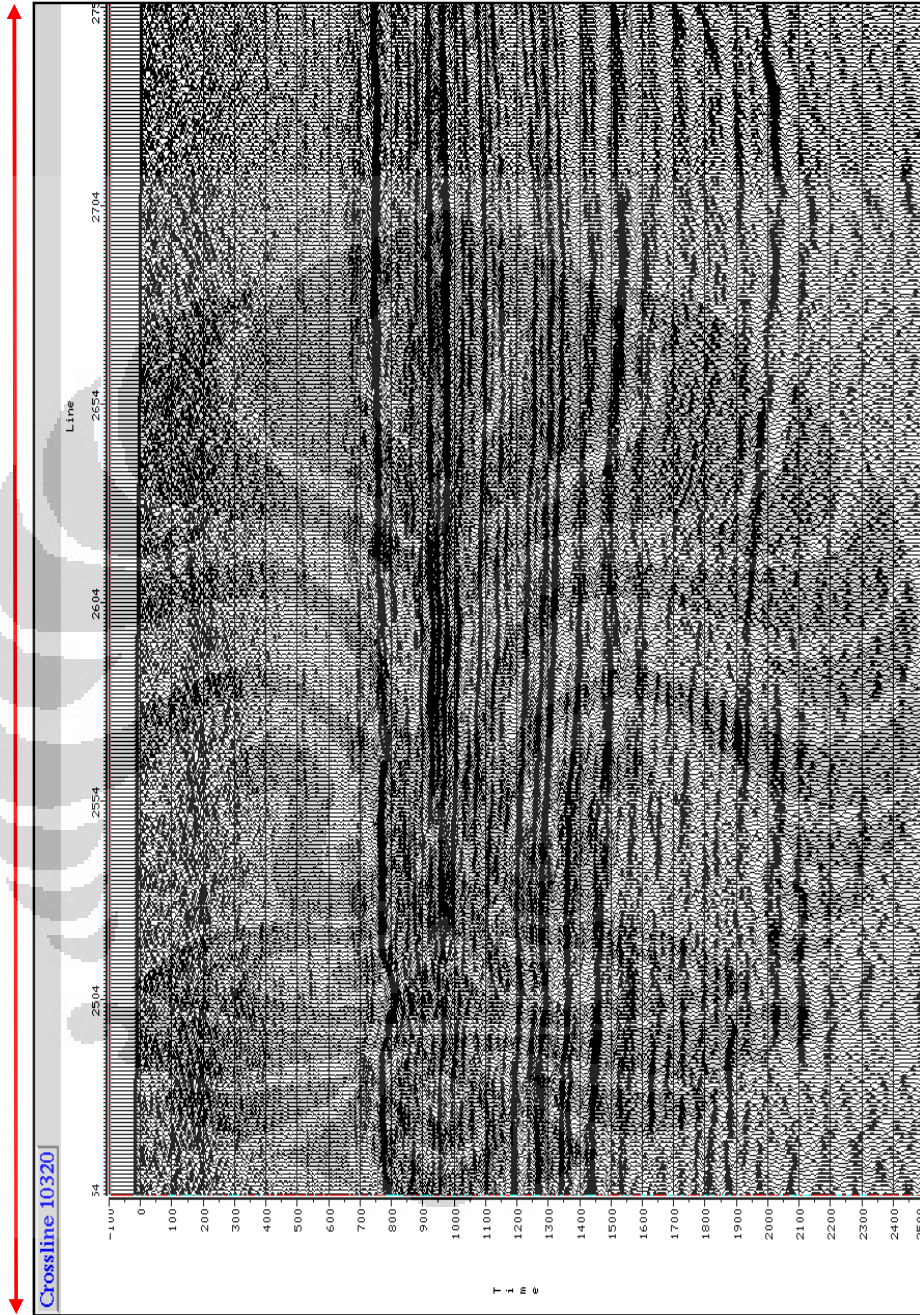
Setelah data seismik di proses di *processing center*, maka dilakukan proses *pre-conditioning* dan interpolasi untuk mengatasi perbedaan *fold coverage*. Gambar 3.37 menunjukkan data *CDP Gather* sebelum dilakukan *pre-conditioning*. Sedangkan Gambar 3.38 menunjukkan perbedaan data *fold coverage* sebelum dilakukan *pre-conditioning*. Gambar 3.39. menunjukkan data perbedaan *fold coverage* setelah dilakukan *pre-conditioning*. Gambar 3.40 dan Gambar 3.42 menunjukkan perbandingan hasil pemrosesan data pada area fold rendah antara sebelum dan setelah dilakukan *pre-conditioning* sehingga *fold coverage*-nya sama dan terjadi peningkatan kualitas data hasil survei seismik. Pada Gambar 3.43. menunjukkan *fold coverage* data setelah dilakukan pemrosesan data seismik, dimana *fold* yang didapat adalah 27 fold. Gambar 3.44 sampai Gambar 3.47 menunjukkan *Final stack* data hasil *processing center*, dimana tidak terlihat adanya perbedaan *fold coverage*. Time slice pada kedalaman 600 ms dan 1300 ms dapat dilihat pada Gambar 3.48 dan Gambar 3.49.



Gambar 3.37. CDP Gather sebelum *pre-conditioning*



Gambar 3.38. Perbedaan data *fold coverage* (Fold 30 dan Fold 15) sebelum *pre-conditioning*



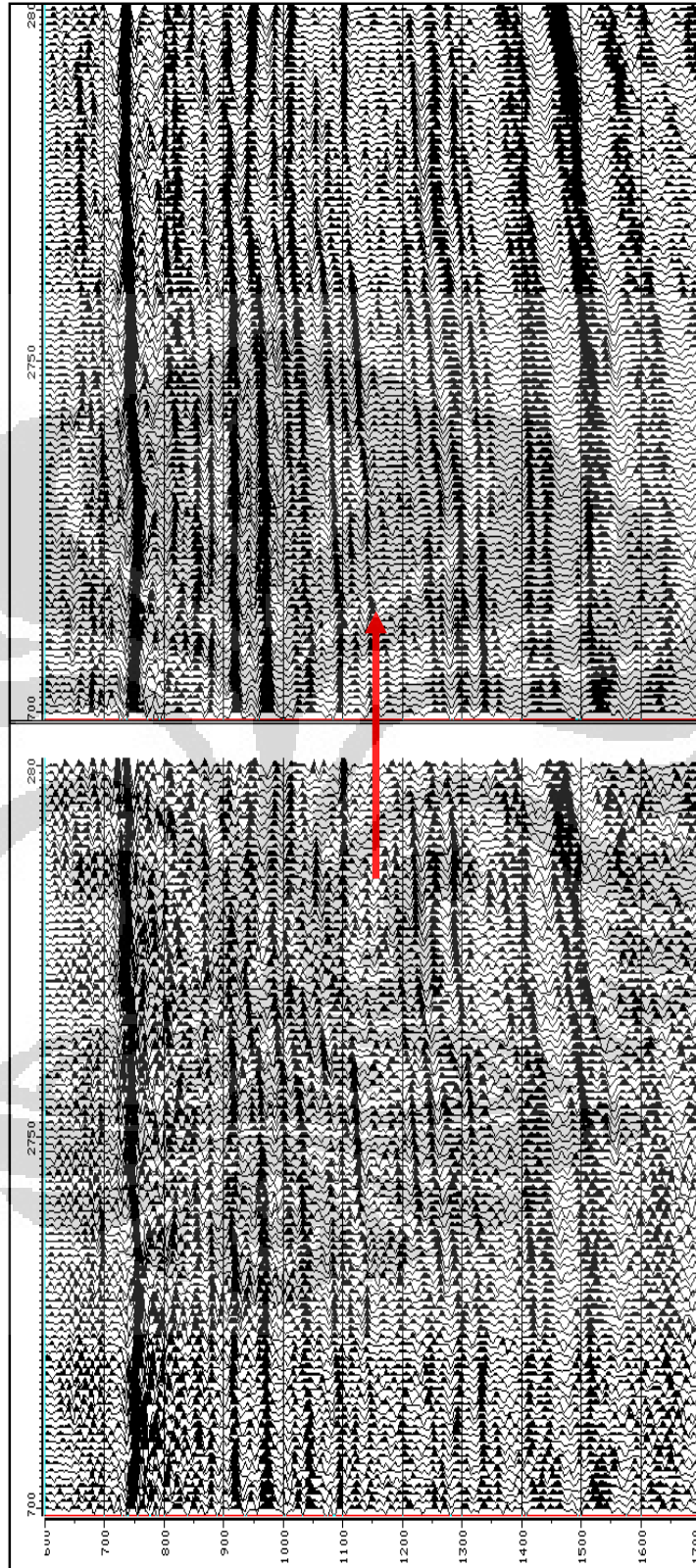
Gambar 3.39. Perbedaan data *fold coverage* setelah *pre-conditioning* (Fold 27)



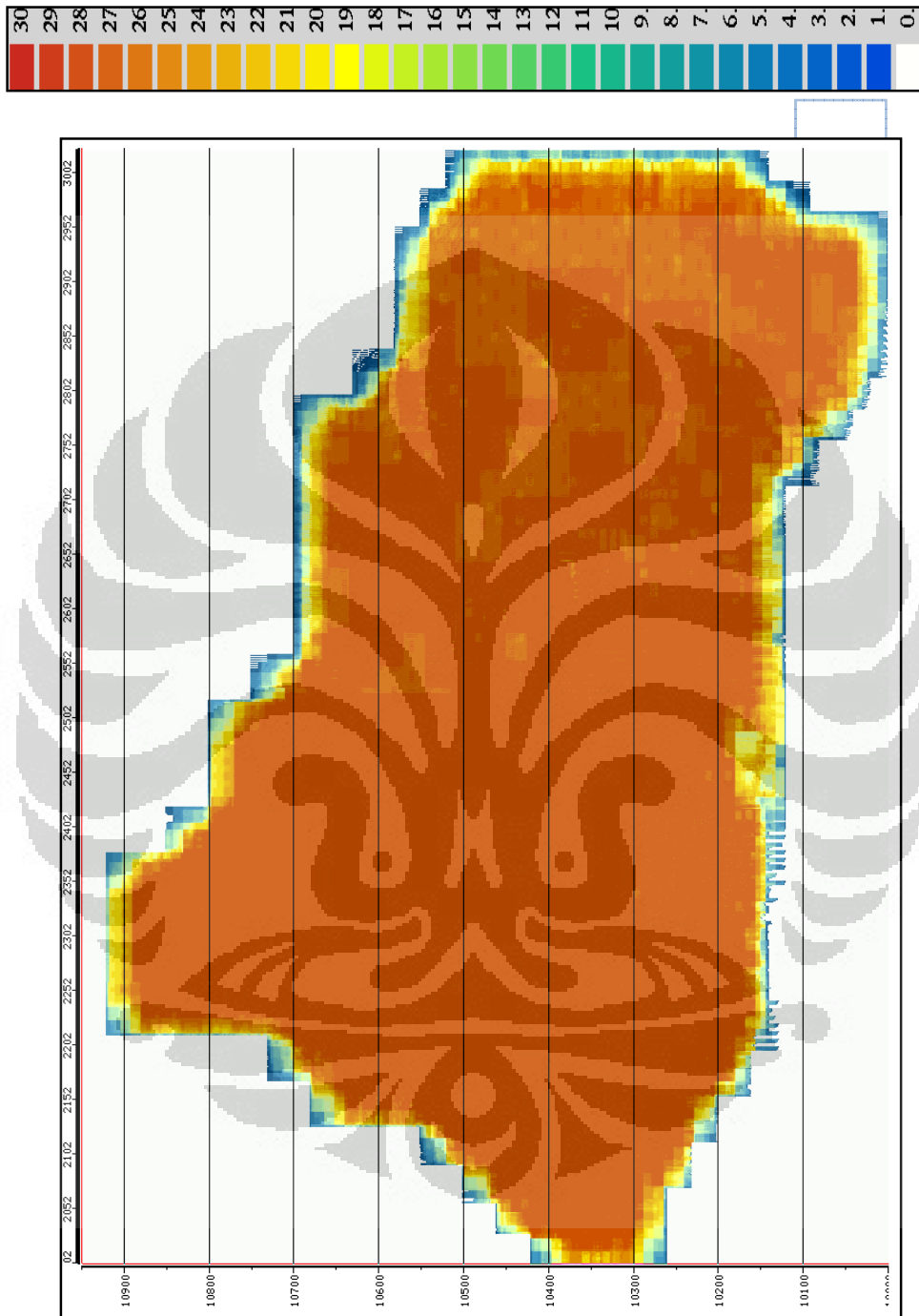
Gambar 3.40. Hasil proses data pada area fold rendah sebelum *pre-conditioning*



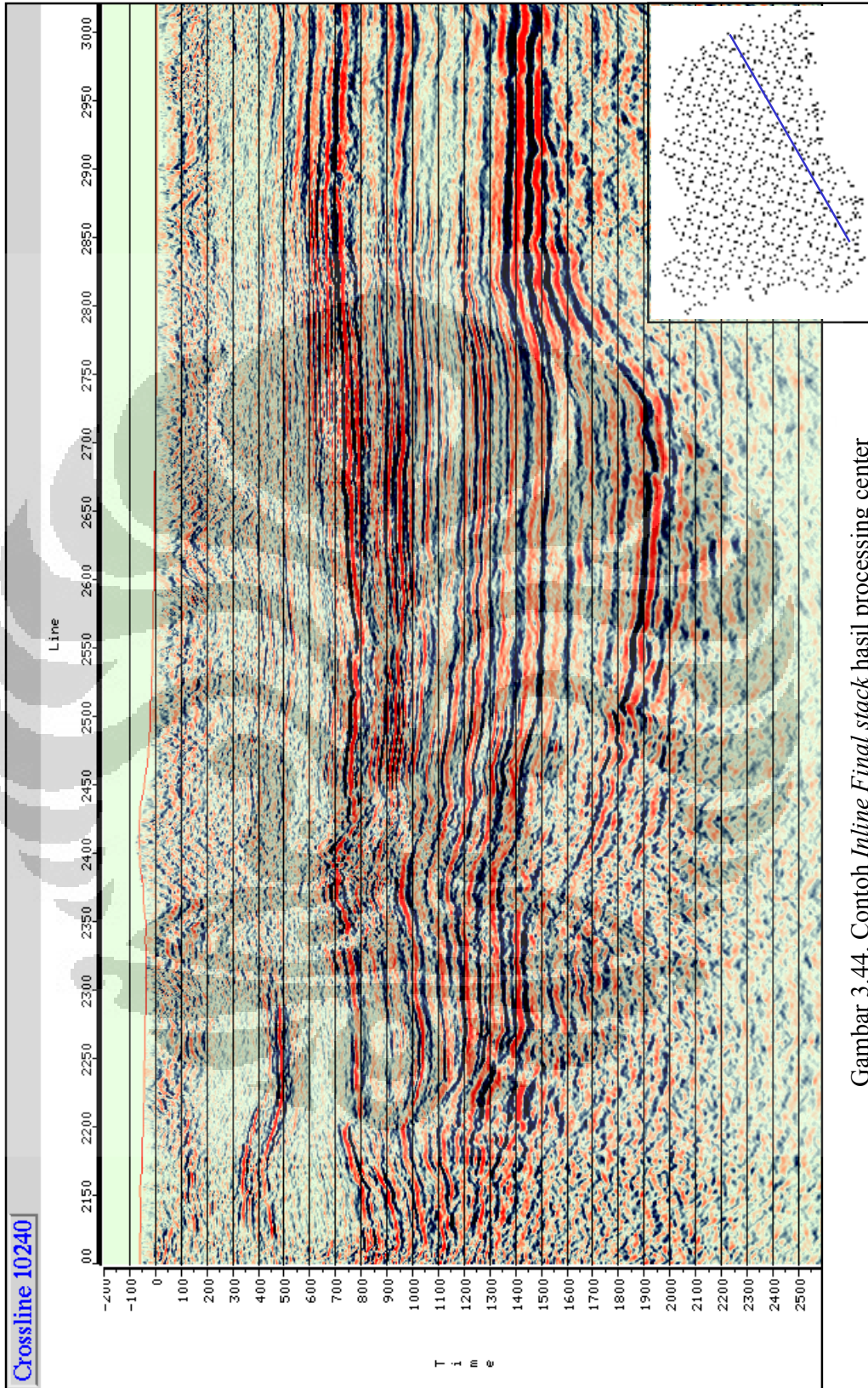
Gambar 3.41. Hasil proses data pada area fold rendah setelah *pre-conditioning*



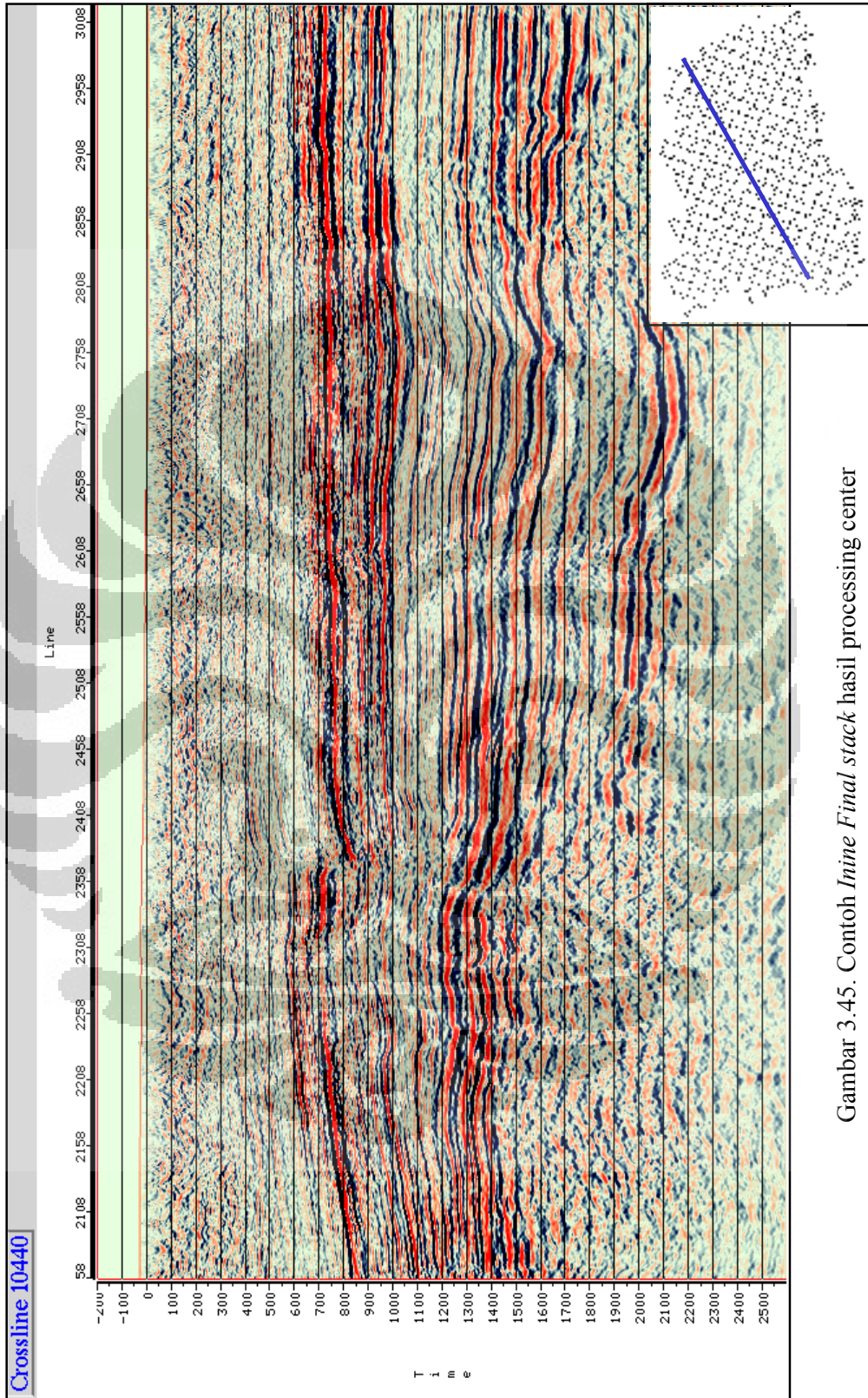
Gambar 3.42. Perbandingan hasil pemrosesan data sebelum dan sesudah *pre-conditioning*
(Fold 15 dan Fold 27)



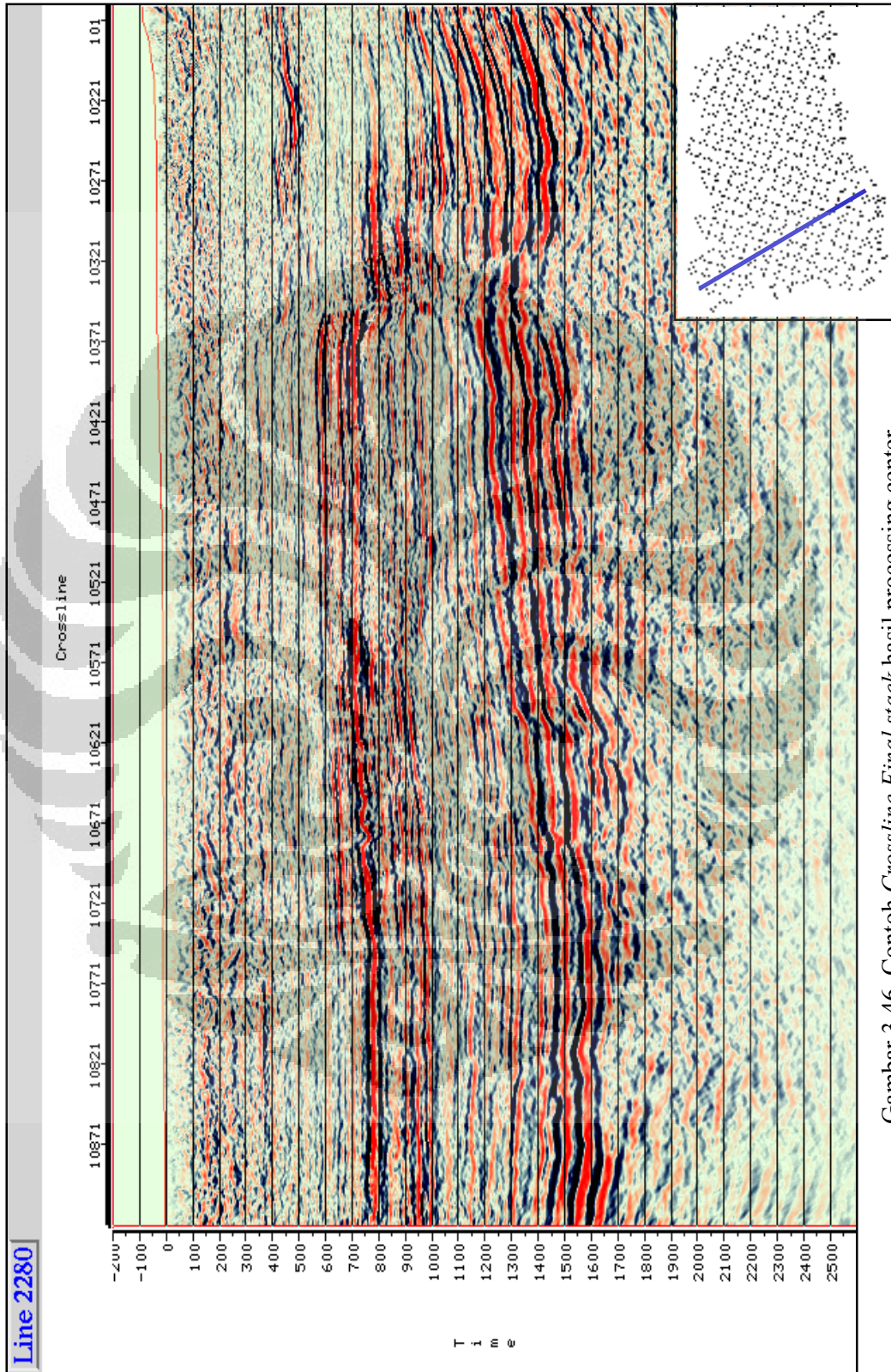
Gambar 3.43. *Fold coverage* setelah dilakukan pemrosesan data seismik (Fold 27)



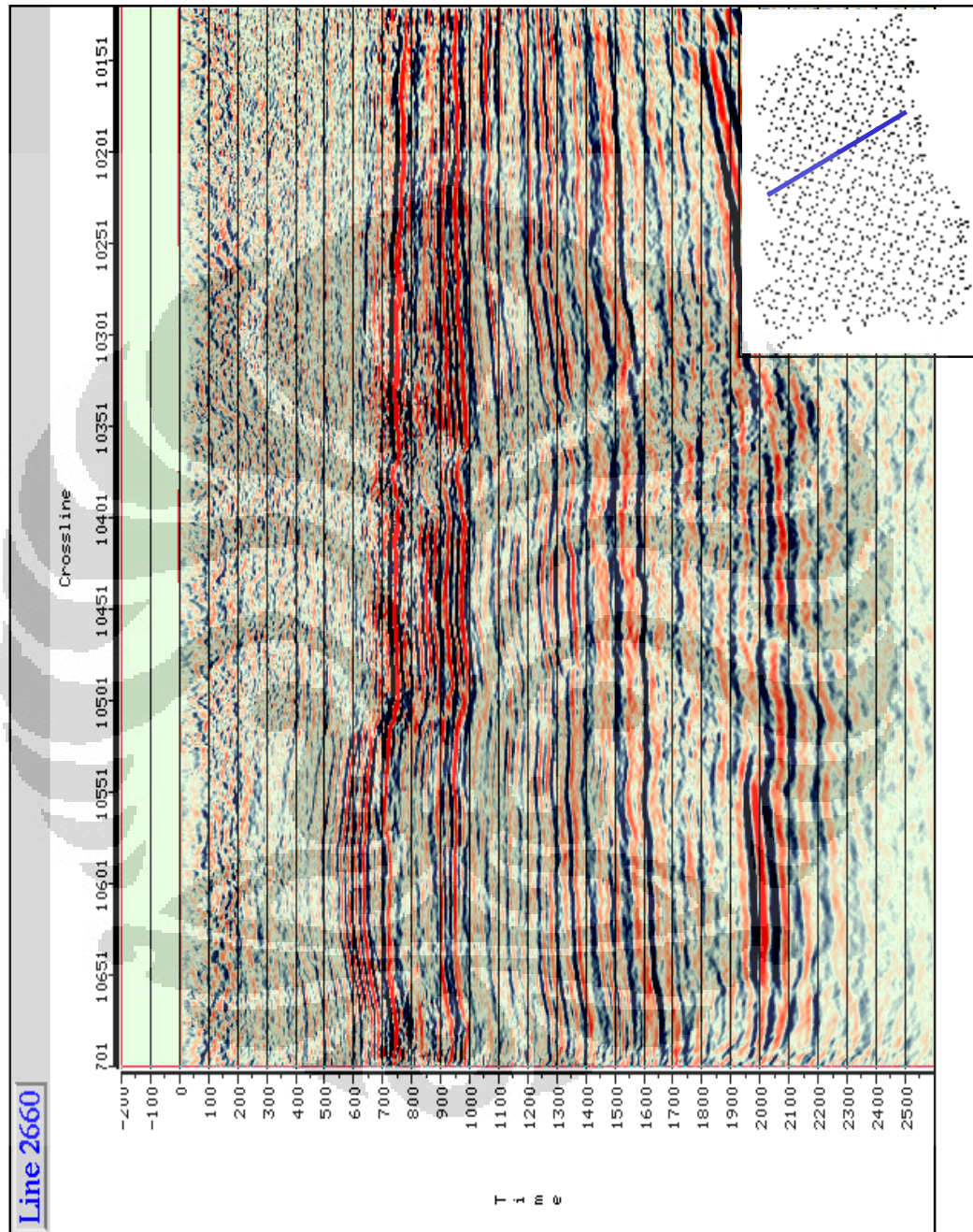
Gambar 3.44. Contoh *Inline Final stack* hasil processing center



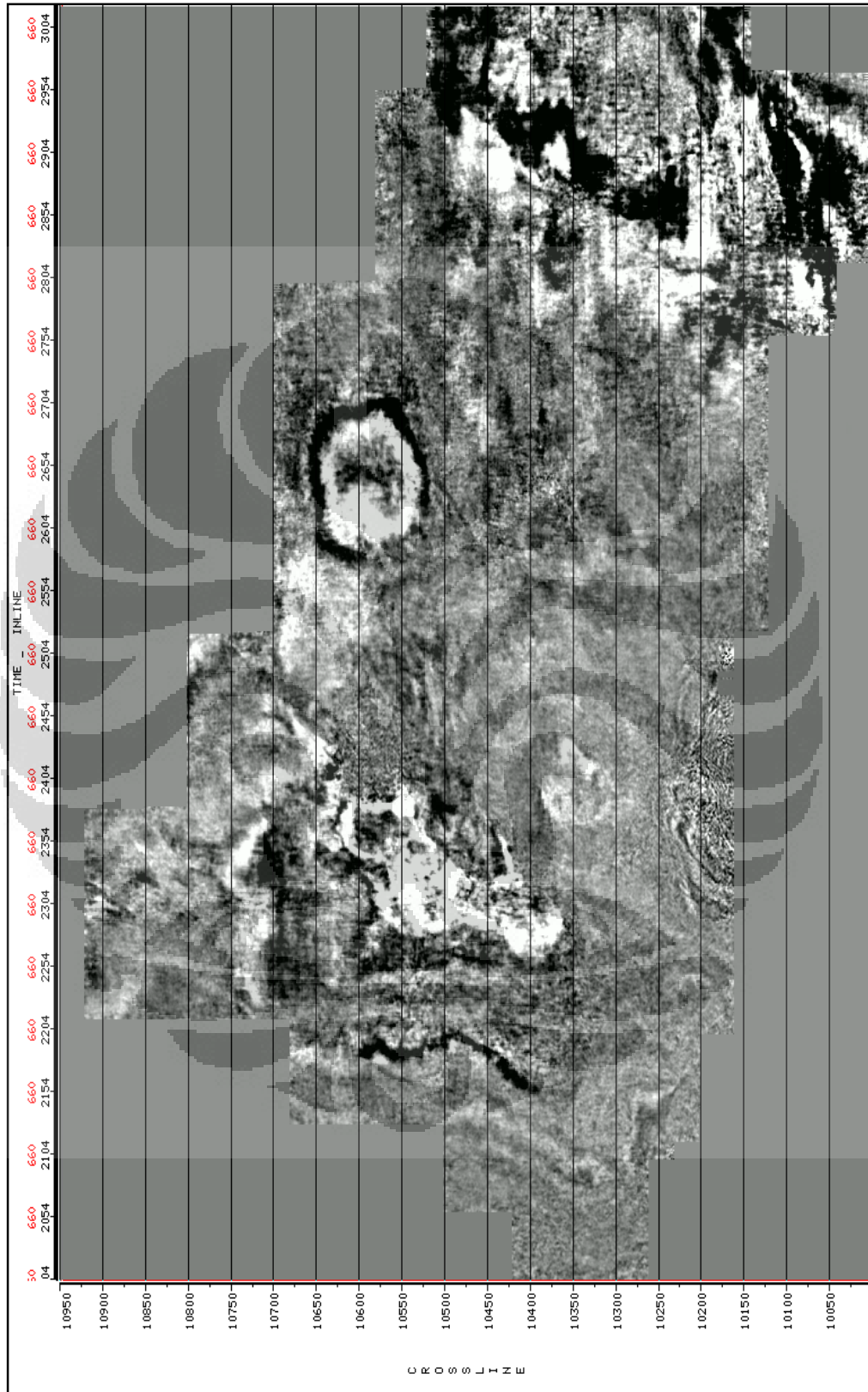
Gambar 3.45. Contoh *Inine Final stack* hasil processing center



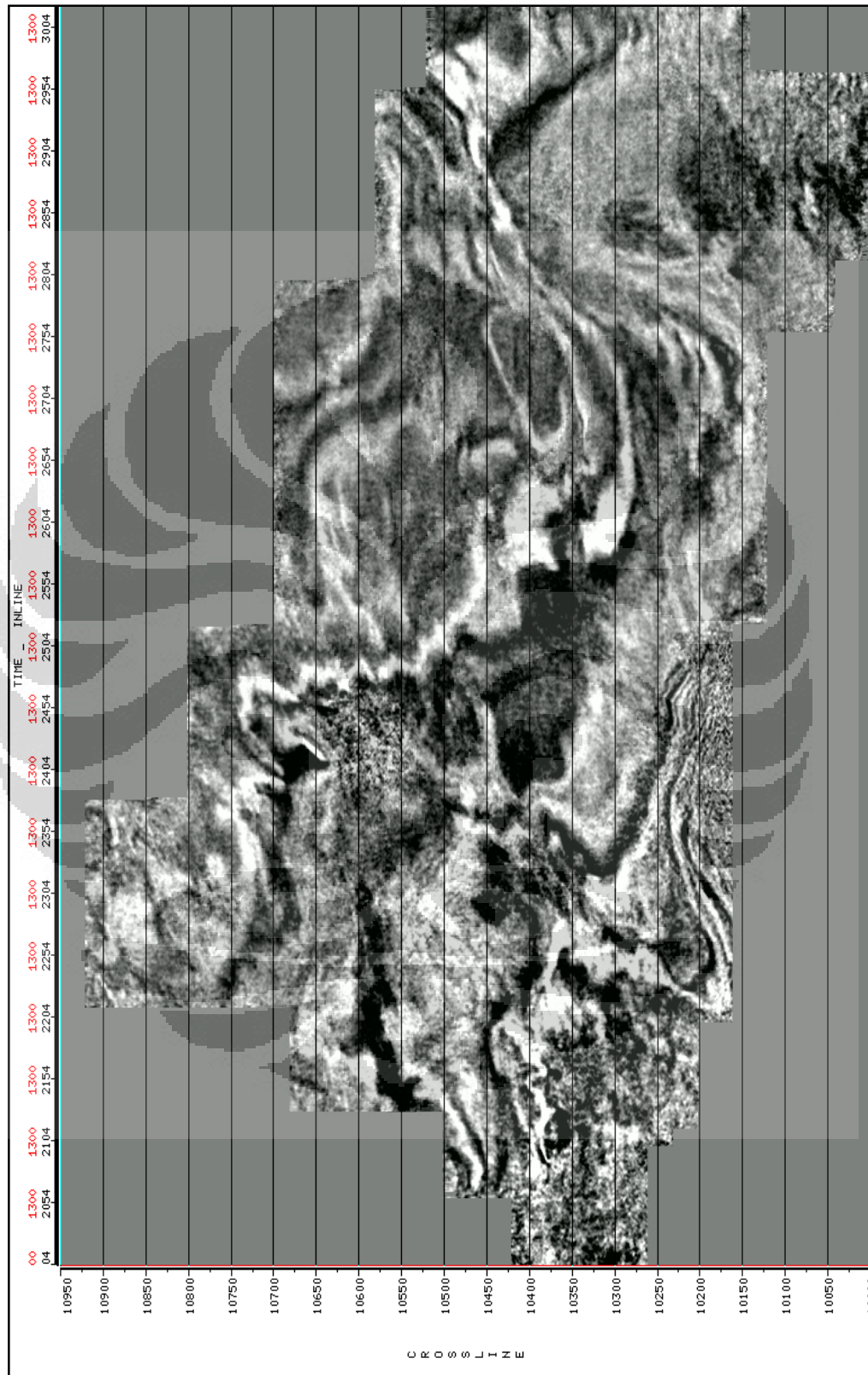
Gambar 3.46. Contoh Crossline Final stack hasil processing center



Gambar 3.47. Contoh Crossline Final stack hasil processing center



Gambar 3.48. Time slice pada kedalaman 600 ms



Gambar 3.49. *Time slice* pada kedalaman 1300 ms

3.4. Biaya Survei Seismik

Survei seismik pada umumnya dikerjakan oleh perusahaan penyedia peralatan dan tenaga kerja khusus untuk pekerjaan survei seismik, hal ini dikarenakan survei seismik merupakan pekerjaan yang sangat spesifik dan sangat sedikit perusahaan yang bergerak dalam jasa akuisisi data survei seismik.

Komponen biaya akuisisi survei seismik darat terdiri dari :

- a. Peralatan akuisisi data terdiri dari peralatan topografi, peralatan pemboran dangkal dan peralatan perekaman data seismik.
- b. Peralatan processing data
- c. Sumber getar seismik (explosive)
- d. Tenaga ahli operasi seismik
- e. Tenaga penunjang operasi seismik
- f. Kendaraan
- g. Bahan bakar minyak
- h. Peralatan HSE

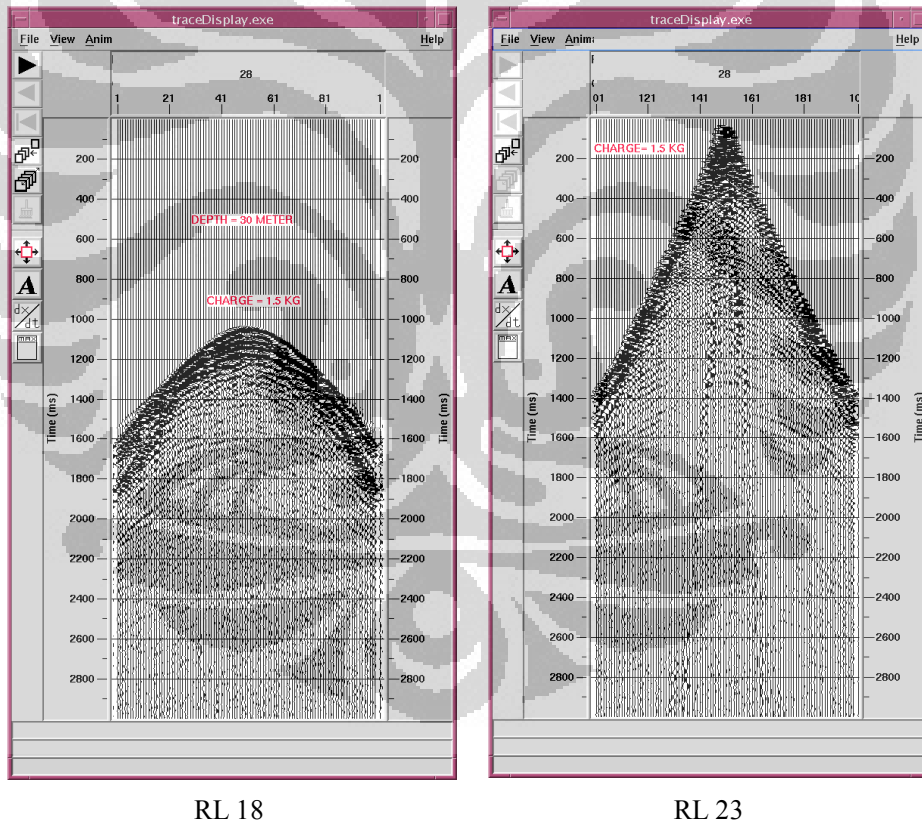
Komponen biaya diatas diperhitungkan menjadi satu dan dibuat kedalam harga satuan per *shot point* dari survei seismik tersebut.

Didalam pekerjaan survei seismik 3D lapangan X, setengah dari luas area yang dilakukan survei seismik mempunyai jumlah *shot point* yang berselang seling dimana jumlah *shot point* menjadi dua pertiga dari jumlah *shot point* total apabila dilakukan desain normal pada semua area. Desain ini menghasilkan jumlah *shot point* 33% lebih sedikit dari jumlah *shot point* apabila menggunakan desain yang normal.

BAB 4 PEMBAHASAN

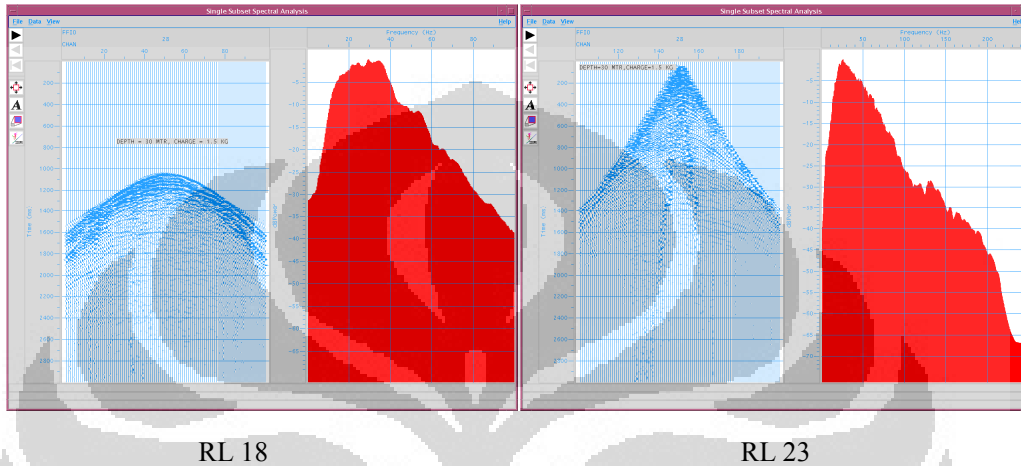
4.1. Pembahasan Hasil Parameter Test

Hasil parameter test dilakukan dengan melakukan pengamatan pada masing-masing shot point, dimana pengamatan tersebut meliputi evaluasi terhadap kenampakan *SP display (Raw data)*, *spectral analysis*, *F-T analysis* dan koherensi. Pengamatan Raw data dari Gambar 3.2 sampai Gambar 3.8 merekomendasikan pengisian 1.5 kg pada kedalaman 30 meter, karena pada *shot point* tersebut target dapat teramati dengan jelas dan *ground roll* tidak terlalu besar, seperti terlihat pada Gambar 4.1.



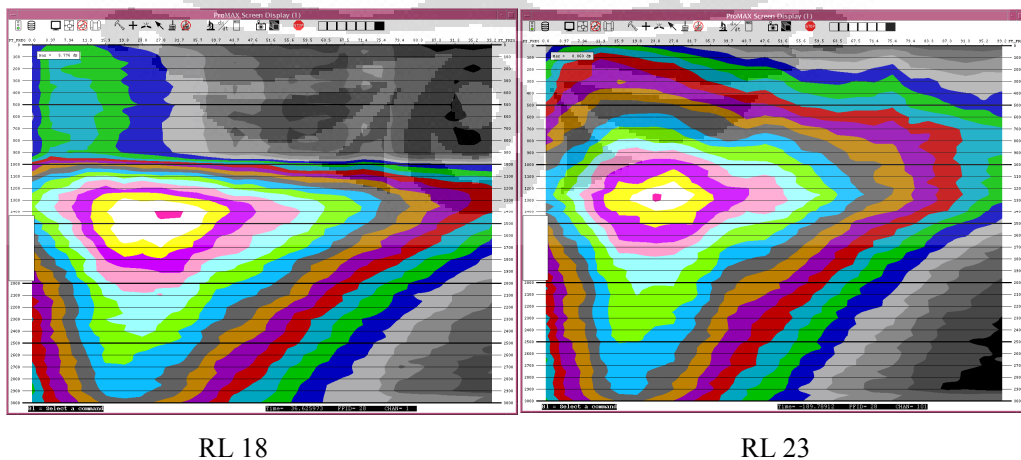
Gambar 4.1. Raw data pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg

Pengamatan *Spectral Analysis* dari Gambar 3.9 sampai Gambar 3.14 merekomendasikan pengisian 1.5 kg pada kedalaman 30 meter, karena pada *shot point* tersebut menunjukkan range frekuensi yang lebar, seperti terlihat pada Gambar 4.2.



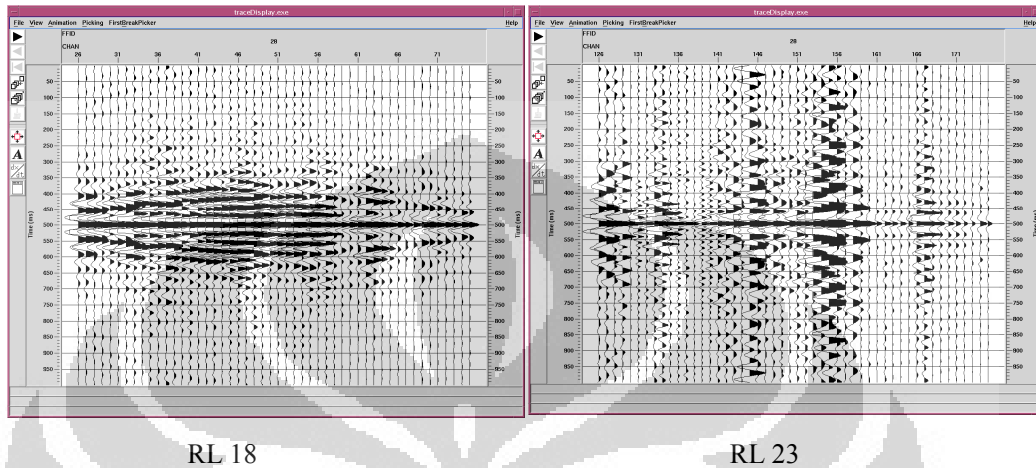
Gambar 4.2. Spectral Analysis pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg

Pengamatan *F-T Analysis* dari Gambar 3.15 sampai Gambar 3.20 merekomendasikan pengisian 1.5 kg pada kedalaman 30 meter, karena pada *shot point* tersebut menunjukkan penetrasi yang cukup kuat, seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. F-T Analysis pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg

Pengamatan koherensi dari Gambar 3.21 sampai Gambar 3.26 merekomendasikan pengisian 1.5 kg pada kedalaman 30 meter, karena pada *shot point* tersebut menunjukkan kemenerusan data yang baik, seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Koherensi pada kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg

Dari evaluasi pada setiap shot point maka direkomendasikan *shot point* dengan kedalaman 30 meter dan pengisian 1.5 kg, dengan pertimbangan bahwa pada display target dapat teramati dengan jelas, hasil *spectral analysis* menunjukkan pita frekuensi relatif lebar, kemudian pada F-T analysis menunjukkan penetrasi yang cukup bagus dan koherensi yang cukup. Resume evaluasi masing-masing shot point dengan variasi pengisian dan kedalaman dapat dibuat tabel hasil evaluasi seperti pada Tabel 4.1 dibawah ini.

SP. No	Display	Spectrum	F-T Analysis	Coherency
A (30/1)	Target teramati agak lemah	Pita frekw relatif lebar	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
B (30/1.5)	Target teramati	Pita relatif lebar	Penetrasi cukup	Koherensi cukup
C (30/2)	Target teramati kuat	Pita frekwensi agak lebar	Penetrasi cukup	Koherensi cukup
D (25/1)	Target teramati	Frekwensi cukup baik	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
E (25/1.5)	Target teramati Sedang	Frekwensi cukup baik	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
F (25/2)	Target teramati kuat	Ampl. drop di frekw tinggi	Penetrasi baik	Koherensi cukup
G (20/1)	Target teramati	Frekwensi kurang	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
H (20.1.5)	Target teramati	Frekwensi kurang	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
I (20/2)	Target teramati	Frekwensi kurang	Penetrasi baik	Koherensi cukup
J (15/1)	Target teramati lemah	Frekwensi cukup baik	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
K(15/1.5)	Target teramati Sedang	Frekwensi cukup baik	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
L (15/2)	Target teramati	Ampl. drop di frekw tinggi	Penetrasi cukup	Koherensi cukup
M (25/1.5) Reload	Target teramati	Ampl. kuat frekw rendah	Penetrasi kurang	Koherensi cukup
N (25/2) Reload	Target teramati	Ampl. kuat frekw rendah	Penetrasi kurang	Koherensi bagus
O(20/1.5) Reload	Target teramati	Frekwensi kurang	Penetrasi cukup	Koherensi kurang
P(20/2) Reload	Target teramati	Frekwensi kurang	Penetrasi cukup	Koherensi kurang

Tabel 4.1. Resume hasil evaluasi parameter test

4.2. Pembahasan Hasil Desain Survei Seismik

Lapangan X merupakan lapangan yang luas, dimana dari hasil survei seismik sebelumnya pada lapangan tersebut terdapat beberapa prospek yang harus dikonfirmasi ulang dengan melakukan survei seismik. Beberapa alternatif pilihan desain muncul yaitu :

1. Melakukan survei seismik 3D detail pada lokasi prospek prioritas pertama dan melakukan survei seismik 2D pada prospek lain yang merupakan prioritas selanjutnya.
2. Melakukan survei seismik 3D detail pada semua lokasi di lapangan X.
3. Melakukan survei seismik 3D detail pada lokasi prospek prioritas dan melakukan survei seismik 3D yang kurang detail pada lokasi lain didalam lapangan X.

Dari ketiga alternatif tersebut maka alternatif ketiga yang dipilih karena dengan melakukan alternatif itu maka tidak hanya mendapatkan data seismik 2D tetapi akan tetap didapatkan data seismik 3D walaupun dengan ketelitian yang berbeda. Dengan alternatif ketiga ini maka akan dapat menghasilkan data yang berkualitas lebih baik, mempunyai sebaran *offset azimuth* yang lebih tinggi dibandingkan dengan seismik 2D, serta biaya survei seismik dapat ditekan dibandingkan dengan alternatif kedua dengan melakukan seismik 3D yang rapat.

Statistik hasil desain parameter dapat dilihat pada Tabel 4.2, informasi yang bisa didapat dari statistik yang merupakan output software Mesa tersebut adalah :

1. Informasi Receiver :
 - Jumlah receiver line : 78 line
 - Jumlah receiver : 21.350 channel
 - Jarak receiver : 50 meter
 - Jarak receiver line : 350 meter
 - Total panjang receiver: 1063 km
2. Informasi Source :
 - Jumlah source line : 51 line
 - Jumlah source : 11.417 channel

- o Jarak source : 50 dan 100 meter
 - o Jarak source line : 500 meter
 - o Total panjang receiver: 383 km
 - o Source density : 33 sp/sqkm
3. Minimum channel aktif : 350 channel
 4. Maksimum channel aktif : 1200 channel
 5. Bin size : 25 x 25
 6. Luas area survei : 374 sqkm

Receiver Information		Source Information	
Receiver Lines:	78	Source Lines:	51
Total Receivers:	27214	Total Source Points:	19432
Live Receivers:	21350	Live Source Points:	11417
Unused Receivers:	5864	Fired Sources:	11417
Receiver Spacing:	50.00 m	Source Spacing:	50.00 m
Line Spacing:	350.00 m	Line Spacing:	500.00 m
Total Length:	1063.80 km	Order Length:	Not Calculated
Receiver Density:	46.31 /sq. km	Total Length:	383.70 km
Graphical Density:	Not Calculated	Source Point Density:	33.07 /sq. km
		Graphical Density:	Not Calculated
Survey		Template Size Information	
X-Extent:	23000.01 m	Min Channels:	350
Y-Extent:	25550.00 m	Max Channels:	1200
Areal Extents:			
Bin Grid	698.22 sq. km		
Graphical	Not Calculated		
Calculate Extents Graphically		Bin Size	
		Bin Width:	25.000
		Bin Height:	25.000

Tabel 4.2. Statistik desain survei

Pada tahap processing data hasil survei seismik, karena adanya perbedaan *fold*, dan adanya beberapa *shot point* yang tidak dipasang akibat daerah pemukiman padat, maka untuk menambah *fold* di *time* dangkal dan daerah yang tidak bisa ditembak, dilakukan interpolasi dari offset-offset atau *inline / crossline* disebelahnya pada process *pre-conditioning*. Untuk menyamakan kualitas data, kelas offset dibuat sama sebelum melakukan proses interpolasi. Pada perbedaan

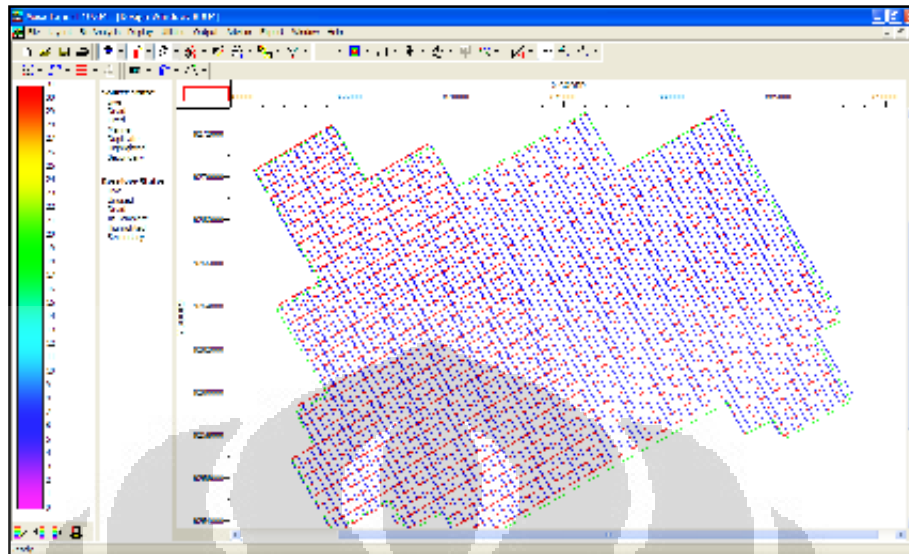
fold di dua sisi area survei, untuk mendapatkan hasil yang bagus dibuat interpolasi *fold* dengan cara menaikkan *fold* yang rendah mendekati *fold* yang tinggi.

Gambar 3.35 dan Gambar 3.36 menggambarkan data hasil field processing sebelum dilakukan *pre-conditioning*, dari data tersebut terlihat perbedaan *fold* pada *inline section*. Gambar 3.42. menjelaskan hasil proses data sebelum dan setelah *pre-conditioning* pada daerah dengan *fold* rendah dimana *fold* awalnya adalah 15 *fold* kemudian setelah dilakukan *pre-conditioning* maka *fold* menjadi 27 *fold*. Dari data tersebut terlihat bahwa setelah dilakukan *pre-conditioning* kemenerusan data menjadi lebih terlihat dengan jelas pada masing-masing lapisan. Gambar 3.44 sampai Gambar 3.47 menggambarkan data hasil final processing setelah dilakukan *pre-conditioning* dimana tidak terlihat lagi perbedaan *fold coverage* pada arah *inline*. Gambar 3.48 dan Gambar 3.49 menggambarkan tampilan *time slice* pada kedalaman 600 ms dan 1300 ms, dimana pada kedalaman tersebut dapat dilihat seberapa luas area prospek yang dapat dibaca dari hasil survei seismik 3D.

4.3. Pembahasan Biaya Survei Seismik

Komponen biaya survei seismik diperhitungkan menjadi satu dan dibuat kedalam harga satuan per *shot point* dari survei seismik tersebut.

Didalam pekerjaan survei seismik 3D lapangan X, dimana setengah dari luas area yang dilakukan survei seismik mempunyai jumlah *shot point* yang berselang seling dimana jumlah *shot point* menjadi dua pertiga dari jumlah *shot point* total apabila dilakukan desain normal pada semua area. Desain ini menghasilkan jumlah *shot point* 33% lebih sedikit dari jumlah *shot point* apabila menggunakan desain yang normal. Gambar penyebaran atau lay out *shot point* dapat dilihat pada Gambar 4.5. dibawah ini. Dari layout tersebut terlihat bahwa terjadi pengurangan jumlah *shot point* disebelah kanan area survei, dimana *shot point* awal sebelum dikurangi berjarak 50 meter, sedangkan seteah dilakukan pengurangan *shot point* berjarak 100 meter. Jumlah *shot point* awal sebelum dikurangi adalah 15.223 *shot point*, dan setelah dilakukan pengurangan berjumlah 11.417 *shot point*.



Gambar 4.5. Layout shot point dan receiver

Perhitungan biaya survei seismik yang meliputi biaya mobilisasi/demobilisasi, main kontraktor, penyiapan lintasan, shot hole drilling, preloading, recording, explosive, quality control, formality, UKL/UPL dan damage claim dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Dengan mengacu pada Tabel 4.3. dimana kontrak pekerjaan survei seismik adalah per harga satuan *shot point*, maka pada survei seismik 3D lapangan X terjadi efisiensi biaya sebesar :

- Jarak shot point awal : 50 meter
- Jarak shot point aktual : 50 meter dan 100 meter
- Jumlah shot point awal : 15.223 SP
- Jumlah shot point aktual : 11.417 SP
- Biaya per sqkm awal : US\$ 32.324/sqkm
- Biaya per sqkm aktual : US\$ 24.357/sqkm
- Asumsi biaya per shot point sama.
- Total biaya survei awal : US\$ 12.089.348,-
- Total biaya survei aktual : US\$ 9.109.511,-

Dari perhitungan diatas terjadi penghematan biaya survei sebesar US\$ 2.979.837,- atau sekitar 33 % dari rencana biaya awal.

	DESAIN NORMAL			PENGURANGAN SP 33%		
	Total Cost	Cost/sq.km	Cost/SP	Total Cost	Cost/sq.km	Cost/SP
Shot point	15223			11417		
Acreage (sq km)	374			374		
Bin size	25 x 25			25x25 dan 25x50		
TR interval	50			50		
SP interval	50			50 dan 100		
RL interval (m)	350			350		
SL interval (m)	500			500		
Template	12 x 100			12 x 100		
Mob/demob	80,000	214	5	80,000	214	7
Main contractor	5,327,933	14,246	350	3,995,950	10,684	350
Line Preparation	1,370,040	3,663	90	1,027,530	2,747	90
Shothole drilling	1,446,153	3,867	95	1,084,615	2,900	95
Preloading	304,453	814	20	228,340	611	20
Recording	1,522,267	4,070	100	1,141,700	3,053	100
Special service	304,453	814	20	228,340	611	20
Sub Total Seismic	10,355,300	27,688	680	7,786,475	20,819	682
Explosive	685,020	1,832	45	513,765	1,374	45
Quality Control	365,344	977	24	274,008	733	24
UKL/UPL	40,000	107	3	40,000	107	4
Damage claim	593,684	1,587	39	445,263	1,191	39
Formalities	50,000	134	3	50,000	134	4
TOTAL COST	12,089,348	32,324	794	9,109,511	24,357	798

Tabel 4.3. Perhitungan biaya survei seismik

Apabila dilakukan survei seismik 3D di target utama dan survei seismik 2D di target berikutnya maka dapat dilakukan perhitungan biaya survei sebagai berikut :

- Luas area 3D awal : 374 sqkm
- Luas area 3D pada target utama : 187 sqkm
- Biaya survei 3D pada target utama : US\$ 12.089.348,- / 2
: US\$ 6.044.674,-
- Luas area 2D pada non target utama : 187 sqkm (14 km x 13 km)
- Jumlah lintasan seismik 2D : 14 lintasan (setiap jarak 2 km)
- Panjang lintasan seismik 2D : 191 km
- Asumsi biaya per km seismik 2D : US\$ 12.500,-
- Biaya seismik 2D 191 km : US\$ 2.387.500,-
- Total biaya seismik 3D dan 2D : US\$ 8.432.174,-
- Selisih biaya seismik : US\$ 677.337,-

Dengan selisih biaya sebesar US\$ 677.337,- maka alternatif melakukan survei seismik 3D di target utama dan survei seismik 2D di target berikutnya tidak dilakukan, yang dipilih adalah melakukan survei seismik 3D detail di target utama dan survei seismik 3D kurang detail di target berikutnya.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Dari hasil parameter test, didapatkan parameter kedalaman dan pengisian sumber getar yang dipergunakan adalah pada kedalaman lubang bor 30 meter dan pengisian sumber getar 1.5 kg, karena dengan parameter ini display target dapat teramati dengan jelas, hasil spectrum analysis menunjukkan pita frekuensi relatif lebar, kemudian pada F-T analysis menunjukkan penetrasi yang cukup bagus dan koherensi yang cukup.
2. Desain parameter seismik 3D yang menghasilkan kerapatan shot point berbeda memberi pengaruh pada hasil data seismik 3D dimana menghasilkan fold coverage yang berbeda yaitu 15 fold dan 30 fold, namun demikian pada processing center kondisi ini dapat diatasi dengan melakukan *pre-conditioning* yaitu dengan cara melakukan interpolasi dari offset-offset disebelahnya sehingga fold yang rendah mendekati fold yang tinggi, dan didapat fold sama yaitu menjadi 27 fold. Pada fold inilah proses selanjutnya dijalankan sehingga didapatkan data dengan kualitas yang baik.
3. Pemilihan metode survei seismik 3D dengan kerapatan *shot point* yang berbeda memberi keuntungan lebih baik dari sisi kualitas data maupun biaya survei, dibandingkan dengan melakukan survei seismik 2D dan survei seismik 3D di area yang berdekatan. Dari sisi biaya pemilihan ini menurunkan biaya yaitu dari biaya awal sebesar US\$ 12.089.348,- menjadi US\$ 9.109.511,- atau sekitar 33 %. Akan tetapi apabila dilakukan survei seismik 3D dan survei seismik 2D maka total biaya adalah US\$ 8.432.174,- dimana perbedaan biaya sebesar US\$ 677.337,- tidak signifikan apabila dibandingkan dengan hasil survei seismik 3D yang diperoleh.

DAFTAR ACUAN

- Bolt, B.A., 1976, Nuclear Explosions and Earthquakes, W.H, Freeman and Co.
- Cordson, A., et all., 2000, Planning Land 3D Seismic Surveys, Geophysical Developments No.9, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa., Oklahoma.
- Dobrin, M.B., 1976, Introduction to Geophysical Prospecting, Mc Graw Hill.
- Evans, B.J., 2005, A Handbook for Seismic Data Acquisition in Exploration, Number 7, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.
- Haris, A., 2009, Aspek Praktis Pengolahan Data Seismik Berbasis Cygwin-Seismic Unix, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia.
- Martodjojo, S., 1984, Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat, Penerbit ITB Bandung.
- Pertamina EP, 2006, Proposal Survei Seismik 3D Jawa Barat.
- Sherwood, J., 1982., Syntethic Seismograms with Offset for a Horizontally Layered Elastic Medium, Technical Brochere, Geoph. Dev. Co.
- Suprajitno, M., 2000, Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia
- Thornburgh, H.R., 1930, Wavefront Diagram in Seismic Interpretation, Bull, Am, Assoc. Petrol. Geologist, Vol. 14
- Vermeer G.J.O., 2002, 3D Seismic Survey Design, Volume 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.