

**KARAKTERISASI LITOFASIES DAN DIMENSI RESERVOIR  
TURBIDIT MIDDLE BAONG SAND (MBS) DARI DATA LOG  
SUMUR DAN SEISMIK 3D DENGAN PENDEKATAN *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK*, PROSPEK “CORUNDUM”,  
CEKUNGAN SUMATRA UTARA**



**T E S I S**

Oleh:

**Muharram Jaya Panguriseng**  
**6305210178**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JAKARTA  
2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISASI LITOFASIES DAN DIMENSI RESERVOIR  
TURBIDIT MIDDLE BAONG SAND (MBS) DARI DATA LOG  
SUMUR DAN SEISMIK 3D DENGAN PENDEKATAN *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK*, PROSPEK “CORUNDUM”,  
CEKUNGAN SUMATRA UTARA**

TESIS MAGISTER

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Magister  
Bidang Ilmu Geofisika Reservoir pada Program Studi Fisika  
Kekhususan Geofisika Reservoir

**Muharram Jaya Panguriseng**  
**6305210178**

**KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR  
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JAKARTA, 2008**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Muharram Jaya Panguriseng  
NPM : 630 521 0178  
Program Studi : Magister Fisika  
Judul Tesis : KARAKTERISASI LITOFASIES DAN DIMENSI RESERVOIR TURBIDIT MIDDLE BAONG SAND (MBS) DARI DATA LOG SUMUR DAN SEISMIK 3D DENGAN PENDEKATAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*, PROSPEK "CORUNDUM", CEKUNGAN SUMATRA UTARA

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelas Magister Sains pada Program Pascasarjana Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Ketua Tim Penguji : **Dr. Dedi Suyanto** ( )  
Pembimbing : **Dr. ret. nat. Abdul Haris** ( )  
Penguji : **Prof. Dr. Suprajitno Munadi** ( )  
Penguji : **Adriansyah, Ph.D** ( )  
Penguji : **Ricky A. Wibowo, Ph.D** ( )

Jakarta, 20 Desember 2008

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas perkenan-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sain (M.Si) kekhususan Geofisika Reservoir pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Tesis ini menggunakan data Pertamina EP sebagai bahan penelitian sehingga diharapkan hasilnya selain bermanfaat bagi penulis dapat pula bermanfaat bagi aktifitas institusi PT. Pertamina EP, khususnya Eksplorasi Region Sumatra Area NAD-Sumbagut kedepan, terutama dalam ekplorasi Middle Baong Sand (MBS) di Cekungan Sumatra Utara.

Kesibukan sehari-hari akibat pekerjaan kantor dan kegiatan di Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI) yang begitu “memabukan”, baik ketika penulis masih bekerja di Schlumberger Information Solution apatah lagi ketika telah bergabung dengan PT. Pertamina EP membuat penulis melupakan tesis ini, 2 (dua) tahun sudah sejak perkuliahan selesai sehingga hampir benar-benar terlupakan. Secara khusus ucapan terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada Yth. **Bpk. Prof. Suprajitno Munadi, Bpk. Dr. red. nat Abdul Haris, Bpk. Adriansyah, Ph.D** dan **Bpk. Parman** atas perhatiannya yang terus-menerus mengejar dan meminta “pertanggungjawaban” penulis menyelesaikan tesis ini dengan baik. Juga kepada Yth. **Bpk. Ir. Nanang A. Manaf** (Manajer Eksplorasi Region Sumatra, Pertamina EP) yang akhirnya turun tangan “memaksa” penulis mendedikasikan waktu untuk menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Untuk itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Dr. red. nat. Abdul Haris**, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran didalam mengoreksi tesis ini hingga mencapai bentuknya seperti sekarang.
2. **Dr. Dedi Suyanto**, sebagai Ketua Program Pasca Sarjana Fisika, Universitas Indonesia.
3. **Prof. Dr. Suprajitno Munadi, Adriansyah, Ph.D**, dan **Ir. Ricky A. Wibowo, M.Sc., Ph.D** sebagai Tim Penguji Tesis.
4. Para dosen serta seluruh sivitas akademik Program Magister Fisika Kekhususan Geofisika Reservoir; **Prof. Dr. Suprajitno Munadi, Dr. red. nat. Abdul Haris, Dr. Adriansyah, Dr. Bambang Widarsono, Dr. Basuki Puspopturo, Dr. Charlie WU, Dr. Ego Syarial, Dr. Ngakan Alit Askaria, Ir. Sardjito, M.Sc, Dr. Surono, Dr. Syafrizal, Dr. Syamsu Rosid, Dr. Ukat Sukanta, Dr. Waluyo**, dan **Dr. Yunus Daud** yang telah memberikan pembelajarannya selama penulis menempuh pendidikan.
5. Manajemen PT. Pertamina EP, terutama **Ir. Nanang Abdul Manaf** yang telah mengizinkan penulis menggunakan data aktif sebagai bahan penulisan tesis ini.
6. Rekan-rekan kuliah atas kebersamaannya dalam suka dan duka selama menempuh perkuliahan.
7. Ayahandaku (alm.) **H. A. Panguriseng**, ibundaku **Hj. Djawi** tercinta dan istriku **Hj. Endang Dwiningsih** serta putra-putriku **Zahra Dhea Fathi Panguriseng, Muhammad Faikar Abdillah Panguriseng**, dan **Timur Ahmad Nasser Panguriseng** yang terus memberikan motivasi lewat restu, senyum, bahagia dan canda tawanya. Kudedikasikan karya ini untuk kalian semua.

Ya Allah ya Rabb, aku memohon kepada-Mu, balaslah segala kebaikan mereka dengan limpahan rahmat dan karunia-Mu. Jadikanlah tesis ini membawa manfaat. Amin.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini jauh dari sempurna. Penelitian ini barulah setitik noktah dalam usaha mempelajari hukum alam. Pelajari dan perhatikanlah, amati sekali lagi, apakah ada celah kecacatan dalam

ciptaan-Nya? Apa yang terkadang manusia sangka sebagai keganjilan di alam semesta dan pada materi pembentuknya serta hubungan antar materi, sesungguhnya keteraturan yang teramat menakjubkan. Semuanya berjalan dalam keteraturan yang dibentuk oleh tatanan hukum alam, *sunnatullah*, hukum tertinggi ilmu pengetahuan. ... **dan kamu sekali-kali tiada akan mendapati perubahan pada sunnah Allah** (Q.S. Al-Ahzaab/33: 62). Dalam ayat yang kemudian penulis sebut sebagai *mobility of crust theory*, Allah SWT berfirman ; **Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap ditempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan...** (Q.S. An-Naml/27: 88). Dan selanjutnya pada ayat lain Allah SWT menyampaikan pernyataan kesetimbangan alam (*Equilibrium statement*) dalam kalimat tanya: ... **Maka lihatlah berulang-ulang (pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pemurah), adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang? ...** (Q.S. Al Mulk/67: 3). Akhirnya, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran dari para pembaca demi perbaikan tulisan ini.

Jakarta, 20 Desember 2008

Penulis

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muharram Jaya Panguriseng  
 NPM : 630 521 0178  
 Program Studi : Magister Fisika  
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
 Jenis Karya : Tesis

demi 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 :

**KARAKTERISASI LITOFASIES DAN DIMENSI RESERVOIR TURBIDIT MIDDLE BAONG SAND (MBS) DARI DATA LOG SUMUR DAN SEISMIK 3D DENGAN PENDEKATAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, PROSPEK "CORUNDUM", CEKUNGAN SUMATRA UTARA**

bersama perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala tuntutan yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
 Pada tanggal : 20 Desember 2008  
 Yang menyatakan

( Muharram Jaya Panguriseng )

## ABSTRAK

Nama : Muharram Jaya Panguriseng  
Program Studi : Magister Fisika  
Judul Tesis : KARAKTERISASI LITOFASIES DAN DIMENSI RESERVOIR TURBIDIT MIDDLE BAONG SAND (MBS) DARI DATA LOG SUMUR DAN SEISMIK 3D DENGAN PENDEKATAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, PROSPEK "CORUNDUM", CEKUNGAN SUMATRA UTARA

Middle Baong Sand (MBS) merupakan reservoir penghasil utama minyak dan gas bumi disamping lapisan batupasir anggota Formasi Keutapang di Cekungan Sumatra Utara. Middle Baong Sand adalah kipas turbidit yang diendapkan pada lingkungan laut dalam yang diamati sebagai perulangan berkali-kali lapisan tipis batupasir dan serpih pada singkapan (*outcrop*). Batupasir kipas turbidit sangat susah ditebak ukuran, geometri, arah dan pola penyebarannya dari metoda interpretasi conventional. Studi ini bertujuan untuk mempelajari variasi lithofasies, geometri dan distribusi spasial kipas turbidit Middle Baong Sand pada prospek "Corundum" dengan analisis electro-fasies dan analisis multi-atribut seismik dengan menggunakan pendekatan *artificial neural network*.

Pendekatan *artificial neural network* untuk karakterisasi lithofasies dan dimensi reservoir Middle Baong Sand diterapkan pada 2 (dua) level data, yaitu (1) data open hole log sumur dan (2) multi-atribut seismik pada prospek "Corundum", Cekungan Sumatra Utara. Sumur eksplorasi Besitang-1 yang memiliki data lengkap dipilih sebagai *training well* sehingga hasilnya dapat dikalibrasi dengan data *cutting*, *core*, dan *biostratigraphic*, model Besitang-1 digunakan untuk memprediksi fasies batupasir pada sumur Ruby-1 dalam area study. Selanjutnya setiap fasies batupasir yang diperoleh pada Ruby-1 dipetakan melalui analisis multi-atribut data seismik Corundum3D untuk mengidentifikasi distribusi lateral dan geometri batupasir anggota Middle Baong Sand.

Dari studi ini diperoleh 4 (empat) fasies batupasir turbidit dalam area Corundum3D berturut-turut dari tua ke muda; (1) fasies batupasir-4 berbutir sedang – kasar dengan kenampakan *coarsening upward* pada elektrofases sebagai produk *cannel fill*, (2) fasies batupasir-3 berbutir sedang - kasar, (3) fasies batupasir-2 perselingan pasir halus - sedang dan lanau, dan terakhir (4) facies batupasir-1 diperoleh sebagai batupasir berbutir halus - lanauan pada sumur Ruby-1 namun ditemukan sebagai *lobe* turbidit di baratdaya sumur Ruby-1. Arah sedimentasi adalah dari Tinggian Malaka, fasies batupasir-4 yang paling tua provenannya dari arah baratlaut, berangsur-angsur bergeser searah jarum jam hingga provenan fasies batupasir-1 yang paling muda adalah dari arah utara.

Kata kunci :

Produksi minyak dan gas, reservoir turbidit, fasies batupasir, *artificial neural network*.

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Maksud Dan Tujuan .....	2
1.3. Ruang Lingkup dan Sasaran Penelitian .....	2
1.4. Lokasi Daerah Penelitian .....	3
<b>BAB 2. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>4</b>
2.1. Metodologi Penelitian .....	4
2.1.1. Metodologi Dasar .....	4
2.1.2. Penerapan Metodologi .....	6
2.1.3. Batasan Penerapan Metodologi .....	7
2.2. Masalah Penelitian .....	8
2.3. Sistematika Penelitian .....	8
<b>BAB 3. KERANGKA GEOLOGI REGIONAL</b> .....	<b>10</b>
3.1. Tatahan Geologi Regional Cekungan Sumatra Utara .....	10
3.2. Struktur Geologi Cekungan Sumatra Utara .....	11
3.3. Stratigrafi Cekungan Sumatra Utara .....	14
3.3.1. Kumpulan batuan pra-tercier .....	15
3.3.2. Kumpulan batuan terciar .....	15
3.3.3. Kumpulan batuan kwarter .....	17
3.4. Sedimentasi Formasi Baong .....	17
<b>BAB 4. DATA DAN ANALISIS</b> .....	<b>26</b>
4.1. Data Penelitian .....	26

UNIVERSITAS INDONESIA

4.2. Analisis Data .....	29
4.2.1. Analisis Fasies Middle Baong Sand dari <i>open hole</i> log sumuran dengan artificial neural network approach .....	29
4.2.2. Interpretasi Seismik 3D horizon " <i>blue</i> ", " <i>red</i> ", " <i>yellow</i> ", and " <i>brown</i> ", Struktur "Corundum" .....	32
4.2.3. Analisis Atribut Seismik .....	37
4.2.4. Analisis Fasies Middle Baong Sand pada Prospek "Corundum" dengan <i>artificial neural network approach</i> .....	42
4.2.5. Potensi Hidrokarbon Middle Baong Sand pada prospek "Corundum" .....	56
4.2.5.1. Petroleum System .....	56
4.2.5.2. Potensi Hidrokarbon .....	57
4.2.5.3. Penentuan Lokasi Usulan Pemboran .....	63
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>64</b>
5.1. Kesimpulan .....	64
5.2. Saran .....	65
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>67</b>
<b>APPENDIX-A ARTIFICIAL NEURAL NETWORK .....</b>	<b>70</b>
A.1. Algoritma "Delta Rule" .....	71
A.2. Algoritma "Back Propagation" .....	74

## DAFTAR GAMBAR

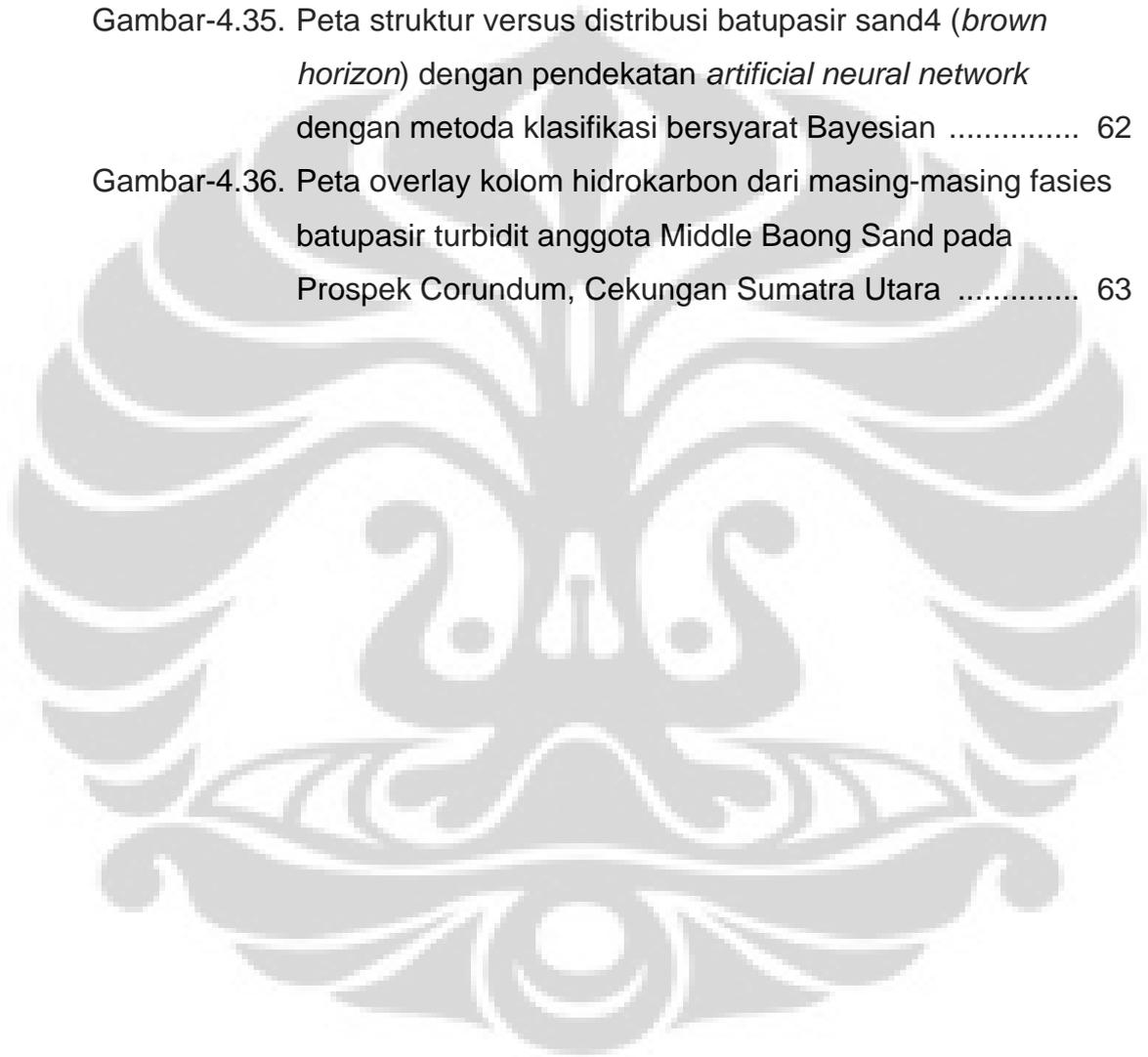
	<b>Halaman</b>
Gambar-1.1. Lokasi daerah penelitian .....	3
Gambar-2.1. Arsitektur (b) artificial neural network meniru (a) otak manusia (Fillacier, 2000) .....	5
Gambar-2.2. Diagram alir model analisis .....	9
Gambar-3.1 Rekonstruksi Interaksi Lempeng India dan Lempeng Eurasia pada kala Eosen Akhir (Daly, 1987) .....	10
Gambar-3.2 Fisiografi umum Cekungan Sumatra Utara (Netherwood, 2000) .....	11
Gambar-3.3 Framework struktur Cekungan Sumatra Utara (Pertamina and Beicip, 1985) .....	13
Gambar-3.4 Tahapan tektonik tersier Cekungan Sumatra Utara (After Davies, 1984).....	14
Gambar-3.5. Framework Kolom Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Utara (Pertamina-Shell joint study, 1993) .....	16
Gambar-3.6. Basin Model – Sand Provenance Middle Baong Sand (modified from Riady, 1995) .....	19
Gambar-3.7. Sediment provenance Middle Baong Sand (MBS) Cekungan Sumatera Utara (Modified from PPGBG, 2008) .....	20
Gambar-3.8. Foto singkapan memperlihatkan selang-seling serpih lanauan dengan batu pasir kuarsa yang mencirikan Besitang River Sand (BSR) sebagai endapan turbidit. (Pilona, 1989) .....	21
Gambar-3.9. (a) Monitor training model dengan kesalahan relatif kecil (E) = 3%, dan (b) Hasil proses training pada sumur referensi Besitang-1 (Panguriseng, 2006) .....	22
Gambar-3.10. Peta sebaran fasies pasir turbidit di Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (modifikasi dari Panguriseng, 2006) .....	23

Gambar-3.11. Korelasi stratigrafi fasies pasir turbidit arah Baratlaut – Tenggara. Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (Panguriseng, 2006) .....	24
Gambar-3.12. Penampang seismik 2D, 92ar-550, arah Baratdaya – Timurlaut memperlihatkan fasies batupasir channel-fill dan fasies batupasir berbutir kasar diatas fasies pasir berbutir halus – lanauan. Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (Panguriseng, 2006) .....	25
Gambar-4.1. Peta lokasi penelitian dan sebaran data .....	26
Gambar-4.2. Karakter open hole log dan marker batupasir Middle Baong Sand (MBS) sumur Rubi-1, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara .....	27
Gambar-4.3. Ekstraksi wavelet seismik pstm Corundum3D sepanjang Inline 2052 pada interval waktu 1500 – 1800 ms, kedalaman dimana kecepatan interval MBS adalah 3048 m/s .....	28
Gambar-4.4. Fasies batupasir Middle Baong Sand (MBS) yang berkembang pada sumur Rubi-1, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara .....	30
Gambar-4.5. Korelasi regional baratdaya – timurlaut menghubungkan Besitang-1, Tungkam-1 dan sumur Rubi-1 (Prospek Corundum), Cekungan Sumatra Utara .....	31
Gambar-4.6. Synthetic Seismogram Ruby-01, dan pengikatan Inline 2052 seismik Corundum3D terhadap sumur Ruby-1, dengan menggunakan konvensi polaritas SEG dengan fasa minimum interpretasi top batupasir ditarik pada amplitudo nol -/+ dan bottom batupasir ditarik pada amplitudo nol +/- .....	32
Gambar-4.7. Jejaring interpretasi dengan interval inline dan xline masing-masing 5 pada survei seismik Corundum3D .....	33

Gambar-4.8. Interpretasi horison sand1 (blue horizon), sand2 (red horizon), sand3 (yellow horizon), dan sand 4 (brown horizon) pada inline 2050 dan xline 355 seismik Corundum3D, top batupasir ditarik pada amplitudo nol -/+. Penarikan sesar dilakukan pada penampang seismik dan dikontrol pada irisan waktu .....	34
Gambar-4.9. Peta TWT (ms) <i>blue horizon</i> (sand1) .....	35
Gambar-4.10. Peta TWT (ms) <i>red horizon</i> (sand2) .....	35
Gambar-4.11. Peta TWT (ms) <i>yellow horizon</i> (sand3) .....	36
Gambar-4.12. Peta TWT (ms) <i>brown horizon</i> (sand4) .....	36
Gambar-4.13. Klasifikasi seismik atribut (Brown, 2000) .....	37
Gambar-4.14. Distribusi kedalaman waktu TWT (ms) pada batupasir bersih .....	38
Gambar-4.15. Peta atribut RMS amplitudo pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D .....	39
Gambar-4.16. Peta atribut <i>Sum of amplitude</i> pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D .....	40
Gambar-4.17. Peta atribut <i>average seismic energy</i> pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D .....	40
Gambar-4.18. Peta atribut <i>seismic arc length</i> pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D .....	41
Gambar-4.19. Statistik atribut seismik dan matriks korelasi memperlihatkan hubungan antara atribut,seismik .....	43
Gambar-4.20. Cross plot pada metoda klasifikasi K-Means Clustering memperlihatkan hubungan antara atribut,seismik. Kelompok data atas 4 (empat) cluster yang selanjutnya masing-masing cluster mewakili 1 (satu) fasies batupasir	44
Gambar-4.21. Peta multi-atribut Seismik batupasir sand1 (blue horizon), dari data seismik Corundum3D dengan pendekatan artificial neural network dengan metoda klasifikasi K-Means Clustering tanpa supervisi .....	45

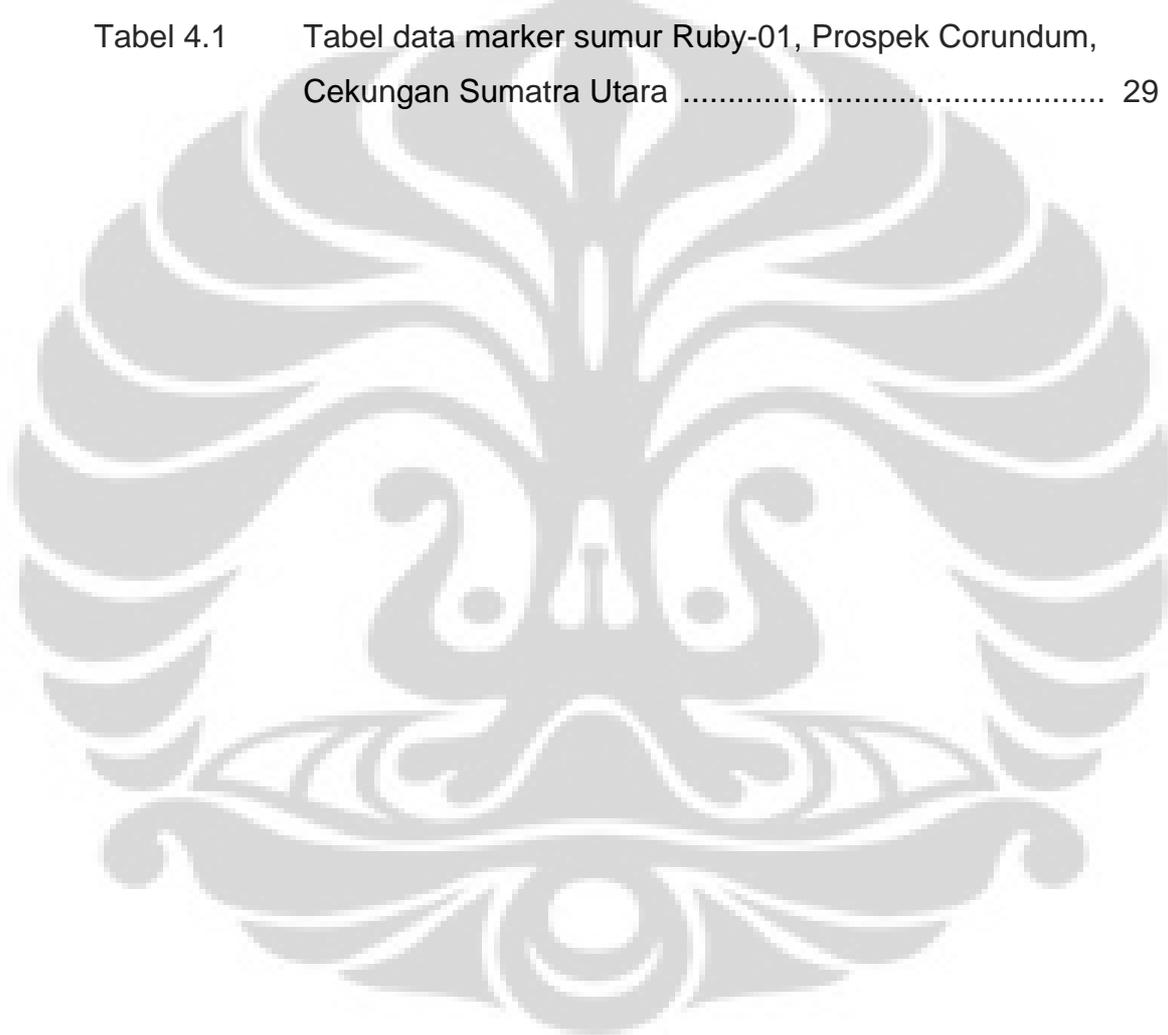
Gambar-4.22. Distribusi batupasir sand1 ( <i>blue horizon</i> ) dengan pendekatan <i>artificial neural network</i> dengan metoda klasifikasi K-Means Clustering tanpa supervisi .....	46
Gambar-4.23. Cross-plot pada metoda klasifikasi Bayesian memperlihatkan hubungan antara atribut,seismik. Kelompok data atas 4 (empat) <i>cluster</i> yang selanjutnya masing-masing <i>cluster</i> mewakili 1 (satu) fasies batupasir	47
Gambar-4.24. Peta multi-atribut Seismik batupasir sand1 ( <i>blue horizon</i> ), dari data seismik Corundum3D dengan pendekatan <i>artificial neural network</i> dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi .....	48
Gambar-4.25. Distribusi batupasir sand1 ( <i>blue horizon</i> ) dengan pendekatan <i>artificial neural network</i> dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi .....	49
Gambar-4.26. Distribusi fasies batupasir sand1 ( <i>blue horizon</i> ) anggota Middle Baong Sand pada inline 2050 seismik Corundum3D .....	50
Gambar-4.27. Distribusi batupasir sand2 ( <i>red horizon</i> ) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi .....	52
Gambar-4.28. Distribusi batupasir sand3 ( <i>yellow horizon</i> ) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi .....	53
Gambar-4.29. Distribusi batupasir sand4 ( <i>brown horizon</i> ) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi .....	54
Gambar-4.30. Peta sebaran fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara .....	55
Gambar-4.31. Peta penyebaran batuan induk.daerah Aru-Langkat, Cekungan Sumatra Utara (modifikasi dari PPGBG, 2008) .....	57
Gambar-4.32. Peta struktur versus distribusi batupasir sand1 ( <i>blue horizon</i> ) dengan pendekatan <i>artificial neural network</i> dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian .....	58

- Gambar-4.33. Peta struktur versus distribusi batupasir sand2 (*red horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian ..... 60
- Gambar-4.34. Peta struktur versus distribusi batupasir sand3 (*yellow horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian ..... 61
- Gambar-4.35. Peta struktur versus distribusi batupasir sand4 (*brown horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian ..... 62
- Gambar-4.36. Peta overlay kolom hidrokarbon dari masing-masing fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara ..... 63



## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel-3.1. Kecepatan sedimentasi rata-rata, kecepatan penurunan dasar sedimen rata-rata, dan kecepatan penurunan dasar cekungan Daerah Aru, Cekungan Sumatra Utara (Sudomo, 1992) .....	18
Tabel 4.1 Tabel data marker sumur Ruby-01, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara .....	29



## DAFTAR LAMPIRAN

### Halaman

Appendix-A. <i>Artificial Neural Network</i> .....	70
--	----



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG**

Reservoir Middle Baong Sand (MBS) di lapangan-lapangan Cekungan Sumatra Utara yang terlanjur ditinggal sementara, karena sulitnya menentukan titik-titik pemboran akibat banyaknya sumur kering dipuncak struktur, masih menyimpan potensi yang sangat besar untuk dikembangkan kembali. Terutama jika mengingat kebutuhan industri akan gas yang begitu tinggi di wilayah Sumatra Utara dan NAD saat ini, demikian pula dengan kebutuhan akan energi listrik. Energi listrik yang salah satunya dihasilkan dari PLTG saat ini mengalami kekurangan pasokan gas, PLN daerah ini sudah melaksanakan pemadaman bergilir. Untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan usaha eksplorasi yang agresif termasuk temuan-temuan prospek baru dan juga mengoptimalkan pengembangan lapangan *suspended* yang ada.

Pada prospek "Corundum" sebenarnya telah dibor 1 (satu) sumur eksplorasi, "Ruby-1", menembus target Middle Baong Sand dengan hasil gas pada dekade 1980-an tetapi ditinggal sementara (*suspended*) karena harga gas yang rendah pada saat itu. Juga karena sulitnya mengenali geometri dan pelamparan Middle Baong Sand dengan metoda yang ada sehingga risikan mengalami kegagalan. Studi-studi dengan konsep *sequence stratigraphy* maupun struktur tidak mampu menjawab tantangan riil reservoir saat itu. Ditemukannya 8 sumur kering dipuncak struktur Lapangan Besitang seakan membuat "frustasi" sehingga dari awal pengembangan prospek "Corundum" dari reservoir Middle Baong Sand tidak diprioritaskan. Adanya ketidakmenerusan distribusi fasies pasir secara lateral menyebabkan korelasi lithostratigrafi sulit dilakukan sehingga sangat sulit ditebak kemana arah pelamparannya dan geometrinya seperti apa.

Itulah yang menjadi alasan penulis tertarik mempelajari dan menerapkan metoda alternatif "*artificial neural network approach*" dengan melibatkan data sumur dan data seismik 3D pada reservoir Middle Baong Sand pada prospek "Corundum", Cekungan Sumatra Utara untuk mengetahui dan memetakan variasi lithofasies, geometri dan distribusi spasialnya sebagai kelanjutan dari studi fasies dari data sumur yang telah kami lakukan sebelumnya pada Lapangan Besitang.

## 1.2. MAKSUD DAN TUJUAN

Penulisan tesis ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan kurikuler dalam menyelesaikan studi pasca sarjana strata dua (S2) Bidang Ilmu Geofisika Reservoir pada Program Studi Fisika Kekhususan Geofisika Reservoir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Tujuan penelitian adalah untuk melakukan karakterisasi lithofasies dan dimensi reservoir turbidit Middle Baong Sand (MBS) dari data log sumur dan atribut seismik 3D dengan pendekatan *artificial neural network* pada prospek "Corundum", Cekungan Sumatra Utara.

## 1.3. RUANG LINGKUP DAN SASARAN PENELITIAN

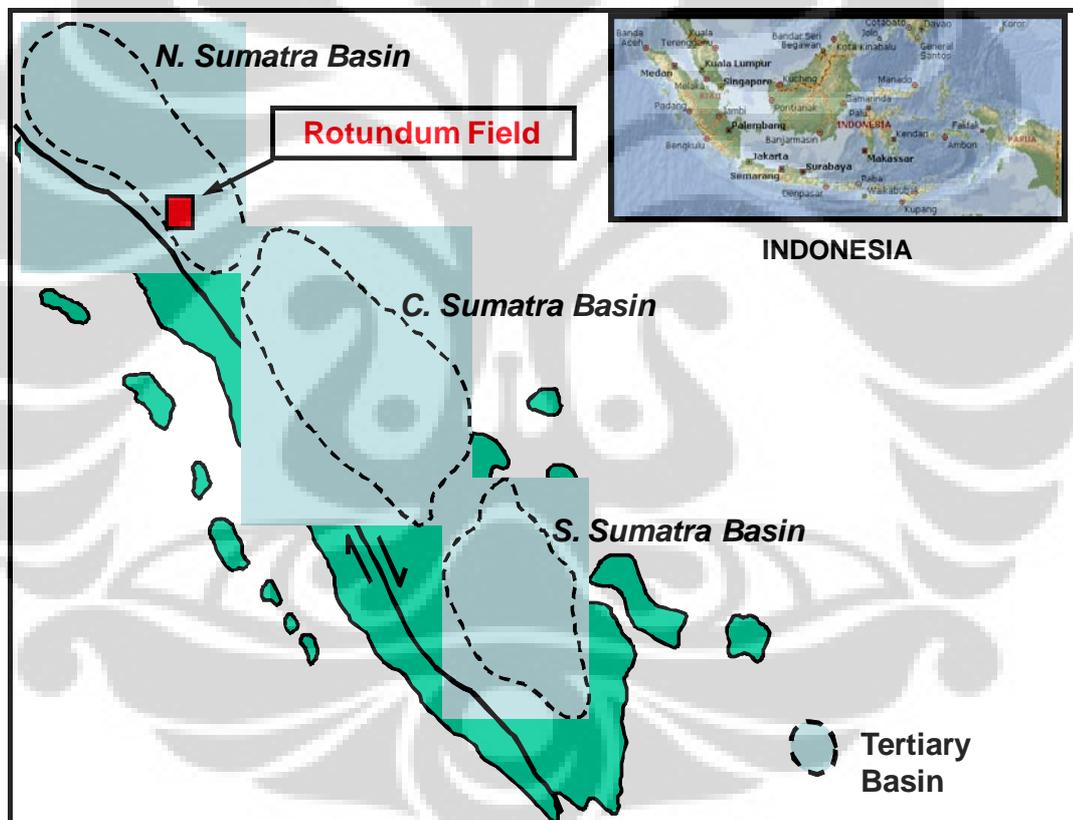
Sejalan dengan tantangan permasalahan yang dihadapi dalam pengembangan reservoir Middle Baong Sand pada prospek "Corundum", Cekungan Sumatra Utara maka ruang lingkup dan sasaran penelitian yang hendak dicapai dari studi ini adalah :

1. Mengestimasi fasies-fasies pasir yang berkembang dilingkungan kipas laut dalam (turbidit) reservoir Middle Baong Sand pada prospek "Corundum" dengan pendekatan "*artificial neural network*" dari data sumur dan data seismik 3D dengan tetap memperhatikan konsep *sequence stratigraphy*,

2. Memetakan distribusi lateral fasies batupasir Middle Baong Sand serta potensinya menjadi perangkap hidrokarbon, dan
3. Merekomendasikan titik-titik pemboran untuk mendapatkan tingkat keberhasilan optimum.

#### 1.4. LOKASI DAERAH PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada daerah Aru, Cekungan Sumatra Utara yang merupakan wilayah kerja Aset NAD-Sumatra Utara, Ekplorasi Region Sumatra, PT. Pertamina EP (Gambar-1.1).



Gambar-1.1. Lokasi daerah penelitian

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. METODOLOGI PENELITIAN

#### 2.1.1. Metodologi Dasar

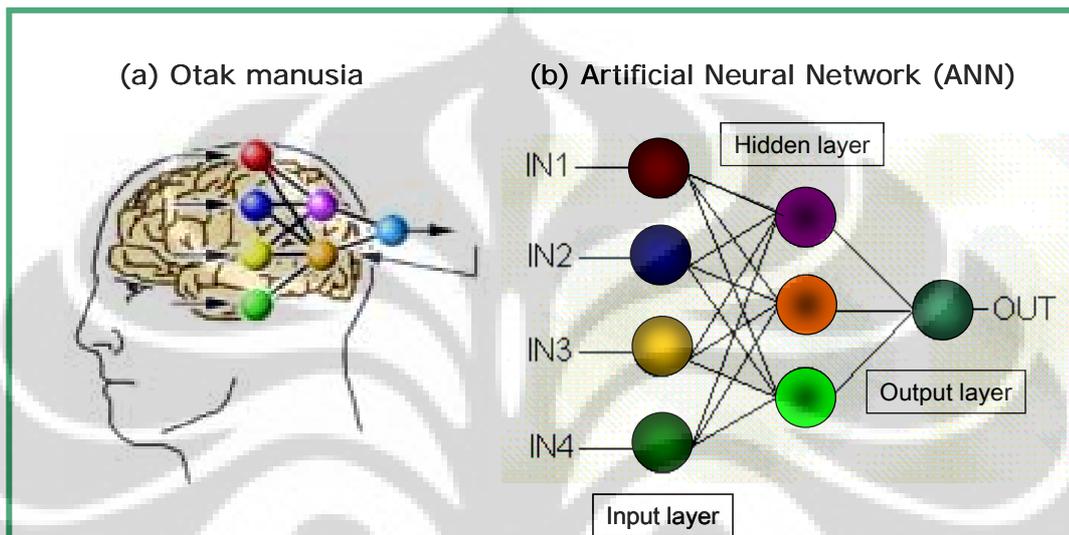
Metodologi yang akan dipakai dalam studi ini adalah pendekatan *artificial neural network*. *Neural network* adalah sistem pengolahan informasi yang diilhami oleh sistem kerja syaraf biologi, otak manusia. *Neural network* mulai dikenal sejak neurophysiologist Warren McCulloch dan ahli matematik Walter Pitts menulis paper berjudul “*How Your Brain Works?*” pada tahun 1943.

Istilah *artificial neural network (ANN)* sebagai sebuah model perhitungan dalam bentuk rumusan matematik kemudian diperkenalkan sebagai “otak tiruan” yang bertugas melakukan simulasi dalam mengolah data masukan menjadi keluaran. Komponen pengolah data saling berhubungan bekerja bersama, seperti halnya neuron pada otak manusia, melalui suatu proses belajar. Analoginya diperlihatkan pada Gambar-2.1.

*Artificial neural network* secara garis besar dibagi atas 3 (tiga) layer; layer *input*, layer *hidden* dan layer *output*. *Hidden* diposisikan antara masukan dan keluaran yang memungkinkan sistem network belajar fungsi non-linear, juga menghadirkan kombinasi *feature input* dan bertugas mengingat/menghapal pola masukan. Layer inilah yang kemudian kita kenal sebagai *artificial neural network*. Jadi, *neural network* adalah sebuah fungsi matematika yang mem-“proses” masukan menjadi keluaran melalui suatu proses pembelajaran (*training data*). Fungsi matematis tersebut dapat diformulakan dengan persamaan :

$$y_i = f_i \left( \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \right) \quad (2-1)$$

dimana  $y_i$  adalah keluaran untuk  $i = 1, \dots, m$ , dan  $x_j$  adalah masukan untuk  $j = 1, \dots, n$ , koefisien  $w_{ij}$ .  $w_{ij}$  adalah "bobot" data masukan, sedangkan fungsi  $f_i$  disebut fungsi aktivasi. Pendekatan matematis yang digunakan secara lengkap akan dibahas pada Appendix - A.



Gambar-2.1. Arsitektur (b) artificial neural network meniru (Fillacier, 2000)

Kesalahan (*Error*,  $E$ ) dari proses pembelajaran dapat dinilai dari membandingkan referensi dengan keluaran *neural network* (Lihat Appendix-A). Suatu sistem pembelajaran *neural network* dikatakan berhasil apabila *error*-nya kecil, yang artinya training menghasilkan keluaran sedekat mungkin dengan referensi, melalui perubahan kombinasi nilai bobot.

*Artificial neural network* dalam studi ini digunakan untuk mengetahui penyebaran fasies batupasir anggota Middle Baong Sand secara lateral. Analisis dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu (1) analisis *electrofacies* dari data *open hole log* sumuran dan (2) analisis multi-atribut seismik dari data seismik 3D.

### 2.1.2. Penerapan Metodologi

Sumur eksplorasi yang memiliki data lengkap dipilih sebagai *training well* sehingga hasilnya dapat dikalibrasi dengan data *cutting, core*, dan biostratigrafi. Model dari sumur referensi digunakan untuk memprediksi fasies batupasir pada sumur di area study. Selanjutnya setiap fasies batupasir yang diperoleh dari analisis elektrofases dipetakan melalui analisis multi-atribut seismik untuk mengidentifikasi distribusi lateral dan geometri batupasir anggota Middle Baong Sand.

Pada analisis multi-atribut sebagai masukan adalah peta atribut seismik. Sebagaimana metoda statistik pada umumnya, metoda *artificial neural network* ini memiliki keunggulan karena tidak ada batasan masukan yang harus digunakan, sehingga dapat digunakan hampir semua atribut seismik yang ada sebagai masukan. Keluarannya adalah besaran relatif, termasuk pola penyebarannya, hasil penggabungan beberapa masukan atribut seismik.

Konsep dasar penerapan *artificial neural network* pada multi-atribut seismik dalam studi ini mirip pemodelan kebelakang (*forward modeling*) dimana distribusi lateral fasies batupasir sebagai suatu kondisi bawah permukaan diformulasikan oleh beberapa atribut seismik yang dikalkulasi dari besaran-besaran fisis seismik yang mungkin, misalnya *RMS amplitude, maximum magnitude, instantaneous frequency, instantaneous phase, cosine instantaneous phase, average peak amplitude, seismic ach length, average seismic energy, amplitude standard deviation, sum of magnitude, sum of amplitude, ratio positive to negative, zero crossing count*, dan sebagainya. Atribut seismic itu untuk selanjutnya mengisi layer masukan dalam operasi *artificial neural network* dan keluaran yang diharapkan adalah distribusi fasies batupasir.

Proses training *neural network* yang diterapkan dalam analisis multi-atribut pada studi ada dua macam; (1) proses yang diawasi (*supervised*), bilamana ada titik kontrol yang diketahui fasiesnya atau ada referensi yang diketahui dengan pasti fasiesnya, dan (2) proses yang tidak

diawasi (*unsupervised*), dimana *neural network* diberi kebebasan untuk membuat *clustering* berdasarkan pembobotan terhadap data masukan, dalam hal ini tidak diketahui hasil yang diinginkan. Untuk analisis multi-atribut dengan proses yang disupervisi digunakan metoda klasifikasi *Bayesian*, suatu metoda klasifikasi bersyarat, dimana ada suatu titik kontrol atau lebih yang dipersyaratkan harus menghasilkan fasies tertentu yang sudah diketahui dari titik pemboran. Sedangkan untuk proses yang tidak disupervisi digunakan metoda klasifikasi *K-Means Clustering*, dimana fungsi *neural network* diberi kebebasan mengklasifikasi data berdasarkan *clustering* dari sebaran data masukan.

### 2.1.3. Batasan Penerapan Metodologi

Untuk menghasilkan hasil analisis yang mewakili kondisi bawah permukaan, dalam studi ini digunakan syarat-syarat batas yang ketat sebagai berikut: (1) sumur referensi yang digunakan haruslah sumur eksplorasi yang memiliki percontoh data fisik seperti *cutting*, *core* dan *biostrat* yang paling lengkap, hasil uji laboratorium terhadap data tersebut merupakan pengamatan langsung sehingga dapat diasumsikan sebagai data "pasti". (2) dalam penerapan *artificial neural network* pada data sumur, log-log yang digunakan haruslah telah terkalibrasi dengan sempurna sehingga anomali akibat efek lubang bor, sifat fisik lumpur pemboran dan mis-posisi kedalaman log telah dapat diminimalkan atau jika memungkinkan dihilangkan sama sekali. (3) demikian pula dengan data seismik yang digunakan untuk mengkalkulasi peta atribut seismik haruslah data seismik 3D supaya perbedaan frekuensi, fasa dan sebagainya tidak menjadi penyebab timbulnya anomali "palsu". (4) fasies batupasir yang dipetakan haruslah diatas ketebalan *tuning (tuning thickness)* supaya resolusi vertikal seismik masih mampu memisahkan fasies batupasir satu dengan fasies batupasir yang lainnya.

Batasan yang bersifat umum adalah penerapan metoda matematis dalam geologi tidak bisa dilepaskan dari aspek model geologi bawah

permukaan sehingga tidaklah benar-benar kuantitatif. Harus dikontrol, apakah hasil yang diperoleh dapat menjelaskan model geologi riil atau tidak, ataukah hanya sekedar hasil operasi matematis yang tidak memberi arti sama sekali secara geologi. *Artificial neural network* sebagai fungsi matematis hanyalah alat, sementara tujuannya adalah untuk menjelaskan fenomena distribusi penyebaran fasies batupasir dan geometri turbidit Middle Baong Sand.

## 2.2. MASALAH PENELITIAN

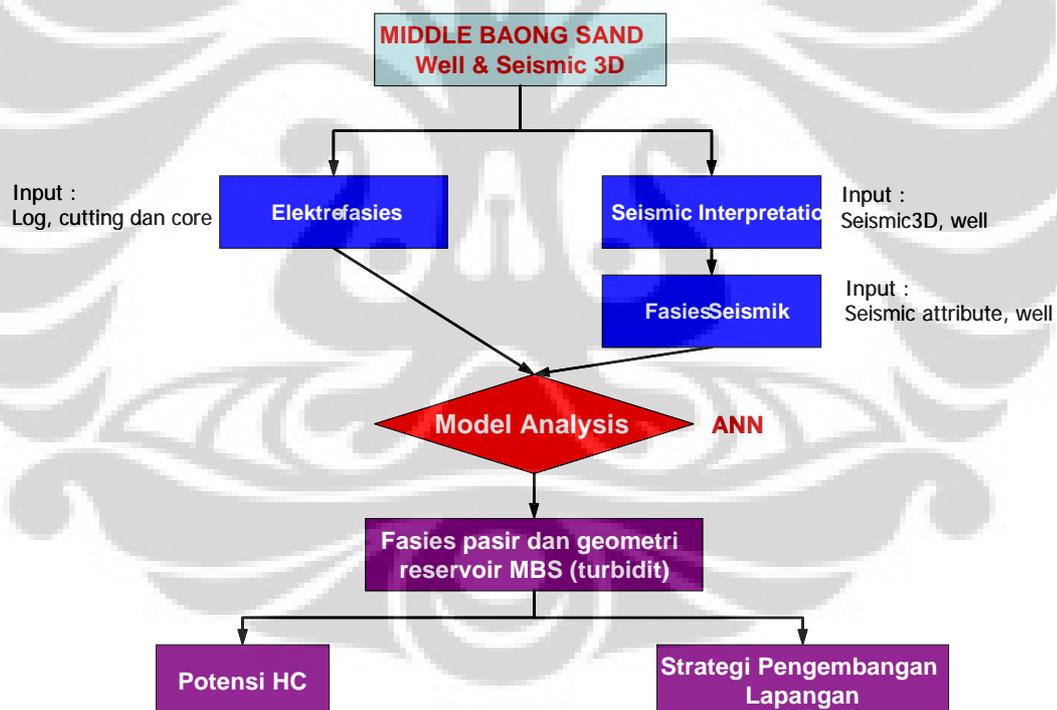
“Corundum” sebenarnya sudah merupakan lapangan, dikembangkan sejak lama (1980-an) dan telah dibor lebih dari 50 sumur dengan target batupasir Keutapang Bawah namun jumlah sumur yang menembus sampai lapisan Middle Baong Sand hanya 1 sumur yaitu “Ruby-1”, karena Middle Baong Sand selama ini belum dianggap penting mengingat sulitnya mengenali geometri dan pelamparannya dengan metoda yang ada. Studi-studi dengan konsep sekuen stratigrafi ataupun struktur tidak mampu menjawab tantangan riil reservoir ini.

## 2.3. SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika penelitian dan workflow analisis yang dikerjakan dalam studi ini sebagai mana diperlihatkan pada Gambar-2.2 adalah :

1. Model analisis pada data sumur; (a) pemilihan data masukan pada sumur referensi, (b) setup model pada sumur referensi, meliputi pemilihan parameter *training*, menjalankan dan memonitor training model pada sumur referensi, pastikan *error*-nya kecil dan (c) klasifikasi, yakni penerapan model *artificial neural network* yang sudah valid untuk mengklasifikasi fasies pada sumur target.
2. Model analisis pada data seismik3D; (a) melakukan pengikatan data sumur terhadap data seismik (*well-seismic-tie*), (b) melakukan interpretasi setiap horizon seismik, (c) grid peta struktur masing-

- masing horizon, (d) kalkulasi peta atribut seismik masing-masing horizon, (e) melakukan analisis *artificial neural network* pada multi-atribut seismik dengan supervisi atau tanpa supervisi dari hasil point 1.
3. Membuat peta sebaran fasies batupasir dan geometrinya dari hasil point 1 dan 2.
  4. Menilai potensi hidrocarbon melalui *overlay* antara peta struktur dan peta penyebaran fasies batupasir (hasil point 2 dan 3). Perangkat yang diperoleh adalah kombinasi antara perangkat stratigrafi dan struktur.
  5. Menentukan lokasi titik pemboran eksplorasi yang optimum dari hasil point 5.

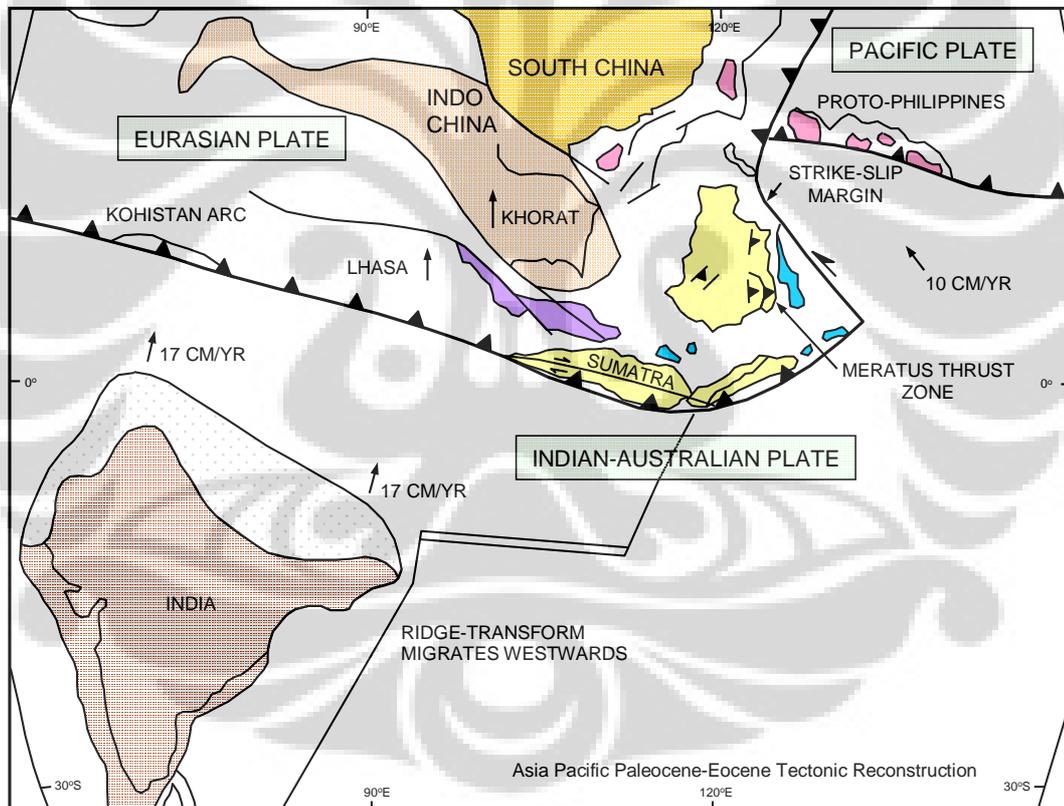


Gambar-2.2. Diagram alir model analisis

### BAB III KERANGKA GEOLOGI REGIONAL

#### 3.1. TATANAN GEOLOGI REGIONAL CEKUNGAN SUMATRA UTARA

Kerangka tektonik cekungan-cekungan di Sumatra merupakan produk interaksi antara Lempeng India dan Lempeng Eurasia dengan serangkaian perubahan sistematis akibat pergeseran relatif antara kedua lempeng tersebut disertai dengan perubahan sudut dan kecepatan yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya. Menurut Daly (1987) kecepatan pergerakan Lempeng India kala Eosen Akhir adalah 11-12 cm/tahun (Gambar 3.1).

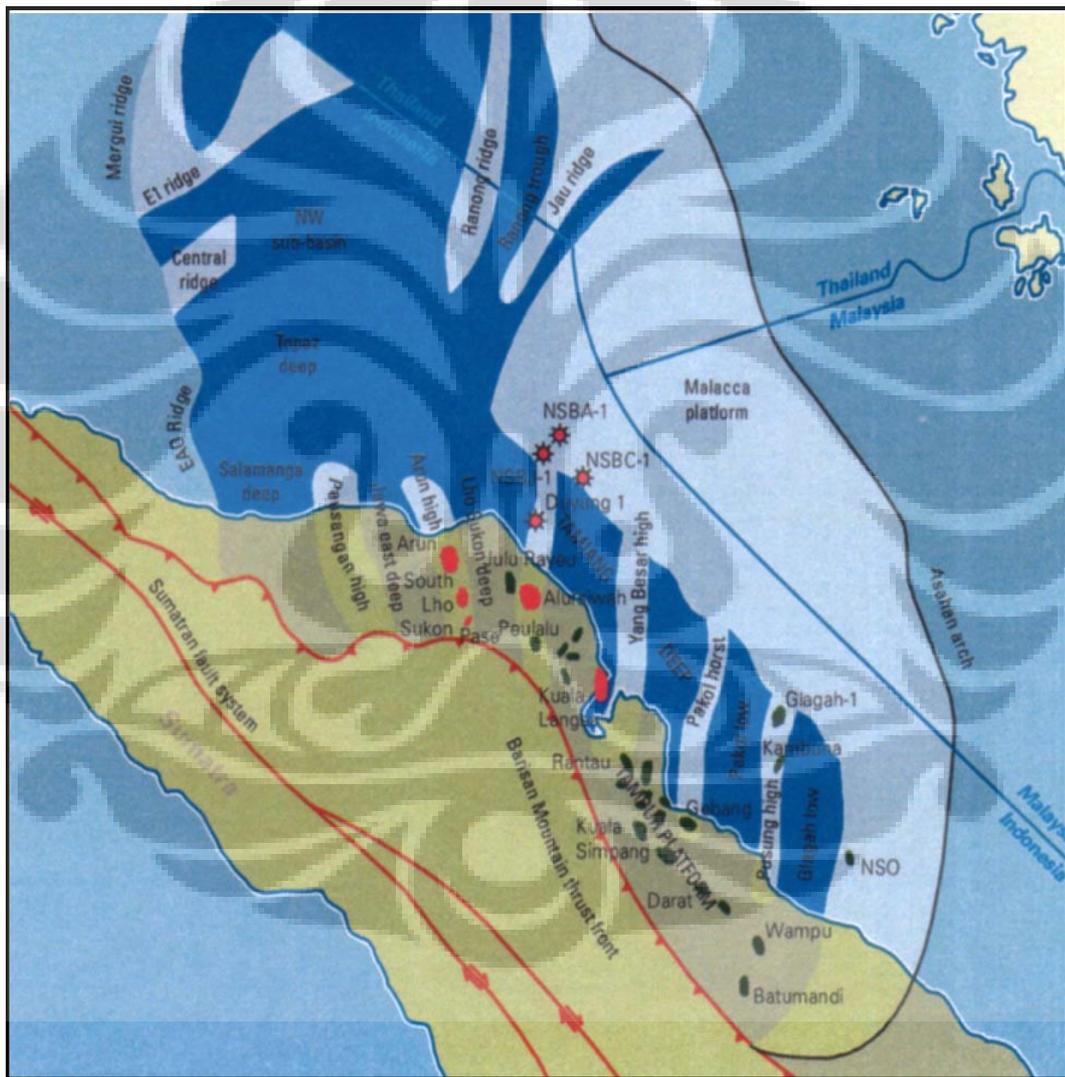


Gambar-3.1. Rekonstruksi Interaksi Lempeng India dan Lempeng Eurasia pada kala Eosen Akhir (Daly, 1987)

Secara fisiografis Cekungan Sumatra Utara dibatasi oleh Paparan Malaka disebelah timurlaut, pegunungan Bukit Barisan disebelah baratdaya dan Lengkungan Asahan disebelah timur yang sekaligus

UNIVERSITAS INDONESIA

memisahkannya dengan Cekungan Sumatra Tengah dan ke barat laut berangsur membuka ke Laut Andaman. Aktivitas tektonik sepanjang Pra-Tersier dan Tersier membentuk tinggian (*high*), rendahan (*low*) dan dalaman (*deep*). Tinggian bertindak sebagai pemisah antara dalaman yang membentuk sub cekungan berarah barat laut-tenggara. Tinggian Hyang Besar memisahkan dalaman Tamiang disebelah barat dan sub cekungan Langkat di sebelah Timur.

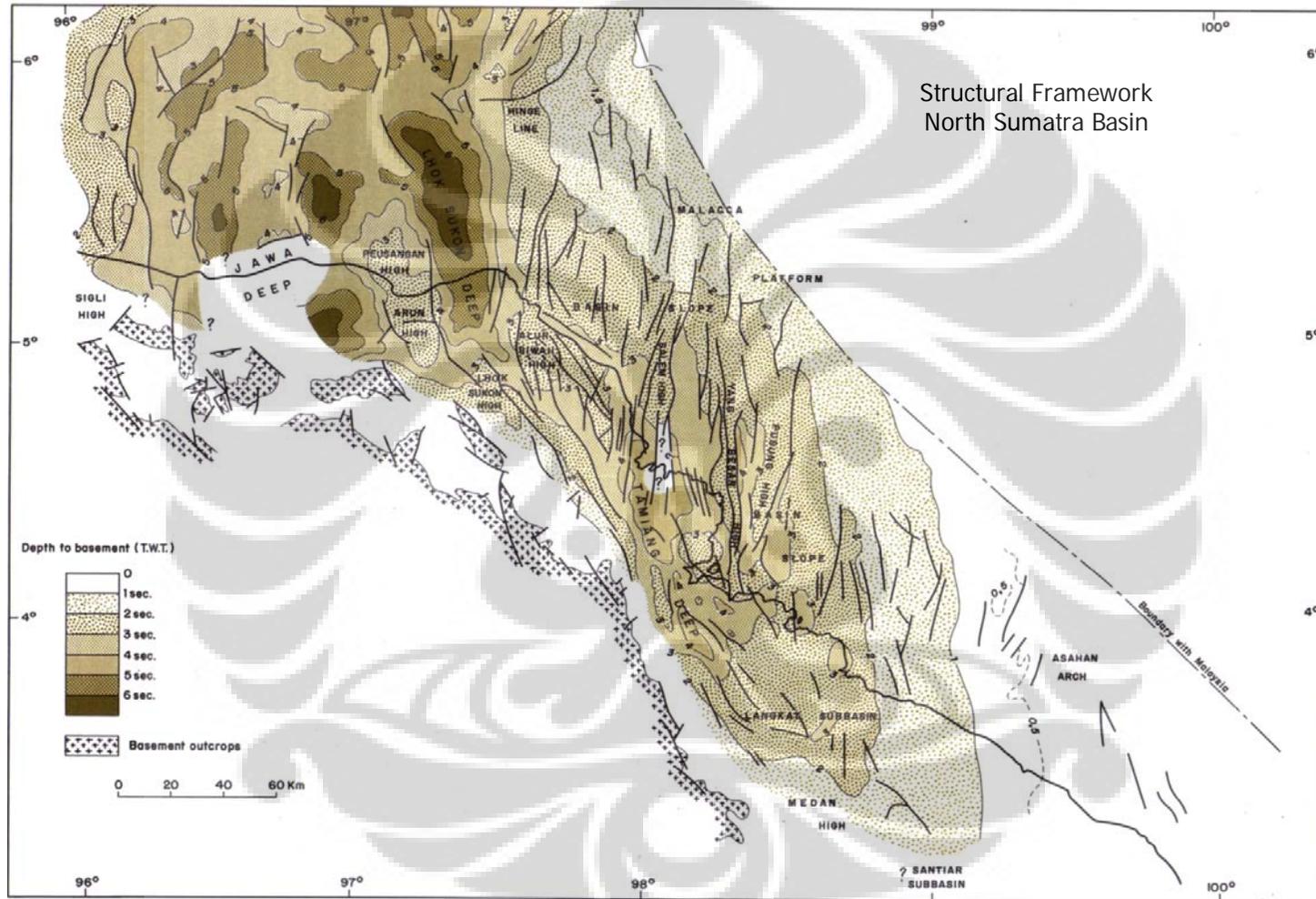


Gambar-3.2. Fisiografi umum Cekungan Sumatra Utara (Netherwood, 2000)

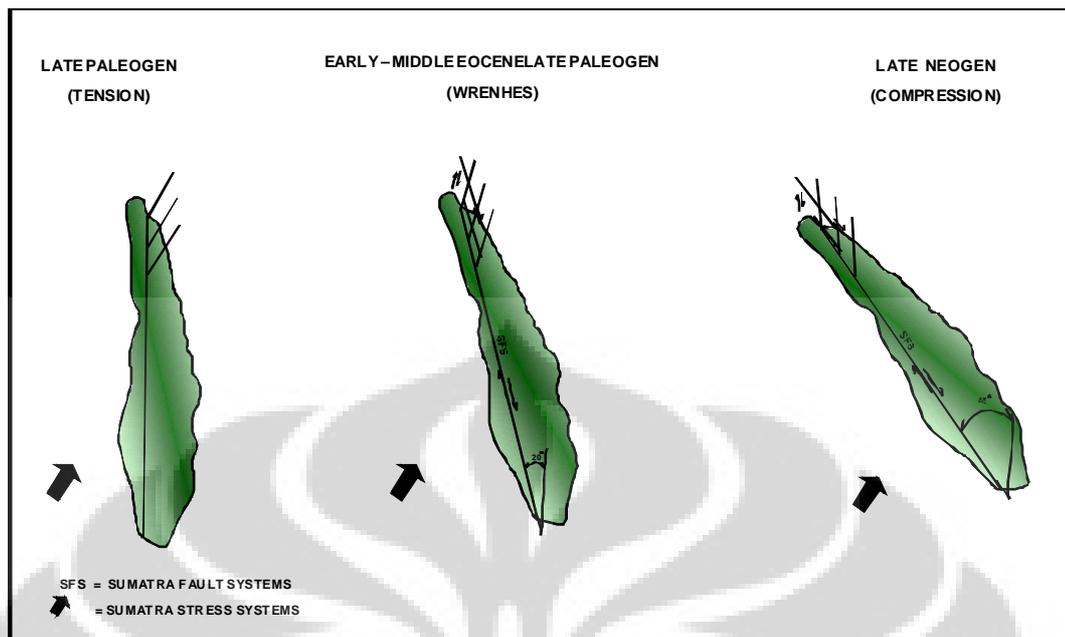
### 3.2. STRUKTUR GEOLOGI CEKUNGAN SUMATRA UTARA

Struktur yang terbentuk di Cekungan Sumatra Utara seperti terlihat pada Gambar-3.3 sangat dipengaruhi oleh evolusi tektonik pembentuknya. Perpaduan gaya-gaya yang dihasilkan dari tumbukan Lempeng India dan Lempeng Eurasia menjadi penentu pola strukturnya, gaya-gaya tersebut mengalami perubahan arah sesuai dengan variasi arah pemekaran dasar samudra dan rotasi Sunda Micro Plate.

Pada awal Tersier arah tumbukan lempeng yang sekaligus merupakan arah kompresi adalah utara-selatan dan kemudian berubah menjadi timurlaut-baratdaya pada akhir Tersier. Kompresi utara-selatan menghasilkan sesar geser yang berpola baratlaut-tenggara yang lebih dikenal sebagai pola sesar Sumatra. Sedangkan kompresi timurlaut-baratdaya menghasilkan sesar geser utara-selatan yang pada dasarnya merupakan aktivasi *antithetic fault* pada kompresi sebelumnya. Perubahan arah tumbukan ini menyebabkan Pulau Sumatra berotasi. Masih terdapat perdebatan mengenai arah rotasi Pulau Sumatra hingga saat ini, kelompok pertama yang dimotori oleh Davies (1984) berpendapat bahwa Pulau Sumatra berotasi berlawanan arah jarum jam, sedangkan kelompok kedua yang dimotori oleh Daly (1987) berpendapat bahwa Pulau Sumatra sebagai bagian dari Sunda Micro Plate berotasi searah dengan jarum jam. Namun pada dasarnya kedua pendapat tersebut percaya bahwa *rifting* dan *subsidence* yang ada merupakan akibat dari kompresi selama awal Tersier.



Gambar-3.3. Framework struktur Cekungan Sumatra Utara (Pertamina and Beicip, 1985)



Gambar-3.4. Tahapan tektonik tersier Cekungan Sumatra Utara (After Davies, 1984)

Rotasi Pulau Sumatra dapat dibagi atas dua fase. Fase pertama dimulai pada kala Eosen menyebabkan Cekungan Sumatra Utara berkembang sebagai cekungan '*pull apart basin*' dengan arah *horst* dan graben yang berpola N-S. Pengangkatan Laut Andaman yang terjadi pada awal Miosen Tengah mengakibatkan terjadinya erosi dan reaktifasi sistem *horst* dan graben yang terbentuk sebelumnya. Pada fase ini suplai sedimen (*sediment provenance*) berasal dari paparan Malaka di utara. Fase kedua terjadi pada pertengahan Miosen Akhir yang berlanjut hingga sekarang akibat adanya kompresi Sumatra saat ini yang berarah timurlaut-baratdaya, pemekaran Laut Andaman, dan pengangkatan Bukit Barisan. Proses ini menghasilkan kompresional *folding*, *wrenching* dan *thrusting* di Cekungan Sumatra Utara. Pada fase ini dari arah Bukit Barisan mulai mensuplai sedimen (*sediment provenance*) ke dalam cekungan.

### 3.3. STRATIGRAFI CEKUNGAN SUMATRA UTARA

Sedimentasi Cekungan Sumatra Utara dimulai sejak cekungan '*pull apart basin*' terbentuk pada kala Eosen yang diikuti pengendapan karbonat Formasi Tampur, disusul diendapkannya secara tidak selaras

Formasi Parapat yang didominasi oleh litologi batupasir / breksi-konglomeratan. Selanjutnya secara berturut-turut diendapkan Formasi Bampo pada Oligosen, Formasi Belumai pada kala Oligosen Akhir-Miosen Awal dan Formasi Baong pada Awal Miosen Tengah - Akhir Miosen Tengah. Diatas Formasi Baong secara selaras diendapkan Formasi Keutapang pada lingkungan delta dan diikuti Formasi Seurula dan Formasi Julu Rayeu yang merupakan endapan klastik.

Secara umum stratigrafi Cekungan Sumatra Utara dapat dibagi atas 3 kumpulan batuan : yaitu kumpulan batuan pra-tercier, kumpulan batuan terciar dan kumpulan batuan kwarter.

### 3.3.1. Kumpulan batuan pra-tercier

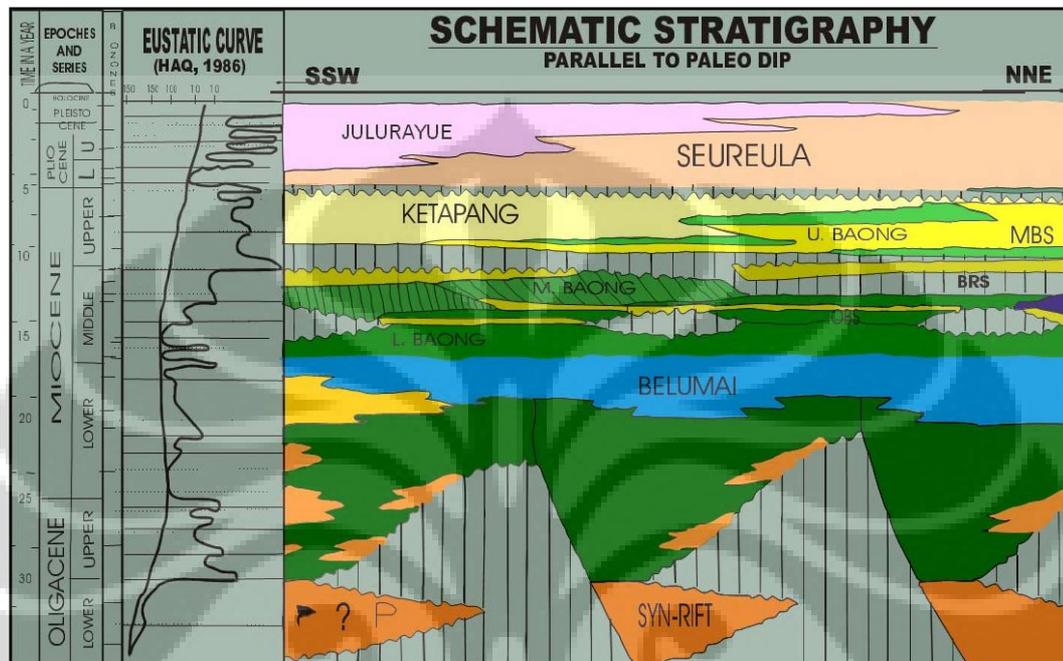
Kumpulan batuan pra-tercier merupakan batuan dasar Cekungan Sumatra Utara berumur Paleozikum Akhir hingga Mesozoikum Akhir, berturut-turut dari tua-muda : kelompok Tapanuli (Formasi Kluet, Formasi Bohorok, dan Formasi Alas), kelompok Peusangan (Formasi Silungkang, Formasi Batu Mil Mil dan Formasi Kualu) serta kelompok Woyla (Cameron, 1980).

### 3.3.2. Kumpulan batuan terciar

Kumpulan batuan terciar Cekungan Sumatra Utara berturut-turut dari tua-muda adalah : Formasi Tampur, Formasi Prapat, Formasi Bampo, Formasi Belumai, Formasi Baong, Formasi Keutapang, Formasi Seureula dan Formasi Julurayeu (Gambar 3.5).

Berbeda dengan kelompok batuan pra-tercier dimana hanya batuan dari Paparan Tampur yang merupakan paparan karbonat yang dianggap sebagai *economic basement*, sehingga belum banyak dipelajari. Batuan terciar telah dipelajari secara detail karena memiliki aspek ekonomi yang menguntungkan dimana kumpulan batuan inilah yang menghasilkan minyak dan gas di Cekungan Sumatra Utara. Proses pengendapan sedimen di Cekungan Sumatra Utara dimulai pada Eosen Akhir yang ditandai dengan pengendapan Formasi Tampur dan Formasi Meucamplici

diatas batuan dasar pra-tercier. Batupasir konglomeratan Formasi Prapat (Bruksah) diendapkan secara tidak selaras diatas Formasi Tampur atau batuan pre-tercier sebagai endapan kipas alluvial yang menempati sepanjang sistem Sesar Sumatra.



Gambar-3.5. Framework Kolom Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Utara (Pertamina-Shell joint study, 1993)

Fase transgresi awal ditandai dengan pengendapan Formasi Bampo yang diendapkan pada lingkungan marine - lacustrine. Fase transgresi berlanjut pada Awal Miosen dan ditandai dengan pengendapan material-material klastik Formasi Belumai dalam fasies karbonat neritik luar hingga maksimum transgresi tercapai pada Miosen Tengah yang ditandai dengan pengendapan serpih laut Formasi Baong yang diselingi pengendapan anggota batupasir Middle Baong Sand.

Pada kala Plio-Plistosen dimana pengangkatan Bukit Barisan mencapai klimaknya dan mengakibatkan cekungan berubah menjadi lingkungan laut dangkal, maka proses pengendapan diteruskan dengan pengendapan Formasi Keutapang, Seureula dan Julurayeu

### 3.3.3. Kumpulan batuan kwarter

Kumpulan batuan kwarter terdiri dari Formasi Toba dan alluvium. Formasi Toba merupakan endapan travertine dan aliran tuf, berukuran butir pasir, terpilah buruk, kadang-kadang mengandung mika, massif dengan ketebalan sekitar 150-200 m. Aluvium terdiri dari endapan sungai (pasir, kerikil, dan lempung) dan endapan pantai (pasir hingga lumpur).

### 3.4. SEDIMENTASI FORMASI BAONG

Widodo (1993) dalam studi model burial geohistory Daerah Aru membagi fase pengendapan Formasi Baong menjadi 3 (tiga) fase :

1. Kala sedimentasi serpih Baong Bawah (15.5 – 12.4 juta tahun yang lalu)  
Kecepatan sedimentasi rata-rata adalah 37.2 cm/1000 tahun, kecepatan penurunan dasar sedimen rata-rata 50.7 cm/1000 tahun dan kecepatan penurunan dasar cekungan rata-rata 42.9 cm/1000 tahun.
2. Kala sedimentasi batupasir Baong Tengah (12.4 – 10.2 juta tahun yang lalu)  
Kecepatan sedimentasi rata-rata adalah 42.3 cm/1000 tahun dan kecepatan penurunan dasar sedimen rata-rata adalah 33.5 cm/1000 tahun sedangkan kecepatan penurunan dasar cekungan rata-rata adalah 17.4 cm/1000 tahun.
3. Kala sedimentasi serpih Baong Atas (10.2 – 9.3 juta tahun yang lalu)  
Kecepatan sedimentasi rata-rata adalah 42.9 cm/1000 tahun dan kecepatan penurunan dasar sedimen rata-rata adalah 24.8 cm/1000 tahun sedangkan kecepatan penurunan dasar cekungan rata-rata adalah 6.5 cm/1000 tahun.

Dari Table-3.1 dapat dipelajari bahwa pada kala sedimentasi serpih laut dalam Baong Bawah, penurunan dasar sedimen ataupun dasar cekungan lebih cepat dari kecepatan sedimentasi, hal ini merefleksikan fase transgresi maksimum sehingga terbentuk sedimen dengan dominasi

serpih pada lingkungan neritik luar hingga batial atas. Penurunan dasar cekungan yang begitu cepat, berbeda dari masa sebelumnya, disertai terbentuknya endapan klastik halus lebih disebabkan oleh kegiatan tektonik ketimbang pembebanan sedimen. Jika dihubungkan dengan sejarah tektonik maka penurunan dasar sedimen, penurunan dasar cekungan dan naiknya muka laut relative pada kala ini berhubungan dengan awal terjadinya *rifting* Laut Andaman.

Formasi / Unit	Kecepatan Sedimentasi, rata-rata cm/1000 tahun	Kecepatan Penurunan Dasar Sedimen, rata-rata cm/1000 tahun	Kecepatan Penurunan Batuan Dasar, rata-rata cm/1000 tahun
Julurayeu	17.5	22.6	17.2
Seurula	59.3	44.3	23.6
Keutapang Atas	26.2	27.3	19.7
Keutapang Bawah	67.7	65.7	53.6
Baong Atas	42.9	24.8	6.5
Baong Tengah	42.3	33.5	17.4
Baong Bawah	37.2	50.7	42.9
Belumai	14.7	15.8	14.5
Bampo	19.8	17.4	16.1

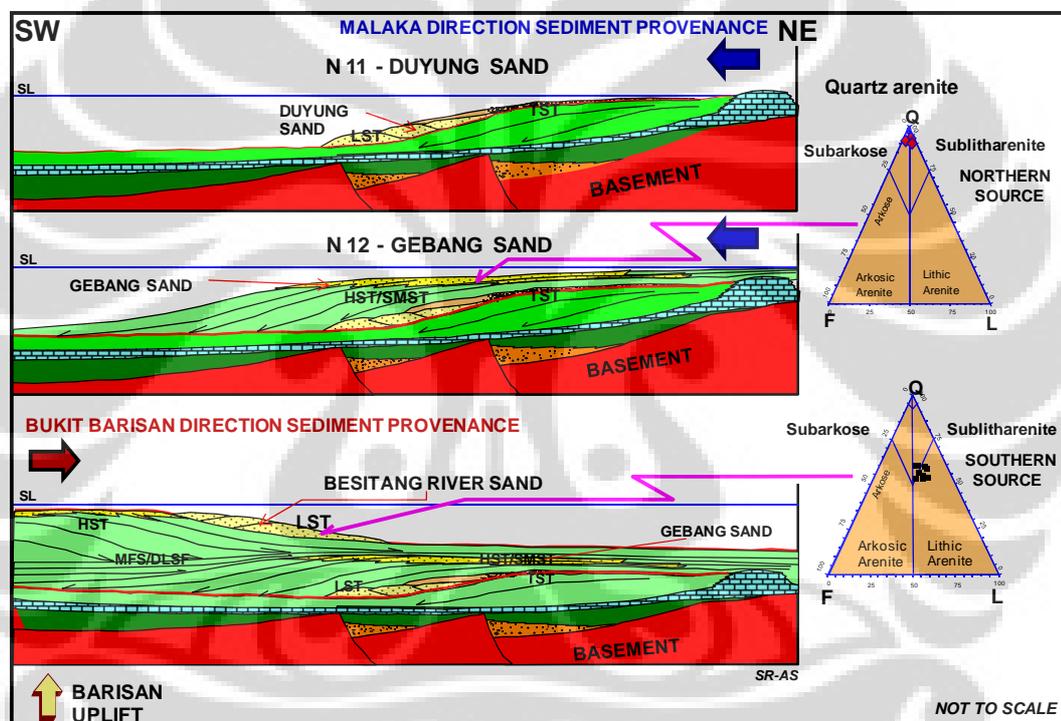
Tabel-3.1. Kecepatan sedimentasi rata-rata, kecepatan penurunan dasar sedimen rata-rata, dan kecepatan penurunan dasar cekungan Daerah Aru, Cekungan Sumatra Utara (Widodo, 1992)

Pada kala sedimentasi batupasir Baong Tengah, kecepatan sedimentasi batupasir Baong Tengah lebih cepat dibandingkan kecepatan penurunan dasar sedimen sebagai akibat pengendapan Middle Baong Sand (MBS) sebagai endapan turbidit (*gravity flow*) pada laut dalam dari lereng-lereng cekungan pada tinggian Malaka (Gebang sand member, N11-N12) dan Tinggian Bukit Barisan (Besitang river sand member, N13) yang mulai terangkat pada batas N12-N13.

Sementara pada kala sedimentasi serpih Baong Atas, kecepatan sedimentasi lebih cepat dibandingkan dengan penurunan dasar sedimen

sebagai produk tektonik Miosen Tengah yang menyebabkan pendangkalan cekungan dari neritik luar – batial atas disusul dengan pengendapan Keutapang Bawah yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal sebagai produk *highstand system tract*.

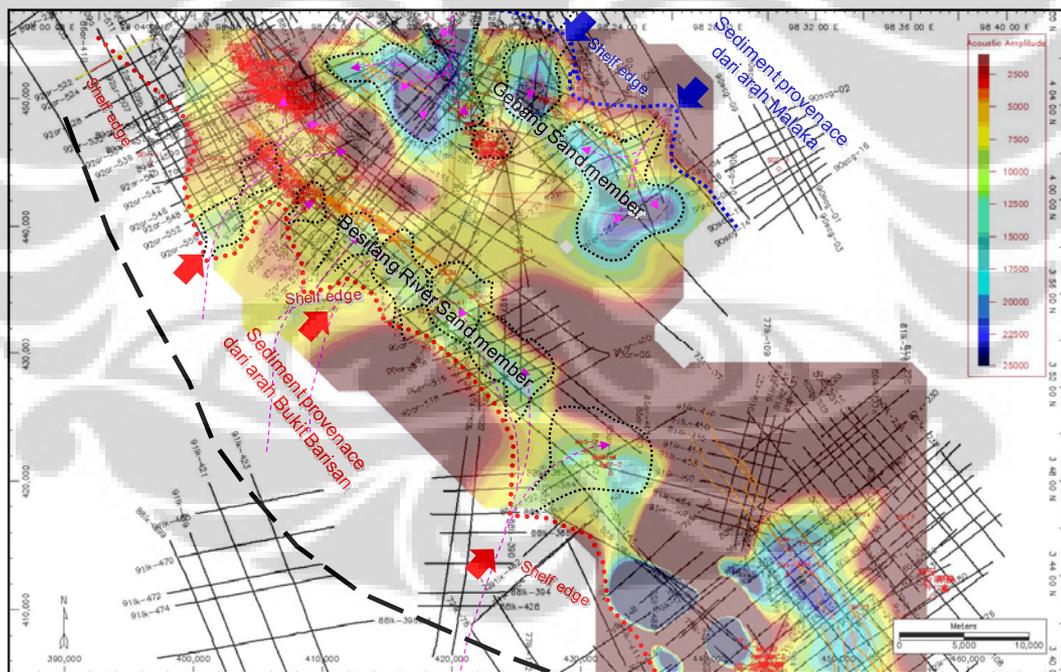
Sehingga dapat difahami bahwa Formasi Baong didominasi oleh batu lempung sangat tebal yang mencerminkan transgresi regional pada lingkungan laut terbuka (neritik – bathyal). Sementara dibagian tengah sering ditemui seri endapan turbidit berupa seri batupasir yang kemudian disebut Middle Baong Sand (MBS).



Gambar-3.6. Basin Model – Sand Provenance Middle Baong Sand (modified from Riady, 1995)

Sedimentasi anggota batupasir Middle Baong Sand sangat erat kaitannya dengan fase tektonik kala Akhir Miosen Tengah. Pengangkatan Bukit Barisan terjadi pada kala Akhir Miosen Tengah, sehingga arah sedimentasi yang sebelumnya berasal dari Paparan Malaka di utara, secara berangsur-angsur berpindah dari Bukit Barisan di baratdaya cekungan. Masa pengendapan batupasir anggota Middle Baong Sand bisa dianggap sebagai masa transisi perubahan arah sedimentasi.

Formasi Baong Bagian Tengah yang lebih tua (N11 - N12) yaitu kelompok Gebang Sand dan kelompok Duyung Sand arah sedimentasinya masih dari Tinggian Malaka yang ditandai oleh komposisi batupasir yang didominasi oleh kuarsa, sedangkan kelompok yang lebih muda yaitu kelompok Besitang River Sand arah sedimentasinya adalah dari Bukit Barisan yang ditandai oleh komposisi batupasir sublitharenit (25% kuarsa dan 75% lithic) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar-3.6. Perubahan arah sedimentasi ini sekaligus mempengaruhi pola-pola lobe dari endapan kipas turbidit yang berkembang di Cekungan Sumatra Utara. Pada peta akustik amplitude (Gambar-3.7) diperlihatkan adanya lobe dengan arah sedimentasi dari utara-timurlaut (Tinggian Malaka) yang dikenal sebagai kelompok Gebang Sand dan adanya lobe dengan arah sedimentasi dari selatan-baratdaya (Bukit Barisan).



Gambar-3.7. Sediment provenance Middle Baong Sand (MBS) Cekungan Sumatra Utara (Modified from PPGBG, 2008)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada kala Miosen Tengah, transgresi laut maksimum terjadi sepanjang Cekungan Sumatra Utara sehingga diendapkan serpih laut dalam Formasi Baong pada lingkungan laut terbuka dan dalam. Transgresi laut maksimum ini sekaligus menyebabkan *slope* sepanjang tepi cekungan membesar sehingga berpotensi menjadi jalur longsoran material klastik berbutir halus-kasar yang selanjutnya kita kenal sebagai endapan turbidit Middle Baong Sand.

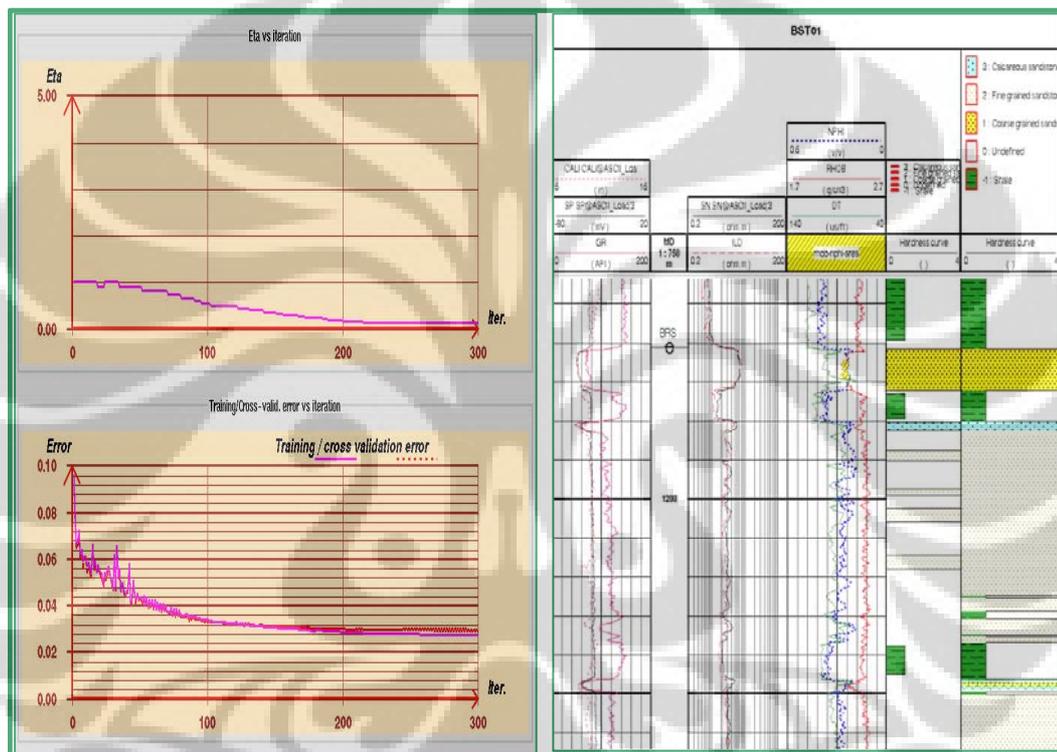
Dari data-data pemboran di lapangan Gebang, Securai, Paluh Tabuhan Barat, dan Besitang serta dari data singkapan di daerah Tungkam diperoleh deskripsi lengkap lapisan Middle Baong Sand; yaitu berbutir kasar – lanauan, berwarna abu-abu sampai putih, terutama terdiri dari kwarsa, beberapa ditemukan gampingan dan sedikit glaukonitan. Hal ini menandakan bahwa *source* endapan turbidit Middle Baong Sand dipengaruhi oleh batuan dasar Pre-tercier dari karbonat Paparan Tampur di Tinggian Malaka ataupun Formasi Belumai yang tersingkap ketika terjadi pengangkatan Bukit Barisan.



Gambar-3.8. Foto singkapan memperlihatkan selang-seling serpih lanauan dengan batu pasir kuarsa yang mencirikan Besitang River Sand (BSR) sebagai endapan turbidit. (Pilona, 1989).

Studi geologi, struktur sedimentasi, log listrik dan ketebalan, mengindikasikan bahwa Besitang River Sand (BRS) adalah turbidit didalam sekuen serpih marine Formasi Baong (Mulhadiono et. al., 1982).

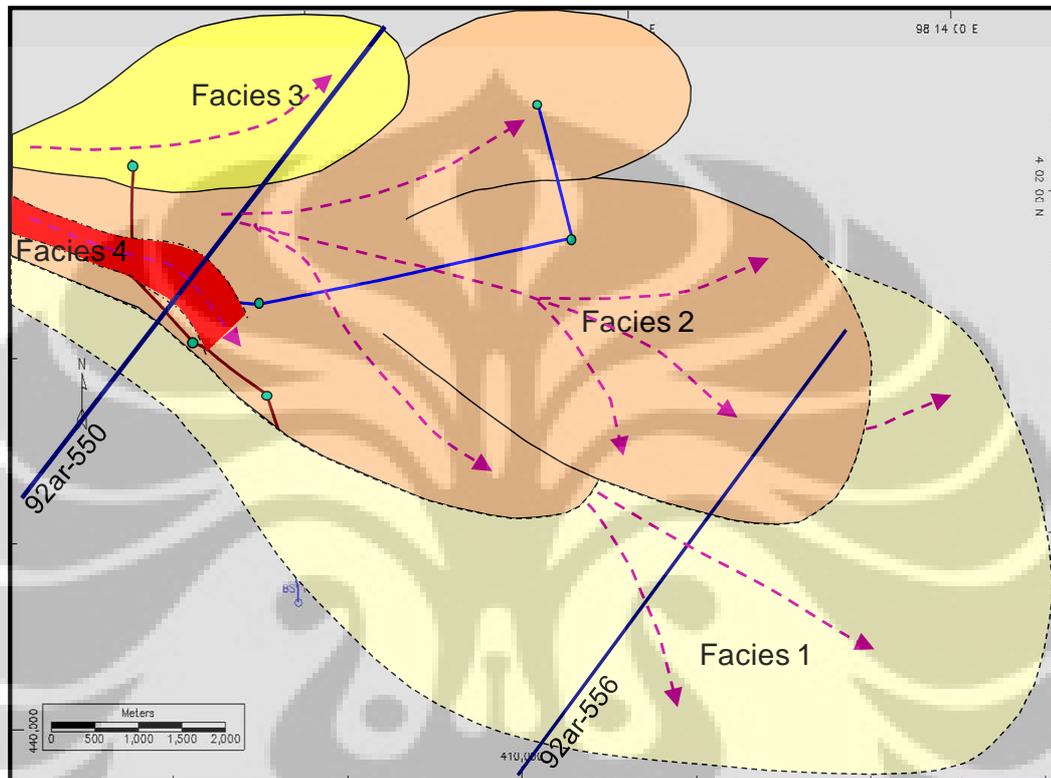
Turbidit sangat unik karena merupakan hasil proses singkat yang terjadi berulang-ulang. Endapan turbidit bisa terjadi dimanapun dibawah permukaan laut (laut dalam) yang disebabkan oleh banjir sungai, gempabumi dan longsor sedimen ke arah lereng sepanjang *delta front*. Pada Gambar 3.8, Middle Baong Sand dari kelompok Besitang River Sand sebagai kipas turbidit dikenali pada singkapan sebagai perulangan berkali-kali lapisan tipis batupasir dan serpih.



Gambar-3.9. (a) Monitor training model dengan kesalahan relatif kecil ( $E$ ) = 3%, dan (b) Hasil proses training pada sumur referensi Besitang-1 (Panguriseng, 2006)

Panguriseng dkk. (2006) dalam studi analisis elektrofasiess data *open hole log* sumuran dengan pendekatan *neural network* pada Lapangan Besitang dengan kisaran kesalahan ( $E$ ) = 3% dari model sumur Besitang-1 yang diperlihatkan pada Gambar-3.9, membagi 4 (empat) fasies batupasir yang berkembang disekitar lingkungan pengendapan turbidit pada kipas bawah laut kelompok Besitang River Sand yang merupakan anggota batupasir Middle Baong Sang, berturut-turut dari tua

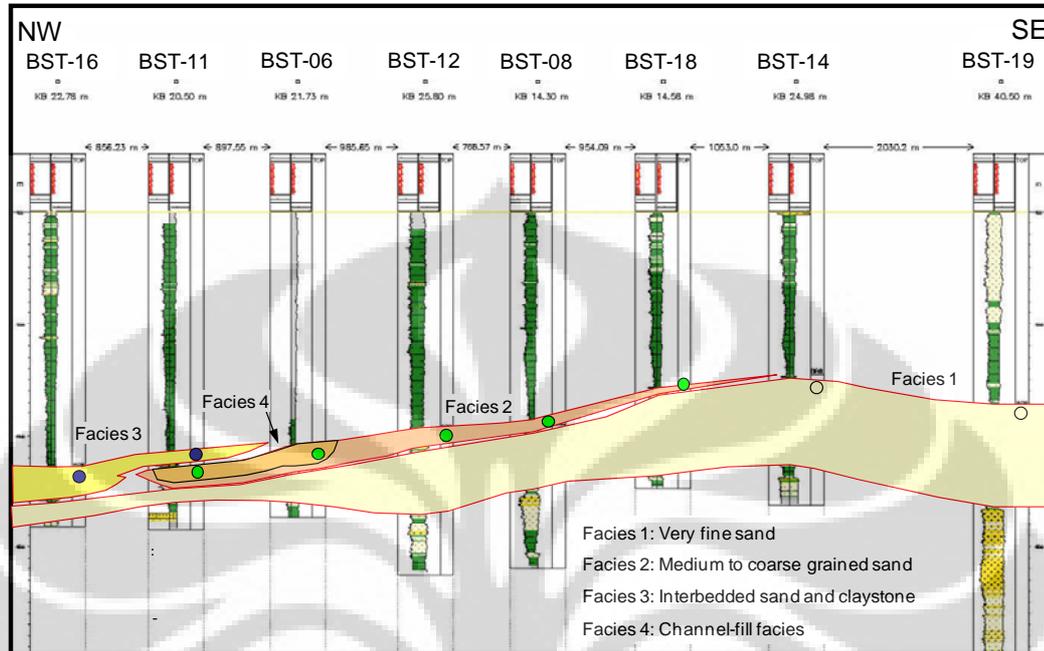
ke muda; (1) fasies batupasir berbutir halus - lanauan, (2) fasies batupasir berbutir sedang - kasar, (3) fasies perselingan batupasir halus dan batulanau dan terakhir (4) fasies batupasir *channel-fill* berbutir halus – kasar (*coarsening upward*).



Gambar-3.10. Peta sebaran fasies pasir turbidit di Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (modifikasi dari Panguriseng, 2006)

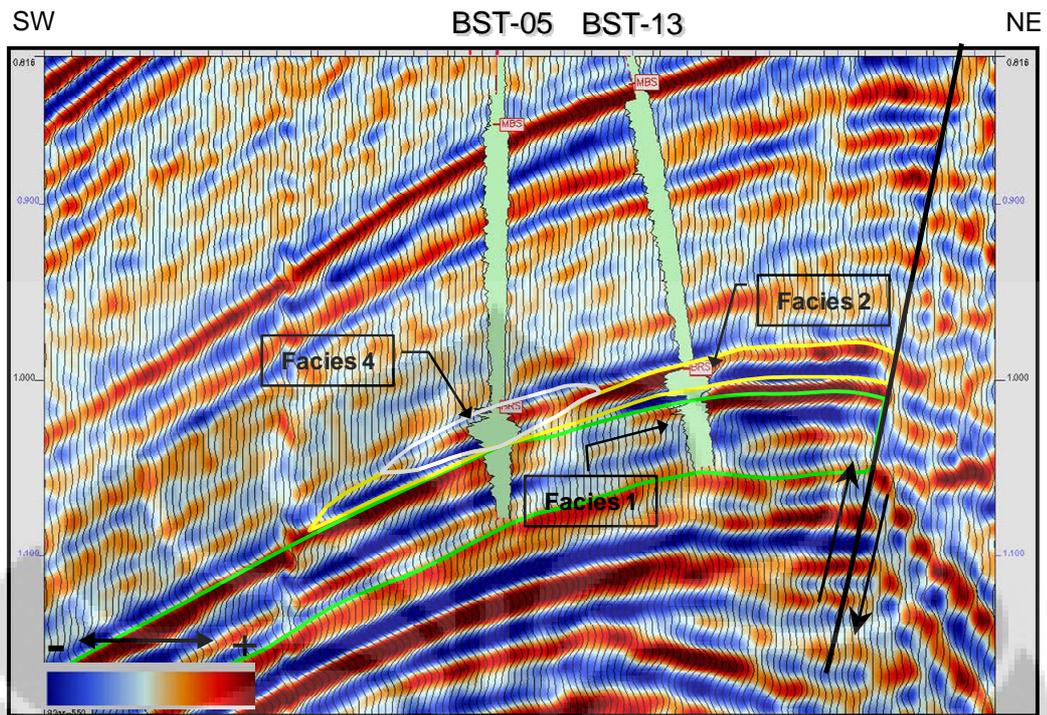
Dari peta fasies Gambar-3.10. diketahui bahwa arah sedimentasi turbidit adalah dari baratdaya menuju tumurlaut atau dari arah Bukit Barisan. Pada Gambar-3.11, korelasi antara sumur yang di-*flattening* pada lapisan Baong Atas memperlihatkan sumur kering (*dry hole*) pada top struktur sementara sumur penghasil minyak dan gas justru berada pada sayap (*flank*) struktur. Hal ini disebabkan karena fasies batupasir yang berkembang pada top stuktur adalah fasies batupasir berbutir halus - lanauan, sedangkan pada sayap struktur berkembang batupasir yang lebih bersih (*clean sand*) dan dapat berkembang menjadi reservoir yang

baik yaitu fasies batupasir berbutir sedang – kasar (*blocky*) dan fasies batupasir *channel-fill* berbutir halus – kasar (*coarsening upward*).



Gambar-3.11. Korelasi stratigrafi fasies pasir turbidit arah Baratlaut – Tenggara. Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (Panguriseng, 2006)

Pada Gambar-3.12. diperlihatkan kenampakan fasies-fasies batupasir yang berkembang pada Lapangan Besitang dari penampang seismik 2D, 92ar-550. Fasies batupasir-4 *channel fill* dengan kenampakan elektrofasis *coarsening upward* pada sumur Besitang-5 berada pada posisi yang lebih *down-dip* dibandingkan dengan fasies batupasir-2 dengan kenampakan *blocky* pada sumur Besitang-13. Namun terbukti dari data produksi bahwa tidak ada komunikasi antara keduanya. Sumur Besitang-5 dan 2 (dua) sumur lainnya yang merupakan fasies yang sama memberikan kontribusi 49% dari jumlah produksi minyak total lapangan ini.

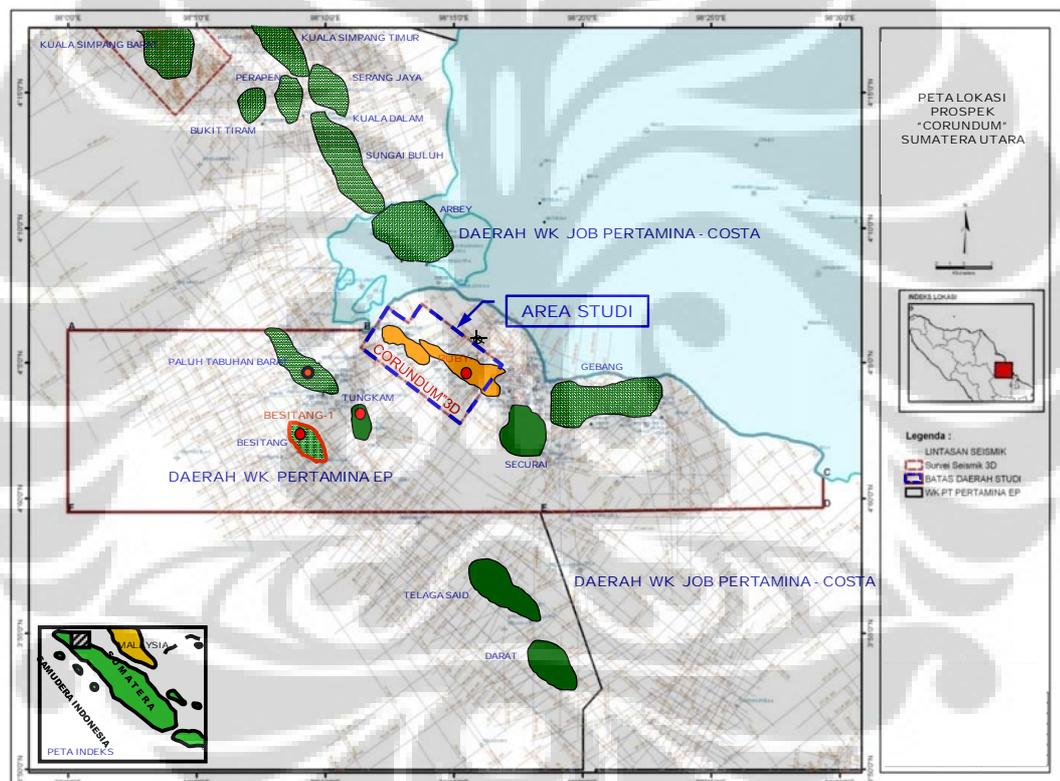


Gambar-3.12. Penampang seismik 2D, 92ar-550, arah Baratdaya – Timurlaut memperlihatkan fasies batupasir *channel-fill* dan fasies batupasir berbutir kasar diatas fasies pasir berbutir halus – lanauan. Lapangan Besitang, Cekungan Sumatra Utara (Panguriseng, 2006)

## BAB IV DATA DAN ANALISIS

### 4.1. DATA PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan 1 (satu) sumur dari prospek “Corundum” yaitu sumur “Ruby-1”, dan 1 sumur eksplorasi dari Lapangan Besitang yaitu sumur Besitang-1 yang memiliki data *cutting*, *core* dan biostratigrafi dari Middle Baong Sand yang lengkap sebagai referensi dalam analisis elektrofasi.

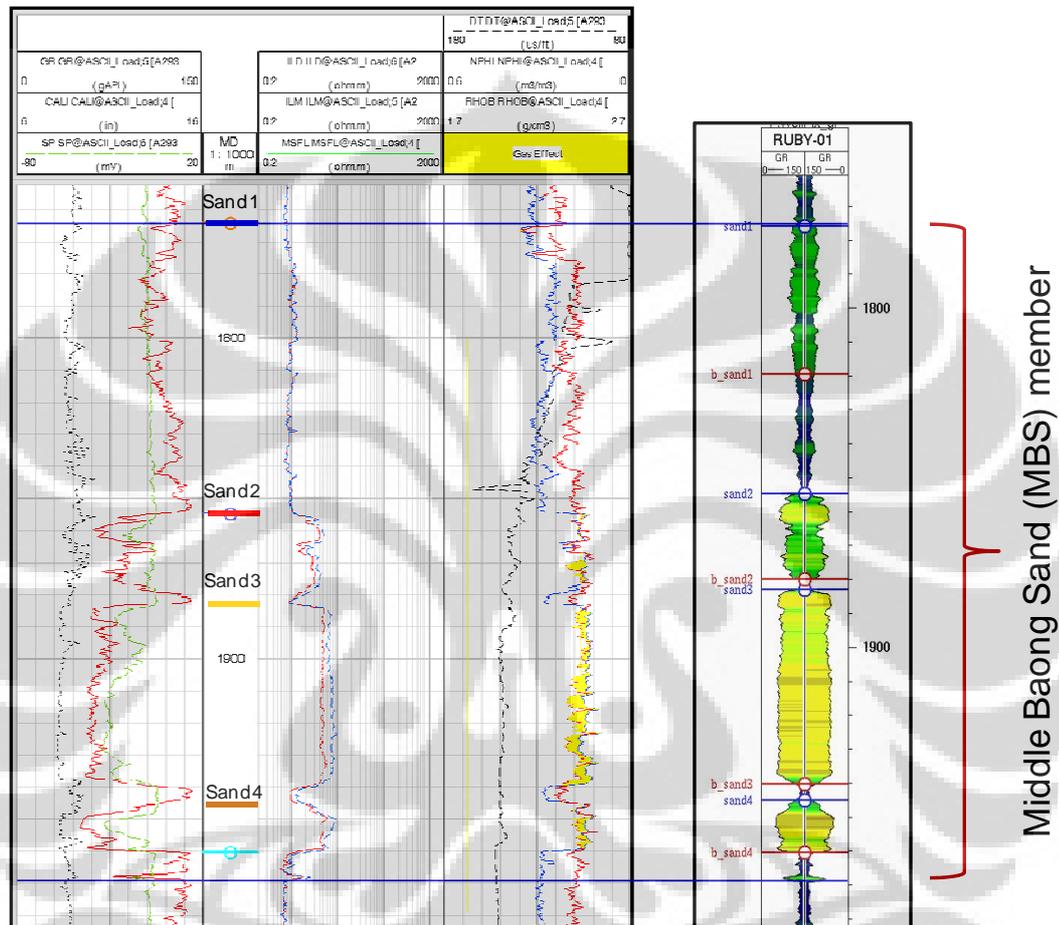


Gambar-4.1. Peta lokasi penelitian dan sebaran data

Data seismik yang ada di daerah penelitian mencakup data seismik “CORUNDUM3D” dan data seismik 2D berbagai *vintage* dari tahun 1971 hingga tahun 1995 (Gambar-4.1) dengan parameter survai yang berbeda-beda dan *processing centre* yang berbeda pula pada data seismik 2D menyebabkan adanya perbedaan kualitas, normalisasi untuk menyamakan range amplitudo dan fasa tetap memberikan perbedaan

UNIVERSITAS INDONESIA

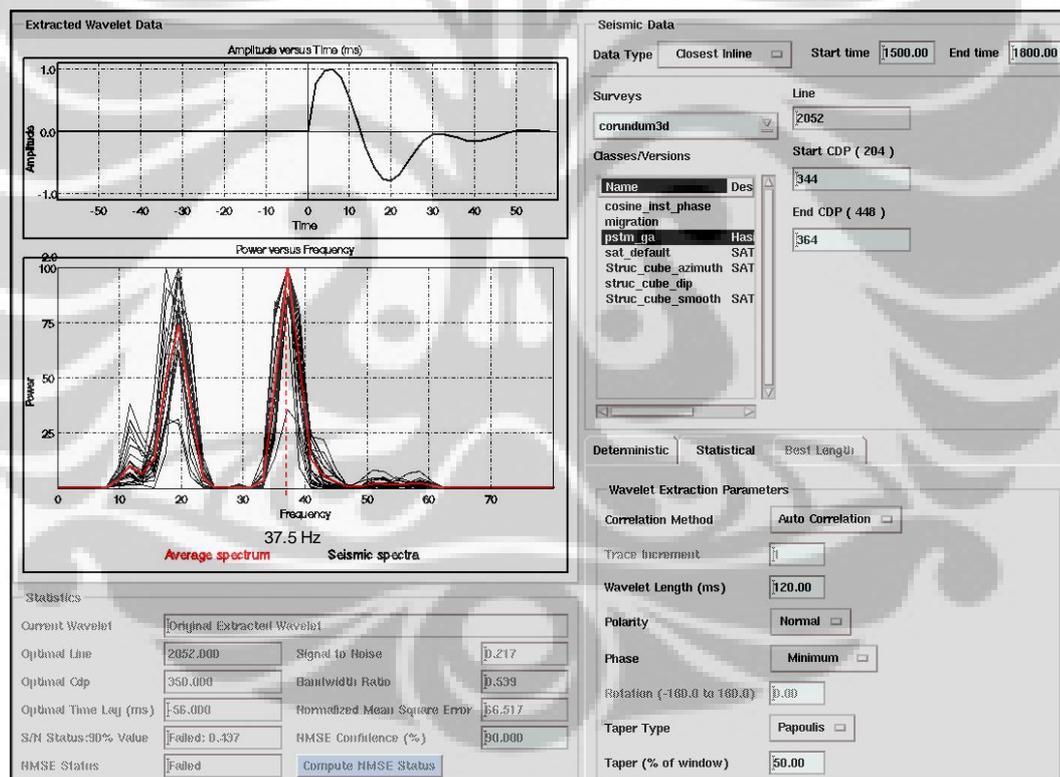
yang cukup mencolok. Dengan demikian data seismik 2D tidak digunakan dalam analisis studi ini karena dapat menyebabkan anomali “palsu”. Atribut seismik hanya akan dikalkulasi menggunakan data seismik “Corundum3D” yang diikat dari sumur eksplorasi “Ruby-1”.



Gambar-4.2. Karakter *open hole log* dan marker batupasir Middle Baong Sand (MBS) sumur Rubi-1, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara

Pada Gambar-4.2, dari *type log* dan analisis petrofisika sumur Ruby-1, Middle Baong Sand dapat dibagi atas 4 (empat) kelompok batupasir. Untuk selanjutnya akan disebut sebagai anggota batupasir Middle Baong Sand yang terdiri dari sand1 (1766.8 – 1810.6 m), sand2 (1845.8 – 1870.7 m), sand3 (1874.0 – 1931.4 m), dan sand4 (1936.0 – 1951.5 m).

Data seismik Corundum3D yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan konvensi polaritas SEG dengan fasa minimum. Frekuensi gelombang seismik dominan adalah 37.5 Hz (lihat Gambar 4.3) pada interval kedalaman anggota batupasir Middle Baong Sand (1500 – 1800 ms). Dari Tabel-4.1 diketahui bahwa pada selang tersebut kecepatan interval rata-rata adalah 3048 m/s, maka ketebalan *tuning*-nya (*tuning thickness*) adalah 20.32 m. Dengan demikian masing-masing fasies pasir pada sumur Ruby-1 berada diatas ketebalan *tuning*, kecuali fasies pasir-4 dengan ketebalan hanya 15.5 m saja di sumur Ruby-1, namun masih dapat dikenali dengan baik dan diikuti kemenerusannya pada penampang seismik.



Gambar-4.3. Ekstraksi wavelet seismik pstm Corundum3D sepanjang Inline 2052 pada interval waktu 1500 – 1800 ms, kedalaman dimana kecepatan interval MBS adalah 3048 m/s.

<i>Marker Data Table</i>						
Name	Depth (m)	Interval Depth (m)	Time (ms)	Interval Time (ms)	Average Velocity (m/s)	Interval Velocity (m/s)
sand1	1766.832	1766.832	1561.222	1561.222	2263.396	2263.396
b_sand1	1810.601	43.769	1591.374	30.151	2275.520	2903.335
sand2	1845.791	35.189	1615.811	24.438	2284.661	2879.898
b_sand2	1870.737	24.946	1631.779	15.967	2292.881	3124.674
sand3	1874.041	3.304	1633.949	2.170	2293.880	3045.057
b_sand3	1931.369	57.327	1671.547	37.598	2310.876	3049.523
sand4	1935.995	4.626	1674.819	3.272	2311.885	2827.182
b_sand4	1951.524	15.530	1684.773	9.954	2316.660	3120.120

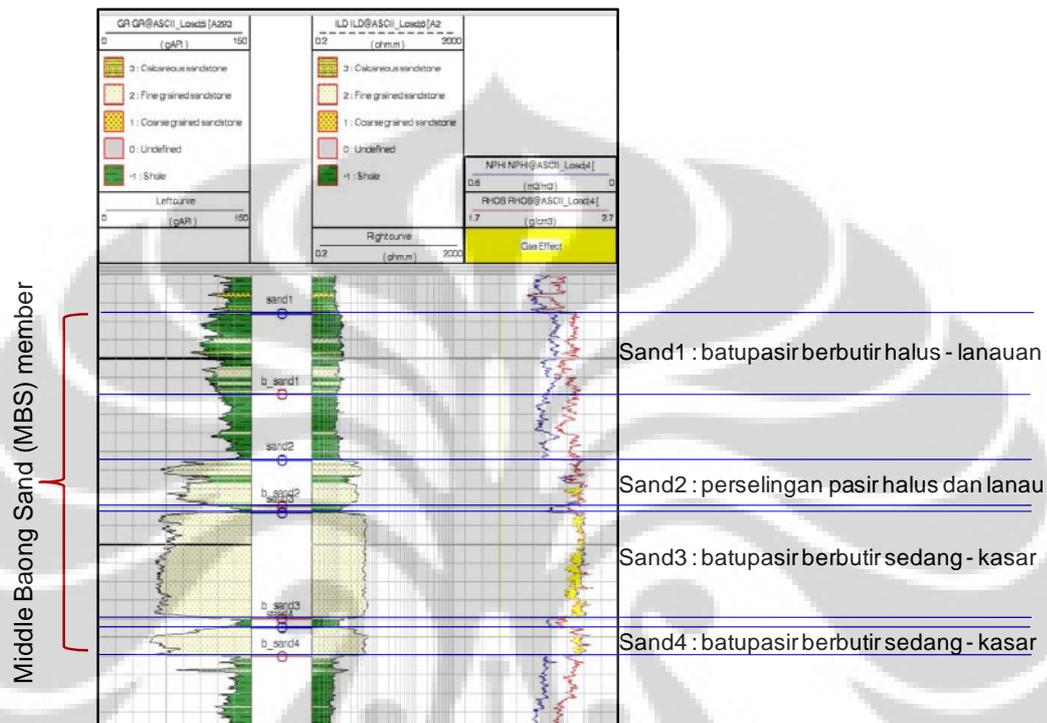
Tabel 4.1 Tabel data marker sumur Ruby-01, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara

## 4.2. ANALISIS DATA

### 4.2.1. Analisis Fasies Middle Baong Sand dari *open hole log* sumuran dengan pendekatan *artificial neural network*

Dengan menjadikan model Besitang-1 pada Gambar-3.9 dengan kesalahan ( $E$ ) = 3% sebagai referensi untuk melakukan analisis elektrofases dengan menggunakan pendekatan *artificial neural network* pada sumur Ruby-1, maka diperoleh 4 (empat) fasies batupasir turbidit dalam area Corundum3D, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar-4.4, berturut-turut dari tua ke muda; (1) fasies batupasir-4 berbutir sedang – kasar dengan kenampakan *coarsening upward* pada *open hole log* sebagai produk *cannel fill*, (2) fasies batupasir-3 berbutir sedang - kasar, (3) fasies batupasir-2 perselingan pasir halus - sedang dan lanau, dan terakhir (4) facies batupasir-1 diperoleh sebagai batupasir berbutir halus – lanauan. Sebagaimana telah dibahas dalam metodologi penelitian bahwa sumur eksplorasi yang memiliki data lengkap dipilih sebagai *training well* sehingga hasilnya dapat dikalibrasi dengan data *cutting*, *core*, dan biostratigrafi. Model dari sumur referensi, dalam hal ini Besitang-1, digunakan untuk memprediksi fasies batupasir pada sumur Ruby-1 yang

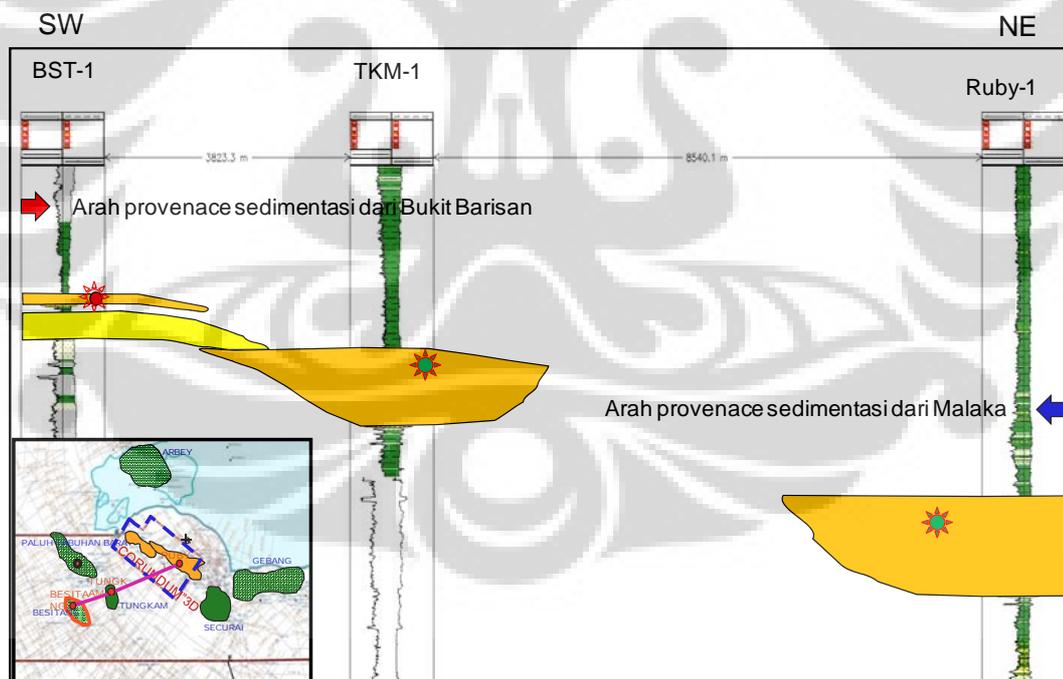
berada dalam area study. Model dari sumur Besitang-1 sangat valid untuk dijadikan referensi dengan *error* ( $E$ ) yang sangat kecil (3%), dimana ada kesamaan yang sangat dekat antara fasies model dengan informasi dari *cutting* maupun *core*.



Gambar-4.4. Fasies batupasir Middle Baong Sand (MBS) yang berkembang pada sumur Rubi-1, Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara

Dari korelasi fasies batupasir Middle Baong Sand menghubungkan sumur Besitang-1 dan Tungkam-1 di sebelah baratdaya dan sumur Ruby-1 disebelah timurlaut yang di-*flattening* di top Baong Atas pada Gambar-4.5 memberikan gambaran lingkungan pengendapan pada anggota batupasir Middle Baong Sand serta arah provenansi sedimentasi. Pada sumur Ruby-1 dalam area prospek Corundum arah provenansi sedimentasi anggota batupasir Middle Baong Sand yang berumur lebih tua adalah dari Tinggian Malaka (utara-timurlaut), sementara pada Lapangan Besitang dan Lapangan Tungkam yang memiliki batupasir Middle Baong sand yang lebih muda arah provenansi sedimentasi adalah dari Bukit Barisan (selatan-baratdaya). Anggota batupasir Middle Baong

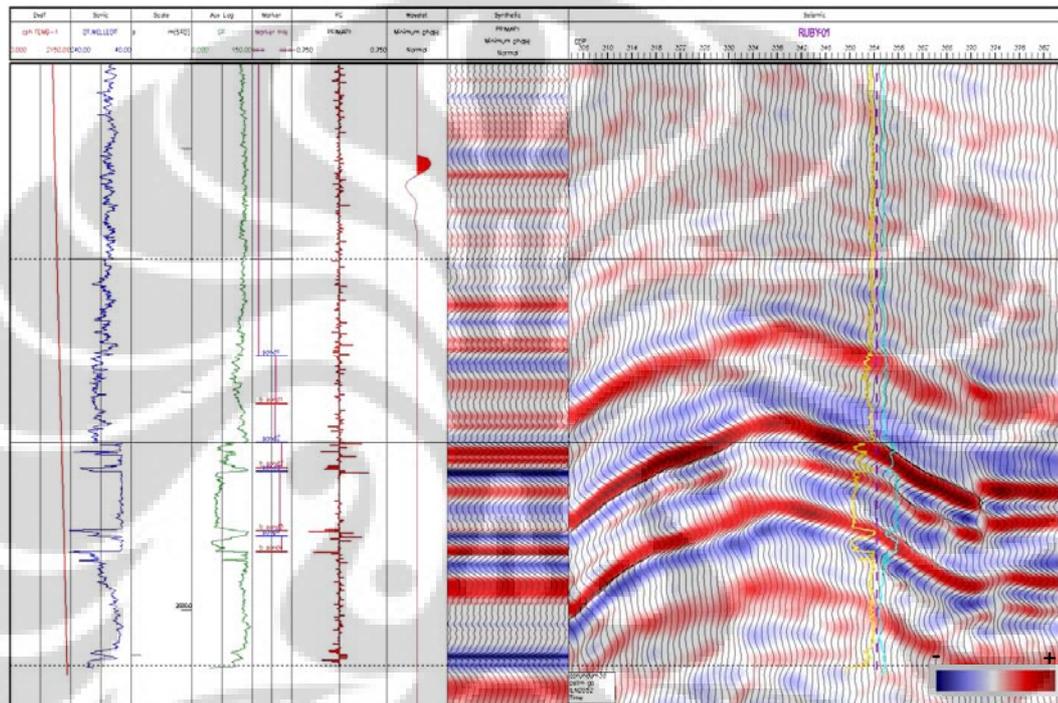
Sand pada prospek Corundum yang merupakan kelompok Gebang Sand diendapkan sebagai produk *basin floor fan*, demikian juga dengan Middle Baong Sand pada Lapangan Tungkam yang merupakan kelompok Besitang River Sand diendapkan pada *basin floor fan*, sedangkan Middle Baong Sand pada Lapangan Besitang yang juga merupakan kelompok Besitang River Sand secara umum diendapkan sebagai produk *slope fan*. Hal ini semakin menguatkan pendapat para peneliti sebelumnya bahwa anggota batupasir Middle Baong Sand adalah produk *low stand system track*, yang dalam sekuen stratigrafi termasuk dalam type-1 yang berhubungan dengan channelisasi. Sampai dengan saat ini dari data pemboran maupun singkapan baru diperoleh anggota batupasir Middle Baong Sand dari kipas turbidit laut dalam, apabila paket produk *low stand system track* lengkap harusnya dibelakang *slope fan* terdapat *valley fill* yang umumnya juga memiliki kualitas yang baik sebagai reservoir.



Gambar-4.5. Korelasi regional baratdaya – timurlaut menghubungkan Besitang-1, Tungkam-1 dan sumur Rubi-1 (Prospek Corundum), Cekungan Sumatra Utara

#### 4.2.2. Interpretasi Seismik 3D horizon “blue”, “red”, “yellow”, and “brown” Struktur “Corundum”

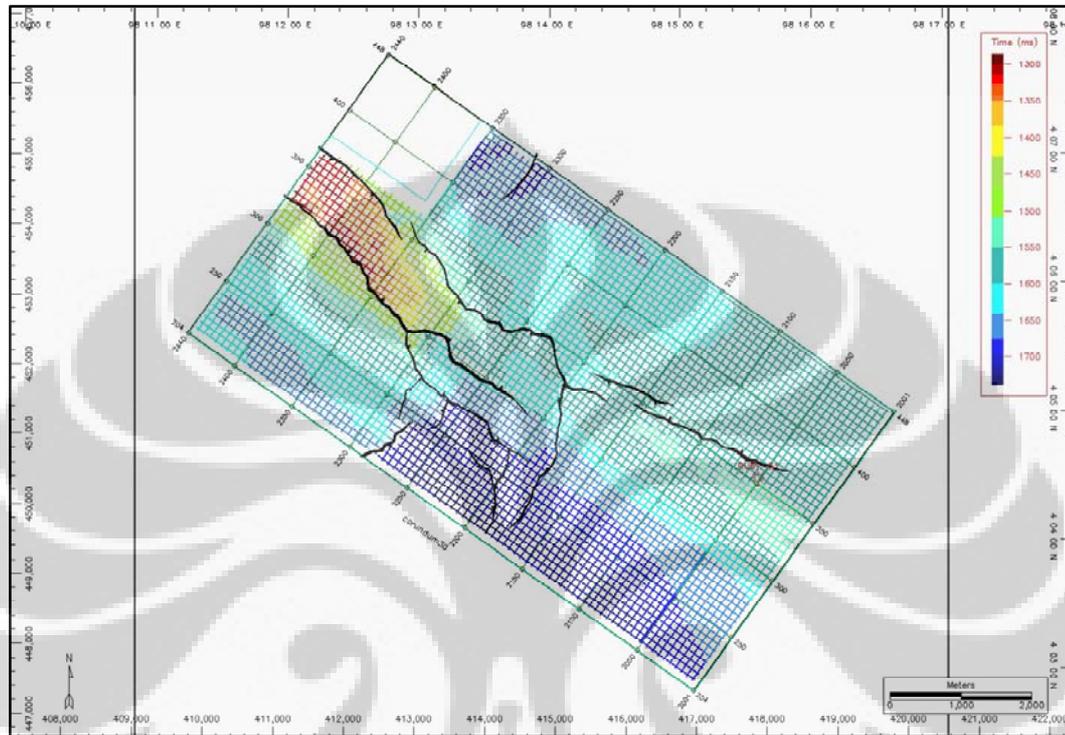
Interpretasi seismik Corundum3D akan dilakukan terhadap semua fasies batupasir anggota Middle Baong Sand yang telah dikenali dari sumur Ruby-1, yaitu sand1 (*blue horizon*), sand2 (*red horizon*), sand3 (*yellow horizon*), dan sand4 (*brown horizon*).



Gambar-4.6. Synthetic Seismogram Ruby-01, dan pengikatan Inline 2052 seismik Corundum3D terhadap sumur Ruby-1, dengan menggunakan konvensi polaritas SEG dengan fasa minimum interpretasi top batupasir ditarik pada amplitudo nol -/+ dan bottom batupasir ditarik pada amplitudo nol +/-.

Untuk meletakkan marker (skala kedalaman, m) sumur Ruby-1 pada posisi seismik Corundum3D (skala waktu, detik) maka perlu dilakukan pengikatan data seismik dan sumur (*well-seismic tie*). Dalam penelitian ini teknik pengikatan yang digunakan adalah dengan memanfaatkan hasil survei kecepatan (*check-shot survey*) untuk pembuatan seismogram sintetik seperti diperlihatkan pada Gambar-4.6. Dengan menggunakan konvensi polaritas SEG pada fasa minimum interpretasi top batupasir ditarik pada amplitudo nol -/+ dan bottom batupasir ditarik pada amplitudo

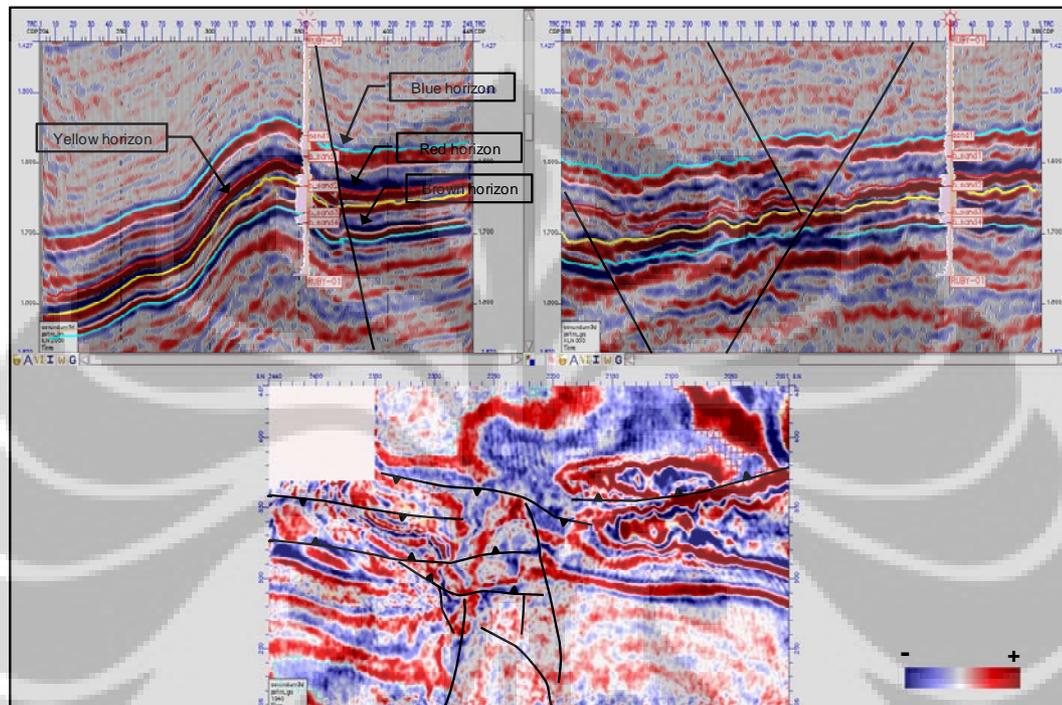
nol +/- . Kenyataan bahwa hampir semua fasies batupasir memiliki ketebalan diatas ketebalan *tuning* memungkinkan semua fasies batupasir yang dikenali pada sumur Ruby-1 dapat di-tie ke penampang seismik.



Gambar-4.7. Jejaring interpretasi dengan interval inline dan xline masing-masing 5 pada survei seismik Corundum3D.

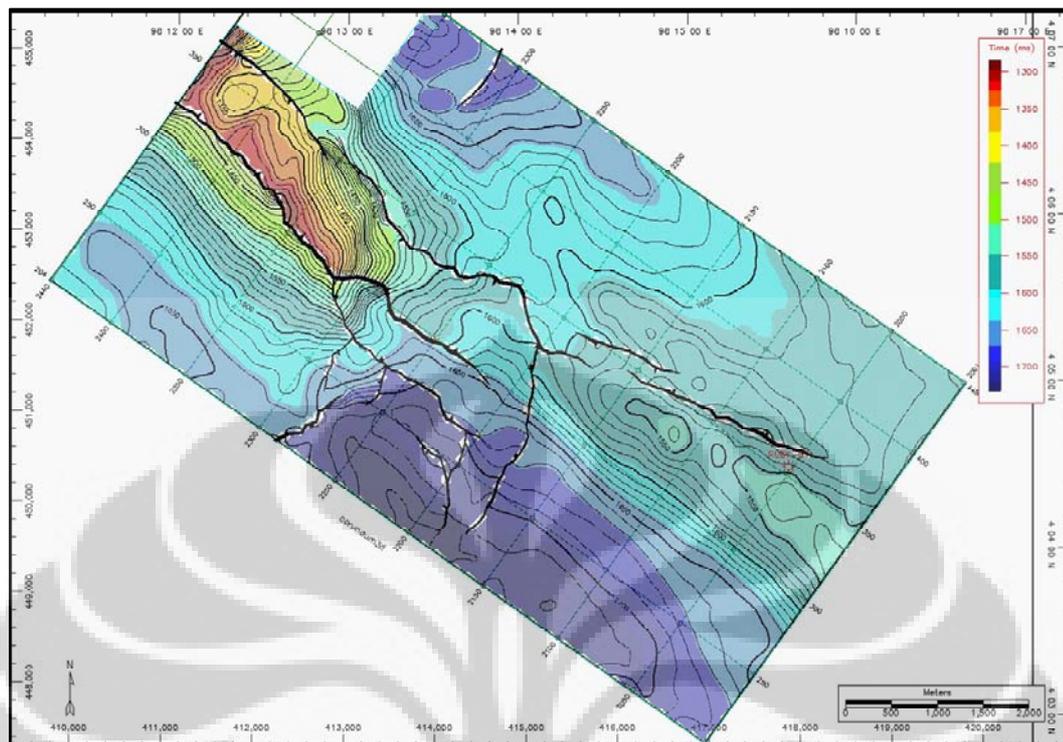
Masing-masing horison diinterpretasi dengan menggunakan sistem *autotracking* dengan control ketat agar konsisten. Hal ini diperlukan karena analisis data akan dilanjutkan dengan perhitungan atribut seismik. Untuk memudahkan kontrol interpretasi dibangunlah jejaring interpretasi seperti diperlihatkan pada Gambar-4.7, *picking* horison dilakukan per interval inline dan xline masing-masing = 5. Penarikan interpretasi harus betul-betul dijaga agar tidak *crossing event* pada penampang seismik yang dapat menimbulkan anomali palsu pada saat perhitungan atribut seismik. Dalam interpretasi seismik Corundum3D juga diterapkan konsep volum yang dilakukan melalui potongan horisontal (*time slice*) data tersebut. Gambar-4.8 memperlihatkan cek dua arah antara penampang dengan potongan seismik (*seismic section vs seismic slice*). Hal ini juga berfungsi

untuk memudahkan kontrol apabila terdapat kesalahan pada interpretasi inline vs xline, juga untuk membantu penarikan sesar. *Variance cube* yaitu atribut seismik yang memanfaatkan variansi amplitude secara full diterapkan dalam penarikan sesar.

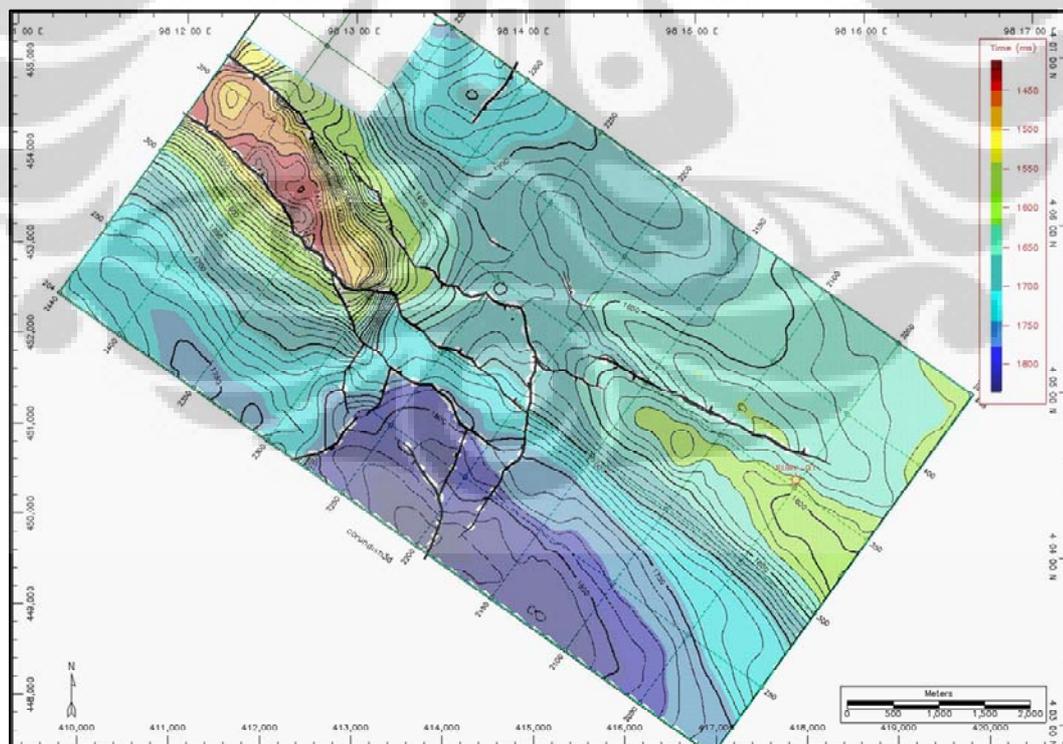


Gambar-4.8. Interpretasi horison sand1 (blue horizon), sand2 (red horizon), sand3 (yellow horizon), dan sand 4 (brown horizon) pada inline 2050 dan xline 355 seismik Corundum3D, top batupasir ditarik pada amplitudo nol  $-/+$ . Penarikan sesar dilakukan pada penampang seismik dan dikontrol pada irisan waktu.

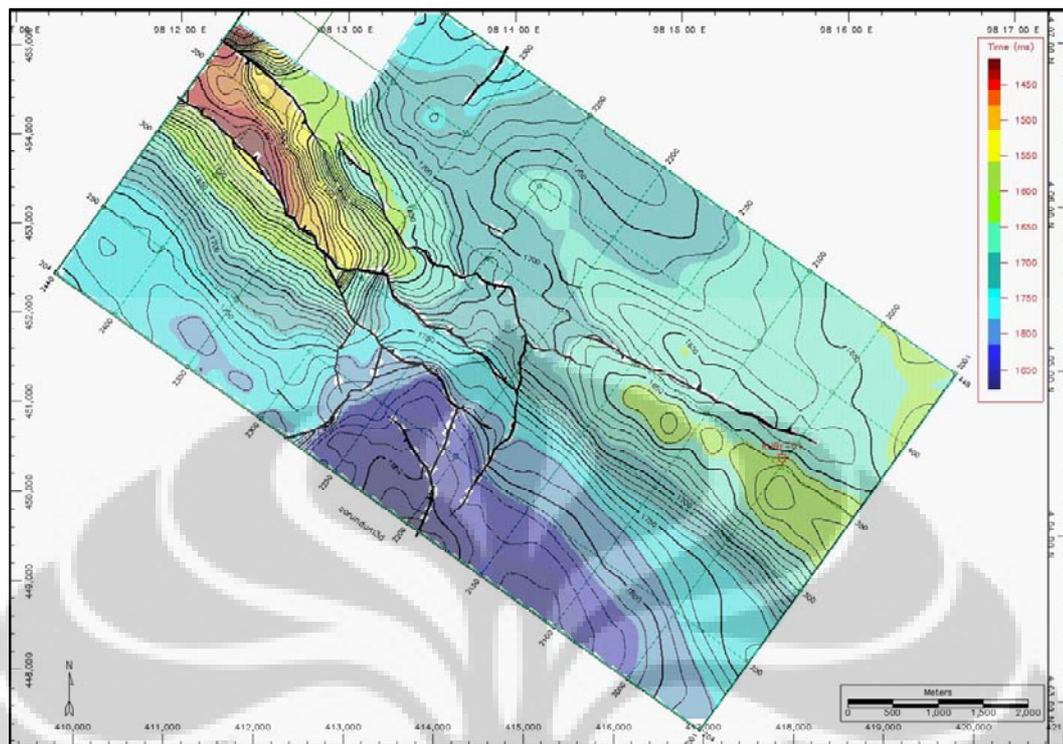
Gambar-4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12 adalah peta struktur waktu TWT (ms) yang digrid dari interpretasi masing-masing horison, yaitu *blue horizon* (sand1), *red horizon* (sand2), *yellow horizon* (sand3), dan *brown horizon* (sand4) untuk mendapatkan gambaran struktur bawah permukaan saat ini (*recent condition*). Sengaja dalam studi ini tidak dilakukan *time-depth conversion* (TDC) karena analisis lebih difokuskan pada penyebaran fasies batupasir.



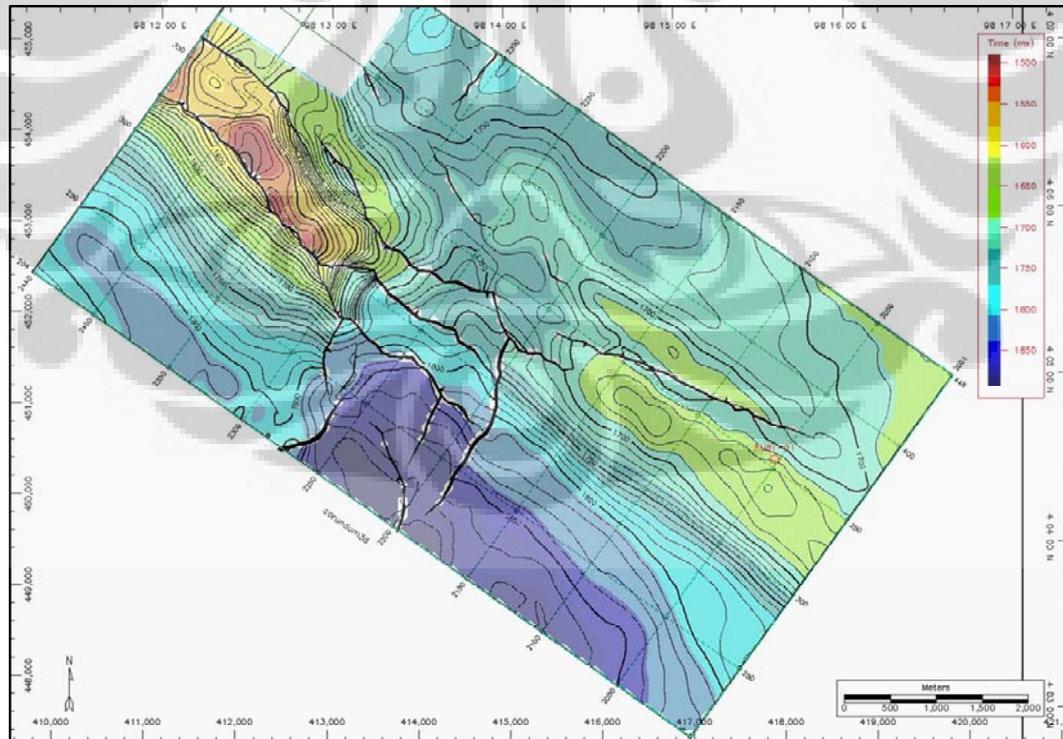
Gambar-4.9. Peta TWT (ms) blue horizon (sand1).



Gambar-4.10. Peta TWT (ms) red horizon (sand2).



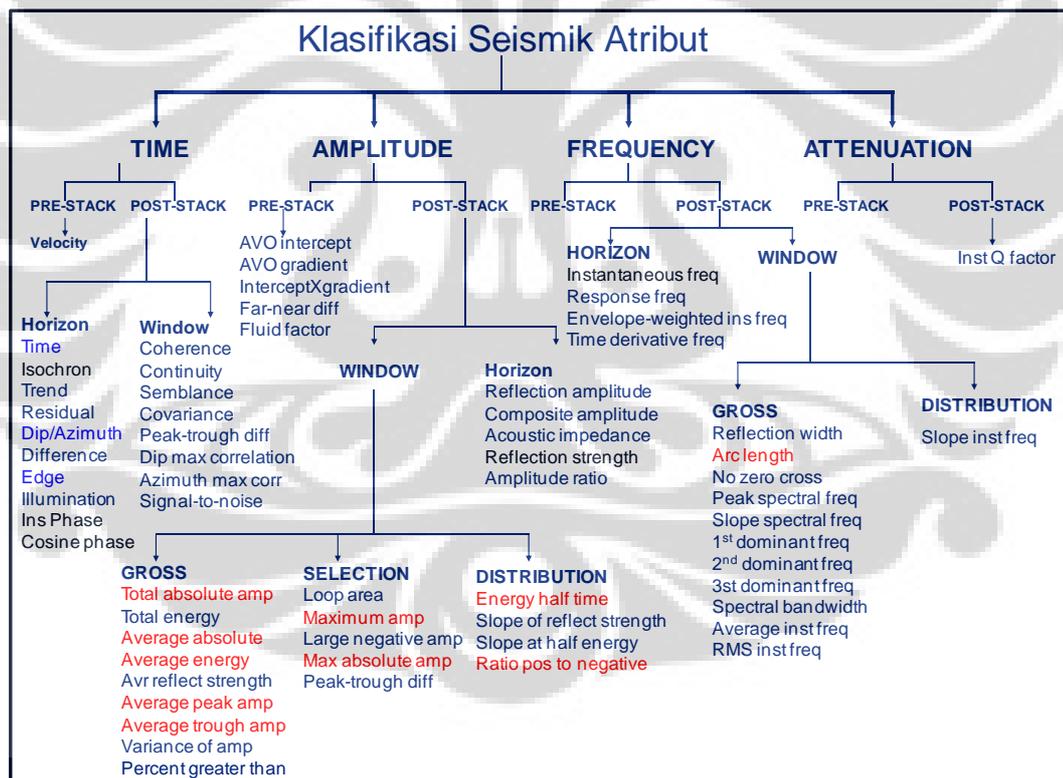
Gambar-4.11. Peta TWT (ms) yellow horizon (sand3).



Gambar-4.12. Peta TWT (ms) brown horizon (sand4).

#### 4.2.3. Analisis Atribut Seismik

Gelombang seismik dapat digambarkan sebagai sinyal analitik dengan komponen riil dan imajiner. Komponen riil adalah apa yang terekam pada penampang seismik yang selama ini digunakan dalam interpretasi. Jika jejak seismik digambarkan sebagai sebuah vector yang tegak lurus terhadap sumbu waktu dengan panjang bervariasi sebagai fungsi waktu, maka proyeksi vector yang berotasi tersebut pada bidang riil disebut komponen riil, sedangkan proyeksinya terhadap bidang imajiner yang memberikan jejak quadrature disebut sebagai komponen imajiner. Berbagai hubungan matematik antara kedua komponen ini serta fasa dan frekuensi yang dibentuknya menginspirasi munculnya berbagai atribut seismik (Gambar-4.13).

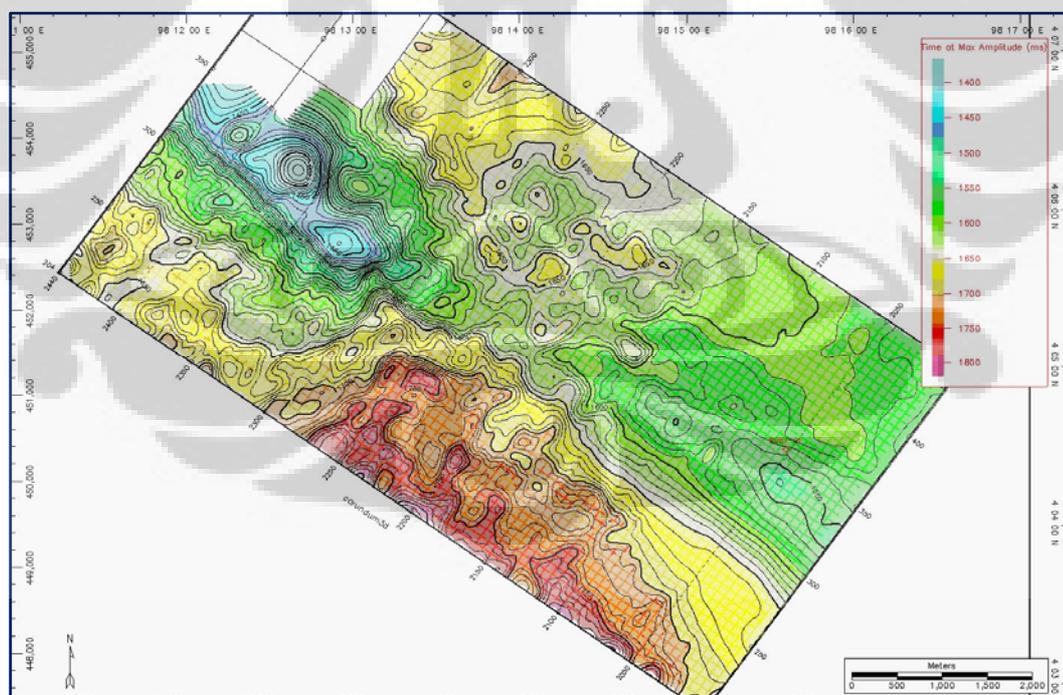


Gambar-4.13. Klasifikasi seismik atribut (Brown, 2000)

Dalam studi ini, kalkulasi atribut seismik dilakukan untuk setiap horizon yang diinterpretasi, yaitu *blue horizon*, *red horizon*, *yellow horizon*, dan *brown horizon*. Atribut seismik hanya dikalkulasi dari *top* sampai

*bottom* setiap horizon saja sehingga atribut yang diperoleh benar-benar hanya mencakup horizon tersebut. Beberapa atribut seismik yang dikalkulasi dalam studi ini meliputi atribut amplitudo, atribut waktu dan atribut frekwensi. Atribut amplitude yang dikalkulasi adalah *RMS amplitude, maximum magnitude, average peak amplitude, average seismic energy, amplitude standard deviation, sum of magnitude, sum of amplitude, ratio positive to negative, zero crossing count*, dan atribut waktu yang dikalkulasi adalah *instantaneous phase*, dan *cosine instantaneous phase*, sedangkan atribut frekwensi yang dikalkulasi adalah *seismic ach length, instantaneous frequency* dan *dominant frequency*.

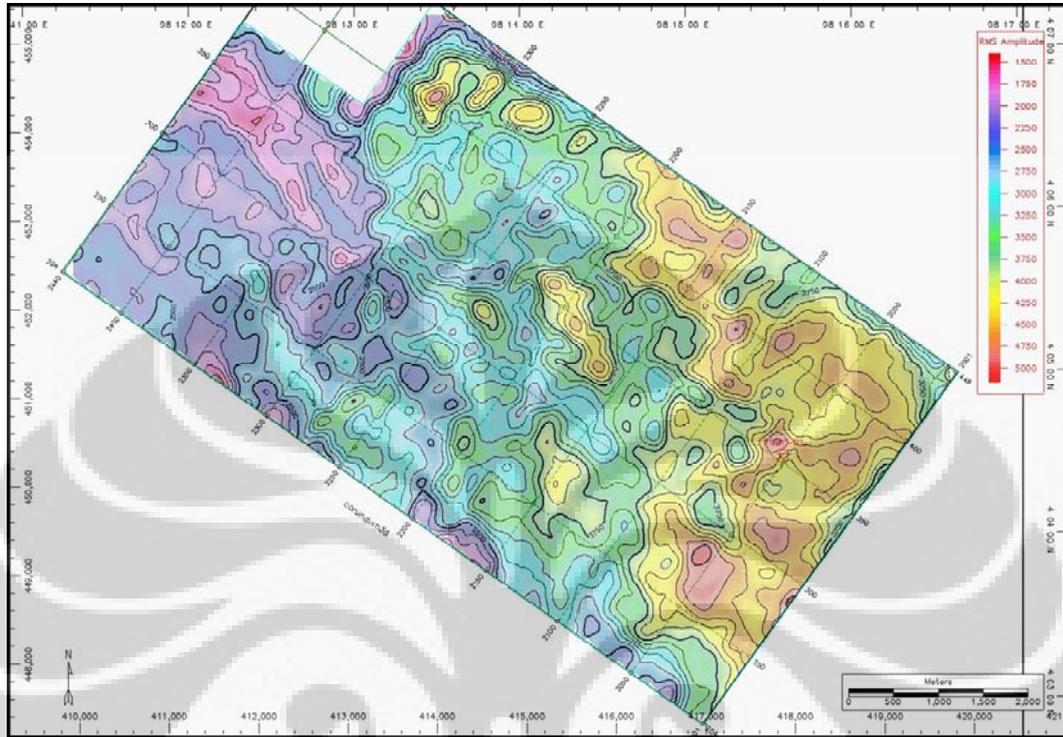
Pada Gambar-4.14 diperlihatkan peta kedalaman waktu (TWT) pada amplitude maksimum zona Middle Baong Sand. Amplitudo maksimum diinterpretasi sebagai batupasir bersih, sehingga dari peta ini dapat digambarkan distribusi kedalaman waktu dimana pasir paling bersih dalam zona interval Middle Baong Sand.



Gambar-4.14. Distribusi kedalaman waktu TWT (ms) pada batupasir bersih.

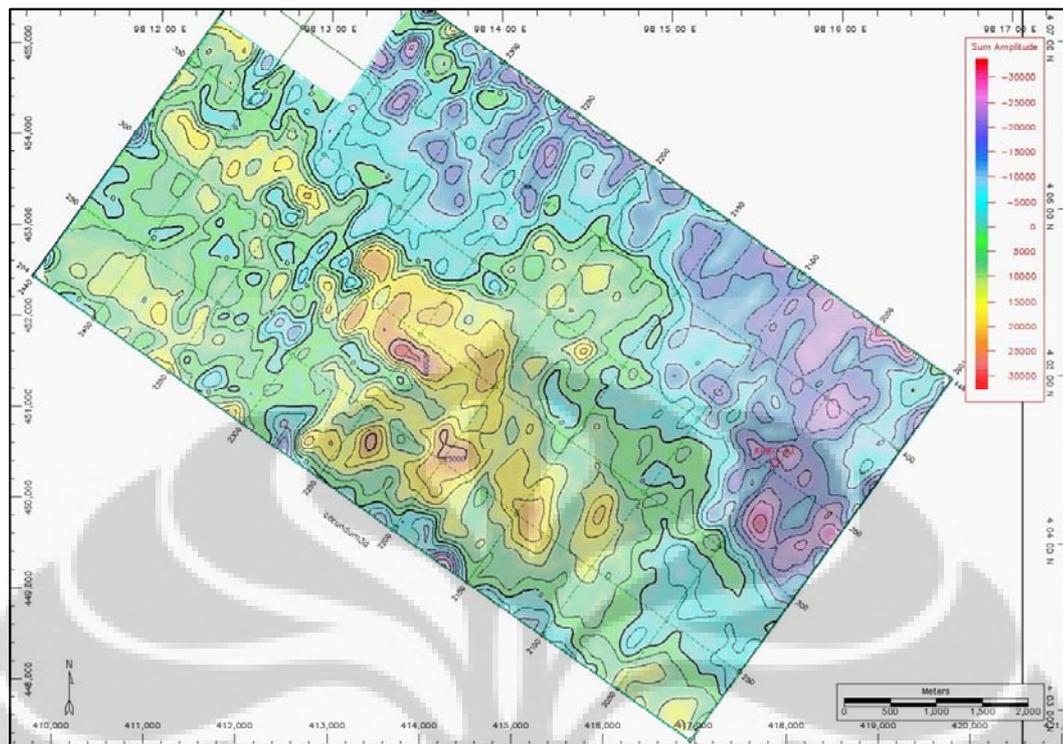
Gambar-4.15 adalah peta RMS amplitudo yang merupakan akar dari jumlah kuadrat amplitudo. Sehingga bisa diasumsikan batupasir

bersih memiliki RMS amplitudo yang besar, sebaliknya dengan batupasir halus. Dalam kasus ini tidak dibedakan antara *trough* dan *peak*.

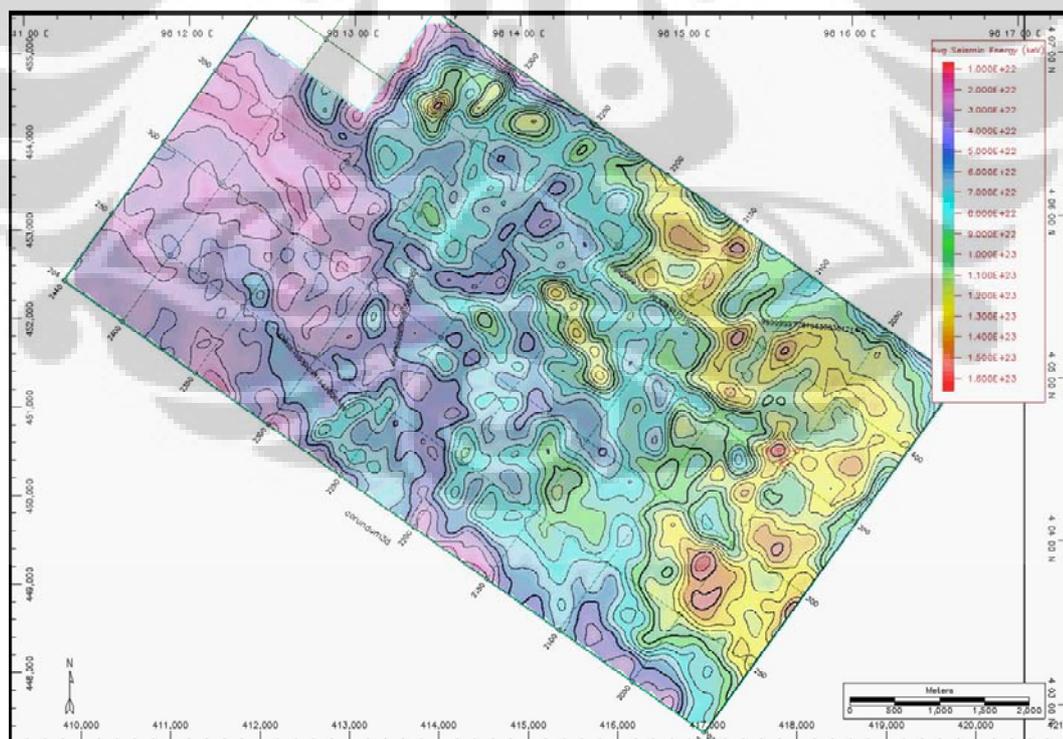


Gambar-4.15. Peta atribut RMS amplitudo pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D.

Gambar-4.16 adalah peta atribut *sum of amplitude*, yaitu total dari jumlah amplitudo. Range angka *sum of amplitude* adalah dari besar negatif sampai besar positif. Besar positif dalam interval horizon yang diwakili oleh warna kuning-merah diasumsikan batupasir bersih sedangkan besar negatif yang diwakili oleh warna ungu berarti lanau. Sedangkan batupasir halus – lanauan memiliki *sum of amplitude* kecil mendekati nol.



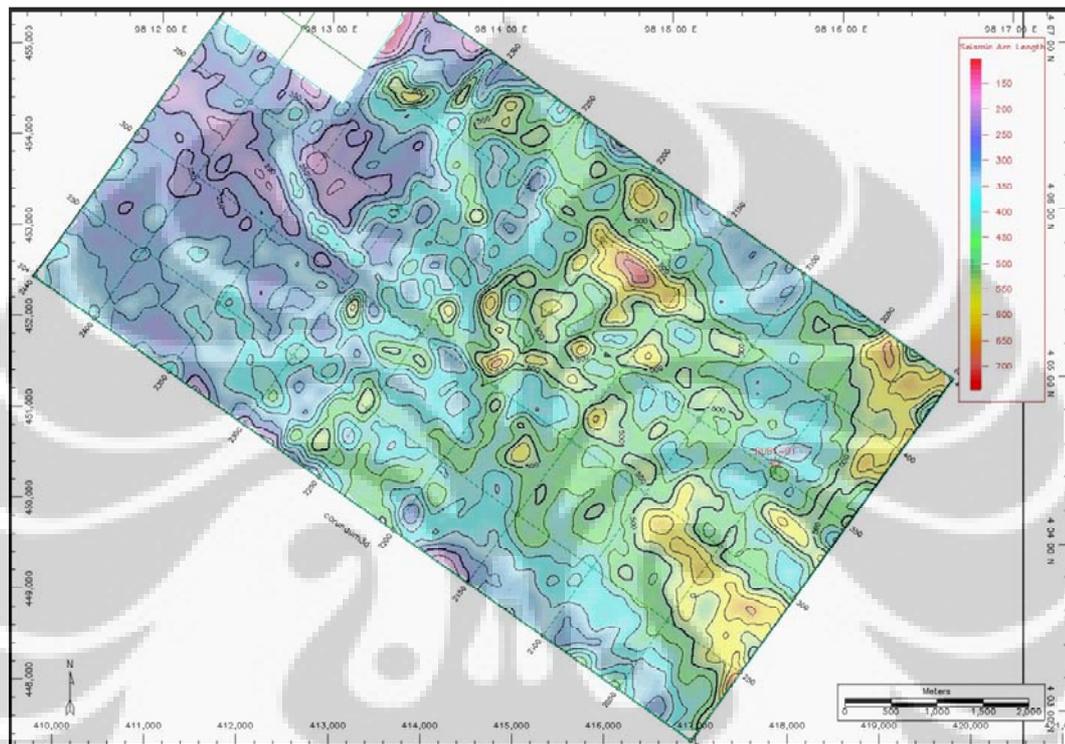
Gambar-4.16. Peta atribut *Sum of amplitude* pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D.



Gambar-4.17. Peta atribut *average seismic energy* pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D.

UNIVERSITAS INDONESIA

Gambar-4.17 adalah peta atribut *average seismic energy* yang merupakan jumlah kuadrat amplitude dibagi jumlah sampel, dengan satuan keV. Dalam kasus ini tidak dibedakan antara *trough* dan *peak*. Peralihan dari lanau ke batupasir dan peralihan dari batupasir ke lanau bisa saja memiliki energi seismik rata-rata yang sama.



Gambar-4.18. Peta atribut *seismic arc length* pada sand1 Middle Baong Sand, dari data seismik Corundum3D.

Gambar-4.18 adalah peta atribut *seismic arc length* yang dapat diformulakan sebagai :

$$\frac{\sum_{j=i}^{n-1} \sqrt{(amp(j) - amp(j+1))^2 + (T)^2}}{(n-i) \times (sample\ rate)} \quad (4-1)$$

didefinisikan sebagai panjang *trace wiggle* atau panjang busur dalam interval analisis.

Dalam studi ini dikalkulasi 14 (empat belas) atribut untuk tiap zona batupasir, terdapat 4 (empat) zona batupasir anggota Middle Baong Sand yang dianalisis, sehingga dikalkulasi 56 (lima puluh enam) grid atribut

seismik. Gambar-5.14 s/d 5.18 ditampilkan beberapa atribut dari sand1 untuk mewakili.

#### 4.2.4. Analisis Fasies Middle Baong Sand pada Prospek “Corundum” dengan *artificial neural network approach*

Seperti telah dibahas dalam bab metodologi penelitian bahwa dalam studi ini analisis fasies batupasir Middle Baong Sand akan menggunakan pendekatan *artificial neural network*. *Artificial neural network* hanyalah sebuah alat atau kepanjangan tangan dari seorang interpreter untuk mendapatkan jawaban atas permasalahan yang ingin dianalisis. Benar atau salahnya hasil analisis sangat tergantung dari pemahaman interpreter tentang objek yang menjadi bahan penelitiannya. Diperlukan kontrol yang ketat terhadap kualitas data masukan dan bahwa apakah data masukan itu memberikan arti fisis yang sesuai dengan objek penelitian atau tidak? Menjawab pertanyaan ini adalah hal pertama yang harus/wajib dikerjakan, *artificial neural network* akan mengkalkulasi atribut seismik apapun data masukannya. Bahwa itu memberikan arti geologi atau tidak sangat tergantung kepada kontrol dari interpreter.

Dalam analisis fasies ini, hal pertama yang dilakukan adalah memilah-milah atribut-atribut yang relevan untuk dijadikan masukan terhadap *artificial neural network*. Pada Gambar 4.19 diperlihatkan statistik data atribut seismik yang digunakan dan matriks korelasi memperlihatkan hubungan antara atribut, seismik. Atribut seismik yang dipilih adalah yang memiliki hubungan korelasi yang tinggi, minimum 65%, satu terhadap yang lainnya. Diharapkan pada bagian-bagian yang korelasi akan saling menguatkan sedangkan pada bagian yang tidak korelasi akan saling melemahkan. Dengan demikian diperoleh keluaran berupa “kesepakatan” semua atribut seismik yang menjadi masukan yang diasumsikan sebagai kondisi yang paling mendekati objek bawah permukaan. Namun tidak lantas memilih atribut yang setipe saja untuk dikalkulasi tetapi sebisa mungkin bervariasi dari atribut amplitudo, atribut waktu dan atribut

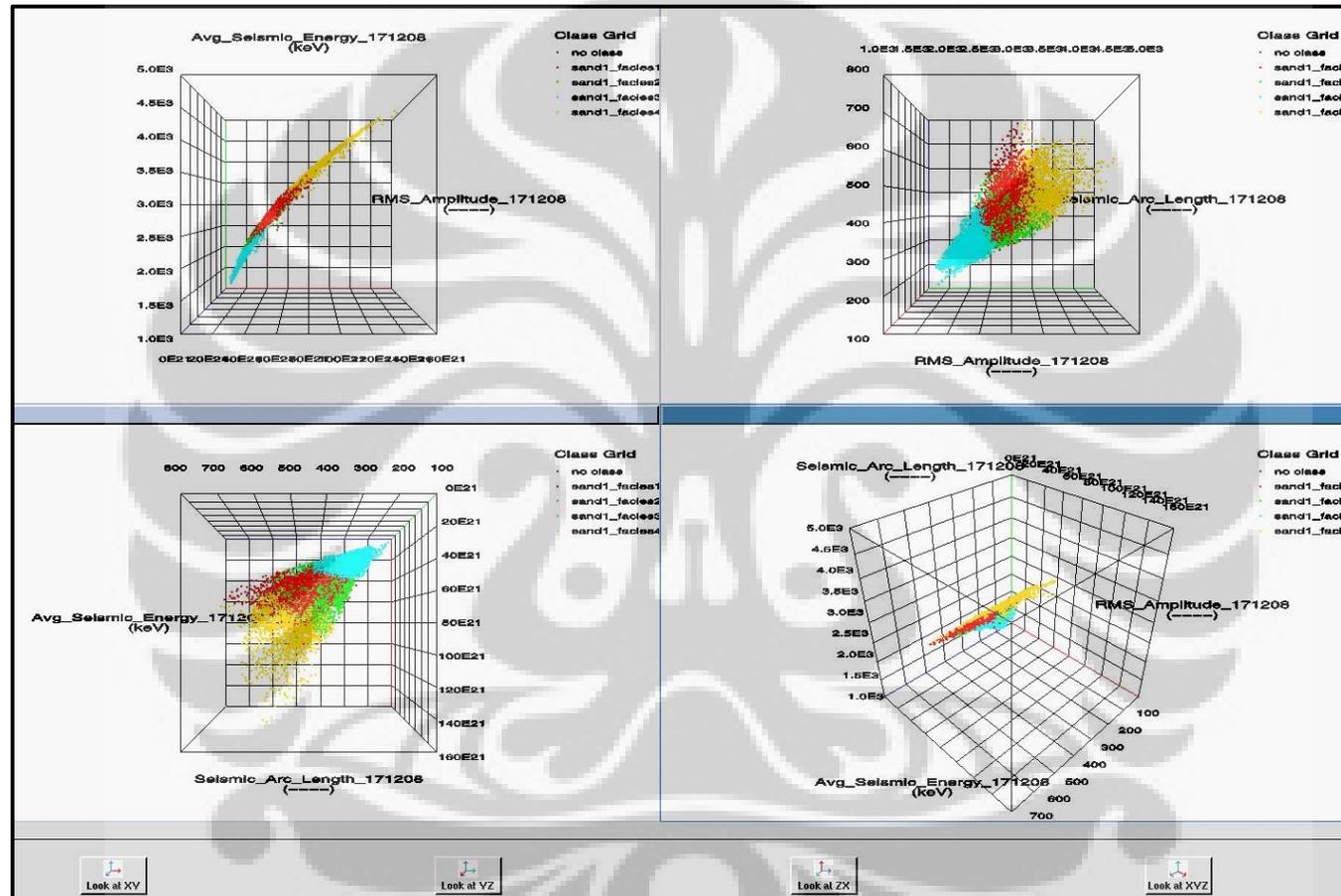
frekuensi sehingga hasil yang diperoleh selain berupa “kesepakatan” juga ada saling koreksi antara atribut satu dengan atribut yang lainnya.

Statistics									
Point Count									
Name	Selected	Displayed	Absent	Cut	OffScale	Filtered	Total		
	0	15163	0	0	0	0	15163		
All Points in									
Label	Min	Max	Average	Median	Std. Dev.	Variance	Skewness	Kurtosis	Unit
Avg_Seismic_Energy_171208	5.2498e+21	1.4431e+23	4.924e+22	4.6922e+22	1.9976e+22	3.9903e+44	0.65662	0.38389	keV
RMS_Amplitude_171208	1217.6438	4678.41309	2725.35461	2717.50317	570.36829	325319.9865	0.1318	-0.32357	----
Seismic_Arc_Length_171208	122.60293	747.10162	400.63792	400.42532	97.22464	9452.63083	0.16329	-0.50425	----
Correlation Matrix									
					Avg_Seismic_Energy_171208	RMS_Amplitude_171208	Seismic_Arc_Length_171208		
sand1	Avg_Seismic_Energy_171208	T Avg_Seismic_Energy	[373346]		*	0.98979	0.73909		
sand1	RMS_Amplitude_171208	T RMS_Amplitude	[373486]		0.98979	*	0.77067		
sand1	Seismic_Arc_Length_171208	T Seismic_Arc_Length	[373509]		0.73909	0.77067	*		

Gambar-4.19. Statistik atribut seismik dan matriks korelasi memperlihatkan hubungan antara atribut, seismik.

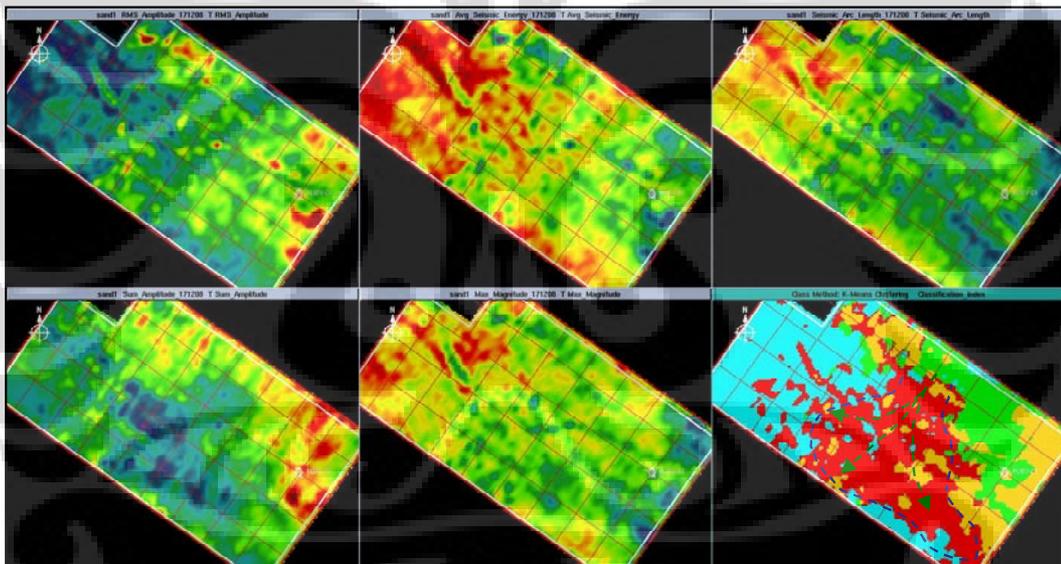
Dalam analisis ini diterapkan 2 (dua) pendekatan sebagaimana dibahas dalam bab Metodologi Penelitian, yaitu analisis dengan supervisi dan analisis tanpa supervisi. Pada analisis dengan tanpa supervisi digunakan metoda klasifikasi *K-Means Clustering*, dibuat 4 (empat) kelas fasies dengan asumsi masing-masing batupasir anggota Middle Baong Sand (sand1, sand2, sand3, dan sand 4) maksimum memiliki empat fasies yang berbeda yaitu lanau, batupasir halus-lanauan, batupasir berbutir sedang, dan batupasir bersih berbutir kasar. Dipilih (6) enam atribut seismik yang memiliki korelasi tertinggi sebagai masukan.

Gambar-4.20 adalah cross-plot antara atribut seismik pada metoda klasifikasi *K-Means Clustering*, memperlihatkan pengelompokan fasies batupasir berdasarkan sebaran dan kedekatan data. Dari *cross-plot* terlihat bahwa fasies batupasir yang berkembang di area Corundum dapat dikelompokkan dengan baik berdasarkan hubungan masing-masing atribut seismik yang ada.

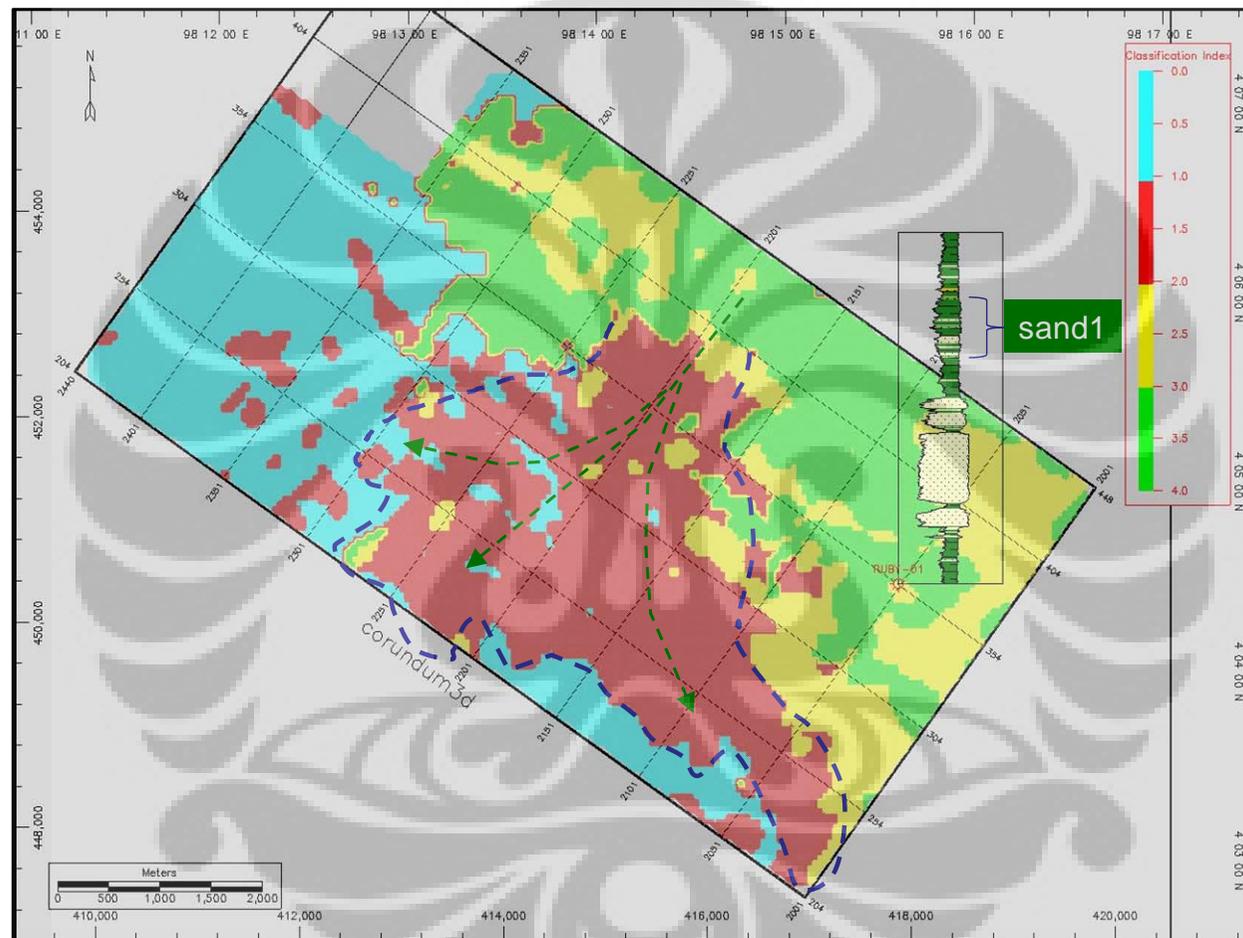


Gambar-4.20. Cross plot pada metoda klasifikasi K-Means Clustering memperlihatkan hubungan antara atribut,seismik. Kelompok data atas 4 (empat) cluster yang selanjutnya masing-masing cluster mewakili 1 (satu) fasies batupasir.

Gambar-4.21 memperlihatkan peta multi-atribut seismik batupasir sand1 (*blue horizon*) sebagai masukan pada kolom 1-5, sedang kolom 6 memperlihatkan hasil analisis dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi *K-Means Clustering* tanpa supervisi. Disini terlihat bahwa sand1 merupakan lobe batupasir yang diendapkan pada *basin floor fan* dalam *lowstand systems tract* yang berpusat di tengah arah Baratdaya (SW) survai seismik Corundum 3D. Pada sumur Ruby-1, sand1 ditembus bukan pada *lobe* kipas turbiditnya sehingga diperoleh batupasir halus dominan lanau. Namun dari peta fasies batupasir yang diperbesar pada Gambar-4.22 dapat diketahui bahwa pusat lobe-nya berada disebelah barat sumur Ruby-1.

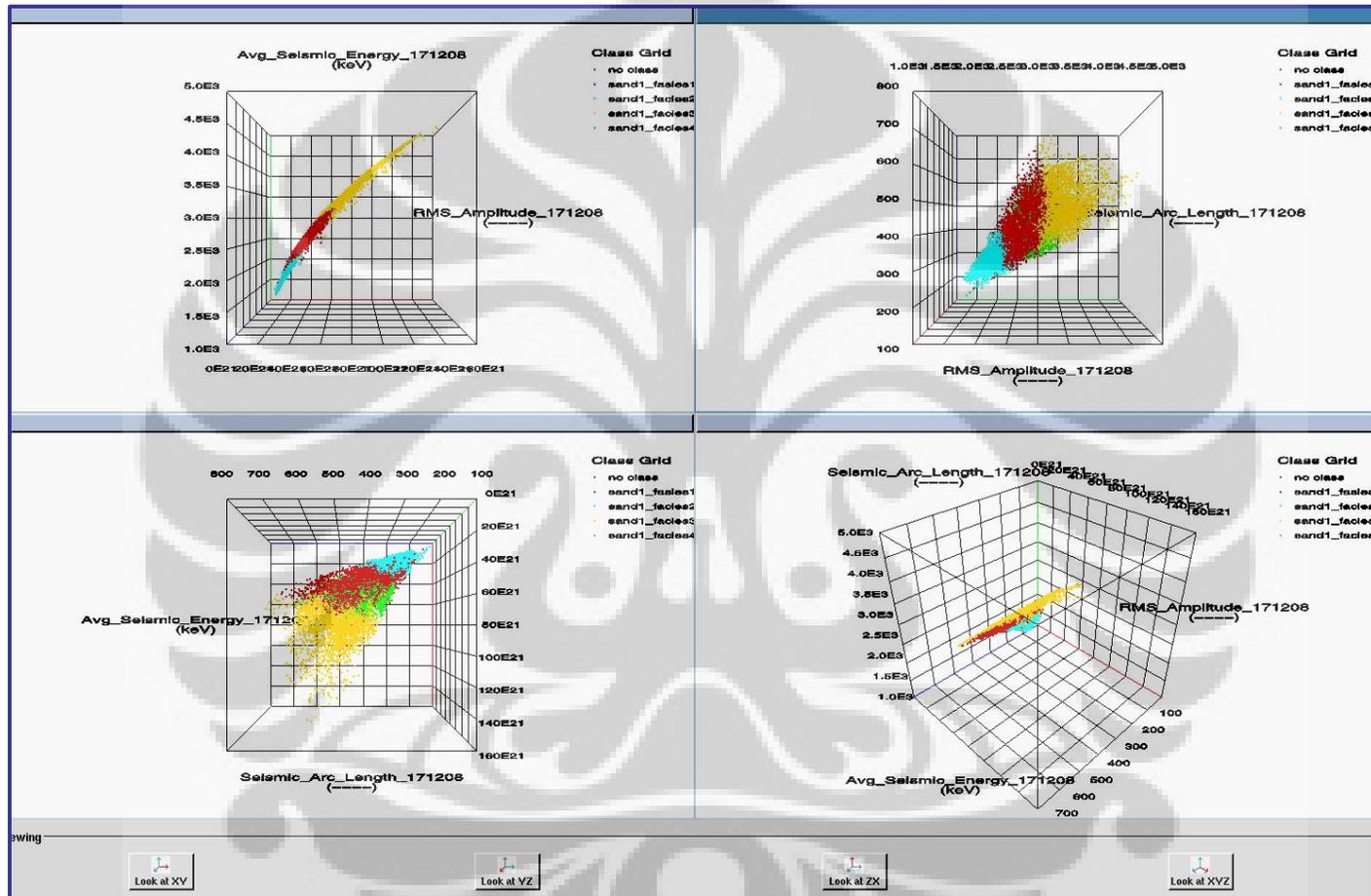


Gambar-4.21. Peta multi-atribut Seismik batupasir sand1 (*blue horizon*), dari data seismik Corundum3D dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi *K-Means Clustering* tanpa supervisi.



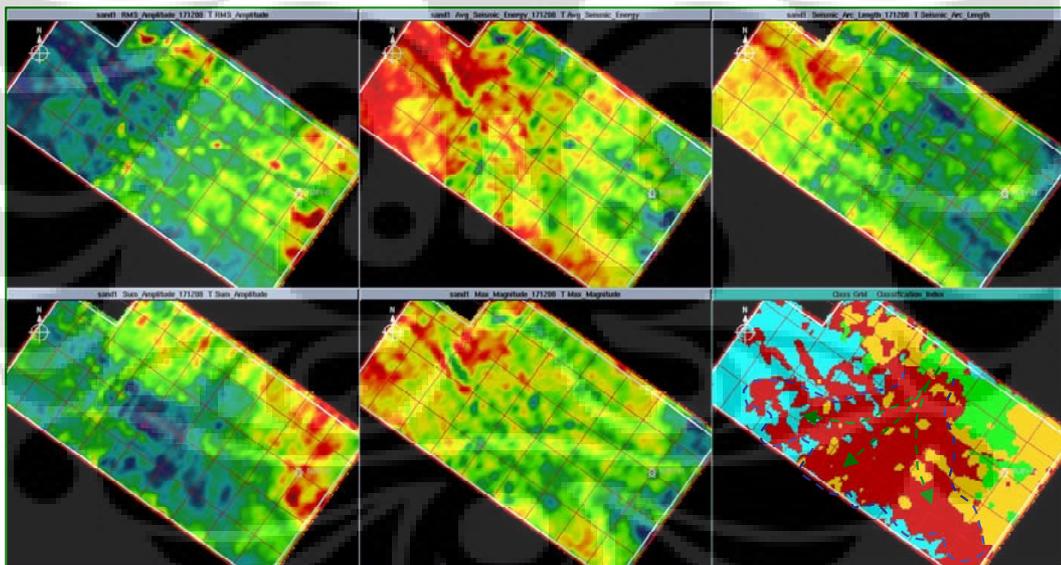
Gambar-4.22. Distribusi batupasir sand1 (*blue horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi *K-Means Clustering* tanpa supervisi.

UNIVERSITAS INDONESIA

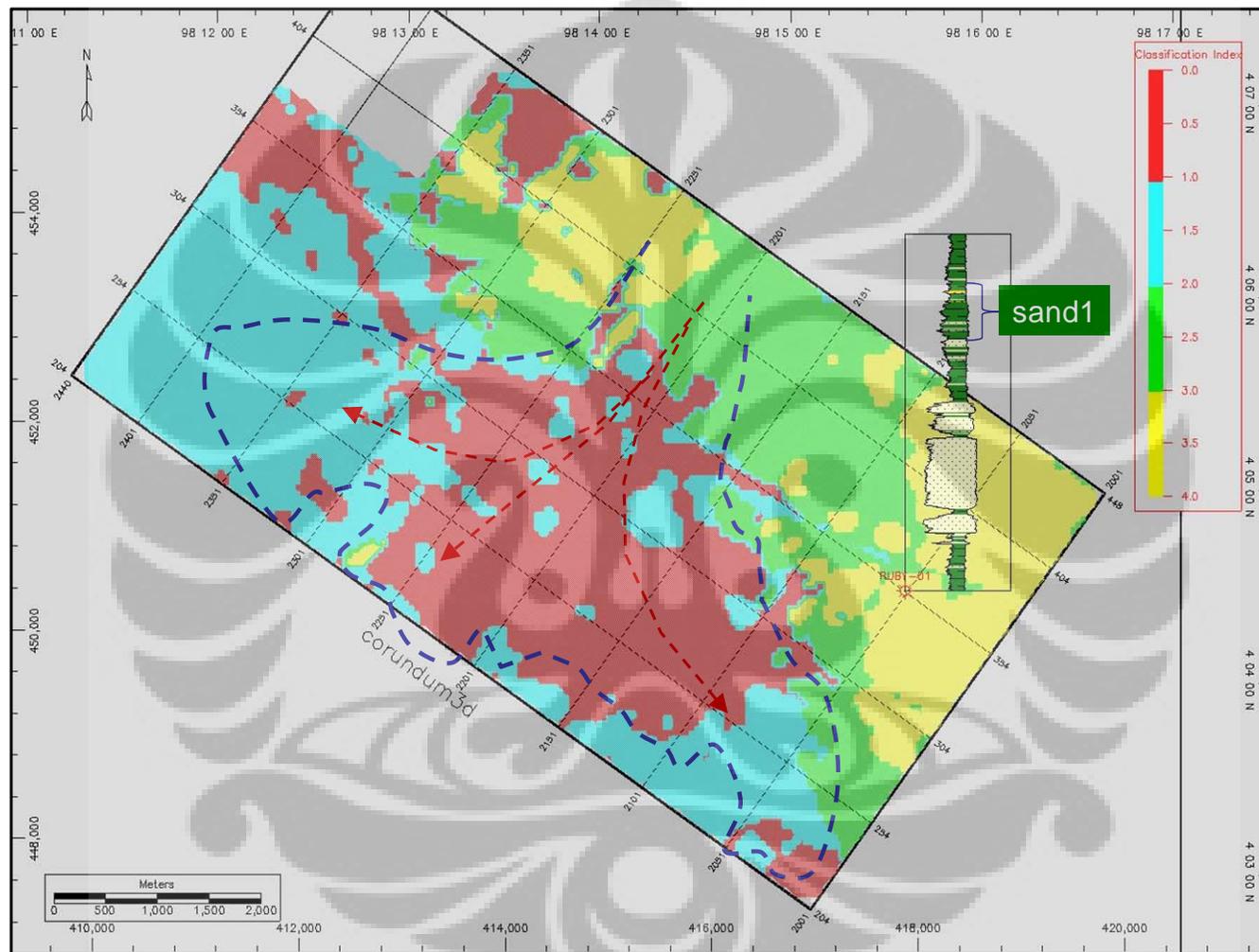


Gambar-4.23. Cross-plot pada metoda klasifikasi Bayesian memperlihatkan hubungan antara atribut,seismik. Kelompok data atas 4 (empat) cluster yang selanjutnya masing-masing cluster mewakili 1 (satu) fasies batupasir.

Pada analisis dengan supervisi menggunakan metoda klasifikasi Bayesian, dengan kelompok fasies dan masukan atribut yang sama. Pengelompokan data berdasarkan sebaran data pada *cross-plot* antara atribut seismik diperlihatkan pada Gambar-4.23. Pada Gambar-4.24, peta multi-atribut seismik batupasir sand1 (*blue horizon*) sebagai masukan pada kolom 1-5, sedang kolom 6 memperlihatkan hasil analisis dengan pendekatan artificial neural network dengan metoda klasifikasi Bayesian dengan supervisei pada titik sumur Ruby-1 yang sudah diketahui dengan pasti hasilnya. Sebaran batupasir sand1 diperlihatkan pada Gambar-4.25. Ada sedikit perbedaan dengan hasil sebelumnya yang tanpa supervisi, pada hasil penerapan supervisi terlihat *lobe* kipas turbidit lebih melebar kearah timur dibanding hasil sebelumnya. Hal ini terjadi karena adanya kontrol pada titik sumur Ruby-1.

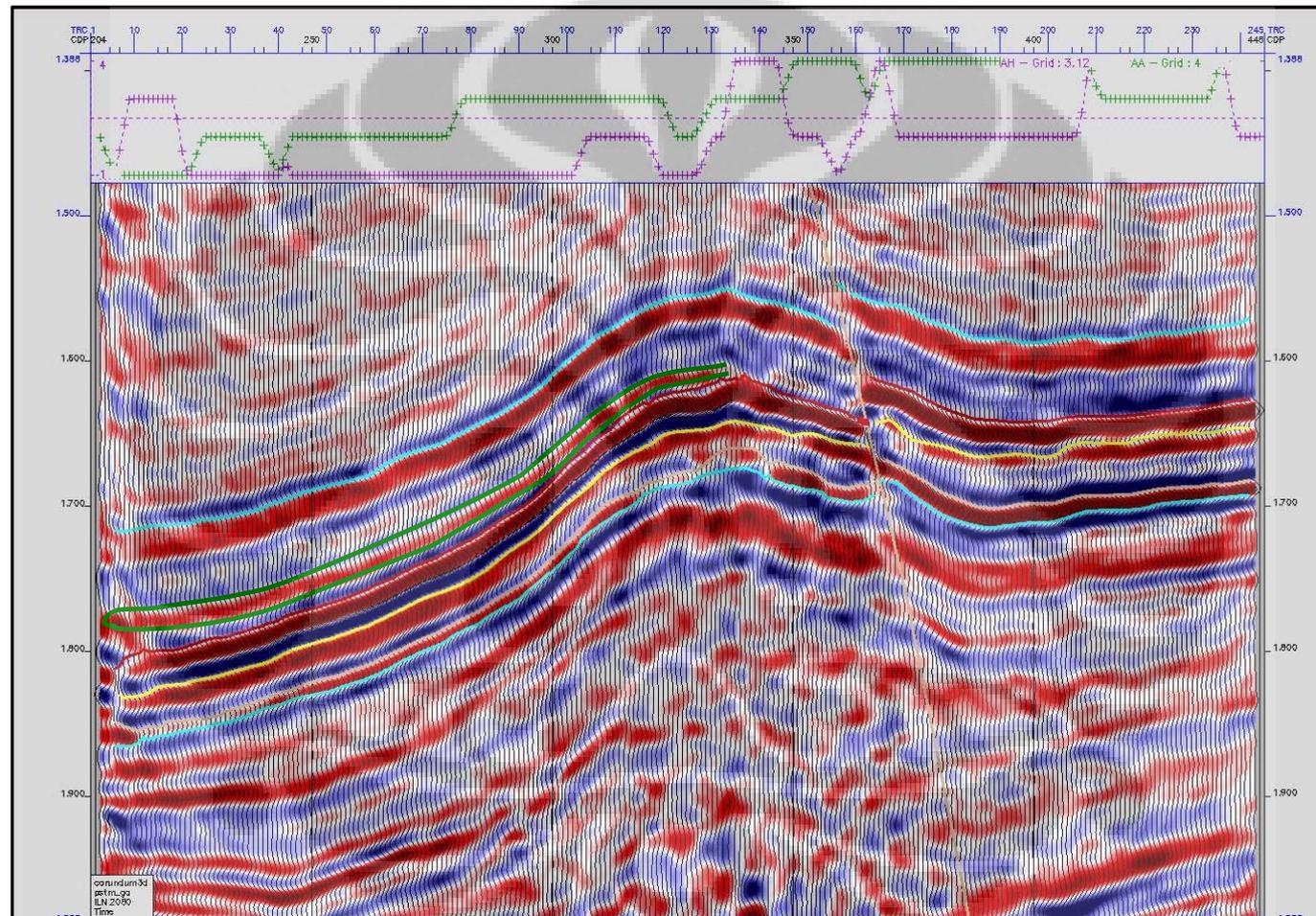


Gambar-4.24. Peta multi-atribut Seismik batupasir sand1 (*blue horizon*), dari data seismik Corundum3D dengan pendekatan artificial neural network dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi.



Gambar-4.25. Distribusi batupasir sand1 (blue horizon) dengan pendekatan artificial neural network dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi.

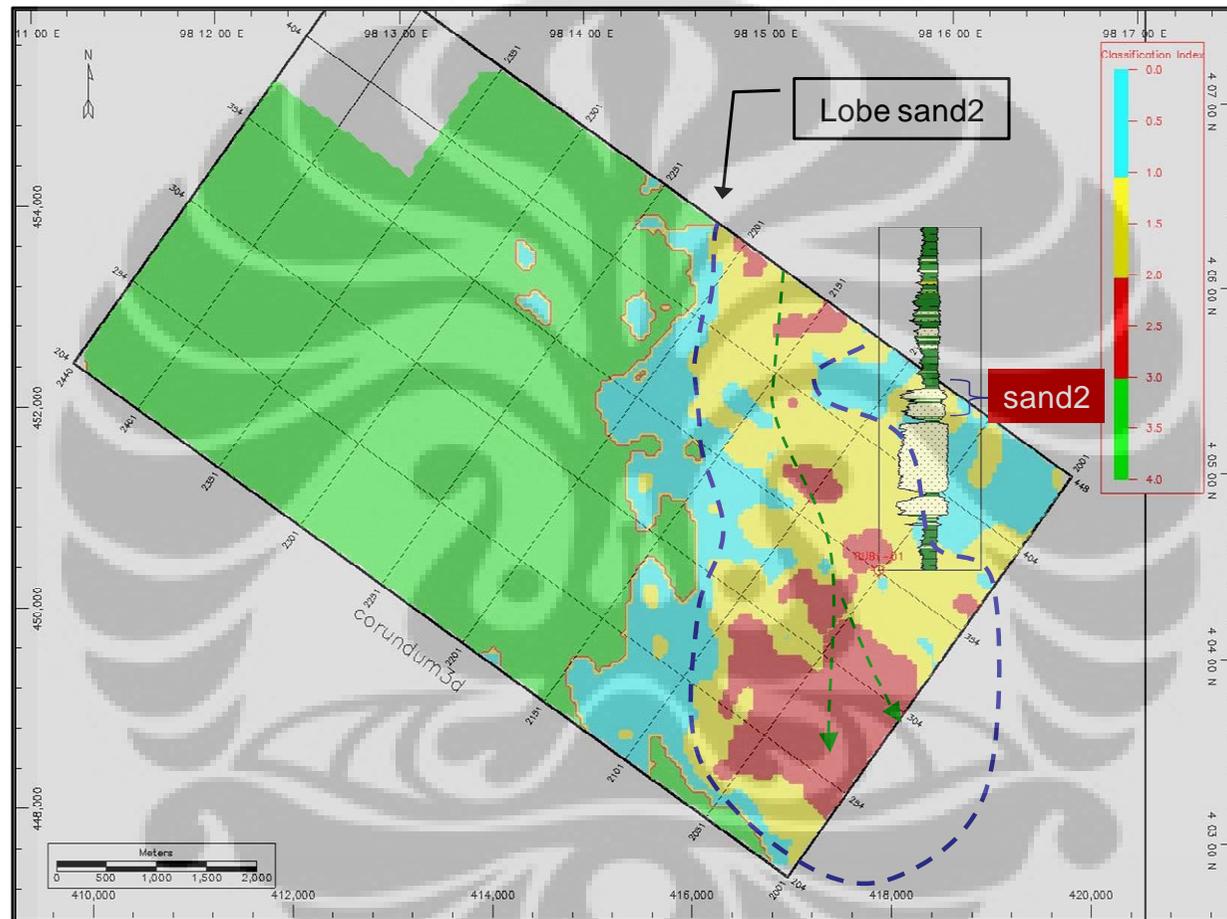
UNIVERSITAS INDONESIA



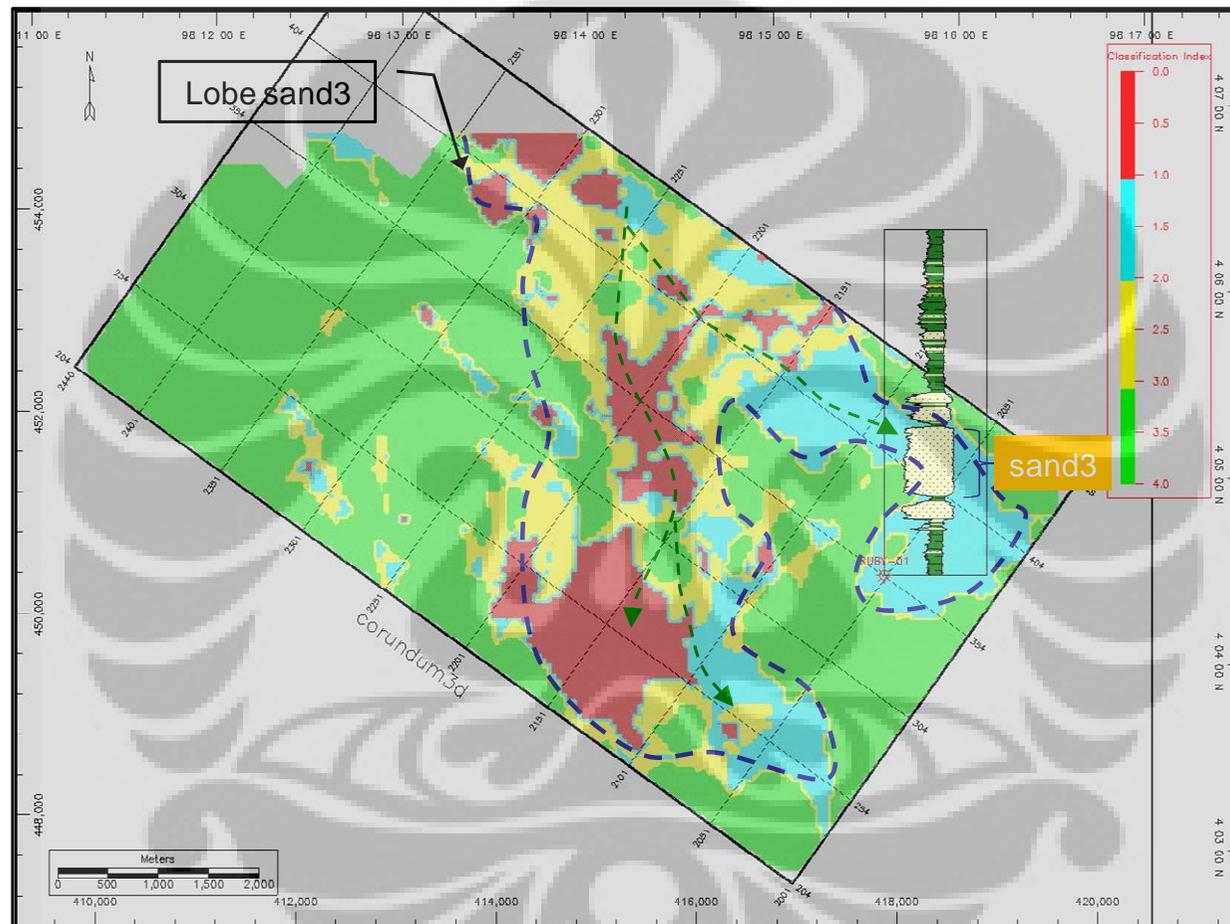
Gambar-4.26. Distribusi fasies batupasir sand1 (blue horizon) anggota Middle Baong Sand pada inline 2050 seismik Corundum3D.

Pada Gambar-4.26, diperlihatkan penampang seismik inline 2050 survai Corundum3D. Pengeplotan grid hasil analisis fasies kedalam penampang seismik ini sekaligus untuk mengontrol apakah *clustering* yang dilakukan oleh program *artificial neural network* sesuai dengan objek bawah permukaan atau tidak. Garis putus-putus warna hijau adalah distribusi fasies berdasarkan klasifikasi *K-Means Clustering*, sedangkan warna ungu adalah distribusi fasies berdasarkan klasifikasi bersyarat Bayesian. Dari pengeplotan grid hasil analisis fasies tersebut diatas, distribusi fasies batupasir sand1 (*blue horizon*) anggota Middle Baong Sand digambarkan sepanjang penampang seismik dalam arsiran warna kuning. Ini merupakan penampang *lobe sand body* produk *lowstand systems tract* kipas turbidit laut dalam sand1. Terkadang anomali yang muncul pada atribut seismik muncul akibat salah interpretasi berupa *cross event* pada saat *picking* ataupun karena hasil *seismic processing* yang kualitasnya jelek. Oleh sebab itu, cross-check ini sangat diperlukan.

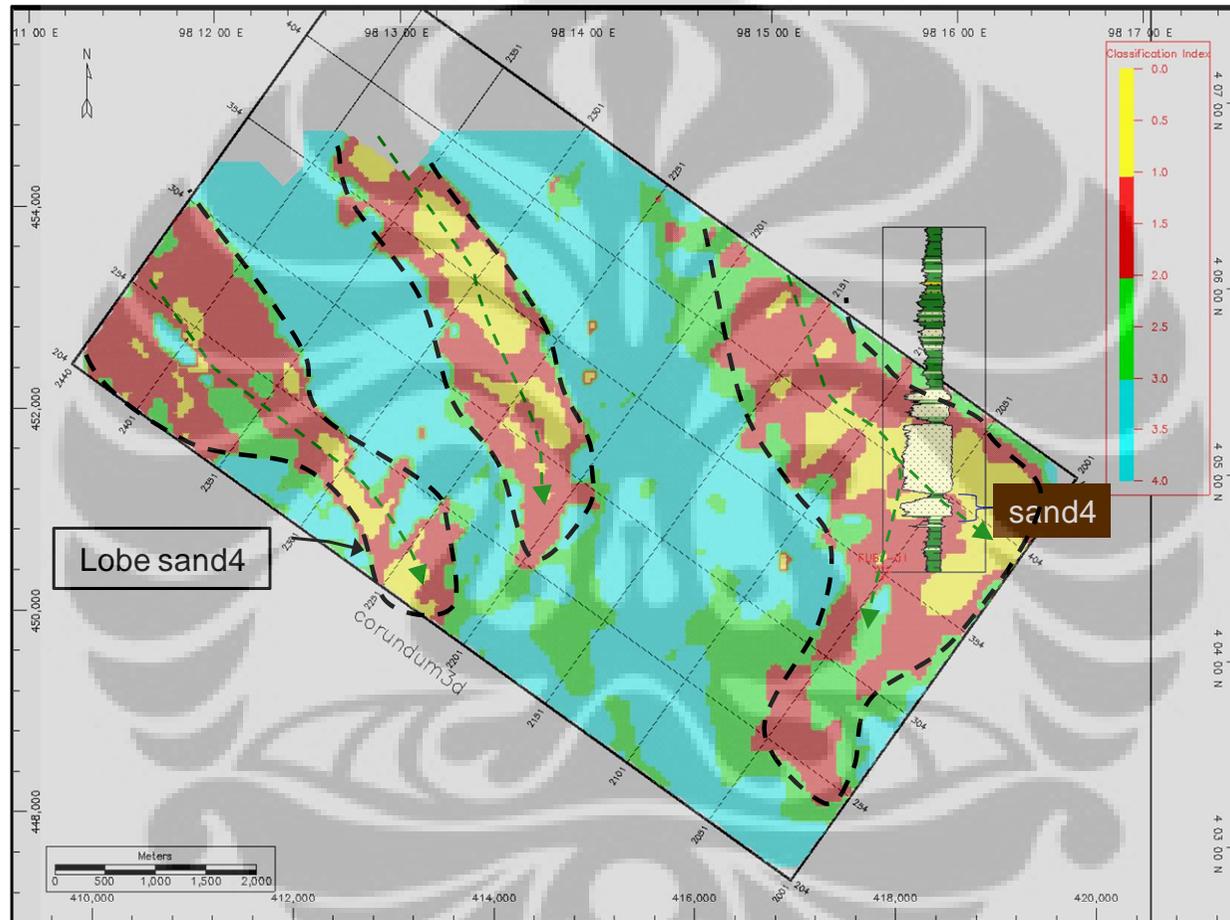
Dengan cara yang sama dengan sand1, penyebaran fasies batupasir sand2, sand3, dan sand4 dapat dipetakan distribusi lateralnya (Gambar-4.27, 4.28, dan 4.29). Pada Gambar-4.30 terlihat bahwa ada 4 (empat) fasies batupasir turbidit dalam area Corundum3D berturut-turut dari tua ke muda; (1) fasies batupasir-4 berbutir sedang – kasar dengan kenampakan *coarsening upward* pada elektrofases sebagai produk *cannel fill*, (2) fasies batupasir-3 berbutir sedang - kasar, (3) fasies batupasir-2 perselingan pasir halus - sedang dan lanau, dan terakhir (4) facies batupasir-1 diperoleh sebagai batupasir berbutir halus - lanauan pada sumur Ruby-1 namun ditemukan sebagai lobe turbidit di baratdaya sumur Ruby-1. Arah sedimentasi adalah dari Tinggian Malaka, fasies batupasir-4 yang paling tua provenannya dari arah barat laut, berangsur-angsur bergeser searah jarum jam hingga provenan fasies batupasir-1 yang paling muda adalah dari arah utara.



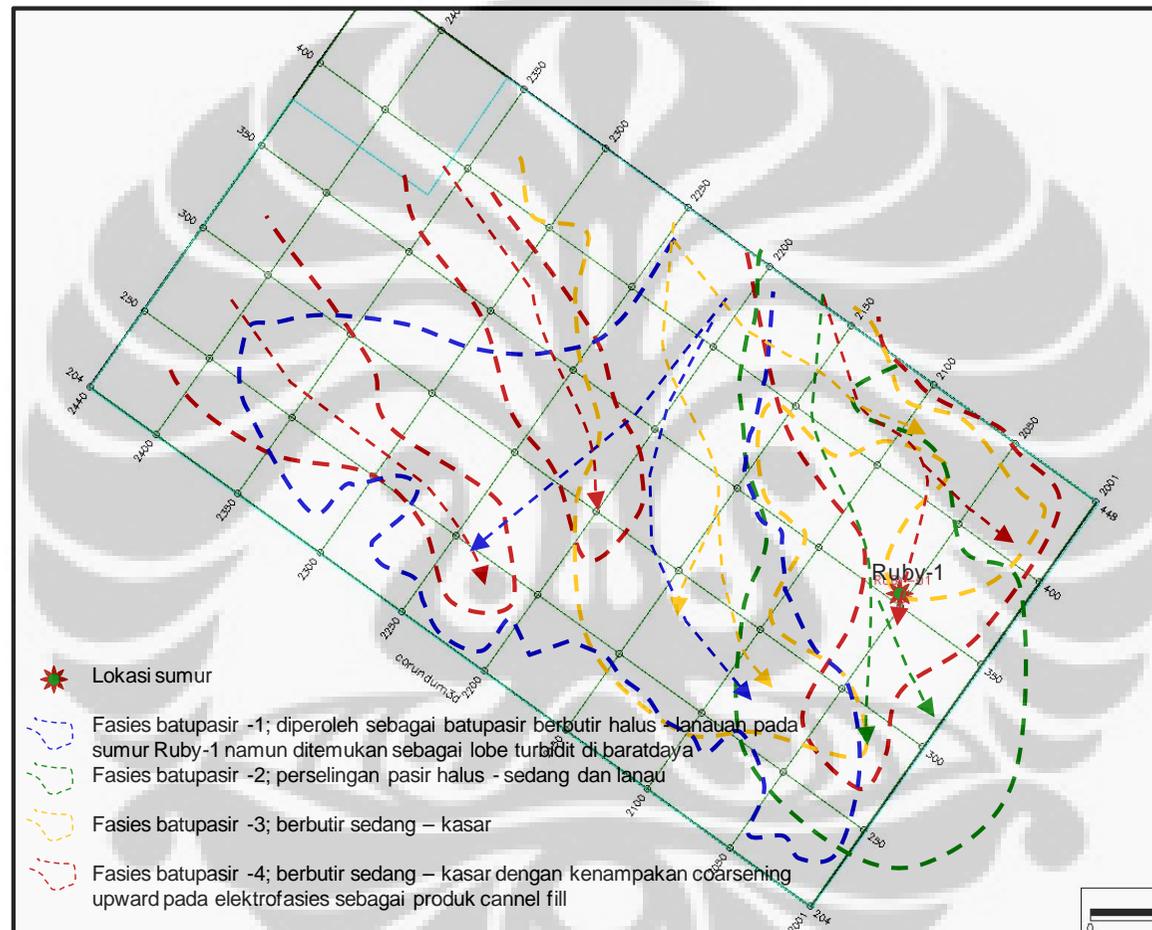
Gambar-4.27. Distribusi batupasir sand2 (red horizon) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi.



Gambar-4.28. Distribusi batupasir sand3 (yellow horizon) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi.



Gambar-4.29. Distribusi batupasir sand4 (brown horizon) dengan metoda klasifikasi Bayesian disupervisi.



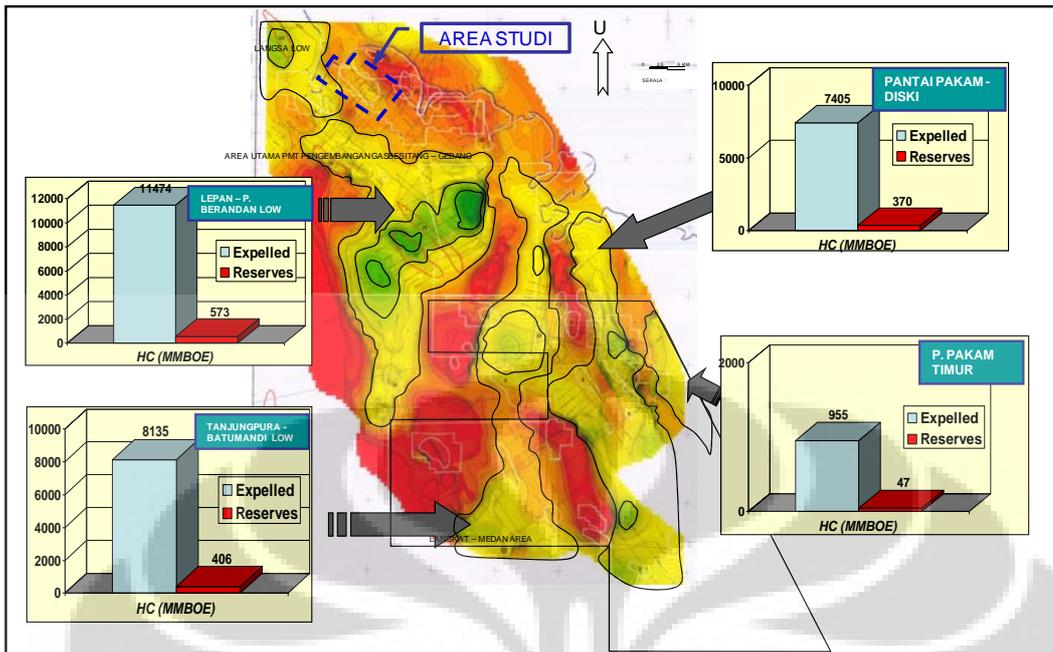
Gambar-4.30. Peta sebaran fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara.

Jadi dapat disimpulkan bahwa semua fasies batupasir anggota Middle Baong Sand yang berkembang pada area Corundum provenansi sedimentasinya adalah dari Tinggian Malaka. Hal ini semakin menguatkan “aliran” yang berkembang diantara peneliti dan pemerhati Cekungan Sumatra Utara yang menganggap bahwa provenansi sedimentasi Middle Baong Sand terbagi atas 2 (dua) bagian, anggota batupasir Middle Baong Sand yang berumur N11-N12 (kelompok Duyung Sand dan kelompok Gebang Sand) dan sekarang ditambah kelompok “Corundum Sand” provenansi sedimentasinya dari arah timurlaut atau Tinggian Malaka sedangkan anggota batupasir Middle Baong Sand yang lebih muda (kelompok Besitang River Sand) provenansi sedimentasinya adalah dari selatan-baratdaya atau Bukit Barisan.

#### 4.2.5. Potensi Hidrokarbon Middle Baong Sand pada prospek “Corundum”.

##### 4.2.5.1. *Petroleum System*

Pada daerah prospek “Corundum”, *petroleum system* sudah terpenuhi dengan baik. Formasi Bampo dan Formasi Belumai telah terbukti sebagai batuan induk, *generator* hidrokarbon yang kaya material organik/kerogen. Kematangan, *timing* dan migrasi hidrokarbon pun terbukti berjalan dengan baik. Permulaan pembentukan hidrokarbon di Cekungan Sumatra Utara terjadi pada sekitar 8 (delapan) juta tahun yang lalu atau sekitar Miosen Akhir. Sebagian hidrokarbon terperangkap di deposenter dan di dalam perangkap yang ada sebelumnya (Formasi Belumai), kemudian bermigrasi ke struktur yang lebih tinggi (anggota batupasir Middle Baong Sand dan batupasir Lower Keutapang) melalui sistem sesar yang terbentuk pada kala Plio - Plistosen.

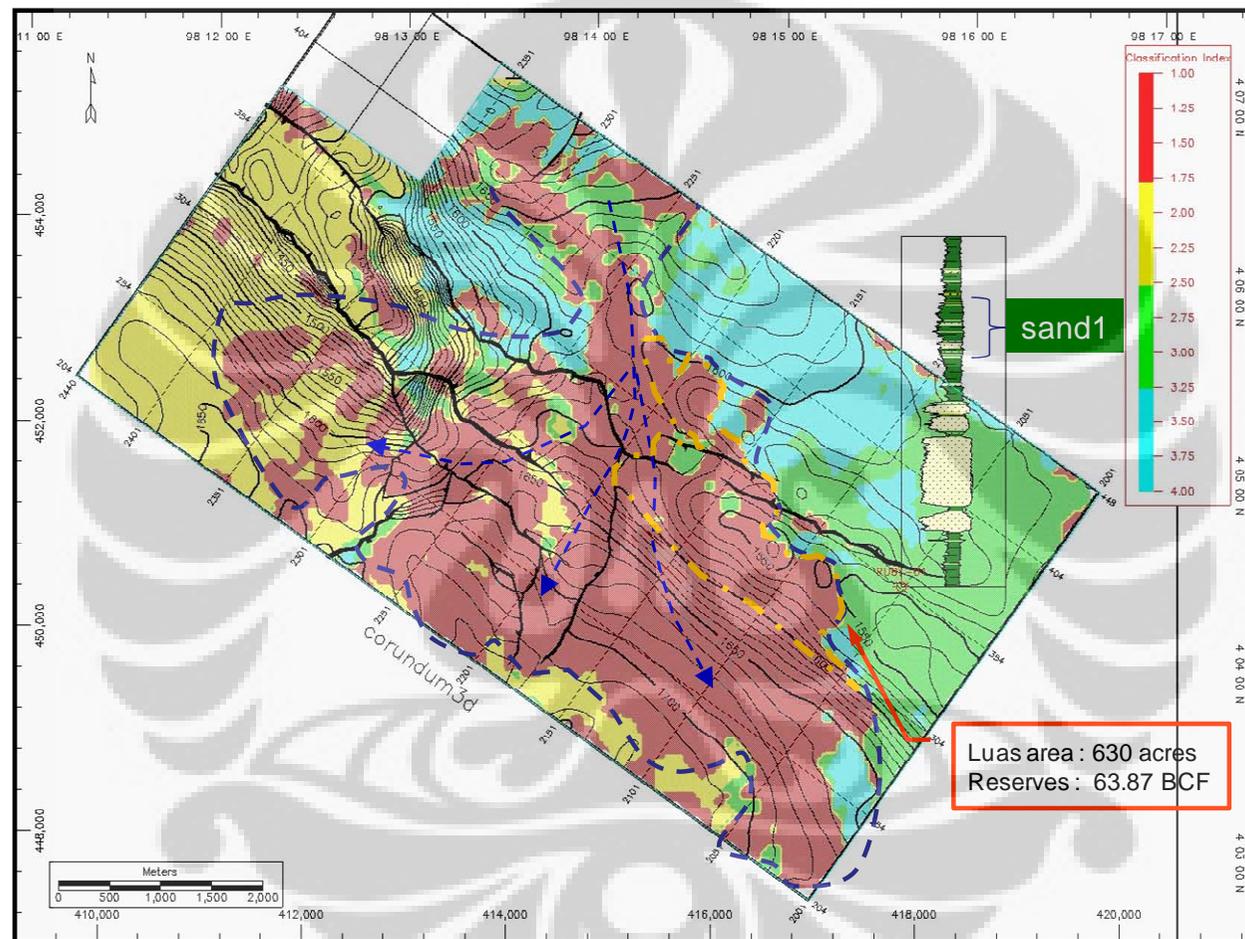


Gambar-4.31. Peta penyebaran batuan induk daerah Aru-Langkat, Cekungan Sumatra Utara (modifikasi dari PPGBG, 2008).

Dari Gambar-4.31, dapur hidrokarbon yang mensuplai prospek “Corundum” diharapkan berasal dari Pangkalan Brandan - Lepan Low yaitu serpih dari Formasi Bampo dengan kerogen tipe-III, potensial oil / gas (gas prone). Patahan naik dan patahan normal yang berkembang di sekitar prospek diharapkan bertindak sebagai media migrasi vertikal ke reservoir batupasir Middle Baong Sand dan batupasir Lower Keutapang yang sudah terbukti diproduksi di area ini.

#### 4.2.5.2. Potensi Hidrokarbon

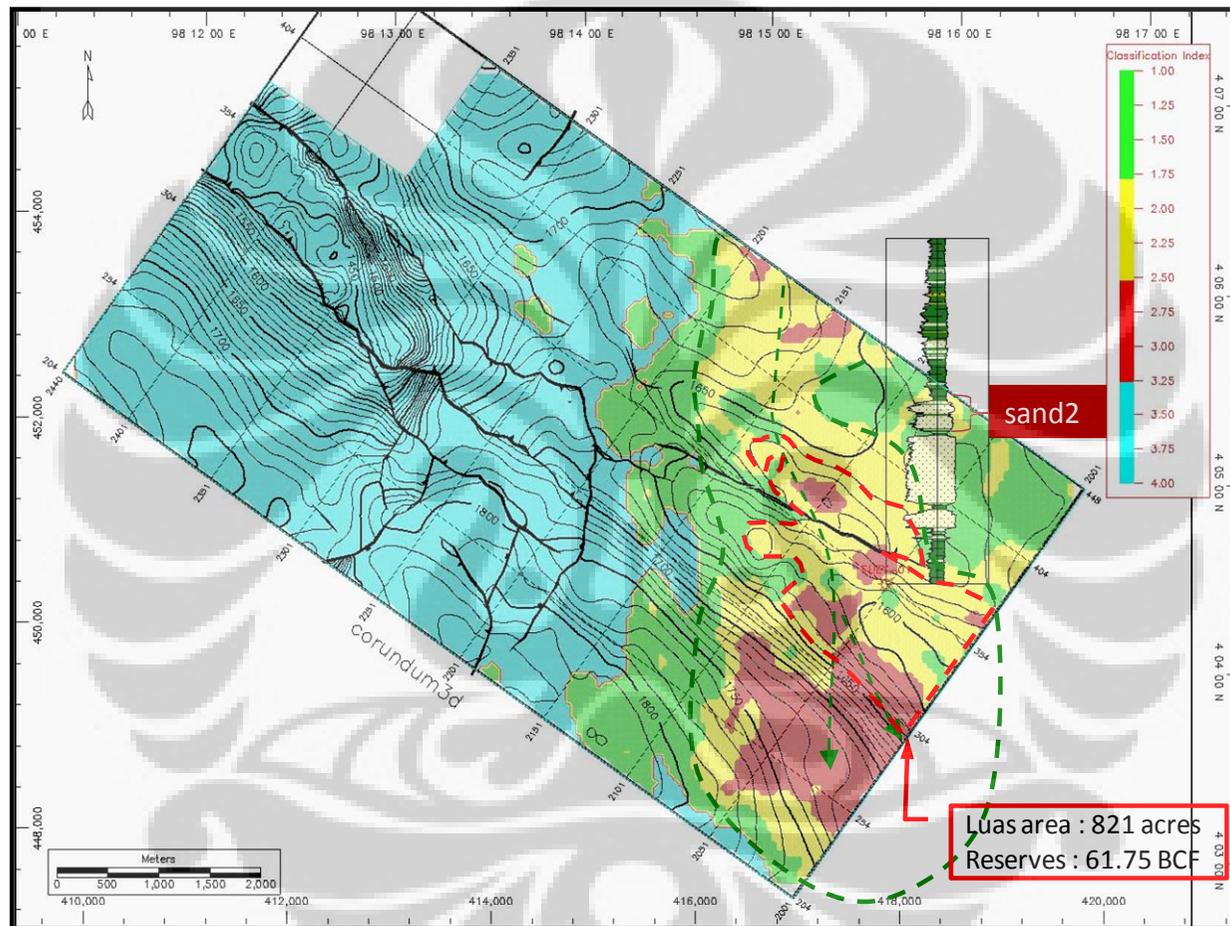
Perangkap hidrokarbon yang terbentuk pada batupasir Middle Baong Sand, prospek “Corundum”, adalah kombinasi antara perangkap struktural dan perangkap stratigrafis akibat perubahan fasies batupasir. Karakteristik batupasir Middle Baong Sand pada sumur Ruby-1 adalah berupa kwarsa berwarna abu-abu kekuningan, berukuran sangat halus hingga kasar, dan gampingan, mempunyai porositas bervariasi dari buruk – sangat baik (5 – 25 %) tergantung fasies yang berkembang. Sedangkan ketebalannya bervariasi dari 5 hingga 80 meter *net sand*.



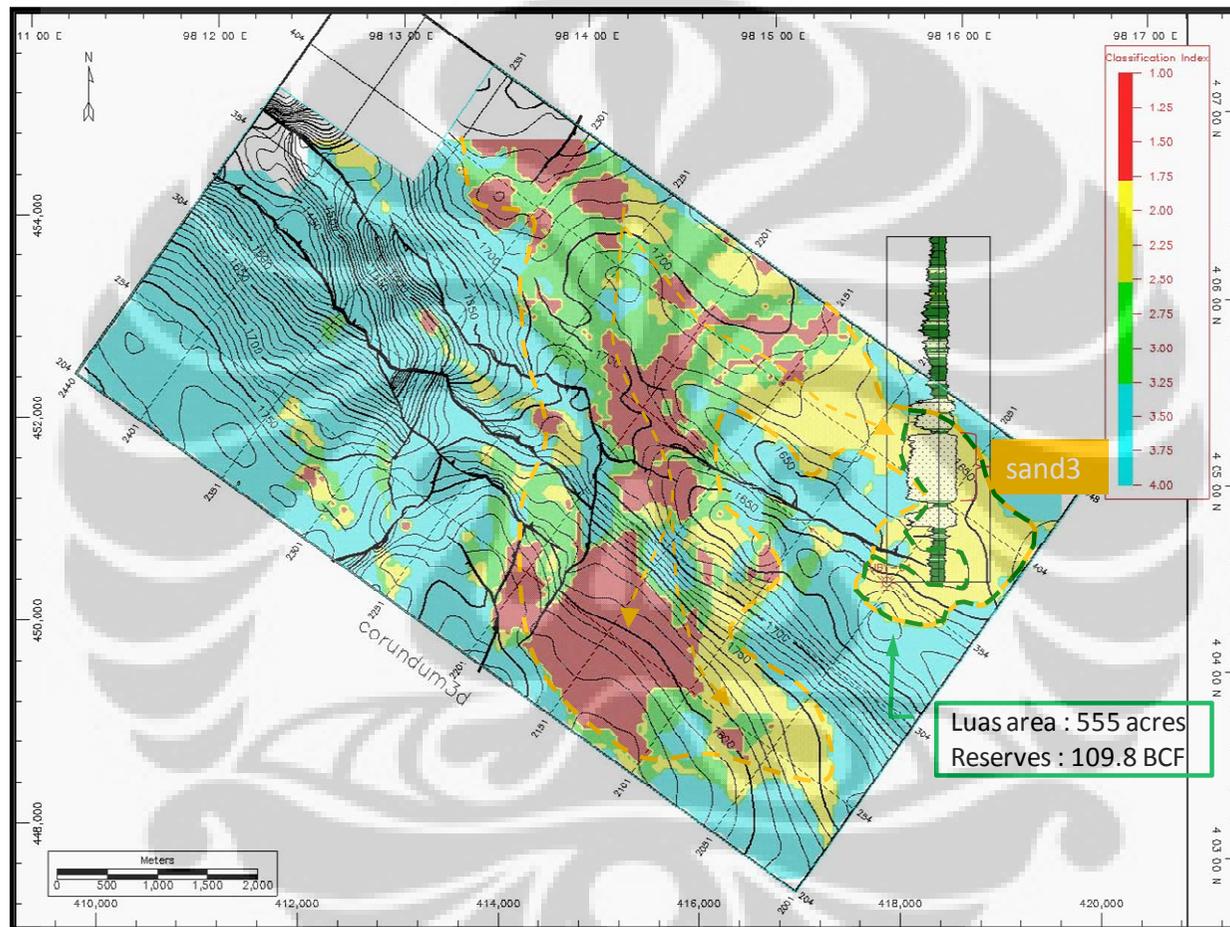
Gambar-4.32. Peta struktur versus distribusi batupasir sand1 (blue horizon) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian.

Dari Gambar-4.32, perangkat hidrokarbon fasies batupasir-1 adalah kombinasi struktural dan stratigrafis dengan luasan area kolom hidrokarbon 630 acres. Dari data tes produksi di sumur Ruby-1 diketahui bahwa kandungan reservoir ini adalah gas. Perhitungan sumberdaya dengan asumsi ketebalan 43.8 m (referensi Ruby-1), porositas 20% dan saturasi hidrokarbon 75%, diperoleh cadangan gas dari fasies batupasir-1 sebesar 63.87 BCF. Demikian pula untuk fasies batupasir-2 yang memiliki ketebalan 24.9 m di sumur Ruby-1, dengan luas area yang diperlihatkan pada Gambar-4.33 adalah 821 acres diperoleh cadangan gas sebesar 61.75 BCF. Juga untuk fasies batupasir-3 yang memiliki ketebalan 57.4 m di sumur Ruby-1, dengan luas area 555 acres (lihat Gambar-4.34) diperoleh cadangan gas sebesar 109.8 BCF. Dan terakhir untuk fasies batupasir-4 (lihat Gambar-4.35) yang memiliki ketebalan 15.5 m di sumur Ruby-1 dengan total luas area 987 acres, terdiri dari luasan Area-A dan Area-B, diperoleh cadangan gas sebesar 43 BCF.

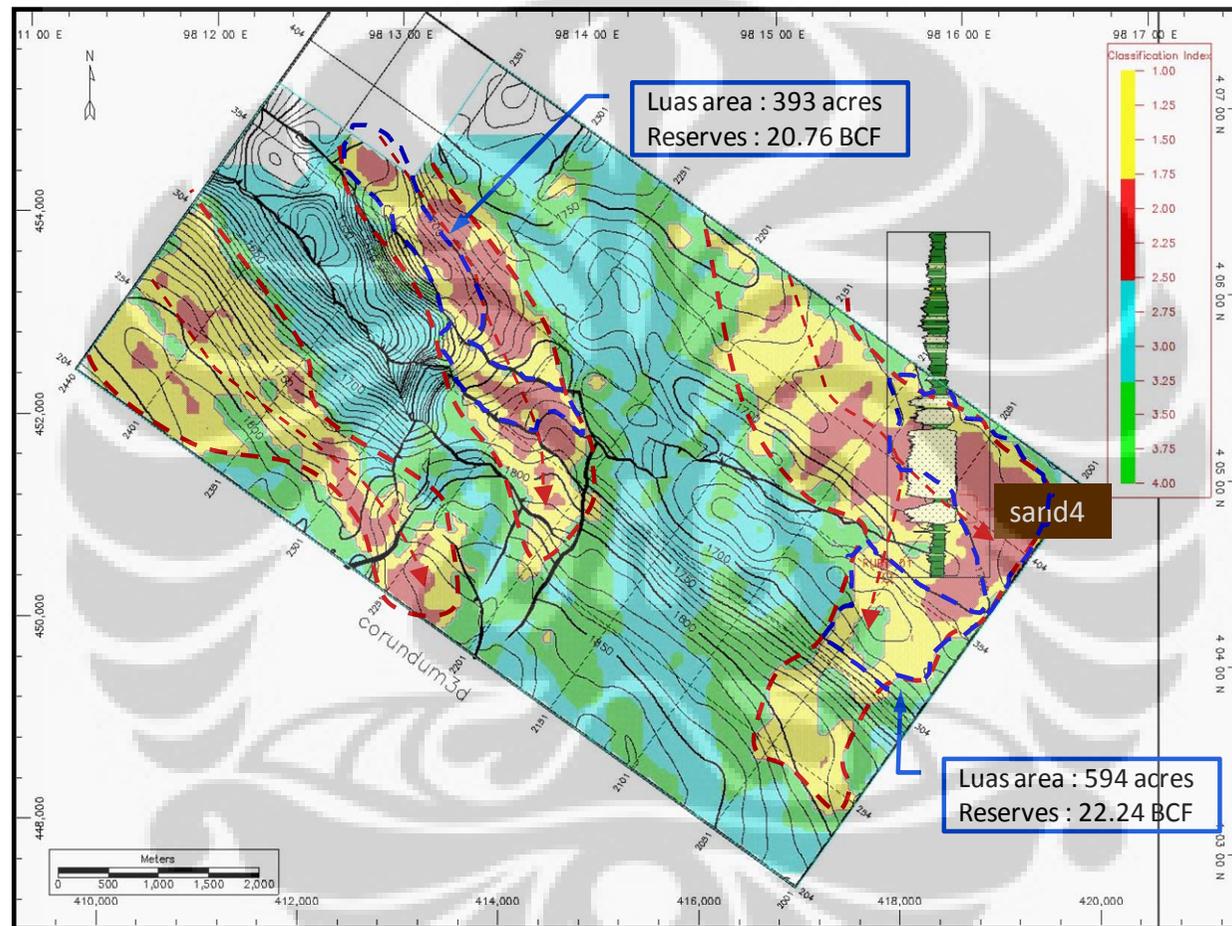
Berdasarkan hasil kalkulasi sumberdaya dari keempat fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand tersebut diatas, diperoleh perkiraan cadangan sebesar 278.45 BCF atau setara dengan 46.4 MMBOE untuk prospek Corundum.



Gambar-4.33. Peta struktur versus distribusi batupasir sand2 (*red horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian.



Gambar-4.34. Peta struktur versus distribusi batupasir sand3 (*yellow horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian.

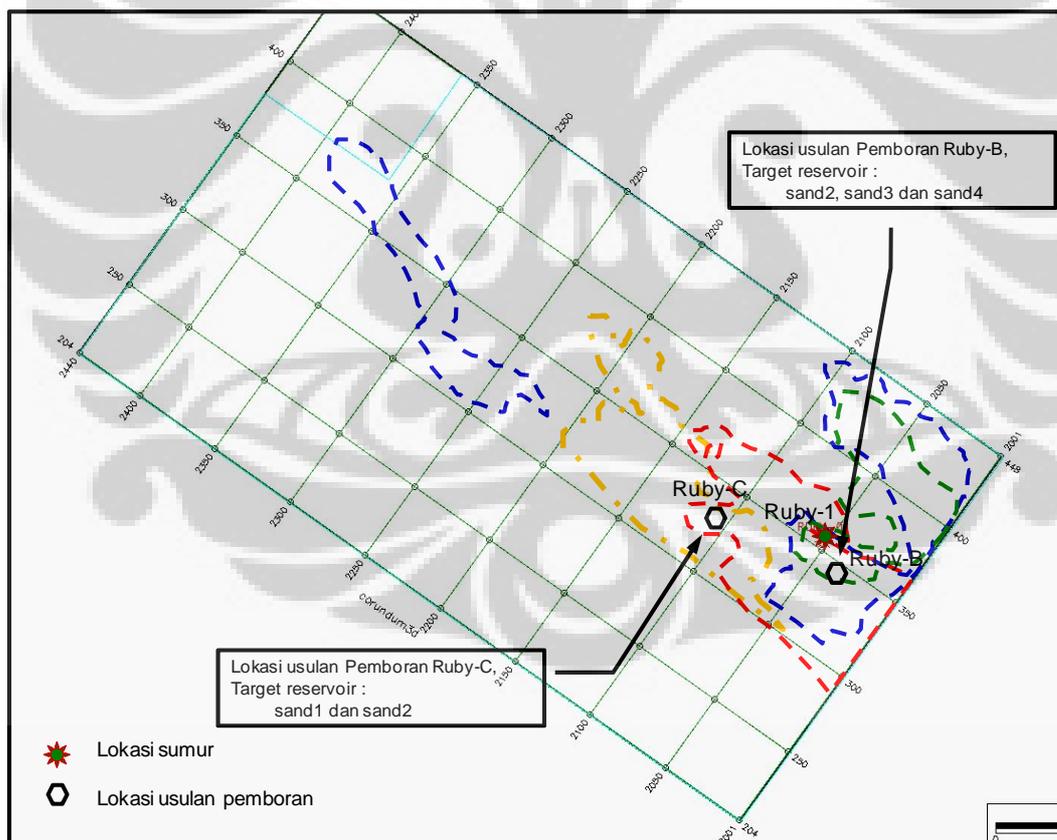


Gambar-4.35. Peta struktur versus distribusi batupasir sand4 (*brown horizon*) dengan pendekatan *artificial neural network* dengan metoda klasifikasi bersyarat Bayesian.

#### 4.2.5.3. Penentuan Lokasi Usulan Pemboran

Dalam studi ini, penentuan lokasi usulan pemboran didasarkan pada *overlay* kolom hidrokarbon pada masing-masing fasies batupasir Middle Baong Sand. Sedapat mungkin agar lokasi usulan pemboran ditempatkan pada posisi yang memungkinkan sumur menembus fasies paling lengkap dalam kolom hidrokarbon.

Dari peta *overlay* kolom hidrokarbon pada masing-masing fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada Prospek Corundum diperoleh 2 (dua) lokasi usulan pemboran eksplorasi. Ruby-B diusulkan untuk mengkonfirmasi prospek gas dari fasies batupasir-2, batupasir-3, dan batupasir-4. Sedangkan Ruby-C diusulkan untuk mengkonfirmasi prospek gas dari fasies batupasir-1, dan batupasir-2.



Gambar-4.36. Peta *overlay* kolom hidrokarbon dari masing-masing fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada Prospek Corundum, Cekungan Sumatra Utara.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

Pada target Middle Baong Sand (1500 – 1800 ms) frekuensi gelombang seismik dominan adalah 37.5 Hz, dengan kecepatan interval rata-rata 3048 m/s maka ketebalan tuning (*tuning thickness*) pada data seismik Corundum3D adalah 20.32 m. Dengan demikian masing-masing fasies pasir pada sumur Ruby-1 berada diatas ketebalan tuning, kecuali fasies pasir-4 dengan ketebalan hanya 15.5 m saja, sehingga secara umum dapat dikatakan bahwa hasil komputasi atribut seismik (CSA) dapat digunakan sebagai data masukan (*input*) dalam studi ini.

Dengan pendekatan neural network yang diterapkan melalui elektrofases analisis pada data sumur multi-atribut seismik dari data seismik 3D untuk menyelidiki, menggolongkan, dan mengidentifikasi fasies-fasies batupasir yang berkembang pada prospek “Corundum” diperoleh 4 (empat) fasies batupasir turbidit berturut-turut dari tua ke muda adalah; (1) fasies batupasir-4 berbutir sedang – kasar dengan kenampakan coarsening upward pada OH-log sebagai produk channel fill, (2) fasies batupasir-3 berbutir sedang - kasar, (3) fasies batupasir-2 perselingan pasir halus - sedang dan lanau, dan terakhir (4) fasies batupasir-1 diperoleh sebagai batupasir berbutir halus - lanauan pada sumur Ruby-1 namun ditemukan sebagai lobe turbidit di Baratdaya sumur Ruby-1.

Arah sedimentasi adalah dari Tinggian Malaka, fasies batupasir-4 yang paling tua provenanya dari arah Baratlaut, berangsur-angsur bergeser searah jarum jam hingga provenan fasies batupasir-1 yang paling muda dari arah Utara. Arah sedimentasi ini memberi indikasi bahwa batupasir anggota Middle Baong Sand daerah “Corundum” adalah anggota Gebang Sand berumur N12 didominasi oleh butiran kuarsa.

Berdasarkan hasil kalkulasi sumberdaya dari keempat fasies batupasir turbidit anggota Middle Baong Sand pada prospek Corundum diperoleh perkiraan cadangan sebesar 278.45 BCF atau setara dengan 46.4 MMBOE.

Dengan mengetahui jenis-jenis fasies batupasir anggota Middle Baong Sand dan penyebarannya serta *overlay*-nya dengan peta struktur masing-masing lapisan maka akan membantu dalam menentukan titik lokasi pemboran eksplorasi pada prospek "Corundum".

## 5.2. SARAN

Di Cekungan Sumatra Utara, batupasir anggota Middle Baong Sand merupakan salah satu target reservoir disamping batupasir Lower Keutapang dan batugamping Formasi Belumai, namun pengembangannya harus hati-hati karena kualitas reservoir yang tidak seragam, penyebaran lateral fasies batupasir harus didefinisikan dengan baik dan di-*overlay* dengan peta struktur sebelum menentukan titik pemboran.

Untuk mendapatkan hasil analisis penyebaran fasies batupasir yang akurat dengan menggunakan multi-atribut seismik dengan pendekatan artificial neural network, agar dalam evaluasi prospek siap bor dengan target utama anggota batupasir Middle Baong Sand di Cekungan Sumatra Utara selanjutnya disarankan untuk melakukan survei seismik 3D terlebih dahulu. Dari perspektif keekonomian pun survei seismik 3D akan jauh lebih murah dibanding harga yang harus dibayar jika sumur eksplorasi gagal karena salah penentuan titik pemboran. Bukan hanya kehilangan karena harus membayar expenses dari program pemboran, yang lebih penting lagi adalah kehilangan prospek. Gagalnya sumur eksplorasi pada suatu operasi pemboran bisa berakibat ditinggalkannya suatu prospek untuk selama-lamanya.

Perlu dilakukan pengecekan lebih jauh dari data pemboran yang akan datang terhadap umur batupasir anggota Middle Baong Sand didaerah "Corundum" melalui analisis biostratigrafi dan juga analisis detail

terhadap deskripsi batuan (petrografi). Pengambilan sampel *core* lengkap diperlukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan.



## DAFTAR REFERENSI

- Balakrishnan, P.V., Cooper, M.C., Jacob, V.S., dan Lewis, P.A., 1994. *A study of the classification capabilities of neural networks using unsupervised learning: A comparison with k-means clustering*. *Psychometrika*, 59, 509-525.
- Bidang Ekplorasi Pertamina Unit EP-I, 1977. *Laporan Akhir Pemboran Sumur Eksplorasi Besitang-1*. Pertamina, Pangkalan Brandan, tidak dipublikasikan.
- Bouma, A.H., 1962. *Sedimentology of Some Flysch Deposit: A Graphic Approach to Facies Interpretation*. Elsevier, Amsterdam, p. 168.
- Cameron, N.R., Clarks. M.C.G., Aldies, D.T., Aspden, J.A., dan Jamaluddin, A., 1980. *The Geological Evolution of Northern Sumatra*. IPA Procciding, Jakarta.
- Cheng, B. dan Titterington, D.M., 1994. *Neural Networks: A Review from a Statistical Perspective*. *Statistical Science*, 9, 2-54.
- Cherkassky, V., Friedman, J.H., dan Wechsler, H., eds., 1994. *From Statistics to Neural Networks: Theory and Pattern Recognition Applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Darman, H., dan Sidi, F.H., 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. IAGI, Jakarta.
- Davis, P.A., 1984. *Tertiary Structural Evolution and Related Hydrocarbon Occurrences, North Sumatra Basin*. IPA Proceeding, Jakarta.
- Dudley, P.R.C., D.E. Rehmer, dan A.H. Bouma, 2000. *Reservoir-Scale Characteristics of Fine-Grained Sheet Sands*. Tanqua Karoo, South Africa, in P. Weimer et al., eds., *Deep-water Reservoirs of the World: GCSSEPM Foundation Proceedings, 20th Annual Research Conference*, p. 318 B 342.
- Fillacier, J.H., 2000. *Neural Network Presentation*. Schlumberger internal presentation, tidak dipublikasikan.
- Gani, M.R., 2004. *From Turbid to Lucid: A Straightforward Approach to Sediment Gravity Flows and Their Deposits*. *The Sedimentary Record: A publication of SEPM Society of Sedimentary Geology*, p. 4-8.
- Kamili, Z.A., Kingston, J.K., Achmad, Z., Wahab, A., Sosromiharjo, S., dan Crausaz, C.U., 1976. *Contribution to The Pre-Baong Stratigraphy of North Sumatra*. The Fifth IPA Annual Convention, p. 75-104, Jakarta.

- Kamili, Z.A., dan Naim, A.M., 1973. *Stratigraphy of Lower and Middle Miocene Sediment in North Sumatra*. The Second IPA Annual Convention, Jakarta.
- Kingston, J.K., 1978. *Oil and Gas Generation, Migration and Accumulation in The North Sumatra Basin*. IPA Proceeding, Jakarta.
- Kneller, B., 2003. *The influence of flow parameters on turbidite slope channel architecture*. Elsevier, Amsterdam, p. 901-910.
- Mulhadiono, Haryoto, P., dan Soedaldjo, P.A., 1978. *The Middle Baong Sandstone Unit as One of The Most Prospective Units in The Aru Area, North Sumatra*. The 7<sup>th</sup> IPA Annual Convention, Jakarta
- Mulhadiono, Koesoemadinata, R.P., dan Rusnandar, 1982. *Besitang River Sand as the First Turbidite Reservoir in Indonesia*. The 11<sup>th</sup> IPA Annual Convention, p. 265-298., Jakarta.
- Nikraves, M., dan Aminzadeh, F., 2001, *Mining and Fusion of Petroleum Data with Fuzzy Logic and Neural Network Agents*. Journal of Petroleum Science and Engineering 29, p. 221-238.
- Panguriseng, M.J., Adibrata, B.W., Sadjati, O., Abubakar, Z., dan Shahab, I., 2006. *A Re-Determination of Besitang River Sand Reservoir, Using Electric-Facies and Neural Network Approach, In Besitang Field, North Sumatra Basin, Indonesia*. AAPG Annual Convention, Houston-Texas.
- Pennington, W.D., 2001. *Calibration of Seismic Attributes for reservoir Characterization*. Department of Geological Engineering and Science, Michigan Technology University, Michigan.
- Pertamina, P.T., dan Shell, 1993. *Laporan Joint Study Pertamina-Shell*. Pertamina, Jakarta, tidak dipublikasikan.
- Pilona, P.T., 1989. *Laporan Penyelidikan Geologi Permukaan daerah Simpang Kanan, Kabupaten Aceh Timur, Cekungan Sumatra Utara*. Pertamina, Pangkalan Brandan, tidak dipublikasikan.
- Proyek Percepatan Gas Besitang - Gebang (PPGBG), 2008. *Laporan Potensi Migas Besitang – Gebang, Cekungan Sumatra Utara*. Pertamina-EP, Jakarta, tidak dipublikasikan.
- Pyrz, M.J., dan Clayton, V.D., 2003. *Stochastic Surface Modeling in Mud Rich Fine-grained Turbidite Lobes*. AAPG Annual Convention.
- Reynolds, A.D. 1990. *A Classification of Deltaic Depositional Systems. Stratigraphic Studies BP Exploration*. Course Material.

Ripley, B.D., 1994 *Neural Networks and Related Methods for Classification*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 56, 409-456.

Serra, O. 1989. *Sedimentary Environments from Wireline Logs*. Second Edition: Schlumberger Publishing Company.

Sosromiharjo, S.P.C., 1988. *Structural Analysis of The North Sumatra Basin*. The 7<sup>th</sup> IPA Annual Convention, Jakarta.

White, H., 1989. *Learning in Artificial Neural Networks: A Statistical Perspective*. Neural Computation, 1, 425-464.

Widodo R.B. Sudomo, 1992. *Model Geohistory Daerah Aru, Cekungan Sumatra Utara*. Tesis PPS Bidang Studi Ilmu Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

Wong, K.W., Fung, C.C., dan Myers, D., 2002. *An Integrated Neural Fuzzy Approach with Reduced Fuzzy Rules for Well Log Analysis*. International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 4, No. 1, p.592-599.

Sumber Daya Bumi, P.T., 1992. *Evaluation of Middle Baong Sand in The Aru--Rantau Area North Sumatra Basin*. Pertamina, Pangkalan Brandan, tidak dipublikasikan.

#### Web Pages:

Freudenrich, Craig C. "How Your Brain Works"  
<<http://science.howstuffworks.com/brain.htm>>

Klerflors, Daniel. "Artificial Neural Networks."  
<[http://www.hj.se/~de96klda/Neural Networks.htm](http://www.hj.se/~de96klda/Neural%20Networks.htm)> November 1998.

Smith, Leslie. "An Introduction to Neural Networks"  
<<http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html>> April 1998.

Salo, Pauli. "Artificial Neural Networks."  
<<http://www.helsinki.fi/hum/kognitiotiede/ANN.html>>. September 1997.

## APPENDIX - A

### ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Neural network adalah sebuah fungsi matematika yang mem-  
 “proses” masukan menjadi keluaran melalui suatu proses training data.  
 Fungsi matematis tersebut dapat diformulakan dengan persamaan :

$$y_i = f_i \left( \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \right) \quad (\text{A-1})$$

dimana  $y_i$  adalah keluaran untuk  $i = 1, \dots, m$ , dan  $x_j$  adalah masukan untuk  $j = 1, \dots, n$ , koefisien  $w_{ij}$ .  $w_{ij}$  adalah “bobot” data masukan, sedangkan fungsi  $f_i$  disebut fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi yang paling populer dalam aplikasi-aplikasi engineering adalah **sigmoid function** yang ditulis sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (\text{A-2})$$

Metoda untuk mendapatkan bobot,  $w_{ij}$  dari kombinasi data masukan-keluaran disebut sebagai *training algorithm* (algoritma pembelajaran). Terdapat perbedaan yang prinsip antara neural network *single layer* (lapis tunggal) dan neural network *multi layer* (lapis ganda). Pada neural network lapis ganda digunakan algoritma *Back Propagation*, sedangkan pada neural network lapis tunggal algoritma *Delta Rule*.

Data yang dipakai dalam menghasilkan parameter-parameter neural network disebut sebagai **training data** (data pembelajaran). Pembelajaran data adalah set data masukan-keluaran seperti :

$$T = (x_j^q, y_i^q) \quad (\text{A-3})$$

dimana  $i = 1, \dots, m$  adalah jumlah masukan setiap set,  $j = 1, \dots, n$  adalah jumlah keluaran setiap set data dan  $q = 1, \dots, N$  adalah jumlah set masukan-keluaran pada keberadaan data.

Proses training neural network ada dua macam; (1) proses yang diawasi (*supervised*), bilamana diketahui hasil yang diinginkan, dan (2) proses yang tidak diawasi (*unsupervised*), bilamana tidak diketahui hasil yang diinginkan.

### A.1. Algoritma "Delta Rule"

Algoritma *delta rule* dibuat untuk jaringan lapis tunggal. Prinsipnya, perbedaan antara data masukan dan keluaran dihitung dengan determinasi kesalahan bobot yang bertujuan untuk meminimalisasikan *error* (kesalahan). Error dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = \sum_{q=1}^N E^q \quad \text{dan} \quad E^q = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i^q - o_i^q)^2 \quad (\text{A-4})$$

dimana  $i$  adalah jumlah keluaran dan  $q$  adalah jumlah training data set.  $o_i^q$  adalah keluaran dari neural network, sedangkan  $y_i^q$  adalah referensi yang didapatkan dari *real data* atau keluaran dari sistem yang sebenarnya. Suatu system pembelajaran neural network dikatakan berhasil apabila *error*-nya kecil, yang artinya *training* menghasilkan keluaran  $o_i^q$  sedekat mungkin dengan referensi,  $y_i^q$  melalui perubahan kombinasi nilai bobot.

Dari persamaan (A-1), nilai keluaran  $o_i^q$  dapat dihitung dengan bobot jaringan melalui persamaan :

$$o_i^q = f_i \left( \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j \right) \quad (\text{A-5})$$

dimana  $x_j$  adalah masukan untuk  $j = 1, \dots, n$  dan  $j$  adalah jumlah masukan untuk setiap training data set. Dari persamaan (A-4) dapat dilihat bahwa *error* ( $E$ ) atau kesalahan merupakan fungsi bobot,  $w_{ij}$ , sehingga untuk menyelidiki variasi kesalahan  $w_{ij}$  maka gradien  $E$  harus dihitung. Dengan kata lain, untuk mendapatkan nilai *error* ( $E$ ) yang kecil diperlukan nilai bobot yang optimis. Rekayasa nilai bobot dalam rangka menurunkan kesalahan dapat dilakukan dengan persamaan :

$$w_{jk} \rightarrow w_{jk} + \Delta w_{jk} \quad (\text{A-6})$$

dimana

$$\Delta w_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (\text{A-7})$$

$\eta > 0$  adalah konstanta yang dipilih secara arbitrary dan disebut *learning rate*. Turunan dari fungsi *error* ( $E$ ) terhadap  $w_{ij}$  dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \sum_{q=1}^N \frac{\partial E^q}{\partial w_{ij}} \quad (\text{A-8})$$

Dari persamaan (A-4), (A-6) dan (A-8) diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{\partial E^q}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \left( \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i^q - o_i^q)^2 \right) \\ &= (y_1^q - o_1^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} (y_1^q - o_1^q) + (y_2^q - o_2^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} (y_2^q - o_2^q) + \dots + (y_m^q - o_m^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} (y_m^q - o_m^q) \end{aligned}$$

Untuk  $y$  konstan maka  $\frac{\partial y_i^q}{\partial w_{ij}} = 0$ , sehingga :

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{ij}} = -(y_1^q - o_1^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} f_1 \left( \sum_{j=0}^n w_{1j} x_j \right) - (y_2^q - o_2^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} f_2 \left( \sum_{j=0}^n w_{2j} x_j \right) - \dots - (y_m^q - o_m^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} f_m \left( \sum_{j=0}^n w_{mj} x_j \right) \quad (\text{A-9})$$

dimana

$$\frac{\partial}{\partial w_{ij}} f_1 \left( \sum_{j=0}^n w_{1j} x_j \right) = 0 \quad \text{jika } i \neq 1, \text{ tetapi } \frac{\partial}{\partial w_{1j}} f_1 \left( \sum_{j=0}^n w_{1j} x_j \right) \neq 0 \quad \text{untuk } w_{ij}$$

adalah konstan. Dengan melakukan hal yang sama untuk  $i = 2, \dots, m$ , maka persamaan (2-9) menjadi :

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{ij}} = -(y_i^q - o_i^q) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} f_i \left( \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j \right) \quad (\text{A-10})$$

Untuk penyederhanaan  $S = \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j$

Dengan *chain derivative* pada S kedalam persamaan (A-10) diperoleh :

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{ij}} = -(y_i^q - o_i^q) \frac{\partial S}{\partial w_{ij}} \frac{\partial}{\partial S} f_i \left( \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j \right) \quad (\text{A-11})$$

Dengan merubah index persamaan (A-11) dapat ditulis :

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{ji}} = -(y_j^q - o_j^q) \frac{\partial S}{\partial w_{ji}} \frac{\partial}{\partial S} f_j \left( \sum_{i=0}^n w_{ji} x_i \right)$$

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{jk}} = -(y_j^q - o_j^q) \frac{\partial S}{\partial w_{jk}} \frac{\partial}{\partial S} f_j \left( \sum_{i=0}^n w_{ji} x_i \right) \quad (\text{A-13})$$

dimana,

$$\frac{\partial S}{\partial w_{jk}} = \frac{\partial}{\partial w_{jk}} \sum_{j=1}^n w_{ji} x_i = \delta_{jj} \delta_{ki} x_i = x_k$$

dan

$$\frac{\partial}{\partial S} f_j(S) = f_j'$$

maka persamaan (A-13) menjadi :

$$\frac{\partial E^q}{\partial w_{jk}} = x_k^q (o_j^q - y_j^q) f_j' \left( \sum_{i=0}^n w_{ji} x_i^q \right) = \delta_j^q \cdot x_k^q \quad (\text{A-14})$$

dimana

$$\delta_j^q = (y_j^q - o_j^q) f_j' \left( \sum_{i=0}^n w_{ji} x_i^q \right)$$

Dari persamaan (A-6) dan (A-14) bobot dapat direkayasa/diperbaharui dan digunakan untuk mendapatkan keluaran dari masukan dengan fungsi *error* (*E*) sebagai kontrol. Semakin kecil *error* semakin baik pula hasil training data, atau dengan kata lain semakin dekat keluaran dari referensi.

## A.2. Algoritma "Back Propagation"

Algoritma *back propagation* dibuat untuk jaringan lapis banyak (*multi layer*). Prinsip dari metoda ini berdasarkan algoritma *delta rule*. Dengan metoda ini bobot-bobot dapat diperbaharui melalui hubungan :

$$\begin{aligned}\Delta v_{ji} &= -\eta \sum_{j=1}^N \frac{\partial E^q}{\partial v_{ji}} \\ &= \sum_{j=1}^N (-\eta \delta_j^q z_i^q)\end{aligned}\tag{A-15}$$

dimana  $v_{ji}$  adalah bobot antara keluaran-keluaran  $o_j^q$  dan  $z_i^q$  adalah jaring masukan dari lapisan keluaran (berlaku seperti masukan dalam delta rule). Bobot dapat dihubungkan  $z_i^q$  ke input  $x_k^q$  melalui persamaan :

$$z_i^q = f_i \left( \sum_{k=0}^n w_{ik} x_k^q \right)\tag{A-16}$$

$\delta_j^q$  dari persamaan (A-15) dan (A-16) dapat ditulis menjadi :

$$\delta_j^q = (o_j^q - y_j^q) f_k' \left( \sum_{k=1}^m v_{jk} z_k^q \right)\tag{A-17}$$

Bobot antara masukan dan *hidden layer* (lapisan tersembunyi) seperti :

$$\Delta w_{ik} = -\eta \sum_{i=1}^N \frac{\partial E^q}{\partial w_{ik}}\tag{A-18}$$

Sama halnya pada neural network *single layer* (lapis tunggal) dimana persamaan (A-5) dapat digunakan untuk merekayasa atau memperbaharui bobot. Dalam neural network *multi layer* (lapis banyak), persamaan (A-17) dan (A-18) dapat digunakan untuk merekayasa atau memperbaharui bobot. Rekayasa bobot untuk meminimalkan *error* dengan fungsi bobot pada persamaan (A-17) dan (A-18), selanjutnya dapat digunakan untuk *training* data sebagai aplikasi artificial neural network.