



UNIVERSITAS INDONESIA

APLIKASI ATRIBUT *CURVATURE* UNTUK MENDETEKSI PATAHAN

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

GANGGA RAMADHANA SETYAWAN

0706262350

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

APLIKASI ATRIBUT *CURVATURE* UNTUK MENDETEKSI PATAHAN

SKRIPSI

GANGGA RAMADHANA SETYAWAN

0706262350

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Gangga Ramadhana Setyawan
NPM : 0706262350
Tanda Tangan : 
Tanggal : 14 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan Oleh

Nama : Gangga Ramadhana Setyawan
N P M : 0706262350
Program Studi : Fisika
Peminatan : Geofisika
Judul Skripsi : Aplikasi Atribut *Curvature* Untuk Mendeteksi Patahan

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.rer.nat Abdul Haris (.....)

Penguji I : Dr. Eng. Supriyanto S (.....)

Penguji II : Ir Anggoro M.T. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2012

KATA PENGANTAR

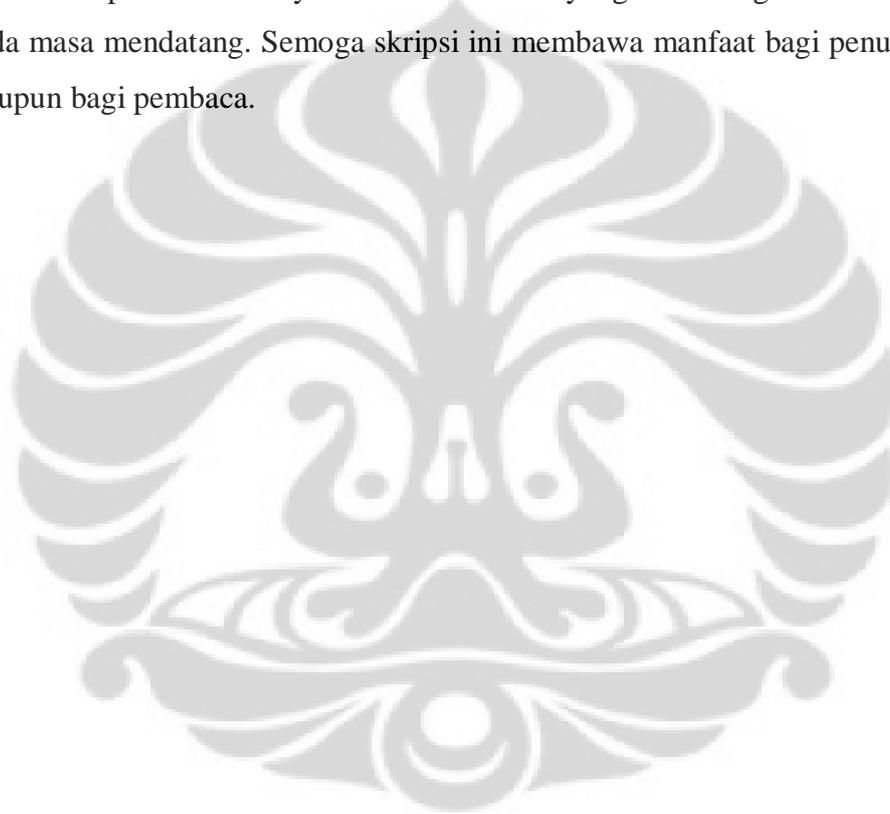
Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah mengizinkan penulis menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dengan tujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Abdul Haris, selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah rela mengorbankan banyak waktu dan tenaga untuk memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
2. Dr. Eng. Supriyanto S, selaku Penguji I, yang telah banyak memberikan saran dan masukan yang sangat berharga.
3. Ir Anggoro, M.T. selaku Penguji II, yang telah menyediakan waktu untuk memberikan saran dan masukan selama diskusi.
4. Pak Syamsu Rosid selaku ketua peminatan Geofisika yang telah memberikan banyak arahan yang sangat berharga.
5. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan perhatian serta dukungan penuh untuk menyelesaikan studi saya di Fisika UI.
6. Ng Bei Berger M.Si, Aryo Aviarto S.Si., dan Erlangga Wibisono S.Si. selaku pembimbing teknis.
7. Para Pejuang Puri 07+08, Rangga, Riki, Willem, Byan, Tom, bang Juned dan Amar serta Mas Apip, yang berbagi suka-duka bersama.
8. Staf Departemen Fisika UI, Mbak Ratna dan Pak Mardi atas bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.
9. Teman-teman Fisika angkatan 2007, yang telah mengisi warna hidup penulis selama 5 tahun.

10. Kakak-kakak Magister Geofisika Reservoir, Bang Massey, Bang Riki, yang menjadi teman begadang, penyedia makanan, serta pemberi semangat.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas dukungannya.

Semoga Tuhan membalas jasa semua pihak tersebut dengan sebaik-baiknya. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu perlulah kiranya saran dan kritik yang membangun demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.



Penulis
2012

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

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

Nama : Gangga Ramadhana Setyawan
NPM : 0706262350
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

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

APLIKASI ATRIBUT *CURVATURE* UNTUK MENDETEKSI PATAHAN

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 14 Juni 2012

Yang menyatakan



(Gangga Ramadhana Setyawan)

ABSTRAK

Nama : Gangga Ramadhana Setyawan
Departemen : Fisika
Judul : Aplikasi Atribut *Curvature* Untuk Mendeteksi Patahan

Struktur geologi seperti patahan merupakan salah satu komponen penting dari sistem perminyakan. Patahan berperan sebagai jalur migrasi hidrokarbon dari batuan induk menuju reservoir sehingga identifikasi patahan menjadi penting dalam interpretasi seismik. Sejauh ini identifikasi patahan dilakukan secara manual dan dilakukan oleh interpreter sehingga sangat subjektif. Pada studi kali ini telah dibuat teknik identifikasi patahan secara otomatis dengan menggunakan metode atribut kurvatur. Atribut kurvatur pada dasarnya menghitung seberapa lengkung sebuah kurva dari suatu titik. Metode tersebut menggunakan pendekatan *least square quadratic* dalam perhitungannya. Metode *least square quadratic* merupakan metode *fitting* data dan menghasilkan beberapa solusi dalam bentuk konstanta. Penelitian ini dimulai dengan membuat *source code* dalam bahasa pemrograman Matlab kemudian dilanjutkan dengan menerapkannya pada data seismik. Dalam langkah terakhir dihasilkan beberapa peta sebaran turunan atribut kurvatur, namun hanya atribut kurvatur *most positive* (Kmp) dan kurvatur *most negative* (Kmn) yang dapat memberikan informasi tentang sebaran patahan secara baik. Pada akhirnya disimpulkan bahwa atribut kurvatur dapat menghasilkan peta struktur secara otomatis tanpa perlu melakukan interpretasi konvensional.

Kata Kunci : Kurvatur, Atribut Geometri, Patahan, Matlab
x +43 halaman ; 35 gambar
Daftar Acuan : 16 (1959-2010)

ABSTRACT

Name : Gangga Ramadhana Setyawan
Department : Physics
Title : Curvature Attribute Application to Detect Faults

Geological structure such as fault is one of important components of the petroleum system. Fault act as hydrocarbons migration ways from source rock to the reservoir therefore fault identification become important aspect from seismic interpretation. So far, fault identification has done manually and very subjective from an intepreter. In this study, the author proposes a technique automatically for fault identification with curvature attributes method. Basically, curvature attributes calculate how curved a curve of a point. The method uses least square quadratic approach in its calculations. Quadratic least square method is a fitting data method and generates solutions in the form of constants. This study began by making the source code in Matlab programming language and then proceeds to apply it to seismic data. In the final step some of curvature has been generated but only the most positive curvature attribute (KMP) and most negative curvature (NMR) can provide information about the distribution of fault as well. Finally it can be concluded that curvature attribute method can automatically produce a structure map without conventional interpretation.

Key words : Curvature, Geometry attribute, Faults, Matlab
x +43 page ; 35 figures
References : 16 (1959-2010)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metodologi Skripsi	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TEORI DASAR	
2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	6
2.2 Konsep Metode Seismik Refleksi	10
2.3 Resolusi Seismik	12
2.4 Intepretasi Seismik	12
2.7 Atribut Seismik	13
2.8 Atribut <i>Curvature</i>	15
2.9 Algoritma Atribut <i>Curvature</i>	17
2.10 Sesar (<i>Fault</i>)	20

BAB 3. DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Pengolahan Data Real.....	22
3.2 Perhitungan Gridding di Matlab	25
3.3 Perhitungan Atribut <i>Curvature</i>	25
3.3.1 Perhitungan Koefisien <i>Least Square Quadratic</i>	26
3.3.2 Perhitungan Atribut Turunan <i>Curvature</i>	27

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Gridding Peta Struktur Waktu.....	31
4.2 Atribut Kurvatur Maksimum dan Minimum.....	34
4.3 Atribut Kurvatur Rataan dan Gaussian.....	37
4.4 Atribut Kurvatur Most Positif dan Most Negatif	40

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43

DAFTAR ACUAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alir metodologi penelitian	5
Gambar 2.1	Lokasi lapangan Texaco di selatan negara bagian Louisiana...	6
Gambar 2.2	Pusat pengendapan Louisiana-Texas	7
Gambar 2.3	Peta penyebaran kubah garam dan patahan	9
Gambar 2.4	Proses akuisisi seismik refleksi	10
Gambar 2.5	Skema pemantulan dan pembiasan.....	11
Gambar 2.6	Contoh hasil interpretasi seismik	13
Gambar 2.7	Klasifikasi atribut seismik.....	15
Gambar 2.8	Jumlah titik sampel pada atribut kurvatur.....	17
Gambar 2.9	Penjelasan atribut kurvatur pada koordinat xyz	19
Gambar 2.10	Penjelasan kurvatur secara geologis	20
Gambar 2.11	Tatanan struktur sesar	21
Gambar 3.1	Data seismik 3D secara umum	22
Gambar 3.2	Peta struktur horison C, D, E	24
Gambar 3.3	Diagram algoritma aplikasi atribut kurvatur	30
Gambar 4.1	Peta struktur Top Sand C dengan matlab	31
Gambar 4.2	Peta struktur Top Sand D dengan matlab	32
Gambar 4.3	Peta struktur Top Sand E dengan matlab.....	33
Gambar 4.4	Atribut kurvatur maksimum & minimum Top Sand C	34
Gambar 4.5	Atribut kurvatur maksimum & minimum Top Sand D	36
Gambar 4.6	Atribut kurvatur maksimum & minimum Top Sand E.....	36
Gambar 4.7	Klasifikasi bentuk lokal dengan Kg dan Km	38
Gambar 4.8	Atribut kurvatur rataan & gaussian Top Sand C	38
Gambar 4.9	Atribut kurvatur rataan & gaussian Top Sand D.....	39
Gambar 4.10	Atribut kurvatur rataan & gaussian Top Sand E	39
Gambar 4.11	Atribut kurvatur mp & mn Top Sand C.....	40
Gambar 4.12	Atribut kurvatur mp & mn Top Sand D.....	42
Gambar 4.13	Atribut kurvatur mp & mn Top Sand E	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksplorasi hidrokarbon di daerah geologi yang kompleks merupakan salah satu solusi industri migas untuk memenuhi permintaan energi dunia yang tinggi. Proses interpretasi data seismik serta analisa atribut seismik dapat mengurangi ketidakpastian untuk menentukan posisi terakumulasinya hidrokarbon di bawah lapisan bumi. Hidrokarbon dapat terakumulasi di reservoir disebabkan oleh beberapa hal. Salah satunya ialah jebakan struktural yang disebabkan oleh sesar (*fault*) pada lapisan batuan. Patahan atau sesar menjadi jalur migrasi dari hidrokarbon untuk terakumulasi di sebuah reservoir. Untuk itulah menjadi sangat penting bagi seorang interpreter mendeteksi sesar.

Penentuan struktur seperti sesar dengan metode konvensional (membuat interpretasi *picking fault*) pada umumnya kurang dapat mengevaluasi sesar dengan lebih detail, dan membutuhkan waktu dalam pengerjaannya. Sehingga diperlukan metode lain yang dapat mendeteksi adanya lapisan dan struktur dengan lebih akurat (Bahoric dan Farmer, 1995). Metode baru tersebut harus dapat melakukan interpretasi struktur / *picking fault* secara otomatis serta dapat membedakan antara parameter fisis dari struktur geologi bawah permukaan dengan tepat dikarenakan pada umumnya penentuan sesar dengan metode konvensional sering bias dan kurang dapat mengevaluasi keberadaan sesar secara lebih detail (Chopra et al, 2001).

Metode atribut seismik telah berkembang pesat selama ini. Metode ini juga dapat membedakan antara parameter fisis dari struktur geologi bawah permukaan. Pemahaman setiap metode atribut yang dihasilkan tersebut harus dikuasai secara menyeluruh untuk mendapatkan hasil analisis yang maksimal. Penggunaan atribut seismik untuk memprediksi karakter reservoir pertama kali diperkenalkan pada

artikel majalah *The Leading Edge* pada bulan Mei, Juni, dan Juli 1994 (Hampson et al, 2001).

Salah satu dari atribut tersebut ialah atribut seismik domain waktu. *Curvature* merupakan metode dari atribut *time post stack*. Atribut *curvature* juga merupakan *surface-derived attribute* (Roberts, 2001), yaitu atribut yang dihitung langsung dari suatu permukaan itu sendiri. Atribut tersebut berguna untuk menghasilkan atau mengeluarkan aspek tertentu dan properti dari permukaan yang sulit untuk dideteksi serta diamati secara langsung.

Untuk mendeteksi patahan dari data seismik dapat digunakan atribut *curvature* menggunakan metode *least-square quadratic*. Metode ini melakukan perhitungan dari matriks amplitudo data seismik hasil *time structure*. Ketika melakukan satu kali perhitungan, ditentukan parameter, yaitu berapa apertur lateral yang dibutuhkan. Karena hasil metode ini dapat memberikan tampilan profil ketidak kontinyuan data seismik langsung dari perhitungan data itu sendiri, maka hasil tersebut dapat terhindar dari bias interpretatif.

Sesar atau patahan pada hakikatnya merupakan objek geologi tiga dimensi, maka untuk mendapatkan gambaran yang lebih mendekati kondisi aslinya, dilakukan proses analisis penampang. Keuntungan lain apabila seorang interpreter menggunakan atribut *curvature* ialah tidak perlu melakukan interpretasi struktur pada tahapan interpretasi seismik, karena telah terdeteksi dengan baik setelah kita melakukan *picking horizon*. Sehingga menghemat waktu pengerjaan interpretasi seismik.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari dan memahami prinsip atribut *curvature* untuk menganalisis sesar dan rekahan pada data seismik.

2. Mengestimasi atribut *curvature* dengan metode *least-square quadratic* pada data seismik secara otomatis menggunakan *time structure map* sebagai input.
3. Mengetahui sebaran sesar bawah permukaan secara lateral (peta) yang mendekati kondisi sebenarnya sebagai output.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis berusaha mendapatkan gambaran bawah permukaan dari kondisi sesar yang mendekati kondisi sesungguhnya dalam bentuk hasil akhir distribusi sesar secara lateral (peta) serta melakukan analisa dari hasil distribusi tersebut. Data yang digunakan adalah data real *time structure map* sebagai input atribut kurvatur. Penulis juga membatasi analisa kurvatur secara lateral dan bukan secara penampang. Penelitian ini mengembangkan algoritma dari bahasa pemrograman Matlab dengan modul seislab untuk melakukan perhitungan komputasi metode *least-square quadratic*.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahap antara lain:

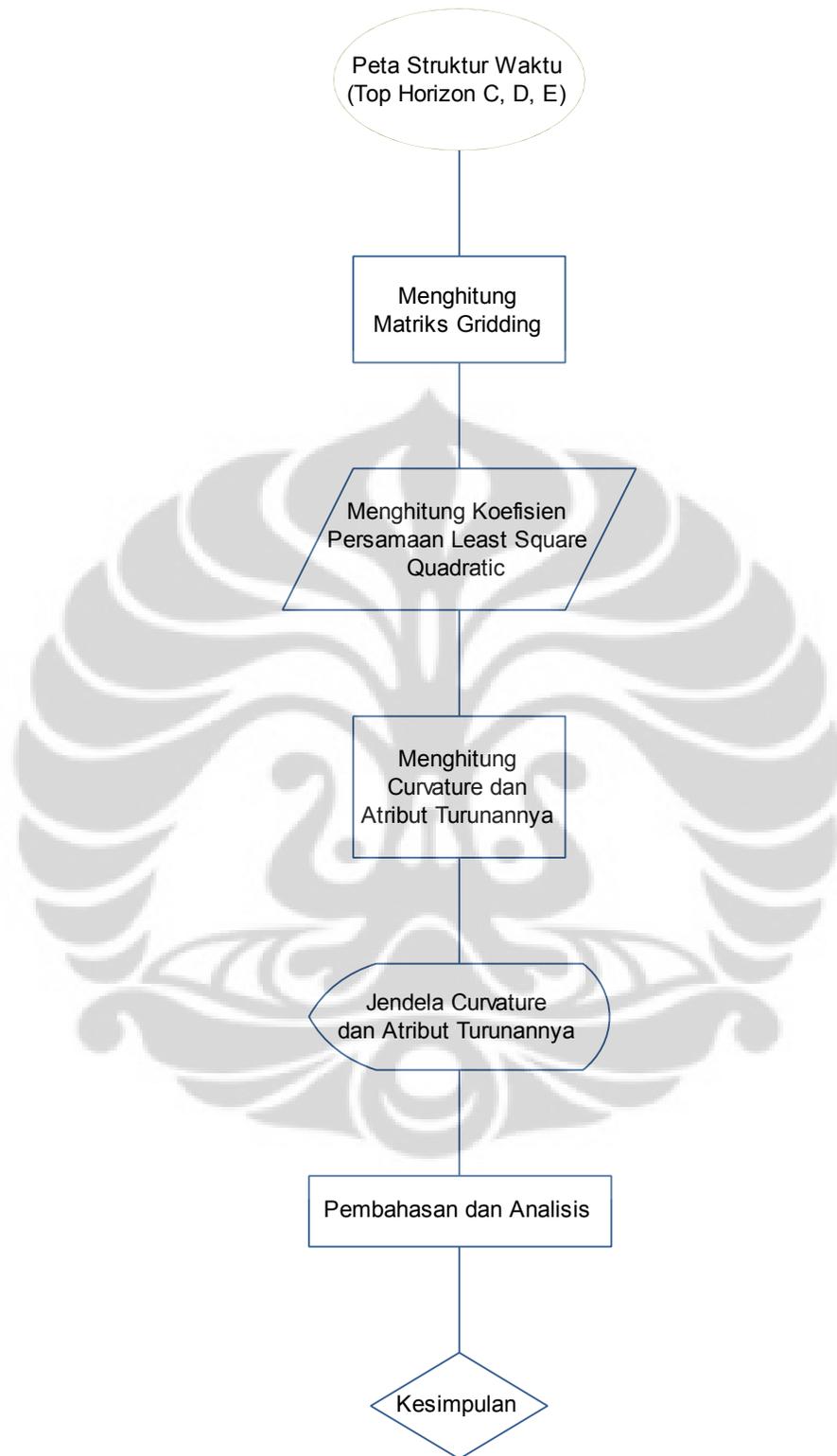
- a. Mempelajari teori dan algoritma yang berkaitan dengan atribut *curvature* pada data seismik 3D, serta mempelajari struktur sesar untuk karakterisasi zona interes.
- b. Membuat *source code* atribut *curvature* berbasis metode *least-square quadratic* serta menerapkannya pada model sintetik.
- c. Menggunakan data real *time structure* sebagai inputnya serta mempelajari dan mengkorelasikannya dengan metode konvensional pada struktur sesar besar dan kecil.
- d. Mendapatkan hasil dan melakukan analisis.
- e. Membuat laporan akhir.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, dan dijelaskan secara singkat sebagai berikut. BAB I, dalam bab ini membahas hal-hal yang melatarbelakangi dilakukannya studi ini, tujuan dilakukannya studi atribut *curvature*, pembatasan masalah dalam pengerjaan atribut *curvature*, metode yang telah dilakukan pada studi serta sistematika penulisan tugas akhir ini.

Dalam BAB II berisi tinjauan pustaka atau teori dasar, pada bab ini penulis akan membahas mengenai teori-teori yang mendasari penelitian dan algoritma yang digunakan dalam penelitian serta teori-teori pendukung atau tambahan tapi masih diperlukan keberadaannya untuk menunjang proses penelitian. Selanjutnya, pada BAB III akan mencakup metodologi penelitian yang dilakukan, meliputi desain penelitian, jenis data, metode pemrosesan data sintetik dan data seismik real 3 dimensi (3D).

Pada BAB IV berisi hasil dan pembahasan. Dalam bab ini, penulis menganalisis dan membahas hasil penelitian secara komprehensif dengan menganalisa hasil koherensi *semblance* dan struktur-*eigen* yang didapatkan. Akhirnya, pada BAB V penulis akan memamparkan kesimpulan dari analisa dan saran untuk penelitian selanjutnya.



Gambar 1.1 Diagram Alir Metode Penelitian

BAB 2

TINJAUAN GEOLOGI DAN TEORI DASAR

2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Paparan Louisiana adalah bagian utara Cekungan Teluk Meksiko (**Gambar 2.1**), mulai terbentuk ketika Trias oleh proses divergensi lempeng-tektonik sepanjang passive margin dari Lempeng Amerika Utara. Tektonik Laramide selama Kapur-Tersier awal menyediakan jumlah sedimen silisiklastik terrigenous yang tebal dari sumber yang telah terangkat di bagian utara Teluk Cekungan selama periode Tersier (Shideler, 1987).

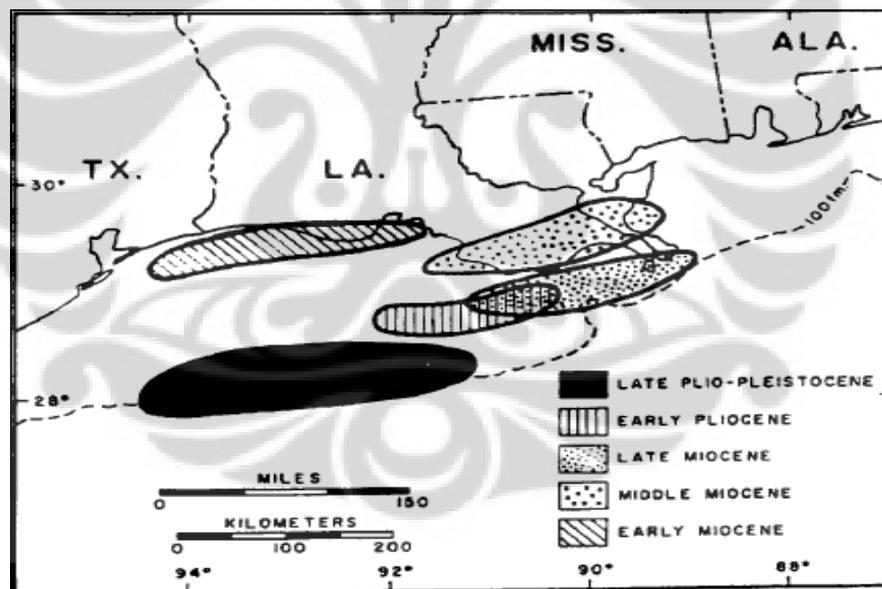


Gambar 2.1 Lokasi lapangan Texaco di selatan negara bagian Louisiana. (GoogleEarth, 2012)

Masuknya sedimen tebal lanjutan selama Pleistosen, sebagian dikendalikan oleh fluktuasi dari gletser kontinental di Amerika Utara. Masuknya sedimen ini terus menghasilkan akumulasi endapan Kenozoikum yang tidak menerus, secara lokal melebihi 50.000 kaki (15 km) (Shideler, 1987). Pusat cekungan atau pusat pengendapan, terletak di sepanjang tepi paparan, bermigrasi sepanjang waktu Kenozoikum sebagai akibat dari pergeseran sumber sedimen baik ke arah

cekungan maupun ke arah lateral. Karena laju sedimentasi lebih besar dari laju amblesan, ujung bagian utara Teluk Meksiko mengalami progradasi sejauh 402 km ke arah cekungan sejak akhir Kapur (Woodbury et al., 1973).

Selama Miocene, aliran dari utara dan barat membawa sedimen ke margin bagian utara dari Teluk Meksiko. Sedimen tersebut, terutama terdiri atas pasir dan tanah liat, diendapkan dalam lingkungan delta, dan didistribusikan kembali ke arah paparan dan ke lereng benua oleh mekanisme ombak dan arus. Arsitektur dari paparan yang telah terbentuk ketika Eosen dan Oligosen pada kawasan Louisiana-Texas bagian Teluk Pantai terus berlanjut sepanjang zaman Miosen. Pengendapan progradasi ke arah teluk mengalami interupsi berulang kali oleh transgresi yang mencerminkan kenaikan permukaan laut relatif sehingga mengakibatkan pengendapan serpih laut (Limes dan Stipe, 1959).



Gambar 2.2 Pusat pengendapan Louisiana-Texas bagian teluk pantai ketika neogen-kuarter. (Shideler, 1987)

Sebelum awal zaman Miosen, sungai memberikan kontribusi sedimen ke Teluk Pantai yang terletak di bagian barat dari Louisiana dan di Texas. Hal ini ditunjukkan dengan dominasi sedimen klastik di Louisiana bagian barat daya (Limes dan Stipe, 1959). Pada awal Miosen, mulai terjadi amblesan dari lantai cekungan di Louisiana selatan. Penurunan ini terus berlanjut sepanjang waktu

Miosen awal dan tengah, sehingga berakibat terjadinya pergeseran pusat sedimentasi klastik ke arah timur (**Gambar 2.2**).

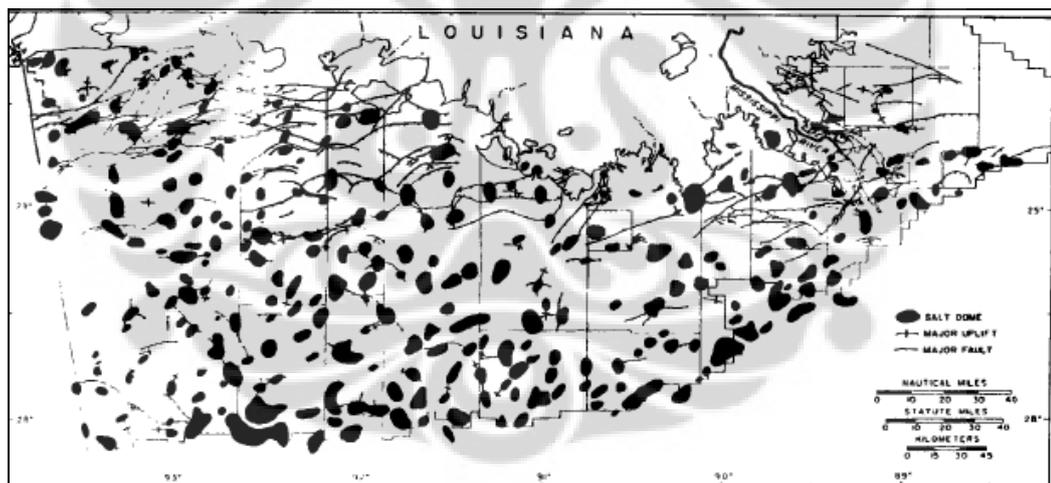
Pada awal Miosen akhir, area yang mengalami penurunan permukaan terbesar menjadi bersifat lokal terutama pada selatan dan lepas pantai dari Terrebone Parish, yang membentuk "Palung Terrebone" . Ketebalan terbesar dari sedimen Miosen di sepanjang Teluk Pantai diendapkan dalam palung (Limes dan Stipe, 1959).

Secara regional kerangka struktural dari Paparan Louisiana terdiri dari kumpulan lapisan terrigenous miring yang menebal ke arah teluk. Di endapkan pada endapan kompleks hasil deformasi lokal yang dihasilkan dari tegangan *geostatic* intrabasinal disebabkan oleh efek sedimen-loading selama proses akresi progradasi tepi benua dari Teluk bagian utara (Shideler, 1987). Endapan Miocene mengikuti arsitektur yang sudah terbangun sebelumnya baik secara arah kemiringan maupun penebalan, dan endapan ini juga telah terdeformasi lokal menjadi tinggian-tinggian lokal yang disebabkan aktivitas ekstrusi dari endapan garam. Rata-rata tingkat kemiringan di strata Miosen tengah berkisar dari 300 kaki per mil di dalam fasies menengah hingga lebih dari 800 kaki per mil di dalam fasies serpih (Limes dan Stipe, 1959).

Kemiringan lapisan secara regional yang berarah selatan sering terganggu oleh struktur lokal seperti sesar tumbuh (*growth faults*) dan kubah garam, yang berkaitan langsung atau tidak langsung terhadap aliran plastik sedimen oleh gaya gravitasi. Kubah Garam pada daerah Teluk Meksiko adalah fitur umum yang dihasilkan dari ekstrusi lateral dan intrusi vertikal dari endapan garam Jurassic (Formasi Louain Salt), yang tertekan dan bergerak oleh perbedaan akumulasi dari *overburden* (Shideler, 1987). Mereka tampak sebagai diaper-diapir kecil yang terisolasi, yang kemudian bergabung menjadi besar pada kedalaman yang lebih besar **Gambar 2.3**. Kubah Garam diklasifikasikan sebagai baik *piercement* atau *non-piercement*. Sebuah kubah garam *piercement* didefinisikan di Paparan Louisiana sebagai salah satu yang menembus di atas fasies serpih besar (Limes

dan Stipe, 1959). *Non-piercement* struktur garam lebih umum dijumpai pada area lebih ke arah cekungan (*basinward*) di sekitar slope break dan umumnya terjadi pada kedalaman lebih besar dari batas bawah penetrasi sumur. Sebagian besar struktur garam adalah diapir namun beberapa fitur yang terangkat sepanjang tepi luar paparan dapat menjadi indikasi telah terjadi mobilisasi intrusi serpih diapir.

Fitur umum struktur lainnya pada Paparan Louisiana adalah sesar tumbuh (growth yang berorientasi paralel atau subparalel terhadap arah pengendapan, yang berarah Barat-Timur (Shideler, 1987). Struktur ini terbentuk beriringan dengan pengendapan, yang merupakan akibat dari rekasi berbeda terhadap faktor *overburden*. Struktur ini ditandai dengan perpindahan penebalan ke arah cekungan terkemuka dari strata bagian bawah (*downthrown*) relatif terhadap strata di sisi *upthrown*. Besarnya perpindahan dapat berkisar 200-800 meter di kedalaman di atas 10.000 kaki (Limes dan Stipe, 1959).

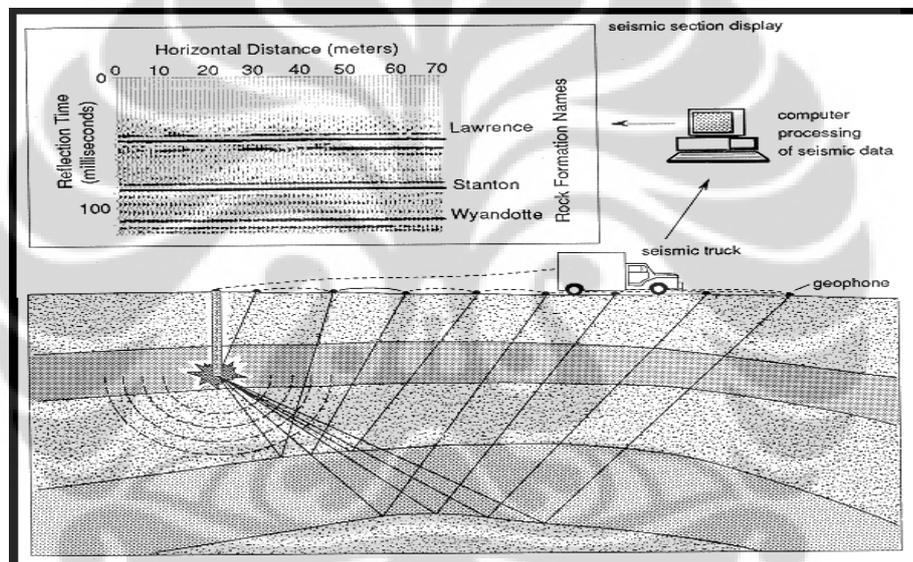


Gambar 2.3 Peta penyebaran kubah garam dan patahan pada paparan Louisiana (Shideler, 1987)

Sedimentasi setelah (relatif) berhentinya sesar tumbuh ini umumnya dikontrol oleh patahan-patahan yang terjadi ketika rezim ekstensi, yang umum terjadi pada puncak atau pada bagian sayap dari kubah garam. Patahan-patahan *post growth fault* ini umumnya bersifat lokal atau terbentuk dalam system dengan pola sejajar dengan sumbu atau bersifat radial (Shideler, 1987).

2.2 Konsep Metode Seismik Refleksi

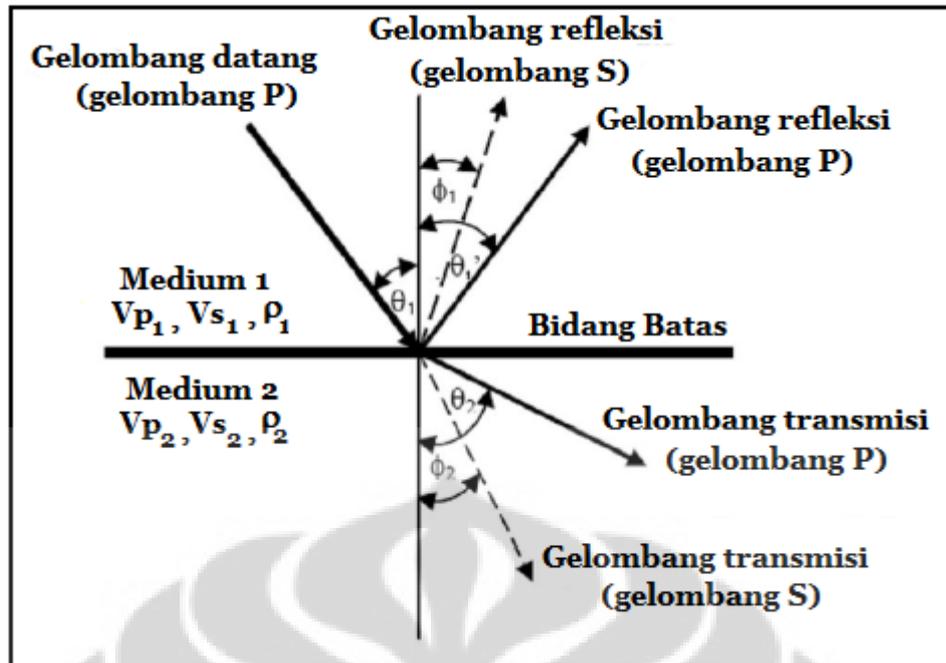
Metode seismik memanfaatkan perambatan gelombang mekanik ke dalam lapisan bumi yang mentransfer energi gelombang menjadi partikel gelombang dan gelombang tersebut dipantulkan kepermukaan setelah menemui bidang batas. Hal ini dilakukan dengan mengirim gelombang seismik ke bawah permukaan bumi, gelombang tersebut ketika melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka muka gelombang akan terbagi, ada yang diteruskan kedalam perut bumi dan ada yang direfleksikan kepermukaan dan dipermukaan gelombang akan dicatat oleh *geophone* yang berfungsi sebagai alat rekam data.



Gambar 2.4. Proses Akuisisi Seismik Refleksi (<http://www.kgs.ku.edu>, 2001)

Penjalaran gelombang seismik mengikuti Hukum Snellius yang dikembangkan dari Prinsip Huygens, disebutkan sudut pantul dan sudut bias merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Saat gelombang P datang mengenai bidang batas antara 2 medium yang berbeda gelombang akan mengalami dua hal, yaitu dibiaskan (refraksi) sebagai gelombang P dan S dan dipantulkan (refleksi) sebagai gelombang P dan S.

$$\frac{\sin \theta_1}{V_{P1}} = \frac{\sin \theta'}{V_{P1}} = \frac{\sin \theta_2}{V_{P2}} = \frac{\sin \phi_1}{V_{S1}} = \frac{\sin \phi_2}{V_{S2}} = P \quad (2-1)$$



Gambar 2.5. Skema Pemantulan dan pembiasan pada bidang batas dua medium (modifikasi dari Yilmaz, 2001)

Gelombang seismik yang dipantulkan membawa informasi litologi dan fluida bawah permukaan bumi dalam bentuk waktu tempuh (*travel time*), amplitudo refleksi, frekuensi dan variasi fasa gelombang, melalui pengolahan data seismik dan teknik interpretasi, perpaduan data seismik data log dapat diproses dan dianalisa untuk deliniasi sifat fisika batuan, distribusi litologi dan fluida, nilai porositas dan densitas.

Kemampuan batuan untuk menghambat gelombang seismik disebut sebagai impedansi akustik. Seismik refleksi akan terbentuk jika ada perubahan impedansi akustik yang merupakan fungsi dari kecepatan dan densitas batuan.

$$AI = \rho V \quad (2-2)$$

Dimana :

AI = Impedansi Akustik ($\text{gr/cm}^3 * \text{m/s}$)

P = Densitas (gr/cm^3)

V = Kecepatan (m/s)

2.3 Resolusi Seismik

Resolusi seismik adalah kemampuan suatu gelombang untuk dapat memisahkan dua objek (Sukmono,1999). Resolusi seismik terbagi menjadi dua, yaitu resolusi vertikal dan resolusi horizontal. Resolusi vertikal adalah kemampuan untuk memisahkan atau membedakan dua bidang batas perlapisan batuan secara vertikal. Kemampuan memisahkan batuan tersebut tergantung pada ketebalan dan panjang gelombang seismik yang diberikan oleh sumber. Bidang refleksi akan terpisahkan dengan baik bila ketebalannya sama atau lebih besar dari $1/4$ panjang gelombang wavelet seismik. Nilai dari resolusi vertikal adalah :

$$r\nu = \frac{\nu}{4f} \quad (2.3)$$

Penurunan dari persamaan hubungan antara frekuensi (f), kecepatan (ν) dan panjang gelombang (λ) bahwa batuan hanya memiliki ketebalan diatas $1/4 \lambda$ yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Maka persamaan 2.4 merupakan kemampuan seismik untuk memisahkan dua bidang batas berlapis batuan secara vertikal.

Nama lain dari resolusi horizontal ialah zona Fresnel, yaitu bagian dari reflektor dimana energi dipantulkan ke *receiver* setelah terjadinya refleksi pertama. Resolusi horizontal juga dapat diartikan sebagai kemampuan memisahkan kenampakan – kenampakan di sepanjang refleksi seismik yang diukur dalam meter atau feet bukan dalam milisekon. Menurut Anstey, 1986 ada tiga faktor utama yang mempengaruhi resolusi horizontal :

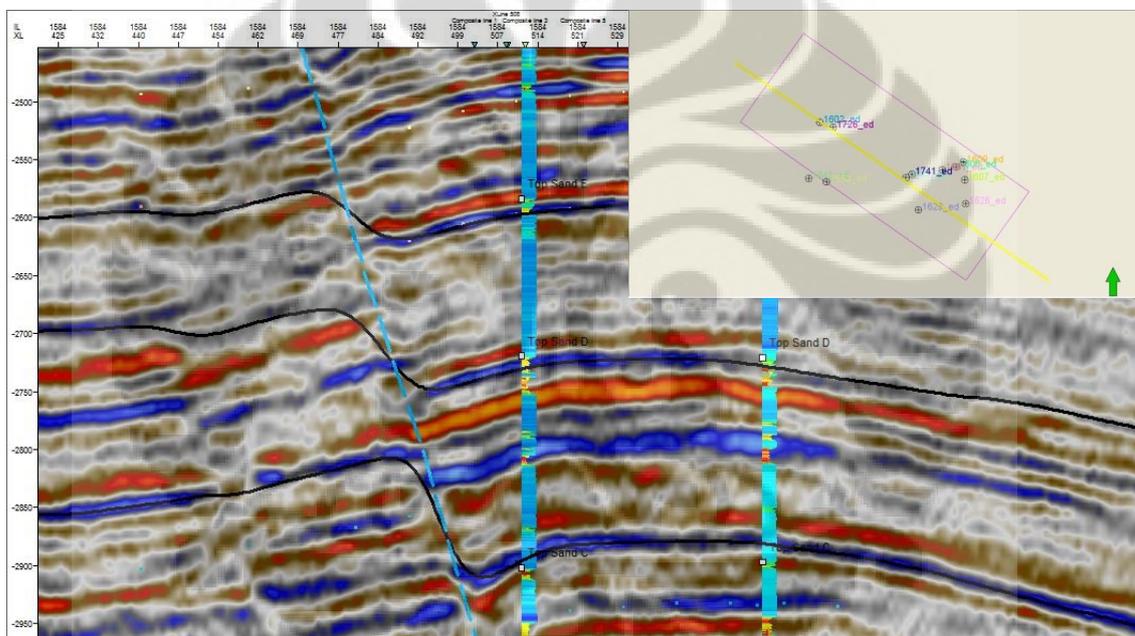
1. Kerapatan interval lintasan pada penampang seismik.
2. Besarnya panjang lintasan.
3. Adanya faktor difraksi

2.4 Intepretasi Seismik

Setelah data seismik dan data sumur tersiapkan dengan baik, selanjutnya adalah melakukan interpretasi seismik. Penelusuran sebuah horison pada data seismik dilakukan dengan penentuan *marker* awal yang berasal dari analisa sumur.

Interpretasi horison dari sebuah data seismik dilakukan untuk keseluruhan data tersebut kemudian dihasilkan peta struktur waktunya. Peta struktur waktu merupakan komponen penting dari interpretasi seismik, karena peta ini berguna untuk mengetahui horison yang telah ditelusuri penyebarannya secara horizontal (lateral). Peta struktur waktu juga merupakan peta yang digunakan untuk mendapatkan peta struktur dalam kedalaman setelah dikonversi.

Berikut ini adalah contoh hasil interpretasi seismik pada tampilan penampang seismik 2D dengan indikasi patahan blok dan ketidakselarasan lapisan pada horison atas yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Contoh hasil interpretasi seismik

2.5 Atribut Seismik

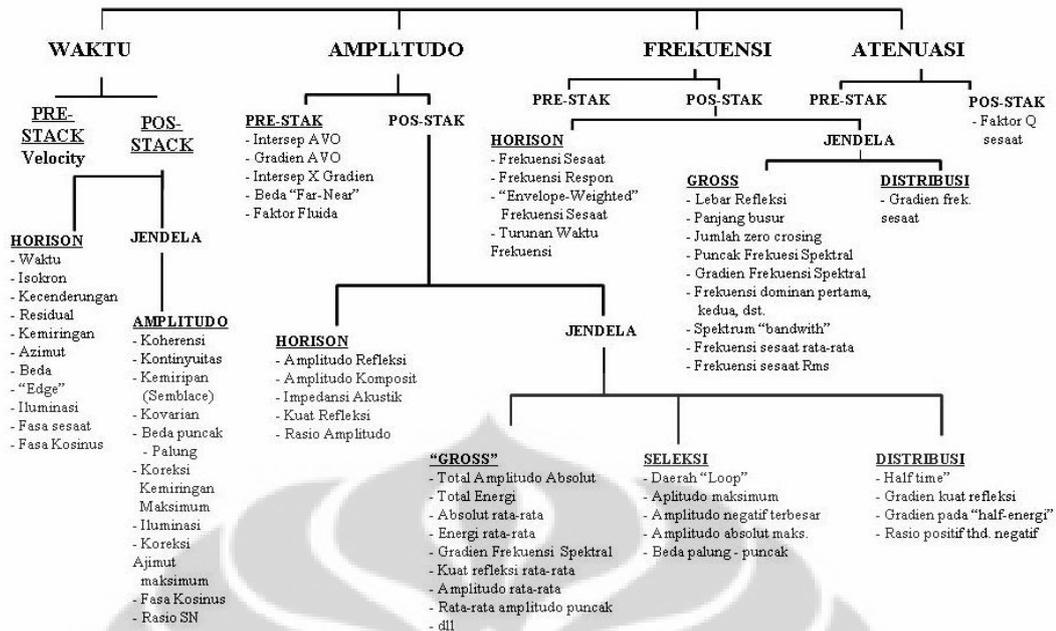
Banyak definisi yang diberikan mengenai seismik atribut. Chien dan Sidney (1997) mendefinisikan atribut sebagai semua informasi berupa besaran spesifik dari geometri, kinematika, dinamika atau statistik yang diperoleh dari data seismik, yang diperoleh melalui pengukuran langsung maupun logis atau berdasarkan pengalaman. Barnes (1999) mendefinisikan atribut seismik sebagai sifat kuantitatif dan deskriptif dari data seismik yang dapat ditampilkan pada skala

yang sama dengan data orisinal. Kemudian Brown (2000) mendefinisikan suatu atribut sebagai derivatif suatu pengukuran seismik dasar.

Data seismik tidak selalu memberikan informasi parameter petrofisika atau geologi. Keberadaan data well-log dapat membantu memperlihatkan relasi antara data seismik dan parameter log, namun relasi ini sangat sulit ditentukan. Dalam hal ini atribut seismik dapat memberikan bantuan yang berarti. Jika terdapat relasi antara parameter geologi dan atribut seismik pada suatu titik well-log maka parameter geologi diluar titik well-log ini dapat diekstrapolasi. Oleh karena itu atribut seismik menyediakan tambahan informasi parameter petrofisika atau geologi yang penting bagi para *interpreter* untuk meningkatkan tingkat sensitivitas data seismik.

Sukmono (2007), mendefinisikan seismik atribut sebagai karakterisasi secara kuantitatif dan deskriptif dari data seismik yang secara langsung dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data awal. Informasi utama dari seismik atribut adalah waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar pengklasifikasian atribut lainnya seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. Semua *horizon* dan bentuk dari atribut - atribut ini tidak bersifat bebas antara satu dengan yang lainnya, perbedaannya hanya pada analisis data pada informasi dasar yang akan berpengaruh pada gelombang seismik dan juga hasil yang ditampilkan (Sukmono, 2001). Informasi dasar yang dimaksud disini adalah waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar klasifikasi atribut (Brown, 2000).

Secara umum, atribut turunan waktu akan cenderung memberikan informasi perihal struktur, sedangkan atribut turunan amplitudo lebih cenderung memberikan informasi perihal stratigrafi dan *reservoir*. Peran atribut turunan frekuensi sampai saat ini belum betul-betul dipahami, namun terdapat keyakinan bahwa atribut ini akan menyediakan informasi tambahan yang berguna perihal *reservoir* dan stratigrafi. Atribut atenuasi juga praktis belum dimanfaatkan saat ini, namun dipercaya bahwa atribut ini dimasa datang akan berguna untuk lebih memahami informasi mengenai permeabilitas.



Gambar 2.7 Klasifikasi atribut seismik (Brown, 2000)

Selanjutnya Taner (2001), mengelompokkan atribut ke dalam tipe geometri dan fisik. Atribut geometri digunakan untuk meningkatkan karakteristik geometri dari data seismik, sedangkan atribut fisik untuk menentukan parameter fisik dari bawah permukaan. Perbedaan sifat fisis serta kondisi geologi dibawah permukaan bumi menyebabkan gelombang seismik dalam penjarannya mengalami perubahan seperti amplitudo, kecepatan, fasa dan energi. Parameter fisis tersebut termasuk kepada atribut seismik dan merupakan bagian atribut fisik. Setiap atribut seismik memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada sifat reservoir tertentu, beberapa atribut lebih sensitif dibandingkan dengan atribut lainnya, sedangkan atribut yang lain mungkin juga dapat menampilkan informasi bawah permukaan yang mula-mula tersembunyi menjadi lebih baik, atau bahkan dapat mendeteksi *Direct Hydrocarbon Indicator* (DHI).

2.6 Atribut Curvature

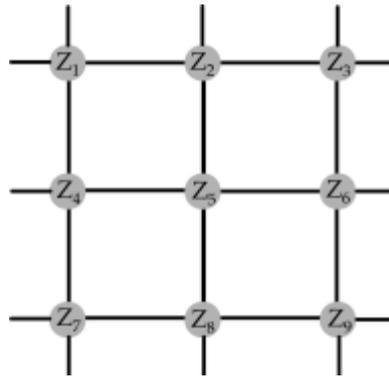
Salah satu atribut yang termasuk kedalam atribut geometri ialah atribut *curvature*. Secara teoritis, *curvature* menjelaskan seberapa lengkung sebuah kurva pada suatu titik terhadap bidang datar dari kurva tersebut (Roberts, 2001). *Curvature* dapat dicari dengan menggunakan lingkaran yang menyinggung kurva, lalu

menghitung kebalikan dari jari-jarinya di sepanjang kurva tersebut, seperti pada persamaan 2.3. Persamaan tersebut menjelaskan *curvature* pada 2D, sedangkan pada **Gambar 2.9** menjelaskan *curvature* pada koordinat xyz. Roberts (2001) juga menyadari jika kita menerapkan *curvature* pada sebuah permukaan maka terbentuk beberapa turunan *curvature* (persamaan 2.11 sampai 2.17).

$$K = \frac{d\omega}{dS} = \frac{2\pi}{2\pi R} = \frac{1}{R} \quad (2.3)$$

Pengertian *curvature* secara geologi dapat diringkas pada **Gambar 2.10**. *Curvature* memiliki vektor tegak lurus dari bidang dan dilambangkan dengan garis panah berwarna hitam. Apabila terdapat bentuk struktur antiklin, maka semua vektornya akan menyebar dan menghasilkan nilai *curvature* yang positif. Kebalikannya, apabila struktur geologi bercirikan sinklin, maka semua vektornya akan memusat sehingga *curvature* memiliki nilai negatif. Setelah itu jika bidang tegak lurus vektornya datar maka semua vektornya akan searah dan nilai *curvature* ialah nol.

Lisle (1994) telah berhasil menghitung dan mencari hubungan antara *curvature* dengan pengukuran rekahan pada sebuah *outcrop*, dan disebutkan jika sebuah struktur mengalami deformasi (perubahan bentuk) akan memiliki perubahan sudut kelengkungan yang besar, sehingga nilai *curvature*-nya akan bertambah. Lisle juga telah memberikan gambaran aplikatif dari atribut *curvature* yang sebelumnya hanya memiliki makna matematis. Karena sifat atribut *curvature* yang sensitif terhadap perubahan sudut sebuah struktur, maka atribut ini sangat cocok untuk mendeteksi rekahan serta patahan yang berada di bawah permukaan bumi. Atribut *curvature* dapat membantu seorang interpreter untuk melihat penyebaran rekahan dan patahan di bawah resolusi seismik, sehingga mempersingkat waktu pencarian struktur di tahapan interpretasi struktur.



Gambar 2.8 Jumlah titik sampel pada Metode atribut Curvature (Roberts, 2001)

2.7 Algoritma Atribut Curvature

Secara praktek, *curvature* dihitung berdasarkan input dari permukaan horizon yang telah diinterpretasi. Penerapan prakteknya menggunakan metode *least-square quadratic*. Metode ini menghitung persamaan 2.4 sebagai pendekatan *least-square* (Young, 1978). Metode ini juga menggunakan titik sampel sebanyak 3 x 3. Pendekatan metode ini didasarkan pada pencarian perhitungan koefisien (persamaan 2.4 sampai 2.10) hingga didapat perhitungan berbagai macam *curvature*. Dengan Z_1 sampai Z_9 merupakan nilai grid *surface*, dan Δx merupakan jarak antara grid.

$$z(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (2.4)$$

$$a = \frac{1}{2} \frac{f^2 z}{f x^2} = \frac{(Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_9)}{12\Delta x^2} - \frac{(Z_2 + Z_5 + Z_8)}{6\Delta x^2} \quad (2.5)$$

$$b = \frac{1}{2} \frac{f^2 z}{f y^2} = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9)}{12\Delta x^2} - \frac{(Z_4 + Z_5 + Z_6)}{6\Delta x^2} \quad (2.6)$$

$$c = \frac{f^2 z}{f x f y} = \frac{(Z_3 + Z_7 - Z_1 - Z_9)}{4\Delta x^2} \quad (2.7)$$

$$d = \frac{fz}{fx} = \frac{(Z_3 + Z_6 + Z_9 - Z_1 - Z_4 - Z_7)}{6\Delta x} \quad (2.8)$$

$$e = \frac{fz}{fy} = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 - Z_7 - Z_8 - Z_9)}{6\Delta x} \quad (2.9)$$

$$f = \frac{2(Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8) - (Z_1 + Z_3 + Z_7 + Z_9) + 5Z_5}{9} \quad (2.10)$$

Dari persamaan diatas, berbagai nilai atribut *curvature* seperti *principal curvature*, *Gaussian curvature*, *mean curvature*, dan *curvature* lainnya, dapat dihitung dengan mudah.

mean curvature :

$$K_m = \frac{K_{max} + K_{min}}{2} \quad (2.11)$$

gaussian curvature :

$$K_g = K_{max} \cdot K_{min} \quad (2.12)$$

principal curvature :

$$K_1 = K_m + \sqrt{K_m^2 - K_g} \quad (2.13)$$

$$K_2 = K_m - \sqrt{K_m^2 - K_g} \quad (2.14)$$

normal curvature :

$$K = K_{max} \cos^2\theta + K_{min} \sin^2\theta \quad (2.15)$$

Dari berbagai jenis atribut *curvature* yang ada, *most positive curvature*, K_+ dan *most negative curvature*, K_- merupakan yang paling umum digunakan dalam memetakan patahan dan mendeteksi batas suatu struktur. Secara matematik, *most positive curvature* dan *most negative curvature* didapat ketika koefisien d dan e

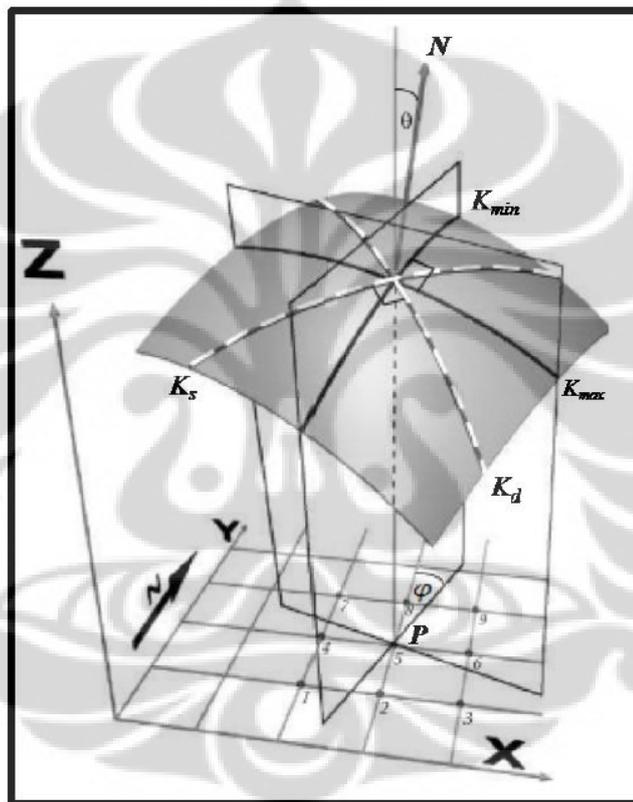
pada persamaan 2.13 dan 2.14 dibuat nol. Dimana, *most positive* dan *most negative* dirumuskan :

most positive curvature :

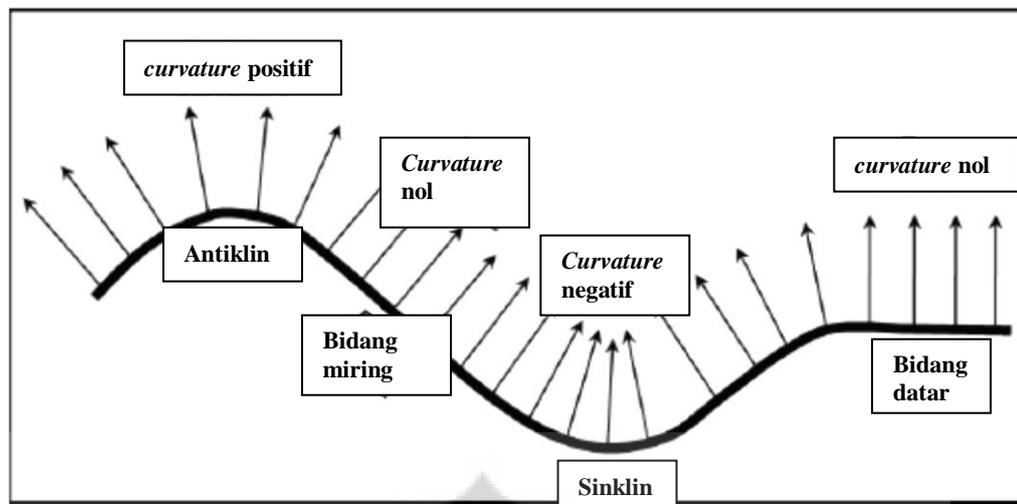
$$K_+ = (a + b) + \sqrt{(a - b)^2 + c^2} \quad (2.16)$$

most negative curvature :

$$K_- = (a + b) - \sqrt{(a - b)^2 + c^2} \quad (2.17)$$



Gambar 2.9 Penjelasan atribut *curvature* pada koordinat xyz. Terdapat beberapa jenis *curvature*, yaitu *normal curvature*, *minimum curvature* (K_{\min}), *maksimum curvature* (K_{\max}), dan *mean curvature* (Roberts, 2001)



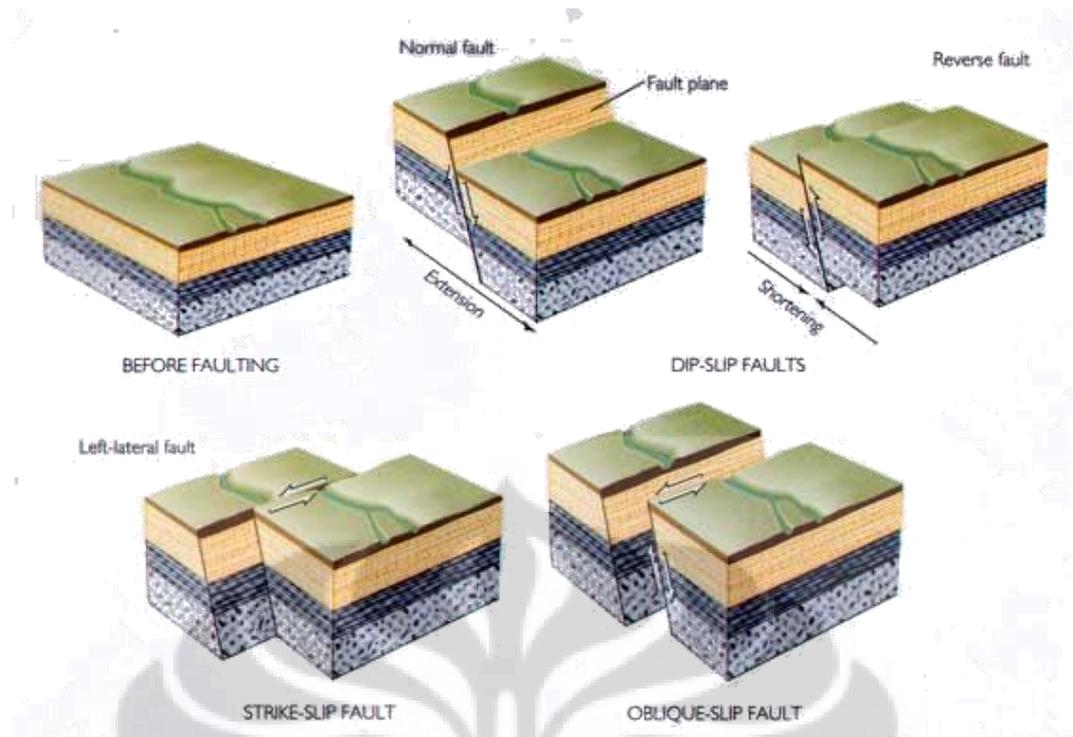
Gambar 2.10 Penjelasan *curvature* secara geologis dan masing-masing vektornya (Roberts, 2001)

2.8 Sesar (Fault)

Sesar atau *fault* adalah suatu rekahan pada batuan, dimana bagian-bagian yang dipisahkan oleh rekahan itu bergerak satu terhadap lainnya. Arah pergerakan bagian-bagian tersebut akan sejajar dengan bidang permukaan rekahan. Sesar mempunyai ukuran dari milimeter hingga ratusan kilometer (Moehadi, 2005)

Jurus atau *strike* sesar adalah arah dari suatu garis yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal. Jurus sesar dikenal juga dengan nama *faultline*, *fault trace* dan *fault outcrop*. Kemiringan atau *dip* adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, diukur pada bidang vertikal yang arahnya tegak lurus jurus sesar.

Hade adalah sudut antara bidang sesar dengan bidang vertikal yang arahnya sejajar sesar. *Hanging wall* adalah bagian yang terletak diatas sesar, sedangkan *foot wall* adalah bagian yang terletak di bawah bidang sesar. *Throw* adalah komponen vertikal pada separasi sesar.



Gambar 2.11 Tatanan struktur sesar (Freeman, 1994)

Sesar terjadi akibat tekanan pada suatu lapisan batuan. Jika suatu lapisan batuan ditekan maka batuan tersebut akan mengalami deformasi. Jika tekanan yang diberikan melebihi ambang batas kekuatan elastisitasnya, maka batuan tersebut akan mengalami patahan. Untuk mengetahui adanya struktur sesar pada data seismik ada beberapa cara, yaitu :

- putusnya *event*,
- perubahan *dip*,
- perubahan pola pada *event* yang dilewati sesar,
- terlihatnya refleksi bidang patahan dan
- difraksi

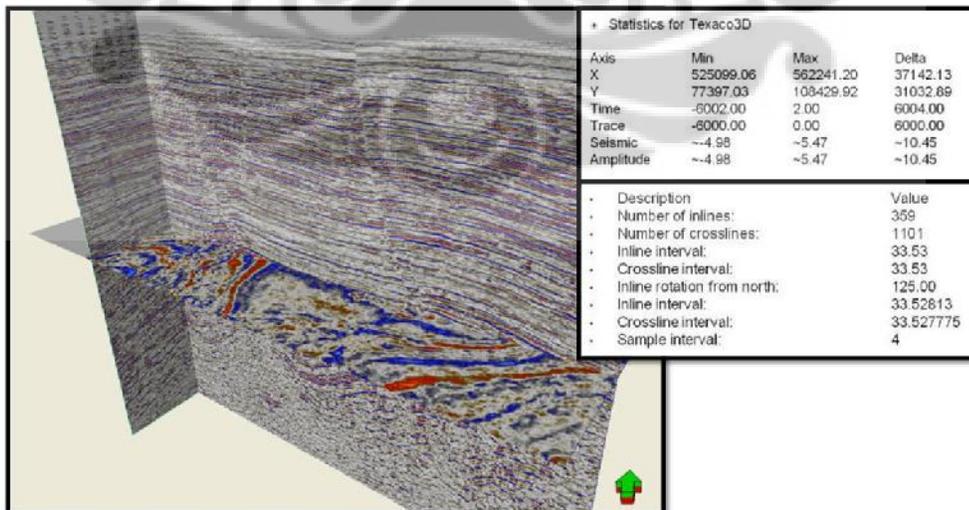
BAB 3

DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Pengolahan Data Real

Data yang digunakan adalah data seismik 3 dimensi. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi metode atribut curvature untuk menganalisis struktur. Data yang digunakan berformat (*.segy) yang kemudian diproses menggunakan MATLAB dengan tambahan paket *open source under* MATLAB untuk pemrograman data seismik, yaitu SEISLAB. Data yang digunakan merupakan data dari Gulf Coast Field, Texas. Data ini merupakan data *post stack time migration* (PSTM) tiga dimensi (3D). Spesifikasi data seismik tersebut mempunyai record length 6s dengan sample rate 4ms. Jumlah inline 359 dan jumlah crossline sebanyak 1101, dimana interval tiap line adalah 34m dan berorientasi arah barat laut – tenggara.

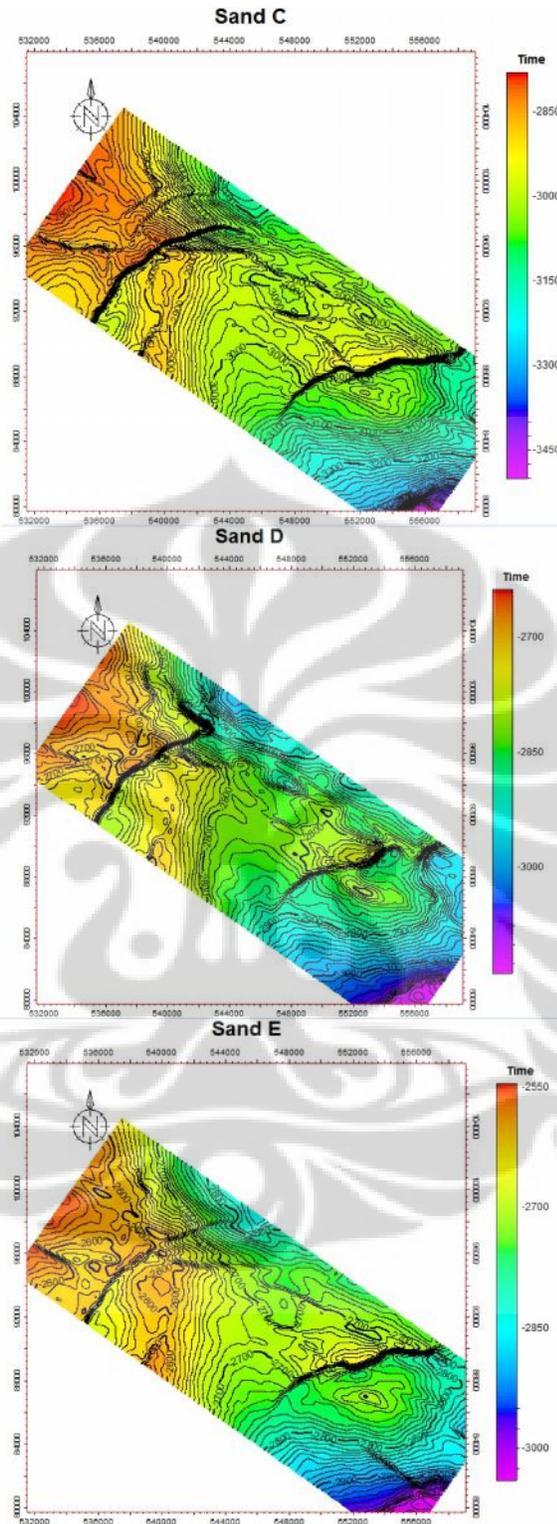
Secara umum, data seismik yang digunakan mempunyai kualitas baik, hal ini terlihat dari kemenerusan karakter refleksi seismik yang terlihat jelas, terutama dalam memperlihatkan struktur bawah permukaan. Data seismik yang diambil adalah data seismik offshore yang mempunyai datum 0 pada tvdss. Tidak ada data sumur yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.1. Data seismik 3D secara umum berikut spesifikasi teknisnya

Dalam penelitian ini, ditentukan zona yang diinginkan di mana fitur geologi tampak dan untuk mempercepat proses perhitungan data. Dengan penentuan zona diharapkan dapat lebih memahami zona sesar yang akan diteliti. Daerah yang diteliti merupakan hasil interpretasi manual dari Thesis Ng Bei Berger, 2011. Interpretasi manual tersebut tentunya sudah dilakukan pengikatan data sumur pada data seismik sehingga diasumsikan *valid*, selain itu juga dilakukan kontrol kualitas dari hasil interpretasi manual tersebut apabila ditemukan kesalahan pada penelusuran horison disetiap seismiknya. Berdasarkan hasil interpretasi tersebut, didapatkan 7 horizon top reservoir. Diantaranya dari yang paling atas Top Structure G, Top Structure F, Top Structure E, Top Structure D, dan Top Structure C, sedangkan Top Structure B, dan yang paling bawah adalah Top Structure A. Hasil analisis keseluruhan dari horison tersebut secara umum bagian barat-barat laut mempunyai struktur yang lebih tinggi dibandingkan bagian timur-tenggara.

Hasil interpretasi manual tersebut akan dijadikan batasan untuk dilakukannya penelitian metode atribut *curvature*. Sebanyak 3 horizon akan dilakukan perhitungan gridding untuk menampilkan *time structure map*. Terakhir dilakukan perhitungan atribut *curvature* menggunakan metode *least square quadratic*. Ketiga horizon tersebut ialah Top Structure E, Top Structure D, dan Top Structure C. Dasar pemilihan ketiga horizon tersebut kembali kepada kegunaan metode atribut *curvature*. Kegunaan atribut *curvature* antara lain untuk mendeteksi rekahan yang berasosiasi dengan patahan besar. Zona - zona rekahan tersebut biasanya muncul pada struktur kompleks yang jika dilihat dari penampang seismik tidak akan muncul disebabkan oleh keterbatasan resolusi gelombang seismik. Dari 7 horizon yang telah dihasilkan sebelumnya struktur kompleks tersebut diperkirakan muncul pada Top Structure E, Top Structure D, dan Top Structure C.



Gambar 3.2 Top Structure E, Top Structure D, dan Top Structure C, yang akan dijadikan daerah penelitian metode atribut curvature, ketiga time structure map tersebut dihasilkan dari software Petrel. Nilai time dalam ms

Langkah pertama ialah mengekspor horizon - horizon daerah penelitian tersebut dari software Petrel ke dalam bentuk ekstensi .txt. Diubah ke dalam bentuk ekstensi .txt tersebut supaya dapat terbaca di software MATLAB. Dari masing - masing data .txt itu, tersimpan informasi berupa tiga buah baris yang artinya baris pertama ialah data posisi x, baris kedua ialah data posisi y, dan terakhir ialah data besarnya time (ms).

3.2 Perhitungan Gridding di Matlab

Gridding merupakan proses memfitting sejumlah data dalam hal ini titik sampel yang kemudian dilakukan proses interpolasi untuk mendapatkan sebuah peta baru. Kemudian hasil keluaran horison *time structure map* dari Petrel kita definisikan masing - masing baris tersebut agar terbaca sebagai matriks kolom sehingga dapat dilakukan gridding data di MATLAB. Selanjutnya dari matriks tersebut dicari nilai yang terbesar (maksimum) dan nilai terkecil (minimum). Parameter berikutnya yang kita definisikan untuk proses gridding ialah jumlah grid. Parameter ini mengikuti nilai perubahan posisi x dan posisi y, informasi tersebut didapat dari *header time structure map* di *software* Petrel. Perubahan kedua posisi x dan posisi y yang berasal dari *header* bernilai 50. Sehingga digunakan jumlah grid sebesar 160. Sampai saat ini, matriks *time structure* siap untuk dilakukan proses gridding.

Proses selanjutnya ialah menggabungkan ketiga matriks kolom tersebut menjadi satu matriks 2D. Penggabungan ini bertujuan agar saat proses gridding dan interpolasi, posisi x, posisi y, dan nilai time teratur. Berikutnya metode interpolasi yang disediakan oleh MATLAB bermacam - macam, namun yang digunakan pada penelitian kali ini ialah metode bicubic interpolation. Keuntungan dari metode ini ialah sifat perhitungannya yang efisien walaupun besar erornya tidak sekecil metode - metode lain yang disediakan oleh MATLAB. Keuntungan lainnya ialah kecepatan perhitungannya sehingga tidak banyak membutuhkan waktu dalam prosesnya.

3.3 Perhitungan Atribut *Curvature*

Ada banyak metode perhitungan atribut *curvature* yang berasal dari sebuah permukaan. Peta time structure hasil picking horizon dari sebuah workstation ialah input yang ideal digunakan untuk menghitung nilai *curvature* di setiap titik pada data seismik. Perhitungan atribut *curvature* pada penelitian kali ini menggunakan pendekatan *least squares quadratic*, metode ini memfitting perhitungan kuadrat terkecil dari sembilan titik sampel yang dicuplik. Sedangkan kesembilan sampel tersebut berguna untuk mencari turunan dari nilai horizon seismik yang telah di picking. Perhitungan *curvature* secara analitik dapat diselesaikan dalam bentuk turunan atau diferensial. Turunan yang dimaksud ialah perubahan vektor tangensial terhadap perubahan jarak disepanjang kurva tersebut. Persamaan di bawah ini ialah bentuk *least squares quadratic* yang digunakan untuk mencari nilai *curvature* disetiap titik pada permukaan yang telah digridding.

$$z(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (3.1)$$

3.3.1 Perhitungan Koefisien *Least Square Quadratic*

Fungsi z pada peta struktur waktu yang telah digridding akan dilakukan pencuplikan di kesembilan titik (Z1 hingga Z9). Lalu penyelesaian persamaan diatas menggunakan diferensial orde dua untuk mendapatkan masing - masing koefisiennya.

$$a = \frac{1}{2} \frac{f^2 z}{f x^2} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{1}{2} \frac{f^2 z}{f y^2} \quad (3.3)$$

$$c = \frac{f^2 z}{f x f y} \quad (3.4)$$

$$d = \frac{f z}{f x} \quad (3.5)$$

$$e = \frac{f z}{f y} \quad (3.6)$$

Secara sederhana, matriks peta struktur waktu yang telah digridding, dapat langsung diturunkan menggunakan perintah `gradient` di Matlab. Untuk penyederhanaan komputasi, dilakukan perhitungan turunan pertama dan kedua dari fungsi z sekaligus terhadap variabel x dan y . Semua perhitungan turunan tersebut dilakukan pada bentuk matriks kolom agar masing - masing variabel dapat dengan mudah dikenali pada perintah `gradient`. Gradient matriks tersebut kemudian diubah bentuknya kembali menjadi matriks $n \times m$ agar ketika ditampilkan sesuai dengan gridding semula.

Keseluruhan proses diatas dianalogikan sama seperti apel yang dipotong oleh sebuah pisau. Hasil potongan apel oleh pisau ialah *curvature* yang terbentuk. Sedangkan operator matematik dianalogikan sebagai pisau yang membelah apel. Potongan bagian apel dapat terbentuk sebanyak mungkin, begitu pula nilai *curvature* yang terbentuk. Potongan - potongan tersebut dinamai *curvature normal*, dan berguna sebagai dasar perhitungan untuk mendapatkan *curvature rata-rata*, dan *curvature gaussian*. *Curvature normal* ialah nilai *curvature* yang tegak lurus terhadap permukaan bidang yang dipotong oleh pisau operator matematik. *Curvature normal* dapat digabungkan dalam berbagai macam cara, serta selalu merepresentasikan permukaan yang dipotongnya. Diantara *curvature normal* tersebut, terdapat sebuah kurva bernilai absolut paling besar, bernama *curvature maksimum*. Kurva tegak lurus terhadap *curvature maksimum* ialah *curvature minimum* dan memiliki nilai *curvature* terkecil.

3.3.2 Perhitungan Atribut Turunan *Curvature*

Kedua *curvature* tersebut merupakan prinsipal *curvature*, yaitu *curvature* yang digunakan untuk menghitung langsung *mean curvature*. Rata - rata dari kedua *curvature* maksimum dan minimum tersebut selalu bernilai konstan. Rektorys pada tahun 1969 telah menurunkan persamaan untuk mendapatkan rata - rata tersebut dengan mempergunakan koefisien dari penyelesaian *least square quadratic* :

$$K_m = \frac{a(1+e^2)+b(1+d^2)-cde}{(1+d^2+e^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.7)$$

Secara komputasi, perhitungan dengan persamaan diatas ialah pilihan yang lebih mudah, karena koefisien dari least square quadratic sudah dapat ditentukan. Atribut curvature berikutnya yang akan dihasilkan ialah curvature gaussian. Curvature jenis ini merupakan hasil perkalian atau curvature total dari kedua prinsipal curvature. Curvature gaussian sangat berguna karena apabila sebuah permukaan terlipat sedemikian rupa namun secara geologi tidak terjadi patahan pada permukaan tersebut, nilai curvature gaussiannya akan selalu konstan dan tidak berubah. Seperti pada persamaan berikut :

$$K_g = \frac{4ab-c^2}{(1+d^2+e^2)^2} \quad (3.8)$$

Prinsipal curvature dapat dicari dengan menggunakan kedua persamaan diatas,

$$K_1 = K_m + \sqrt{K_m^2 - K_g} \quad (3.9)$$

$$K_2 = K_m - \sqrt{K_m^2 - K_g} \quad (3.10)$$

Perhitungan atribut curvature maksimum dan minimum pada penelitian kali ini secara tidak langsung menggunakan input Kg dan Km agar menyederhanakan perhitungan komputasinya. Sebagai catatan, nilai curvature maksimum dan minimum dari sebuah kurva ialah nilai absolut terbesar dan nilai absolut terkecil. Prakteknya pada software Matlab ialah dengan melakukan pencarian nilai terbesar dan terkecil menggunakan find dari keseluruhan matriks prinsipal curvature.

$$K_{max} = \begin{cases} k_1 & \text{jika } |k_1| \geq |k_2| \\ k_2 & \text{jika } |k_1| < |k_2| \end{cases} \quad (3.11)$$

$$K_{min} = \begin{cases} k_2 & \text{jika } |k_1| \geq |k_2| \\ k_1 & \text{jika } |k_1| < |k_2| \end{cases} \quad (3.12)$$

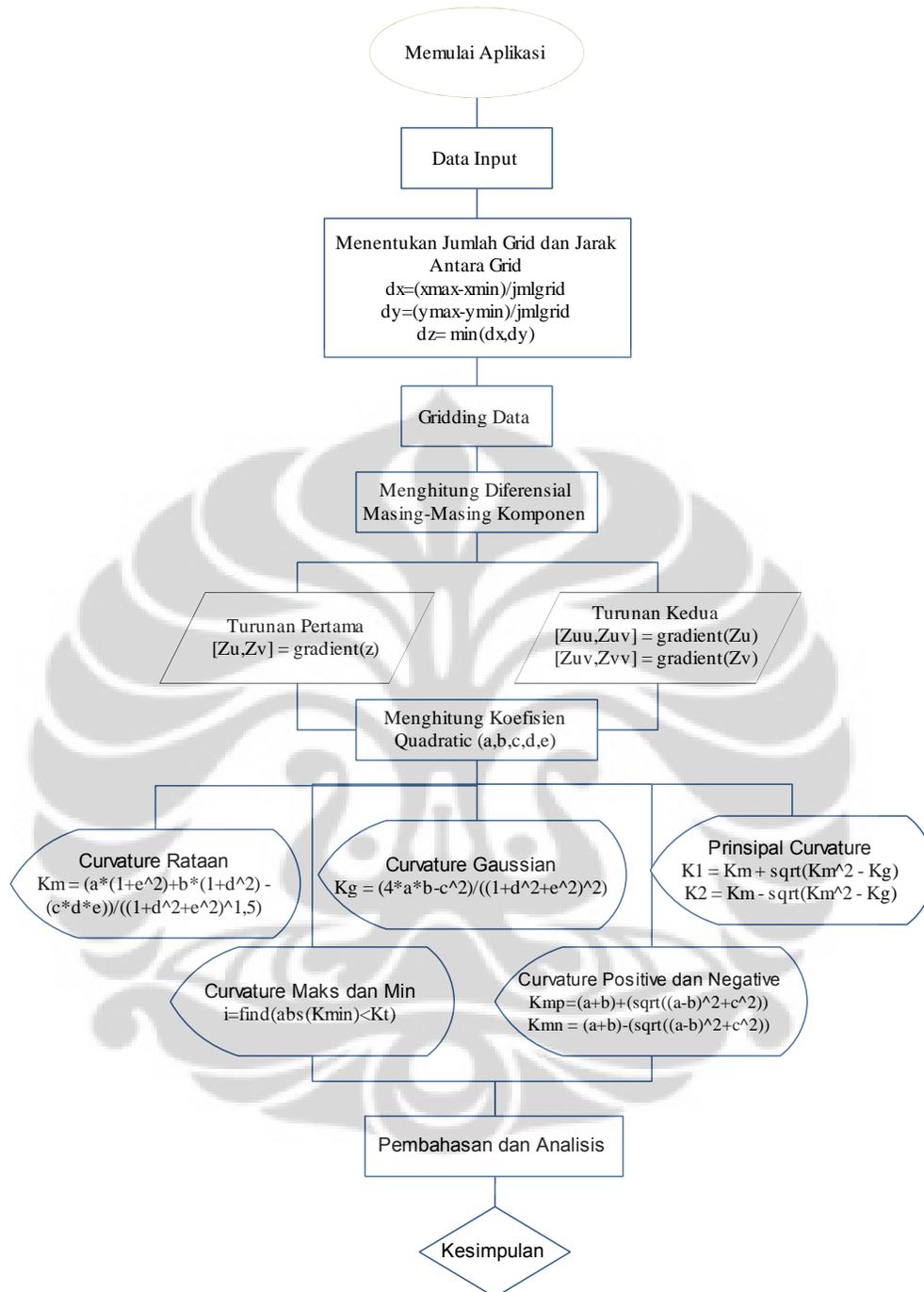
Koefisien penyelesaian persamaan least square quadratic juga berguna untuk mendapatkan atribut most positive curvature dan most negative curvature. Kedua

atribut turunan curvature tersebut merupakan curvature matematis yang konsisten secara perhitungan dan hal ini akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Kedua atribut tersebut dihitung dengan cara analitik, yaitu dengan mengganti koefisien d dan e menjadi nol. Sehingga didapat :

$$K_{mp} = (a + b) + \sqrt{(a - b)^2 - c^2} \quad (3.13)$$

$$K_{mn} = (a + b) - \sqrt{(a - b)^2 - c^2} \quad (3.14)$$





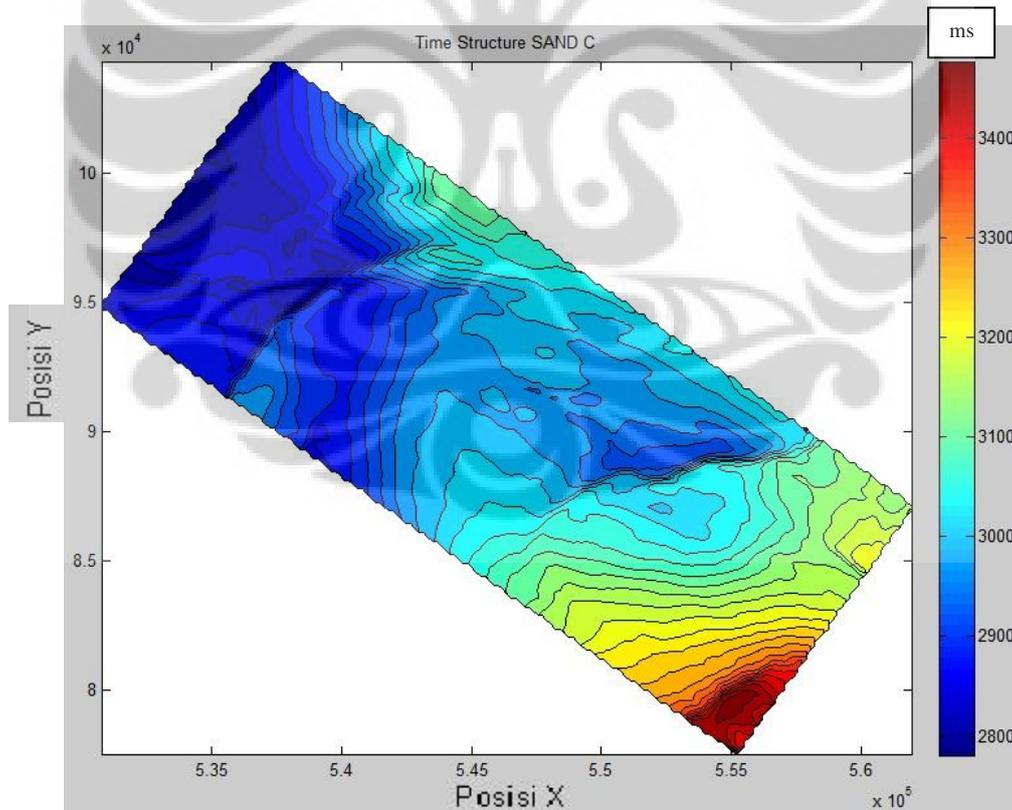
Gambar 3.3. Diagram Algoritma Aplikasi Perhitungan Kurvatur

BAB 4

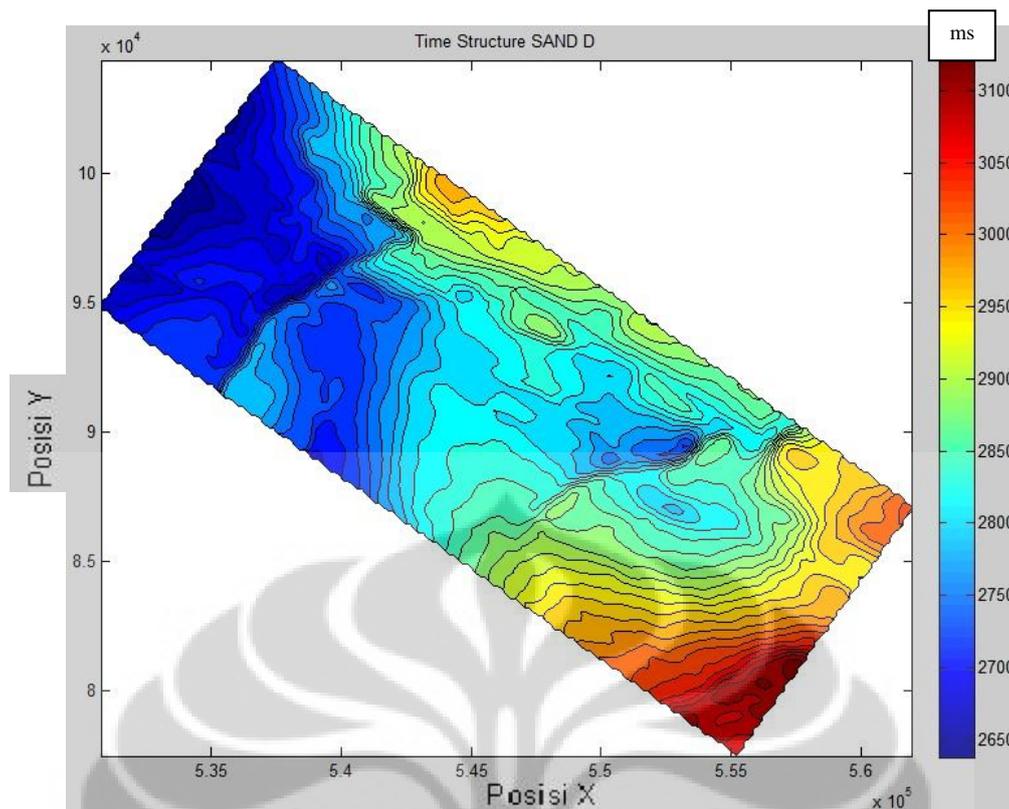
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Gridding Peta Struktur Waktu

Gambar 4.1 hingga 4.3 ialah hasil gridding dan interpolasi dari peta time structure Top and C, Top Sand D, dan Top Sand E dengan software MATLAB. Peta - peta tersebut memiliki batas dan kemiringan yang sama dari hasil interpretasi pada Petrel. Sumbu X merupakan posisi X dan dituliskan dalam UTM, begitu juga untuk sumbu Y yaitu posisi Y. Sedangkan *color bar* merepresentasikan nilai *TWT* dan memiliki satuan ms. Dari *color bar* juga dapat dilihat bahwa daerah dengan berwarna merah ialah daerah yang secara waktu semakin dalam, dan yang berwarna biru semakin mendekati permukaan.



Gambar 4.1 Hasil gridding time structure Top Sand C dengan software MATLAB.



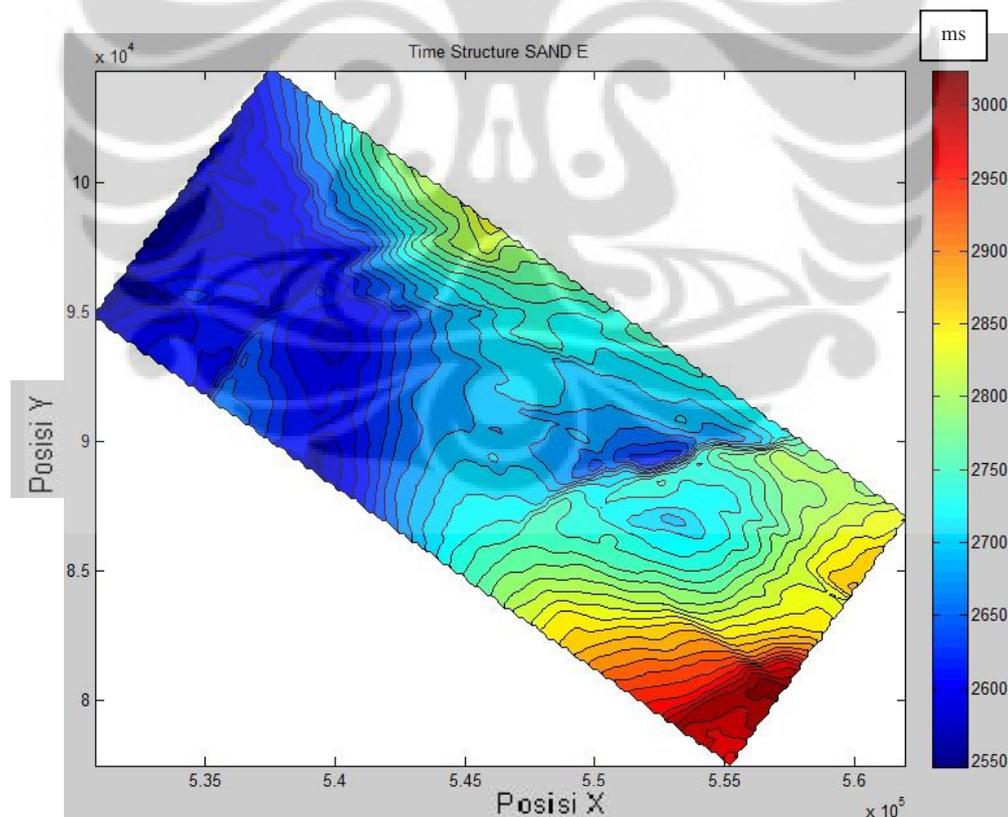
Gambar 4.2 Hasil gridding time structure Top Sand D dengan software MATLAB.

Time structure Top Sand C memiliki range waktu dari sekitar 2820 ms hingga 3460 ms. Dari analisis kualitatif, dapat dilihat adanya dua struktur utama pada time structure ini. Kedua struktur utama tersebut ialah struktur sesar. Seperti terlihat pada peta tersebut, sesar F1 mengarah dari barat daya menuju timur laut. Sesar F1 juga hampir memotong keseluruhan base map. Sesar F1 pula lah yang memisahkan daerah kiri sesar (lebih dekat ke permukaan) dengan daerah kanan sesar (lebih dalam). Namun daerah kanan sesar, masih lebih dangkal daripada daerah paling sebelah timur. Daerah ini terpisahkan oleh sesar F2, sesar dengan arah sama seperti sesar F1 (Barat daya menuju timur laut). Namun sesar F2 tidak sepanjang sesar F1. Hanya meliputi sekitar setengah dari base map.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.2, time structure map Top Sand D memiliki range waktu dari sekitar 2660 ms hingga 3120 ms. Informasi lain yang penting ialah posisi time structure map Top Sand D berada diatas time structure map Top Sand C. Pada time structure map Top Sand D, muncul kembali struktur sesar utama F1 dan F2 dengan arah sesar yang sama seperti pada time structure map

Top Sand C. Yang menjadi perbedaan ialah sesar F1 pada time structure ini, terdapat sesar minor kecil mengarah Barat laut menuju Tenggara (tegak lurus dengan F1). Pada sesar F2 di time structure ini pun terlihat sedikit berbeda pada time structure Top Sand C, yaitu terpisahnya sesar F2 menjadi 2 bagian kecil (bagian utara dan selatan).

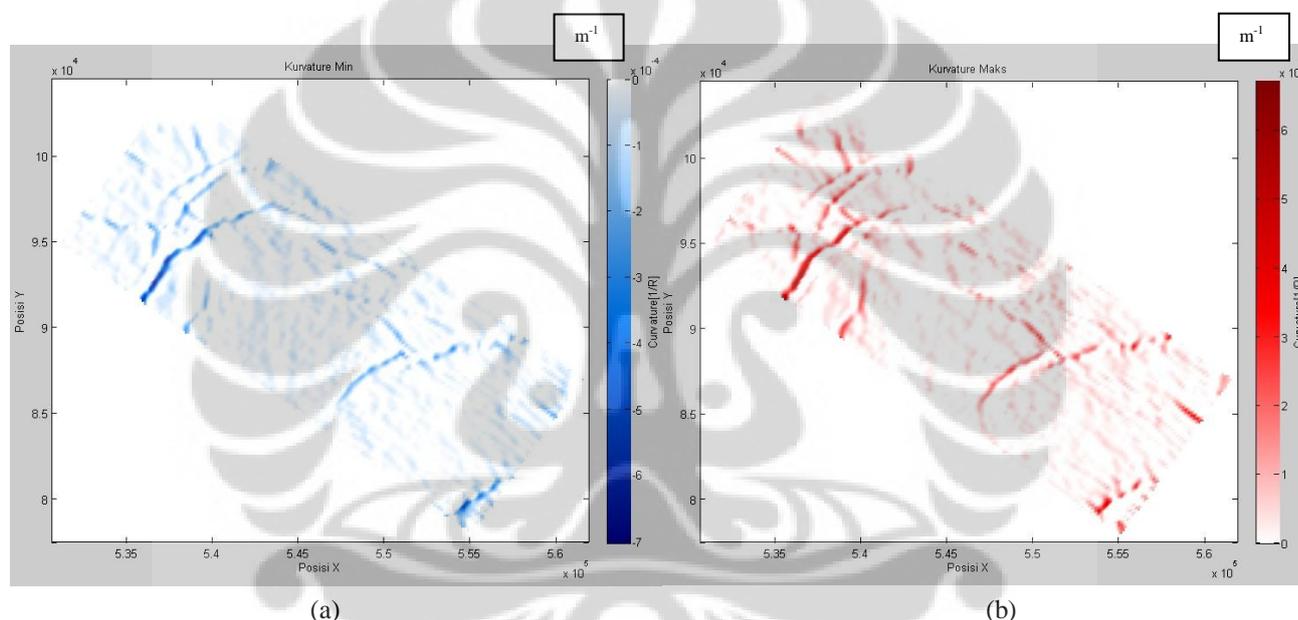
Untuk time structure Top Sand E, range nilai waktu berawal dari sekitar 2550 ms hingga 3070 ms. Posisi time structure Top Sand E ini, berada paling atas antara Top Sand D dan Top Sand C. Struktur utama sesar F1 muncul dengan keadaan yang tidak terlalu terlihat di daerah utara namun kuat terlihat di daerah selatan. Struktur sesar F1 dari ketiga time structure map, telah memisahkan kedua daerah dengan nilai waktu yang cukup kecil. Perbedaan tersebut berkisar antara 75 ms (Top Sand D), 25 ms (Top Sand E), dan 50 ms (Top Sand C). Informasi penting lainnya ialah pada time structure Top Sand E, sesar F2 tetap muncul.



Gambar 4.3 Hasil gridding time structure Top Sand E dengan software MATLAB.

4.2 Atribut Kurvatur Maksimum dan Minimum

Kurvatur maksimum dan minimum merupakan atribut kurvatur yang sangat efektif untuk menentukan sesar dan geometri patahan (Roberts, 2001). Sebuah sesar dapat teridentifikasi menggunakan atribut ini apabila terdapat perbedaan secara warna. Warna putih merepresentasikan kurvatur bernilai nol dan kurvatur bernilai maksimum berwarna merah. Kurvatur maksimum atau yang bernilai positif secara geologi ialah bagian yang naik ke atas dari suatu sesar. Sedangkan perhitungan atribut kurvatur minimum mencari nilai absolut terkecil dari sebuah peta struktur waktu. Dengan nilainya yang negatif, itu artinya kurvatur ini berasosiasi dengan bagian yang turun ke bawah dari suatu sesar.



Gambar 4.4 Tampilan atribut kurvatur maksimum (b) dan atribut kurvatur minimum (a) untuk Top Sand C

Pada **gambar 4.4**, dapat kita lihat bahwa kurvatur maksimum bernilai antara 0 hingga 0,00065 m⁻¹ dan kurvatur minimum bernilai antara 0 hingga -0,00070 m⁻¹. Nilai kurvatur maksimum paling besar berada pada struktur sesar F1 yang melintang dari Barat daya hingga Tenggara. Sesar F1 memiliki nilai kurvatur maksimum sekitar 0,00050 hingga 0,00065 m⁻¹. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, kurvatur maksimum berasosiasi dengan bagian naik dari suatu sesar dan kurvatur minimum berasosiasi dengan bagian turun dari suatu sesar. Karena

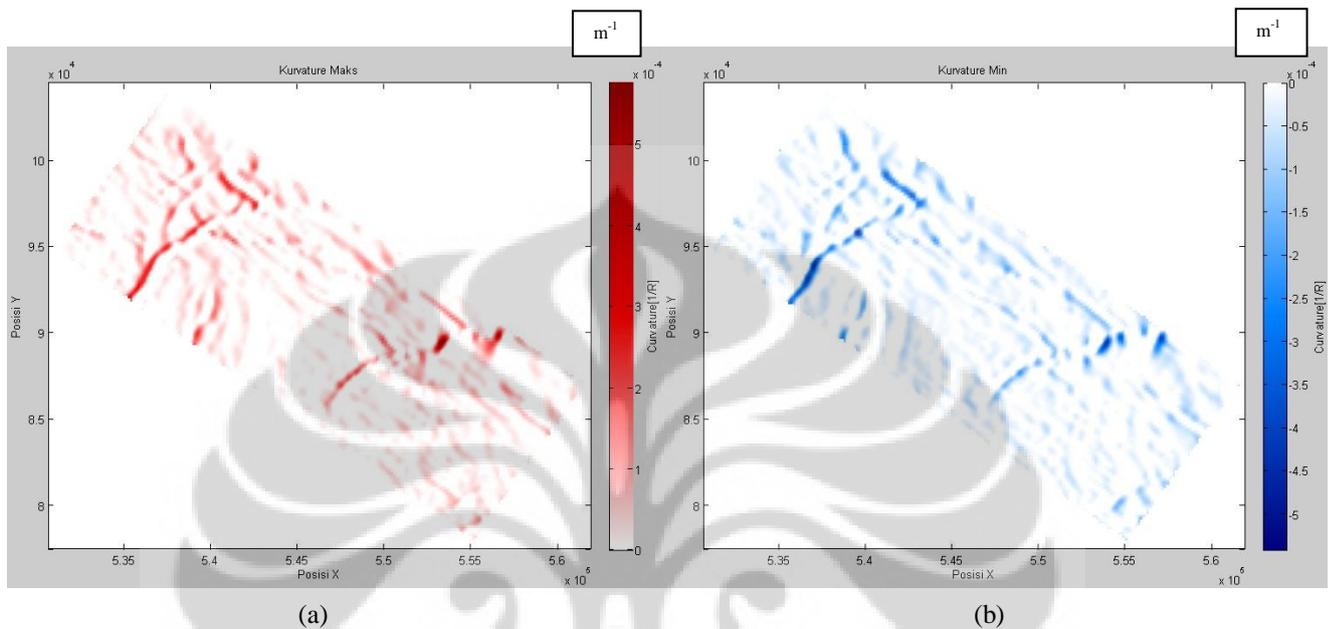
bagian turun dari sesar F1 berada di sebelah kanan dari bagian naiknya, maka sementara disimpulkan bahwa sesar F1 ialah sesar normal.

Dari kurvatur maksimum dan minimum ini juga dapat kita lihat kemunculan struktur geologi dengan nilai kurvatur maksimum tidak sebesar sesar F1. Namun sebelumnya tidak terlihat sama sekali pada time structure map. Tidak terlihatnya struktur geologi tersebut diakibatkan nilai waktu pada time structure map tersebar dengan metode interpolasi. Sehingga kurang baik untuk menampilkan nilai tertentu dari suatu struktur. Struktur geologi seperti di sebelah kiri dari sesar F1 ialah salah satu contohnya. Struktur geologi tersebut tidak dapat kita pastikan apakah merupakan bagian dari sesar minor atau sebuah lipatan atau hanya sebuah *ridge*.

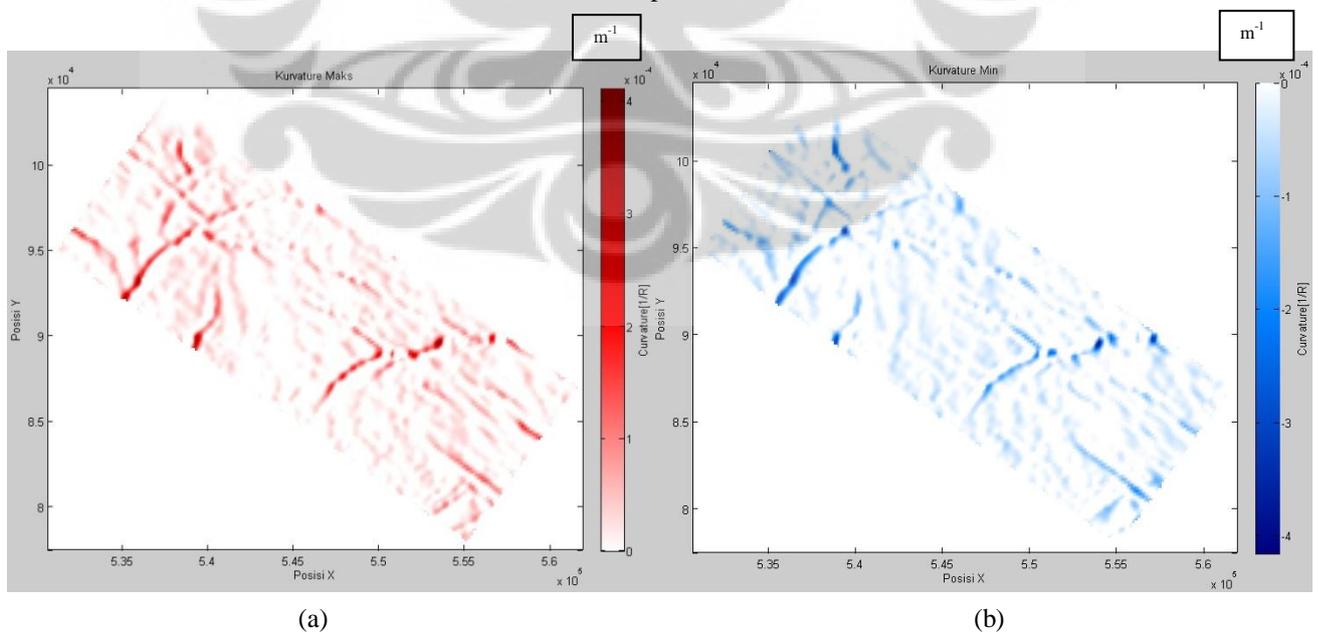
Kearah timur juga dijumpai sesar F2 namun dengan intensitas kurvatur maksimum yang lebih rendah serta kurvatur minimum yang lebih tinggi. Sesar F2 tampak sedikit berbeda dengan tampilan sesar F2 pada time structure map. Perbedaannya terletak pada tampilan sesar di time structure map yang lebih menerus dan tidak ada putus seperti pada tampilan kurvatur maksimum dan minimum. Hal tersebut terjadi karena kurvatur maksimum dan minimum hanya menghitung nilai absolut terbesar dan terkecil saja, sehingga apabila ada nilai kurvatur mendekati nol akan digambarkan dengan warna putih dan tidak seperti time structure map yang akan menghitung data secara interpolasi. Namun hal ini bukan berarti sesar F2 merupakan kumpulan sesar minor. Nilai nol (berwarna putih) diinterpretasikan sebagai bidang datar (tidak ada perubahan kurvatur) atau dapat juga sebagai bidang datar yang miring. Nilai kurvatur minimum sesar F2 sekitar 0,00030 hingga 0,00040 m^{-1} .

Pada **gambar 4.5**, dapat kita lihat bahwa kurvatur maksimum bernilai antara 0 hingga 0,00057 m^{-1} dan kurvatur minimum bernilai antara 0 hingga -0,00057 m^{-1} . Struktur sesar F1 dan F2 tetap muncul pada Top Sand D ini. Perbedaan kurvatur maksimum dan minimum dari Top Sand C dan D secara geologi keseluruhan ialah muncul lebih banyak struktur minor. Sekali lagi kita tidak dapat membedakan

mana yang sebuah sesar minor, lipatan, atau sebuah *ridge*. Sehingga kita belum dapat menginterpretasikan struktur - struktur yang terbentuk disamping struktur sesar utama F1 dan F2. Contohnya ialah munculnya struktur minor disamping kiri daerah utara dari sesar F1 atau semakin kuatnya tampilan struktur minor di sepanjang utara daerah antara sesar F1 dan F2.



Gambar 4.5 Tampilan atribut kurvatur maksimum (a) dan atribut kurvatur minimum (b) untuk Top Sand D



Gambar 4.6 Tampilan atribut kurvatur maksimum (a) dan atribut kurvatur minimum (b) untuk Top Sand E

Sedangkan pada gambar 4.6 (Top Sand E), dapat kita lihat bahwa kurvatur maksimum bernilai antara 0 hingga $0,00042 \text{ m}^{-1}$ dan kurvatur minimum bernilai antara 0 hingga $-0,00043 \text{ m}^{-1}$. Kembali terlihatnya struktur utama sesar F1 dan F2 pada Top Sand E ini semakin menguatkan bukti bahwa kedua sesar utama F1 dan F2 ialah struktur utama. Perbedaan kurvatur maksimum dan minimum dari Top Sand D dan E secara geologi keseluruhan ialah hilangnya beberapa struktur minor.

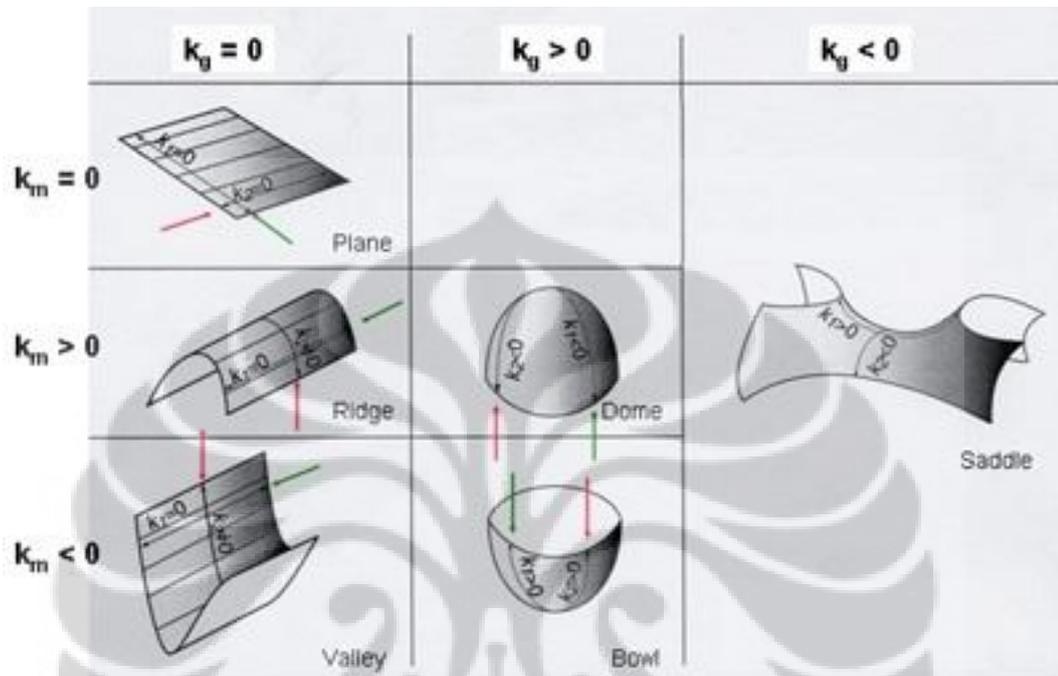
4.3 Atribut Kurvatur Rataan dan Kurvatur Gaussian

Gambar 4.8 ialah tampilan Km dan Kg untuk Top Sand C. Kurvatur rataan memiliki nilai antara $-0,00033$ hingga $0,00032 \text{ m}^{-1}$ dan kurvatur gaussian bernilai antara $-2,6 \times 10^{-16}$ hingga $3,2 \times 10^{-16} \text{ m}^{-1}$. **Gambar 4.9** dan **4.10** ialah tampilan Km dan Kg untuk Top Sand D, dan E. Kurvatur rataan Top Sand D memiliki nilai antara $-0,00027$ hingga $0,00028 \text{ m}^{-1}$ dan kurvatur gaussian bernilai antara $-2,4 \times 10^{-16}$ hingga $3,2 \times 10^{-16} \text{ m}^{-1}$. Untuk kurvatur rataan Top Sand E bernilai antara $-0,00021$ hingga $0,00020 \text{ m}^{-1}$ dan kurvatur gaussian bernilai antara $-1,6 \times 10^{-16}$ hingga $2,3 \times 10^{-16} \text{ m}^{-1}$. Nilai Km sedikit mendekati Kmax dan Kmin, sedangkan nilai Kg akan sangat kecil karena operasi yang diterapkan pada perhitungannya ialah bentuk perkalian antara kurvatur maksimum dengan kurvatur minimum.

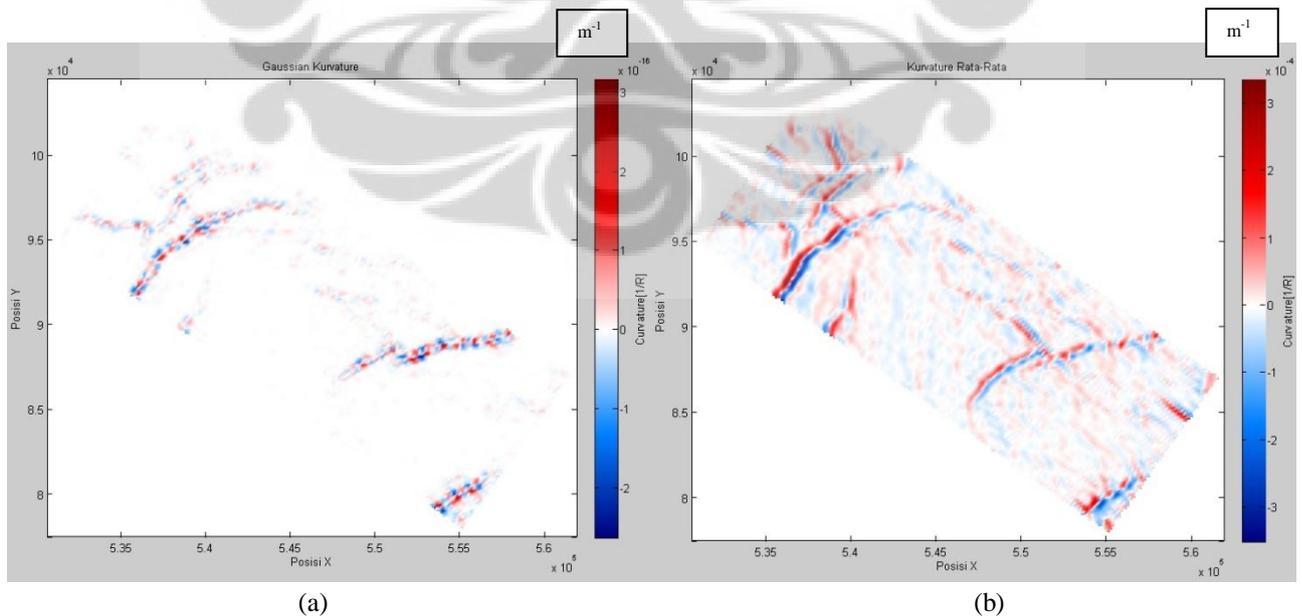
Kedua atribut ini ialah inti dari perhitungan atribut kurvatur. Kurvatur rataan dan gaussian dihitung secara analitik untuk mendapatkan atribut kurvatur lain seperti Kmax, Kmin, Kmp dan Kmn yang berguna untuk menentukan bentuk sebuah fitur - fitur geologi secara struktur agar lebih memahami suatu keadaan geologi daerah tertentu. Kurvatur rata - rata atau rataan merupakan nilai rata - rata dari Kmax dan Kmin, yang secara tidak langsung menghasilkan tampilan *overlay* atau gabungan dari Kmax dan Kmin. Namun sebaliknya untuk Kg secara tampilan kurang dapat menjelaskan suatu fitur struktur dengan cukup baik. Hal ini dikarenakan kurang jelasnya kemenerusan suatu struktur dan analisis kualitatif dari struktur tersebut secara terburu - buru hanya akan menciptakan ketidakpastian semakin besar.

Intepretasi langsung dengan melihat tampilan dari atribut Kg dan Km dimungkinkan apabila dilakukan perhitungan atribut *shape index*. Atribut ini

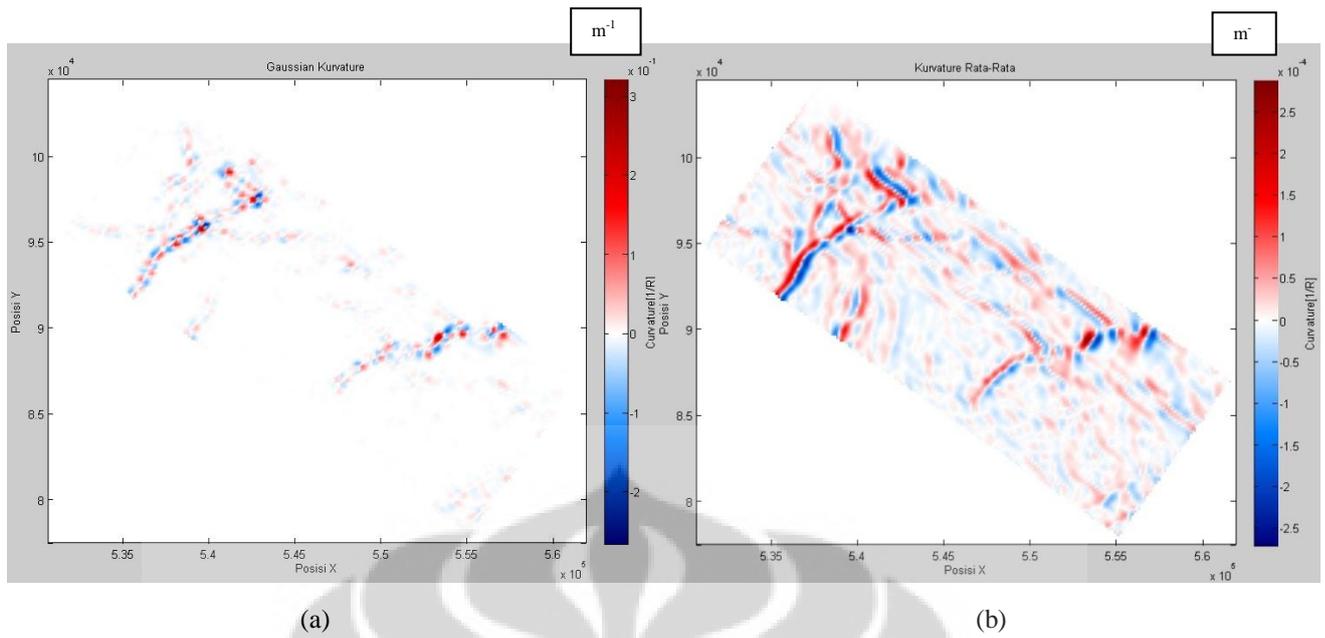
mendeteksi bentuk - bentuk lokal geologi dari suatu permukaan dengan melihat perbandingan besar nilai atribut K_g dan K_m . Roberts pada tahun 2001 telah merangkum pendeteksian bentuk - bentuk lokal geologi dari suatu permukaan tersebut, dan ditampilkan pada tabel di bawah.



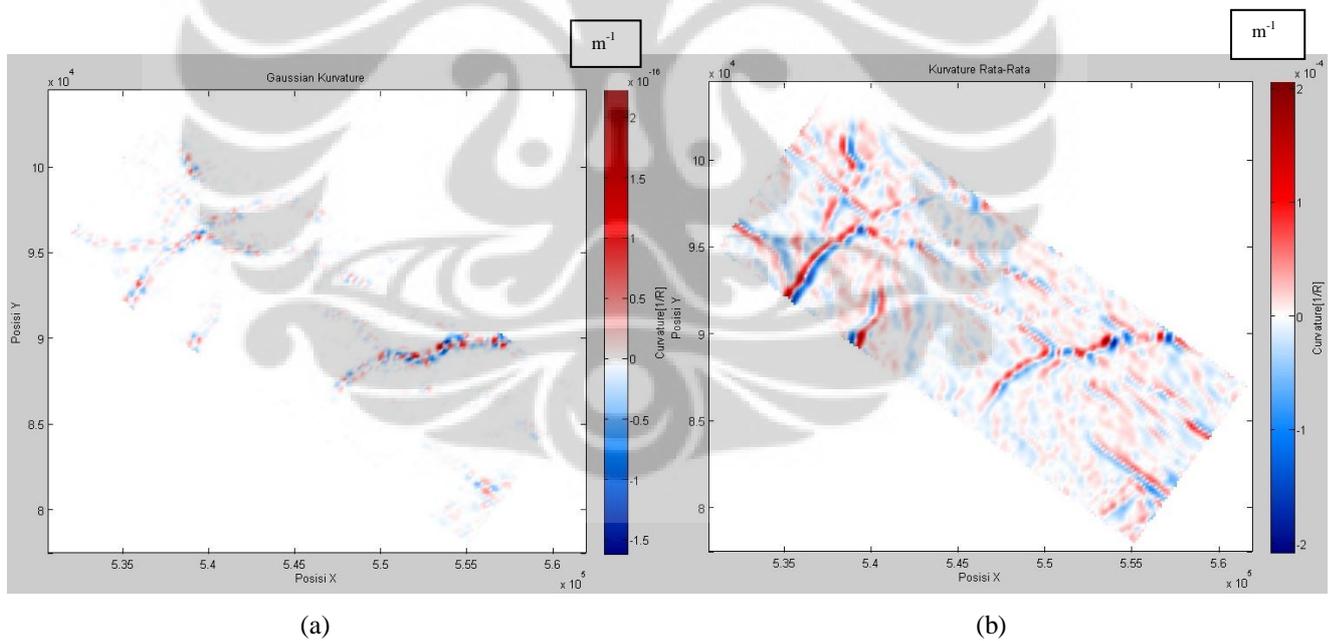
Gambar 4.7 Klasifikasi bentuk lokal menggunakan kombinasi K_g dan K_m (Roberts, 2001)



Gambar 4.8 Tampilan atribut kurvatur rata-rata (b) dan gaussian (a) Top Sand C



Gambar 4.9 Tampilan atribut kurvatur rataaan (b) dan gaussian (a) Top Sand D

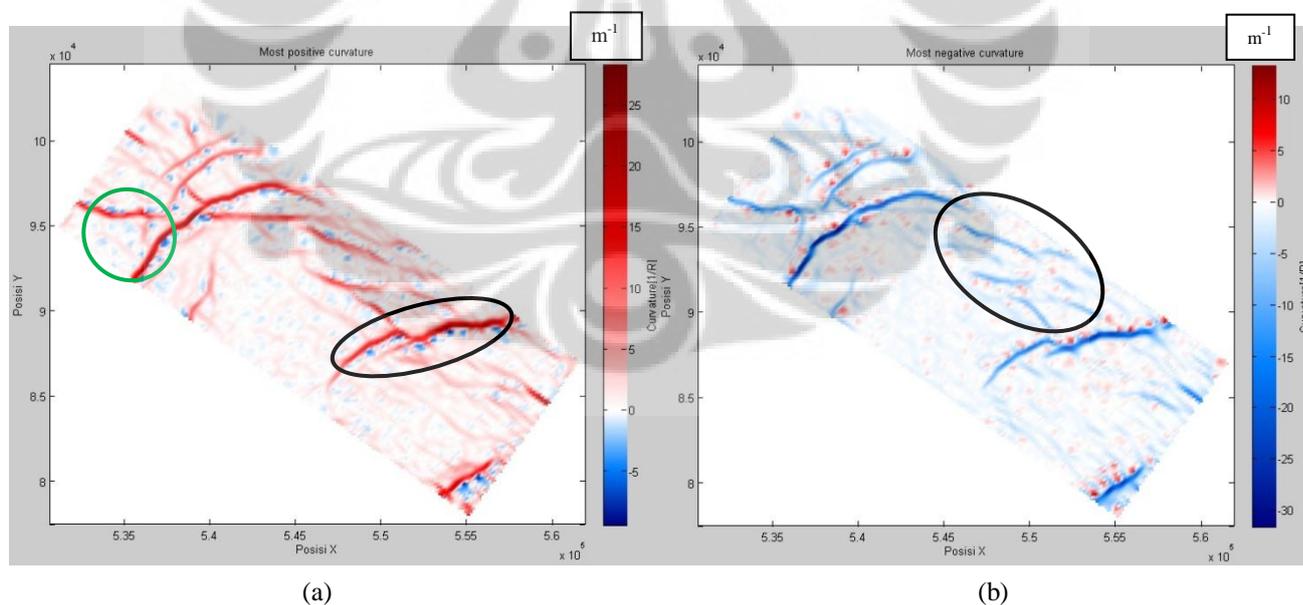


Gambar 4.10 Tampilan atribut kurvatur rataaan (b) dan gaussian (a) Top Sand E

4.4 Atribut Kurvatur Most Positif dan Kurvatur Most Negatif

Kurvatur maksimum dan minimum telah berhasil menentukan sebaran sesar lengkap dengan arah atau orientasinya. Namun kedua atribut kurvatur tersebut dianggap rancu apabila membedakan mana yang sebuah batas dari struktur (sesar) dan mana yang merupakan fitur geologi struktur seperti lipatan maupun sebuah *horst*. *Horst* seperti pada lingkaran hijau dibawah dapat dengan mudah dideteksi menggunakan atribut kurvatur most positif. Kelebihan atribut kurvatur ini ialah tidak adanya faktor turunan pertama (koefisien d dan e) dari data yang dihitung.

Pada pengolahan data, koefisien d dan e dari persamaan least square quadratic telah dibuat nol agar didapat persamaan kurvatur most positif dan most negatif. Secara fisis, koefisien d dan e memiliki arti sebagai selisih, dan atribut yang menggunakan turunan pertama sebagai perhitungannya ialah atribut kemiringan (*dip*), *azimuth*, dan yang lainnya. Dengan menghilangkan faktor tersebut maka hilang juga faktor kemiringan dari bentuk geologi. Sehingga dapat menghilangkan ketidakpastian dalam menentukan suatu struktur.



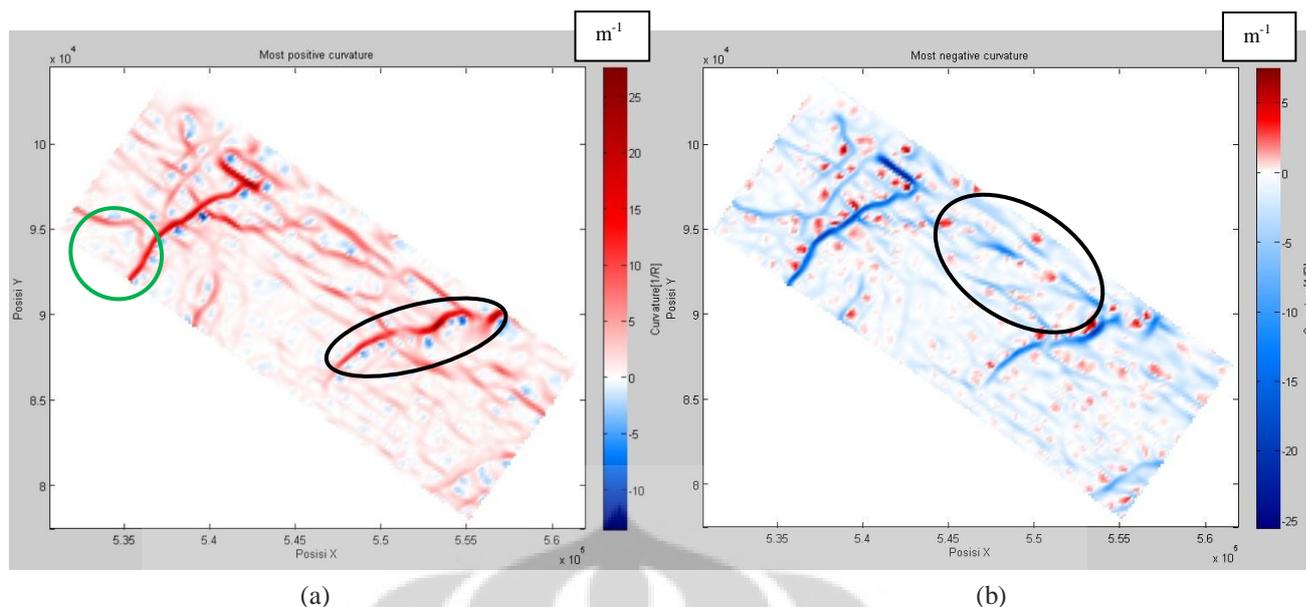
Gambar 4.11 Tampilan atribut kurvatur most positif (a) dan most negatif (b) Top Sand C

Pada **gambar 4.11**, dapat kita lihat adanya kemenerusan sesar F1 dan F2 seperti pada kurvatur maksimum dan minimum. Nilai atribut kurvatur most positif pada Top Sand C berkisar antara -8 hingga 28 m^{-1} , dan nilai kurvatur most negatif antara -25 hingga 8 m^{-1} . Nilai atribut ini sangat kontras dengan nilai kurvatur maksimum dan minimum, karena koefisien turunan pertama (d dan e) tidak masuk kedalam perhitungan kurvatur most positif dan negatif. Perbedaan ini justru memperjelas keberadaan struktur sesar F1.

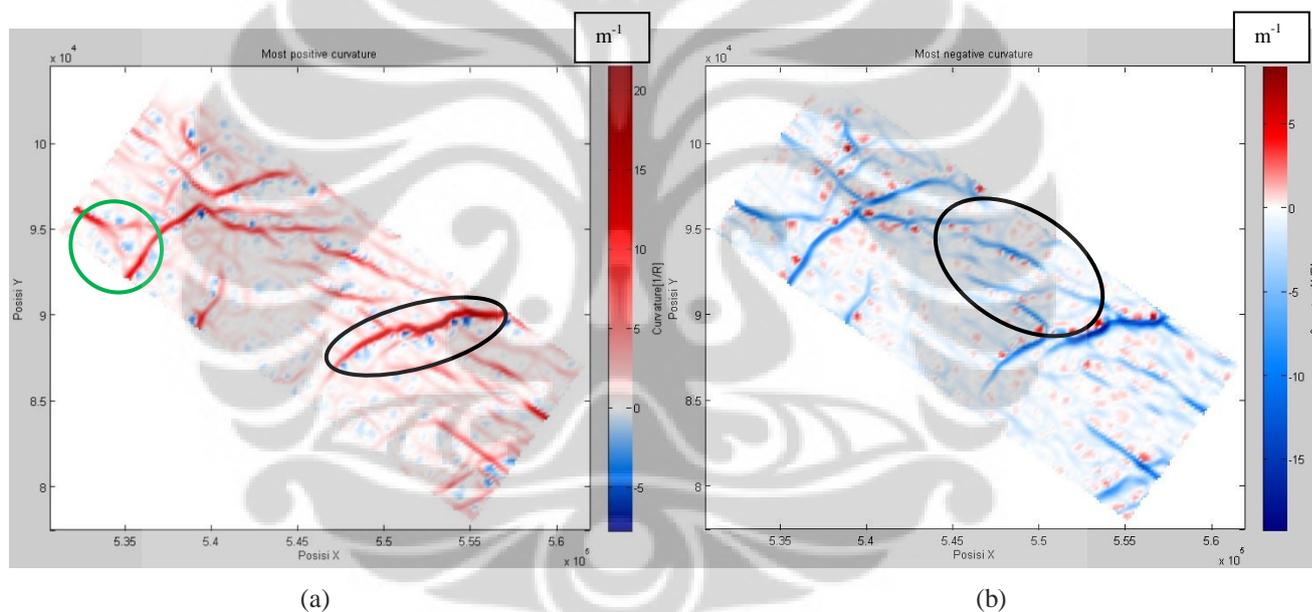
Dari atribut Kmp, sesar F1 memiliki warna merah dengan jelas dan warna biru berbintik disebelah kanannya. Nilai kurvatur positif berasosiasi dengan daerah naikan dari sebuah sesar, dan kurvatur negatif berasosiasi dengan daerah turunan. Sehingga intepretasi struktur sesar F1 pada atribut Kmax dan Kmin yang menyatakan bahwa sesar F1 ialah sesar normal sudah terbukti. Hal ini telah dikuatkan dengan warna biru (kurvatur negatif) berada disebelah kanan dari warna merah (kurvatur positif). Sedangkan sesar F2 juga merupakan sesar normal dengan alasan yang sama seperti sesar F1.

Atribut Kmp juga telah memperlihatkan keberadaan *horst* (lingkaran hijau). Struktur ini berada di sebelah barat laut dari sesar utama F1. Intepretasi ini berdasarkan kepada posisi garis merah berada didalam bintik biru. Yang dapat diartikan bahwa daerah naikan (kurvatur positif) berada dikelilingi oleh daerah turunan (kurvatur negatif). Lingkaran hitam pada atribut Kmn di Top Sand C diintepretasikan sebagai sesar - sesar minor yang arahnya tegak lurus dengan sesar utama. Sesar minor ini sudah jelas arah gaya utamanya berbeda dengan arah gaya yang menghasilkan sesar F1 dan F2.

Gambar 4.12 merupakan tampilan atribut Kmp dan Kmn dari Top Sand D. Nilai atribut kurvatur most positif pada Top Sand D berkisar antara -13 hingga 27 m^{-1} , dan nilai kurvatur most negatif antara -25 hingga 8 m^{-1} . Sedangkan **gambar 4.13**, menjelaskan tampilan atribut Kmp dan Kmn dari Top Sand E. Nilai atribut kurvatur most positif pada Top Sand E berkisar antara -8 hingga 22 m^{-1} , dan nilai kurvatur most negatif antara -20 hingga 8 m^{-1} .



Gambar 4.12 Tampilan atribut kurvatur most positif (a) dan most negatif (b) Top Sand D



Gambar 4.13 Tampilan atribut kurvatur most positif (a) dan most negatif (b) Top Sand E

Kemenerusan sesar F1 dan F2 tetap muncul pada **gambar 4.12** dan **4.13**. Kemenerusan sesar F2 di atribut Kmp dan Kmn terlihat lebih baik dari atribut Kmax dan Kmin. Hal ini dikarenakan Kmp dan Kmn hanya menghitung nilai kurvatur positif dan negatif terbesar, dan tidak terpengaruh dengan besar kemiringan atau secara analitik biasanya diekspresikan dengan turunan pertama (Roberts, 2001). Turunan pertama yang muncul pada atribut Kmax dan Kmin

dapat membuat nilai K_{max} dan K_{min} mendekati nol sehingga diinterpretasikan dengan warna putih pada atribut K_{max} dan K_{min} .

Dapat disimpulkan sementara dari ketiga gambar diatas bahwa semakin ke permukaan (dari sand C menuju sand E) fitur sesar utama disebelah Tenggara (lingkaran berwarna hitam) tetap terlihat pada atribut most positif maupun pada most negatif. Sedangkan *horst* (lingkaran hijau pada top sand C) terlihat sedikit kurang jelas pada top sand E. Dan diketahui pada daerah tersebut telah ditemukan keberadaan kubah garam atau *salt diapir* jauh pada kedalam top sand C (Shideler, 1987). Hal ini diverifikasi oleh tulisan Shiedeler pada tahun 1987, Beliau menyebutkan juga terdapat fitur umum struktur sesar tumbuh (*growth fault*) yang berorientasi paralel atau subparalel terhadap arah pengendapan, yang berarah Barat-Timur.

Kesemua perhitungan atribut kurvatur dan turunannya menggunakan parameter jumlah titik gridding sebesar 160. Apabila digunakan jumlah gridding yang lebih banyak (sekitar 500 keatas) maka tampilan kurvatur akan semakin halus dan menjadi semakin tidak memberikan informasi struktural apapun. Atribut kemiringan (*dip*) merupakan atribut turunan pertama sehingga secara langsung tidak dapat mendeteksi keberadaan sesar yang kemiringannya lebih dari 90 derajat. Atribut kurvatur telah berhasil mengatasi kekurangan dari atribut kemiringan dan memberikan hasil yang lebih baik secara lateral. Namun atribut ini tidak dapat menghasilkan tampilan penampang, karena metode *least square quadratic* mengharuskan input dari peta struktur waktu. Metode atribut kurvatur ini berarti memiliki nilai resolusi lateral yang baik namun resolusi vertikalnya buruk.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi tentang pendeteksian sesar dengan atribut kurvatur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Atribut kurvatur maksimum (K_{max}) dan minimum (K_{min}) kurang dapat membedakan fitur sesar dengan fitur geologi lainnya seperti *horst*, dan lipatan,
2. Atribut kurvatur gaussian (K_g) dan kurvatur rata-rata (K_m) secara tampilan sangat buruk untuk dilakukan pendeteksian sesar,
3. Atribut kurvatur most positif (K_{mp}) dan negatif (K_{mn}) berhasil menghilangkan ketidakpastian dari atribut kurvatur maksimum dan minimum, sehingga dapat membedakan sesar dengan fitur geologi lainnya,
4. Atribut Kurvatur dengan metode *least square quadratic* memiliki nilai resolusi lateral yang baik dan resolusi vertikal yang buruk,
5. Estimasi atribut K_{max} , K_{min} , K_g , K_m , K_{mp} , dan K_{mn} pada data real mampu menghasilkan sebaran sesar secara lateral dan otomatis, namun memerlukan kombinasi keenam atribut kurvatur tersebut dalam analisisnya.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis dari hasil studi tentang pendeteksian sesar dengan atribut kurvatur ialah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menghasilkan volume atribut kurvatur agar resolusi secara vertikalnya dapat meningkat,
2. Estimasi kurvatur *shape index* untuk pendeteksian bentuk - bentuk geologi secara lokal,
3. Pembuatan GUI agar tampilan yang digunakan lebih bersahabat,

DAFTAR ACUAN

- Bahoric, M. dan Farmer, S. (1995). *3-D Seismic Discontinuity for Fault and Stratigraphic Features : The Coherence Cube*. The Leading Edge, hal. 354- 362.
- Chopra, S., Picford, S. dan Alberta, C. (2001). *Integrating Coherence Cube Imaging and Seismic Inversion*. The Leading Edge, hal. 354-362.
- Hampson, D., Schuelke, J., and Quirein, J. (2001). *Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data*. Geophysics, Vol. 66, SEG.
- Lisle, R. J., (1994), *Detection of zones of abnormal strains in structures using Gaussian curvature analysis*, AAPG Bulletin, 78, 1811-1819.
- Roberts, A. (2001). *Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons*. First Break, 19, 85-99.
- Sheriff, R.E., and Geidart, L.P.,1995, *Exploration Seismology*. 2nd Edition, Cambridge University Press, Tulsa: vi + 592 hlm
- Shideler, G. L., 1987. *Regional geologic framework summary of the Neogene-Quaternary Louisiana continental shelf, northern Gulf of Mexico*: Southeastern Geology , 28(1), 31-48.
- Sukmono, Sigit. (2007). *Seismik Atribut Untuk Karakterisasi Reservoir*. Bandung: Teknik Geofisika. Institut Teknologi Bandung.
- Sigismondi, M.E., (2003). *Curvature attributes and seismic interpretation: Case studies from Argentina basins*. The Leading Edge, November 2003, 1122-1126.
- Taner, M.T. (2001), *Seismic Attributes*, CSEG Recorder.
- Young, M. (1978), *Statistical characterisation of attribute matrices by computer*. The fifth progress report on Contract DA-ERO-591-73-G0040, 5, 116. US Army European Research Office, London Report