



**PENINGKATAN RESOLUSI GAMBARAN PATAHAN DENGAN
TEKNIK TRACKING
(ANT-TRACK) PADA SEISMIC 3D DAN APLIKASINYA UNTUK
ANALISIS STRUKTUR PADA RESERVOAR REKAHAN**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
Memperoleh gelar Magister Sains**

**SIDIQ PRAMADA
6305210224**

**Universitas Indonesia
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Pascasarjana Fisika
Kekhususan Geofisika Reservoir
Jakarta, 2008**

**JUDUL : PENINGKATAN RESOLUSI GAMBARAN
PATAHAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
TRACKING (ANT-TRACK) DAN APLIKASINYA
UNTUK ANALISIS STRUKTUR PADA
RESERVOAR REKAHAN**

Nama : SIDIQ PRAMADA
NPM : 6305210224

Telah disetujui oleh:

Dr. Abdul Haris

Pembimbing

Prof.Dr.Suprajitno Munadi

Penguji

Dr.Ir. Ari Samodra

Penguji

Dr. Waluyo

Penguji

Kekhususan Geofisika Reservoir
Program Pascasarjana Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia

Ketua,

Dr. Dedi Suyanto

NIP.130935271

Tanggal Pengesahan:

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan ketekunan dan kekuatan kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini mengingat dalam menyelesaikan tesis ini juga bersamaan dengan pekerjaan rutin yang harus dilakukan. Begitu banyak dorongan moril yang diberikan oleh seluruh keluarga, teman-teman, pembimbing thesis serta pihak-pihak yang telah membantu proses penyusunan tesis ini sampai dengan selesai. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sangat besar terutama kepada:

1. **Dr. Dedi Suyanto** sebagai Ketua Program Pascasarjana Fisika .
2. **Dr. Abdul Haris** sebagai pembimbing tesis yang dengan penuh kesabaran memberikan masukan, saran serta semangat untuk segera menyelesaikan thesis ini.
3. **PT. Schlumberger Geophysics Nusantara**, baik jajaran direksi, manajemen dan seluruh rekan kerja di dalamnya yang telah memberikan kelonggaran waktu, fasilitas dan kemudahan bagi penulis untuk menyelesaikan program pasca sarjana ini .
4. Teman-teman Geofisika Reservoir UI yang saling membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan program pasca sarjana dan penyusunan thesis ini.
5. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan dorongan moril dan semangat kepada penulis, semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat, hidayah, kesehatan, keselamatan dan berkah bagi mereka.
6. Yang tak kalah pentingnya untuk istriku dan anakku, tiada ucapan yang sanggup untuk mengungkapkan syukur baginya atas dorongan, kesabaran, kesetiaan dan kerelaan atas waktu yang tersita untuk menyelesaikan program pasca sarjana ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat, hidayah, keselamatan dan berkah baginya.

Penulis menyadari penuh bahwa penelitian ini belum sempurna sepenuhnya, untuk itu penulis akan sangat menghargai apabila ada saran, kritik dan masukan yang diberikan bagi penyempurnaan penelitian ini untuk masa sekarang ataupun masa yang

akan datang. Akhir kata penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca pada umumnya dan juga rekan-rekan dalam industri minyak dan gas pada khususnya.

Jakarta, May 2008

Penulis



ABSTRAK

Dalam pengembangan suatu lapangan minyak dipengaruhi banyak faktor. Salah satu faktor yang penting untuk dipertimbangkan adalah patahan dan rekahan pada batuan reservoir. Patahan dan rekahan dapat dikenali dengan menggunakan data sumur maupun data seismic terutama seismic 3D. Umumnya patahan dikenali langsung dengan melihat data seismic 3D sebagai ketidak menerusan *seismic event*.

Dalam penelitian ini digunakan sebuah metode yang disebut *Ant-Track*. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi patahan berdasar data seismic 3D dan rekahan pada sumur yang berasosiasi dengan patahan tersebut. Metode ini dikembangkan dari sebuah algoritma yang disebut *Ant Colony Based Routing Algorithm*. Metode ini mampu memperjelas gambaran patahan dengan menggunakan data seismic 3D.

Dengan menggunakan metode ini dapat diketahui letak patahan secara lebih jelas dibandingkan dengan metode yang ada sebelumnya seperti metode pengamatan langsung pada sayatan *seismic* maupun penghitungan varian. Metode pengamatan langsung pada sayatan seismic hanya mampu menunjukkan gambaran fault besarnya saja. Metode penghitungan varian akan bisa menunjukkan ketidak menerusan trace seismic saja. Ketidak menerusan trace seismic ini bisa berupa gambaran patahan ataupun perubahan fasies sehingga tidak spesifik menggambarkan patahan. Dalam metode *ant-track* tidak hanya mampu menggambarkan patahan tetapi juga mampu menunjukkan patahan yang berasosiasi dengan data rekahan dan patahan yang diperoleh dari data FMI di sumur minyak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengaplikasi metode *ant-track* pada sebuah daerah contoh untuk mendapatkan gambaran patahan yang berasosiasi dengan rekahan di sumur minyak secara lebih jelas dan menemukan adanya hidrokarbon yang terperangkap dalam rekahan-rekahan yang berasosiasi dengan patahan tersebut.

ABSTRACT

Oil field development is depend on many factor. One of important factor to consider is fault and fractures at reservoir rock.. Fault and fracture could defined using wells data and seismic data especially 3D seismic. Usually the fault was identified by direct observation on seismic section as discontinuity of seismic event.

In this study the method was used called ant track to identify the fault base on seismic data and fractures which associated with those fractures base on wells data. This method developed base on an algorithm called Ant Colony Based Routing Algorithm. This method can enhance the fault image quality using seismic 3D data.

Ant-Track method can define clearer the fault location than the previous method like direct observation in seismic section and variance calculated section. The direct observation in seismic section can give the main fault image only and the variance calculated section can show the trace seismic discontinuity . These trace continuity could be fault, or facies change. The ant-track method is not only showing very clear fault but also can show fault which are associated with fractures . The fractures image from FMI used to guide fault distribution in seismic 3D.

The purpose of this study is applying the ant-track method at a sample area to get the fault image which is associated with fractures in wells more clearly and find the potential hydrocarbon trap in fractured reservoir.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Metode Penelitian	4
1.5. Alur Kerja	5
1.6. Hasil Penelitian Yang Diharapkan	11
BAB II. GEOLOGI REGIONAL	12
2.1. Tinjauan Umum	12
2.2. Tektonik Dan Struktur Geologi Regional	12
2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian	14
2.4. Sejarah Produksi Minyak di Teapot Dome	17
BAB III. DASAR TEORI	18
3.1. Konsep Dasar Varian	18
3.1.1. Varian Dari Sebaran Fungsi	19
3.1.2. Varian Populasi dan Varian Contoh	19
3.1.3. Distribusi Varian Contoh	20
3.2. Algoritma Untuk Menghitung Varian	20
3.3. Konsep Dasar <i>Ant-Track</i>	21

BAB IV. PENGOLAHAN DATA	24
4.1. Data Yang Digunakan	24
4.2. Alat Yang Digunakan	24
4.3. Pengolahan Data	25
4.3.1. Pengolahan Data Sumur	31
4.3.2. Pengolahan Seismic 3D	31
4.3.1.1. Data Loading	25
4.3.1.2. Data <i>Smoothing</i>	26
4.3.1.3. Penghitungan Varian	28
4.3.1.4. Penghitungan <i>Ant Track</i>	30
BAB V. ANALISA DAN PEMBAHASAN	
5.1. Peningkatan Resolusi Gambaran Patahan	38
5.2. Analisis Data Sumur	39
5.3. Korelasi Data <i>Fracture</i> dengan <i>Ant-Track Cube</i>	42
5.4. Potensi Pengembangan Lapangan	44
5.5. Estimasi Cadangan Hirokarbon Pada Rekahan	45
BAB VI. KESIMPULAN	50
DAFTAR REFERENSI	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1: Alur kerja dalam pengolahan seismic.....	6
Gambar 1.2: Seismic cube	7
Gambar 1.3: Sayatan mendatar varian cube	8
Gambar 1.4: Pemisahan area penelitian berdasarkan kerapatan patahan	9
Gambar 1.5: Pola-pola patahan	9
Gambar 1.6: Sumur pengembangan	10
Gambar 2.1: Lokasi penelitian	12
Gambar 2.2: Pola struktur regional	13
Gambar 2.3: Statigrafi daerah penelitian	15
Gambar 3.1: Penghitungan varian	20
Gambar 3.2: Konsep Ant_Track	22
Gambar 3.3: Konsep pencarian <i>data</i> (<i>data searching</i>).....	23
Gambar 3.4: Contoh radius pencarian data	24
Gambar 4.1: Alur kerja pada interpretasi log	28
Gambar 4.2: Struktur rekahan terbuka	29
Gambar 4.3: Skema proses pengambilan data	30
Gambar 4.4: Seismic data dalam domain depth	32
Gambar 4.5: Proses <i>smoothing</i>	33
Gambar 4.6: Pola patahan yang dihasilkan dari penghitungan varian	35
Gambar 4.7: Pola patahan yang dihasilkan dari penghitungan <i>Ant-Track</i>	37
Gambar 5.1: Peningkatan resolusi gambaran patahan	38
Gambar 5.2: Diagram rose yang menunjukkan arah umum fracture	40
Gambar 5.3: Stereonet yang menunjukkan arah dan kemiringan umum patahan	41
Gambar 5.4: <i>Image</i> yang dihasilkan dari pengujian <i>Ant-Track</i>	42
Gambar 5.5: Korelasi fracture dalam bentuk diagram rose dengan <i>Ant_Track</i>	43
Gambar 5.6: <i>Overlay</i> peta surface Tenslep-Top dengan nilai <i>Ant-Track</i>	45
Gambar 5.7: Seismic <i>Ant-Track cube</i> dirubah menjadi berbentuk sel	47
Gambar 5.8: Daerah pada model geologi yang terkena patahan dan rekahan	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi dunia semakin meningkat terutama yang bersumber dari minyak dan gas bumi. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi ditingkatkan untuk menemukan sumber-sumber minyak baru dan mengoptimalkan mengembangkan lapangan yang sudah ada.

Selain meningkatnya kebutuhan minyak, harga minyak yang tinggi di pasaran saat ini juga ikut menjadi pendorong peningkatan kegiatan eksplorasi dan produksi. Kegiatan eksplorasi dilakukan pada daerah yang baru dan mengarah ke Indonesia bagian Timur. Pencarian ke Indonesia bagian Timur dilakukan karena di daerah Indonesia bagian Barat sudah banyak ditemukan ladang-ladang minyak dan telah dieksploitasi sejak beberapa puluh tahun yang lalu. Pencarian minyak bumi di Indonesia bagian Timur banyak dilakukan dan sebagian sudah menunjukkan hasil yang positif.

Pada Indonesia bagian Timur secara geologi terbentuk dengan cara yang berbeda dengan Indonesia bagian Barat. Batuan yang terbentuk di daerah tersebut juga berbeda. Perbedaan kondisi geologi tersebut tersebut juga menghasilkan konsep-konsep baru dalam eksplorasi dan produksi minyak bumi yang ada di Indonesia. Tipe reservoir yang ada di sinipun berbeda, salah satunya adalah batuan reservoir yang terbentuk karena adanya patahan dan rekahan (*fractured reservoir*). Reservoir jenis ini jarang berkembang di Indonesia bagian Barat. Perbedaan tipe reservoir tersebut perlu dipelajari untuk menemukan konsep-konsep baru dalam reservoir model dan petroleum sistem. Konsep-konsep tersebut nantinya akan dikembangkan untuk menemukan lapangan minyak baru atau mengembangkan lapangan minyak yang sudah ada.

Batuan reservoir yang mengandung minyak bumi di Indonesia umumnya adalah batuan yang berumur tersier yaitu pada masa Oligomiosen atau Miosen. Batuan reservoir tersebut terdiri dari sedimen silisiklastik dan sebagian lainnya merupakan endapan karbonat yang berumur Miosen. Saat ini penelitian yang paling banyak dilakukan adalah pengembangan reservoir dari batuan silisiklastik seperti Formasi Sihapas di cekungan Sumatera tengah dan Formasi Talang Akar di Sumatera Selatan.

Porositas dan permeabilitas batuan reservoir tersebut umumnya berasal dari rongga-rongga antar butiran. Sementara reservoir karbonat di Indonesia umumnya berumur Miosen. Pada umumnya berasosiasi dengan terumbu (*reef*). Porositas yang ada selain karena porositas primer, juga disebabkan proses diagenesa sesaat setelah batuan karbonat tersebut terbentuk. Batuan karbonat dan silisiklastik seperti yang dijelaskan di atas adalah tipe reservoir yang bisa dijumpai di Indonesia bagian barat.

Di Indonesia bagian timur seperti di kepulauan Seram juga ditemukan minyak bumi tetapi terjebak pada reservoir yang berumur pratercier. Pada daerah penelitian batuan reservoirnya adalah batuan karbonat tetapi porositas dan permeabilitasnya terbentuk karena adanya patahan dan rekahan pada batuan tersebut.

Batuan reservoir rekahan merupakan bagian penting dalam eksplorasi dan pengembangan lapangan minyak di Indonesia bagian Timur. Cadangan minyak yang terdapat dalam reservoir klastik dan karbonat sudah semakin menipis, sementara konsumsi minyak bumi terutama dalam negeri semakin meningkat. Harga minyak bumi yang tinggi di pasaran internasional juga menjadi faktor pendorong untuk menemukan konsep-konsep baru, tipe-tipe reservoir baru dalam eksplorasi dan produksi. Saat ini *fractured reservoir* mulai ditemukan dan dikembangkan, seperti di beberapa tempat terbukti memproduksi minyak dari *fractured reservoir* seperti dari *fractured basement* pada lapangan Tanjung Kalimantan Selatan dan *fractured carbonate reservoir* di kepulauan Seram. Untuk dapat mengeksploitasi reservoir tipe ini secara maksimal harus dilakukan penelitian yang lebih mendalam antara lain mengenai penyebaran dan arah rekahan-rekahan tersebut, umur terbentuknya untuk mengetahui ketersediaan ruang pada saat terjadinya migrasi dan akumulasi minyak bumi. Dalam penelitian ini dilakukan salah satu cara untuk mengetahui daerah-daerah yang berpotensi dalam menentukan prioritas pengembangan sebuah lapangan minyak.

Untuk melakukan pengembangan lapangan minyak dengan *fractured reservoir*, perlu diketahui penyebaran patahan, rekahan, dimensi, geometri serta jenis dan genesanya terutama umur rekahan tersebut. Semua informasi itu akan digunakan untuk mengetahui apakah rekahan tersebut sudah tersedia pada saat migrasi minyak bumi dan mengisi reservoir dengan minyak bumi. Pada batugamping hal ini sangat penting karena rekahan-rekahan yang terjadi jika tidak terisi oleh minyak bumi maka akan terisi kembali oleh rekristalisasi material karbonat. Keberadaan patahan dan rekahan tersebut

dilakukan dengan melakukan interpretasi seismic 3D dengan menggunakan prinsip varian dari trace seismic.

1.2. Permasalahan

Adanya *fracture* pada batuan reservoir dapat mempengaruhi proses produksi minyak bumi. Hal tersebut terjadi karena rekahan dapat mengubah sifat-sifat batuan reservoir seperti porositas dan permeabilitas pada batuan karbonat maupun reservoir silisiklastik. Minyak bumi akan mengisi rongga-rongga yang terjadi akibat patahan dan rekahan. Begitu pula saat hidrokarbon diproduksi, adanya rekahan akan mengubah permeabilitas batuan.

Secara tradisional patahan dapat diketahui dengan melihat ketidakmenerusan suatu event seismic. Tetapi dengan metode *seismic varian* dan *ant track* dapat diketahui dimana patahan dan rekahan tersebut banyak terbentuk. Dari semua rekahan yang ditemukan, harus dianalisis untuk menjawab permasalahan yaitu:

- a. Rekahan dan patahan yang mana yang terisi oleh hidrokarbon sehingga dapat diproduksi.
- b. Dari keseluruhan lapangan bagian mana yang memiliki rekahan yang paling banyak sehingga menjadi bagian yang paling berpotensi untuk diproduksi.
- c. Bagaimana data seismic 3D dapat membantu menemukan daerah yang memiliki intensitas yang paling tinggi sehingga bisa menjadi tempat untuk meletakkan sumur pengembangan selanjutnya.
- d. Dapatkan produksi diperkirakan dari intensitas rekahan yang ada di daerah ini.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada tahap pengembangan pengembangan sebuah lapangan minyak sumur-sumur delineasi akan dibuat, setelah itu akan dilakukan pengeboran sumur-sumur pengembangan atau sumur-sumur produksi. Dalam tahap inilah informasi mengenai jenis reservoir, karakter, struktur sangat diperlukan. Sebagai contoh pada reservoir rekahan dan patahan harus dipetakan daerah yang memiliki patahan yang paling banyak sehingga dapat diketahui daerah mana yang paling mungkin untuk dikembangkan.

Berdasarkan kebutuhan diatas maka tujuan penelitian ini diarahkan untuk menjawab kebutuhan tersebut yaitu:

- a. Mengidentifikasi penyebaran patahan yang terdapat pada lapangan minyak tersebut dengan menggunakan data Seismik 3D dan cara menghitung varian seismic (*seismic variance*) kemudian ditingkatkan kualitasnya menggunakan metode *ant-track*.
- b. Mengamati rekahan dari data sumur dan mengetahui hubungannya dengan patahan untuk mendapatkan penyebaran patahan yang searah dengan rekahan-rekahan pada sumur minyak.
- c. Analisa dengan menggabungkan kedua data tersebut tersebut untuk menemukan lokasi yang mana yang paling potensial untuk dikembangkan pada tahap selanjutnya. Dari peta potensi ini dapat ditentukan letak dan arah sumur-sumur development berikutnya .

1.4. Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan algoritme *ant-track* untuk mengolah data *seismic* 3D untuk menghasilkan gambaran patahan yang lebih jelas serta sosialisinya dengan rekahan-rekahan yang didapatkan dari data sumur. Metode ini adalah pengembangan dari metode yang disebut *Ant Colony Based Routing Algorithm* (Imed Bouazizi, 2002).

Dalam penggunaanya metode ini tidak berdiri sendiri namun digunakan untuk memperjelas gambaran patahan yang dihasilkan oleh algoritme *seismic variance*. *Seismic variance* menggunakan prinsip perbandingan *seismic trace* yang satu dengan yang lain dengan menghitung nilai varian pada titik tersebut dan beberapa titik di sekitarnya. Keseragaman atau kemiripan satu trace seismik dengan trace sekitarnya diinterpretasi sebagai tidak adanya gangguan pada batuan sedangkan ketidak miripan satu seismic dengan sekitarnya diinterpretasi sebagai adanya gangguan seismic secara lateral. Gangguan tersebut bisa berupa patahan, rekahan lebar maupun perubahan fasies batuan.

Hasil dari proses penghitungan *seismic variance* tersebut belum terlalu baik karena proses penghitungan varian tidak hanya menghasilkan gambaran patahan dan fasies batuan , tetapi juga juga menggambarkan ketidak menerusan akibat *noise*.

Seismic cube yang dihasilkan dari penghitungan nilai varian dapat ditingkatkan kualitasnya dengan menggunakan proses *voxel picking*. Proses *voxel picking* akan ini menandai dan menghubungkan titik-titik memiliki nilai variansi tinggi. Proses *automatic voxel picking* ini dilakukan dengan menggunakan algoritma *ant-track* dengan mempertimbangkan arah dan jarak picking dari sekumpulan data. Proses ini akan menghasilkan gambaran patahan serta gangguan seismik lain secara tiga dimensi. Dengan menggunakan *Ant_Tack cube* tersebut dapat dilakukan pengelompokan daerah yang memiliki intensitas, arah, periode pembentukan patahan dan rekahan terutama pada zona reservoir. Pengelompokan tersebut didasarkan arah patahan dan rekahan yang diperoleh dari data sumur dengan anggapan bahwa rekahan pada sumur yang berarah sama dengan patahan terbentuk karena proses tektonik yang sama.

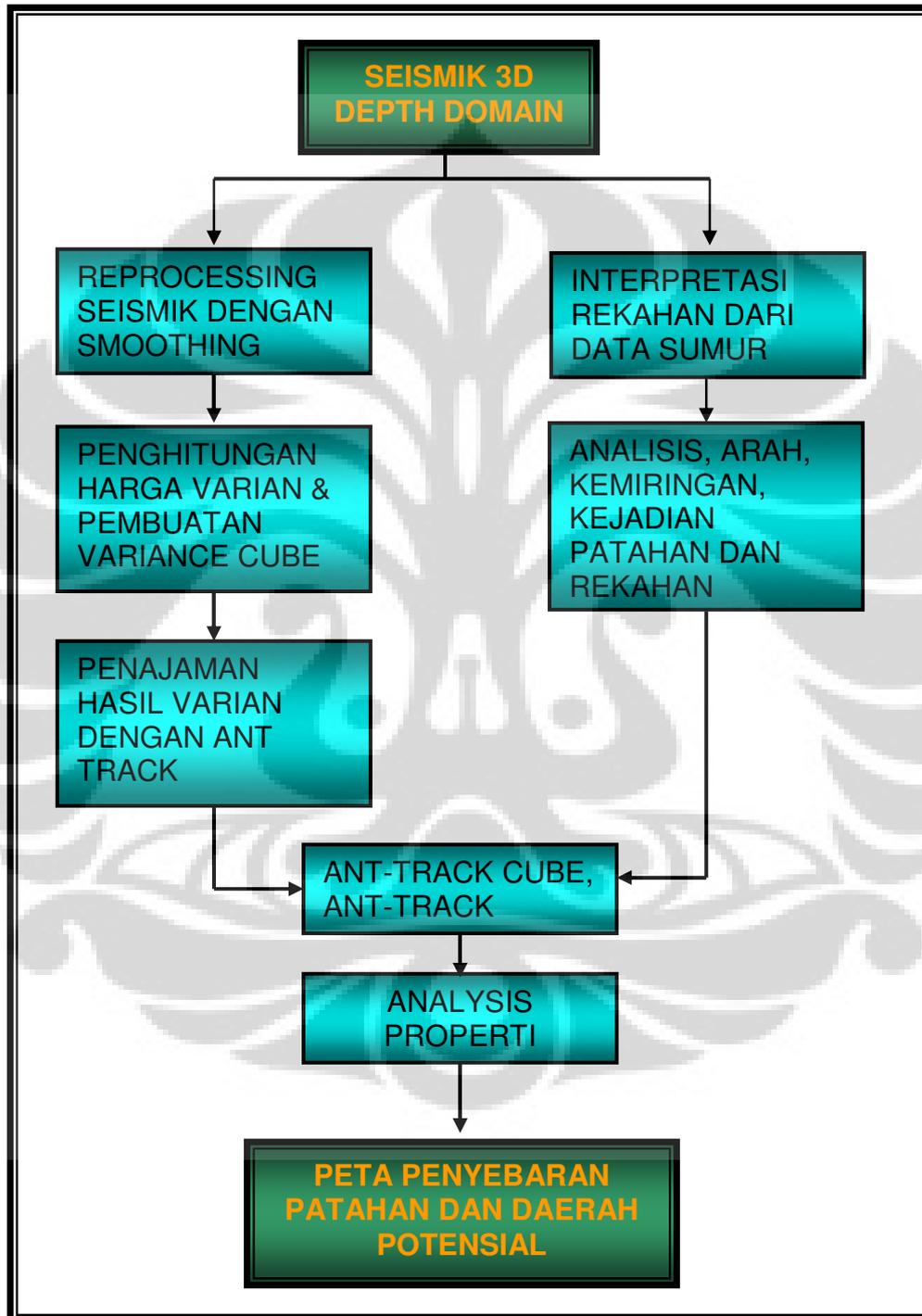
Dengan melihat penyebaran patahan tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menemukan tempat-tempat di mana *fracture* terbentuk. Daerah yang memiliki banyak *fracture* diharapkan mampu menjadi reservoir yang cukup baik untuk dikembangkan. Dari analisis data sumur dan *ant-track cube* akan didapatkan suatu daerah yang memiliki intensitas patahan yang tinggi dan memiliki patahan yang berpotensi sebagai reservoir. Daerah tersebut akan menjadi prioritas untuk pengembangan lapangan minyak. Semua proses tersebut diharapkan mampu menjawab tantangan yang ada dalam pengembangan lapangan yang memiliki reservoir rekahan di Indonesia.

1.5. Alur Kerja Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian dan dengan mempertimbangkan ketersediaan data maka dibuat suatu alur penelitian yang diharapkan akan menghasilkan suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Data yang tersedia untuk melakukan penelitian ini meliputi data seismik 3D, data sumur, data sistem petroleum and data-data geologi pendukung lainnya. Penelitian dilakukan sesuai dengan alur kerja yang seperti pada gambar 1.1.

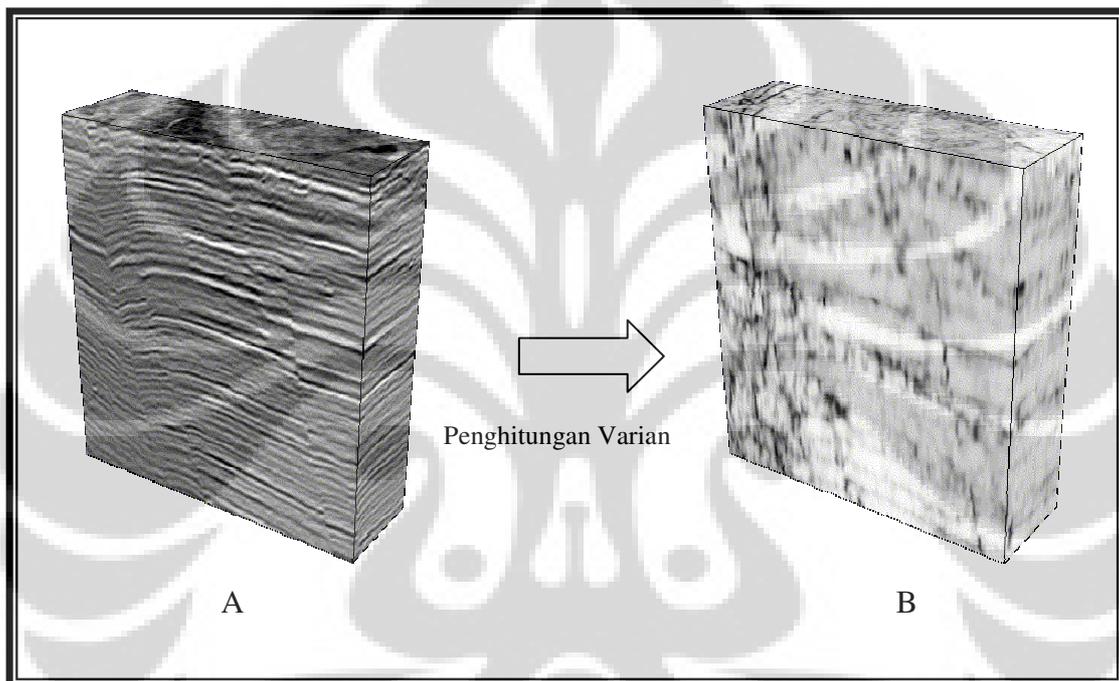
Proses pengenalan patahan dan rekahan tidak dilakukan dengan cara tradisional seperti dengan menggunakan *manual picking*. Cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan suatu perhitungan nilai varian dari suatu titik pada seismic trace dan beberapa titik di sekitarnya. Data yang digunakan adalah seismic cube sehingga setelah proses penghitungan dihasilkan pula sebuah *variance cube*.

Variance cube ini sangat membantu dalam proses pengenalan patahan dan rekahan karena menunjukkan ketidak menerusan antara satu trace dengan trace yang lainnya (Lihat gambar 1.2) . Ketidak menerusan tersebut dapat diinterpretasi sebagai patahan rekahan terbuka dan perubahan fasies.



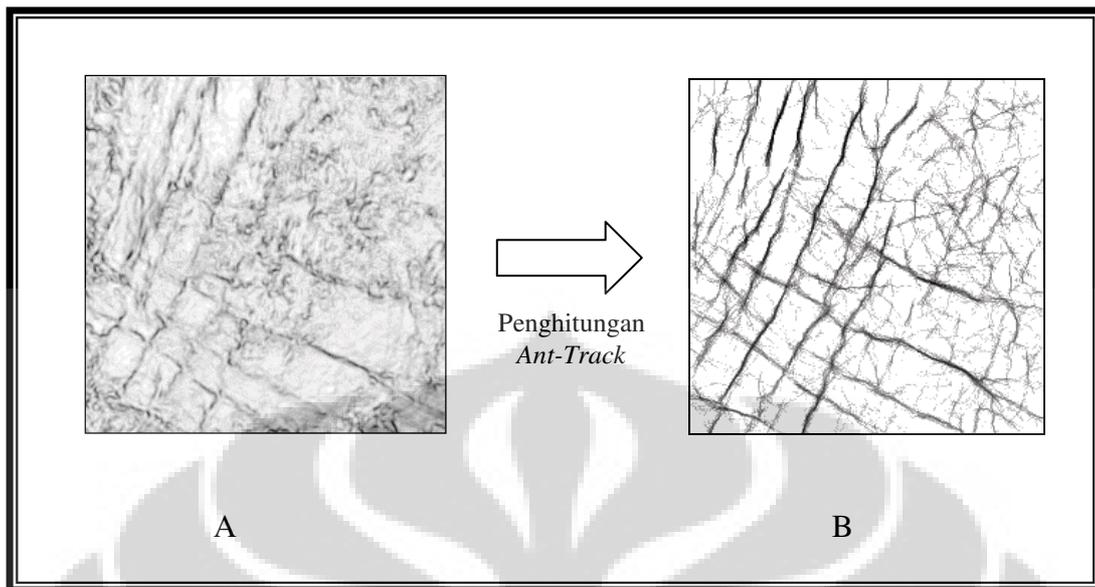
Gambar 1.1: Alur kerja dalam pengolahan data seismik untuk mendapatkan peta penyebaran dan jenis patahan

Dengan *variance cube* sudah dapat diidentifikasi bentuk patahan dan rekahan yang ada pada suatu zona reservoir (Bahorich, and S., Farmer, 1995). Tetapi hasil tersebut belum maksimal dan hasil tersebut dapat dipertajam dengan menggunakan *Ant-track* algoritma yang dikembangkan dengan berasumsi bahwa patahan yang disebabkan oleh gaya tektonik akan memiliki arah tertentu.



Gambar 1.2 : *Seismic cube* (A) menunjukkan patahan yang dapat diidentifikasi dan *seismic cube* (B) adalah *seismic Cube* yang dihasilkan dari proses penghitungan varian. Pada *cube* (B) patahan dan rekahan dapat lebih mudah diidentifikasi (Pedersen et all, 2002).

Dengan asumsi bahwa patahan atau rekahan yang terbentuk akarena proses tektonik akan memiliki arah tertentu maka propagasi data dilakukan dengan mempertimbangkan arah dan posisi data yang satu dengan lainnya dengan batasan propagasi tidak akan melebihi 15° dari arah data sebelumnya (Pedersen et all, 2002). Dengan menggunakan algoritme *Ant-Track* maka *seismic cube* yang dihasilkan akan menunjukkan arah dan bentuk bidang-bidang patahan yang lebih tegas sehingga lebih mudah diamati dan dianalisis seperti yang tampak pada gambar 1.3.



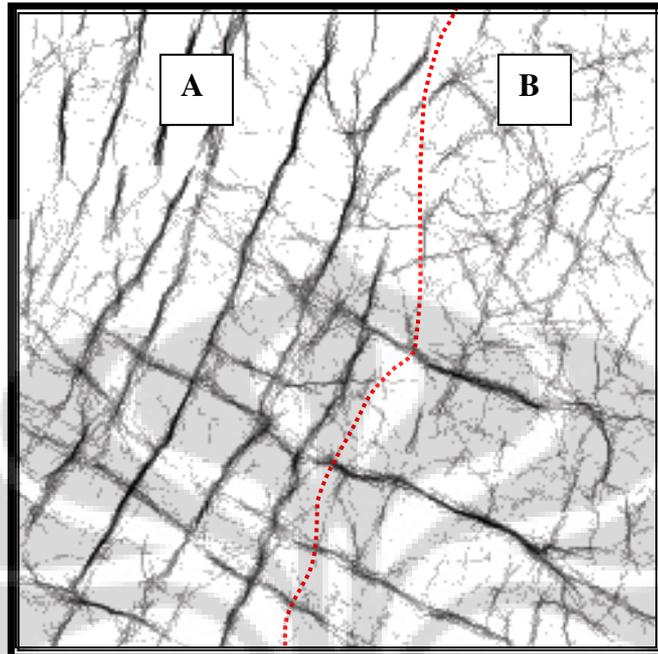
Gambar 1.3 : Sayatan mendatar *variance cube* (A) yang menunjukkan lineament akibat patahan dan rekahan. kemudian dipertajam dengan menggunakan ant track (B) menunjukkan kenampakan struktur patahan yang lebih jelas (Pedersen et all, 2002).

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa hasil proses penghitungan nilai varian belum terlalu jelas jika digunakan untuk mengidentifikasi patahan sedangkan pada hasil *ant track cube* dapat dengan mudah diidentifikasi patahan patahan tersebut.

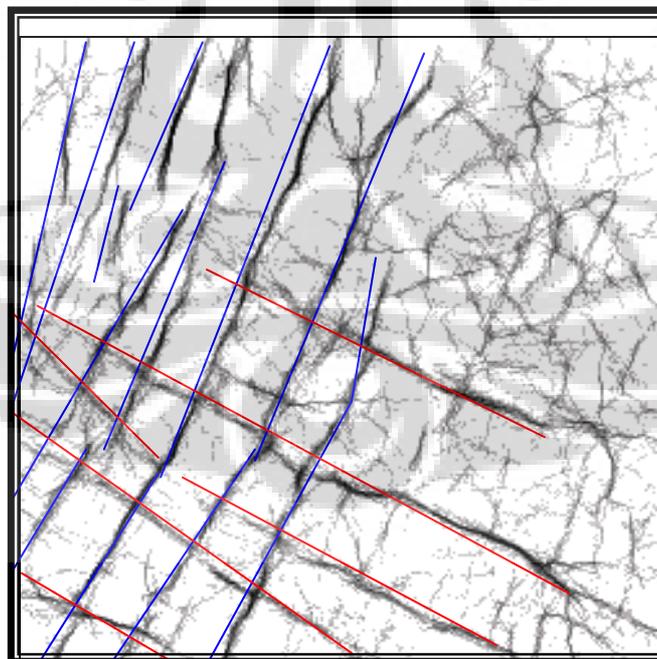
Patahan tersebut kemudian dianalisa berdasarkan kerapatannya. Kerapatan patahan tersebut dapat dilakukan secara kualitatif. Setelah dipisahkan berdasar kerapatan, patahan tersebut dipisahkan berdasarkan arah dan proses kejadiannya (Gambar 1.4). Proses ini dilakukan untuk menentukan jenis patahan dan sifat-sifat patahan tersebut. Sifat – sifat patahan yang dicari adalah:

- a. Patahan adalah patahan yang terbuka sehingga memungkinkan patahan tersebut terisi oleh minyak bumi.
- b. Patahan terjadi sebelum proses migrasi minyak bumi sehingga dapat terisi oleh minyak bumi.
- c. Patahan tersebut terjadi sebelum terbentuknya batuan tudung (*cap rock*). Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa minyak bumi terperangkap.

Sifat-sifat patahan ini dipelajari dengan melakukan analisa arah dari patahan dan dikorelasi dengan sejarah tektonik pada daerah tersebut, hukum saling potong memotong dan informasi dari sumur berupa *cutting* , tekanan formasi (*pressure*), *core* dan rekaman pengeboran lainnya (Jain, pp 1167-1186, 1991).



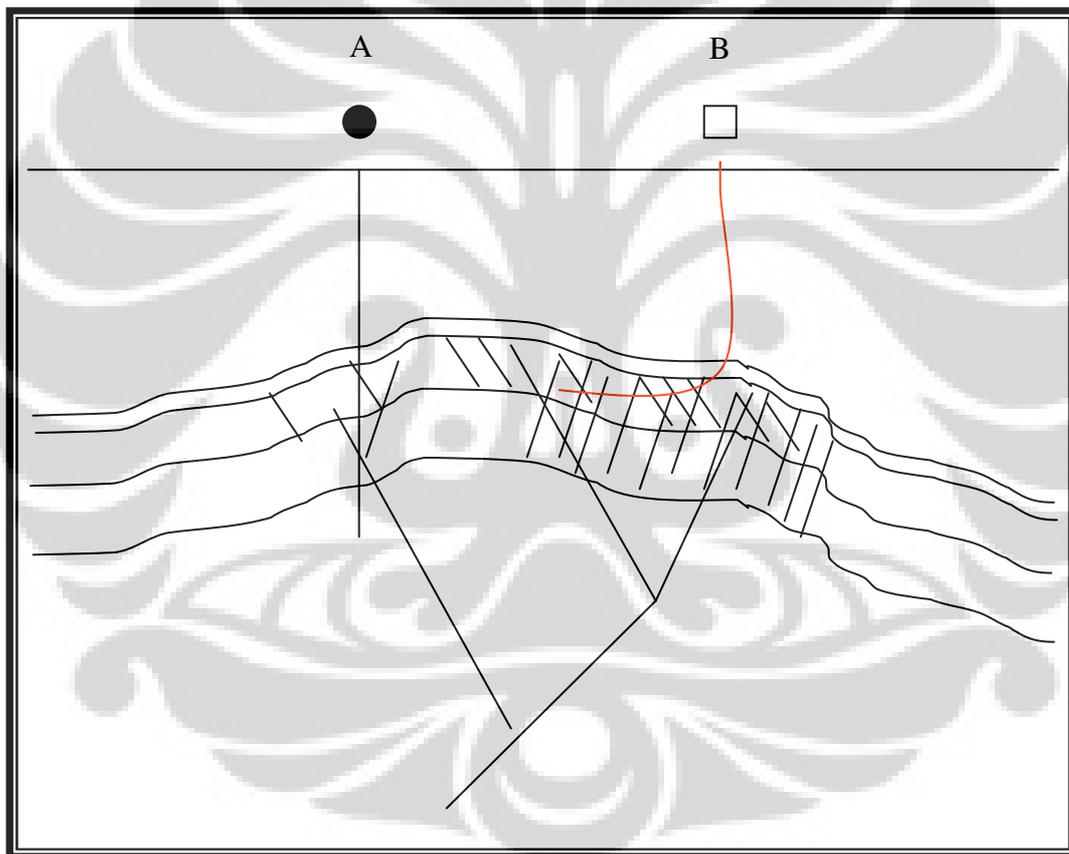
Gambar 1.4: Pemisahan area penelitian berdasarkan kerapatan patahan. Daerah A memiliki patahan yang panjang dan lurus tetapi densitasnya rendah sedangkan daerah B memiliki patahan&rekahan yang pendek namun intensitasnya tinggi.



Gambar 1.5: Pola-pola patahan dapat dipisahkan secara manual ataupun dengan menggunakan stereogram. Dari hambar di atas menunjukkan tiga pola yaitu yang ditegaskan dengan garis biru, merah dan patahan-patahan sekunder yang radial.

Pola patahan dan rekahan tersebut akan dianalisa dengan menggunakan stereonet. Arah dan kemiringannya dapat diketahui dan pola tektonik yang mempengaruhinya (Gambar 1.5).

Dari data seismik dan data sumur kemudian dilakukan analisa secara komprehensif untuk mengetahui sifat-sifat reservoir yang dipengaruhi oleh patahan dan rekahan tersebut. Hasil analisa tersebut digunakan untuk menentukan daerah yang berpotensi untuk dikembangkan . sebagai contoh pada daerah yang rekahannya semakin banyak maka akan didapatkan permeability yang baik sehingga bisa dijadikan tempat untuk meletakkan sumur pengembangan (Gambar 1.6).



Gambar 1.6: Sumur pengembangan (B) dapat diletakkan pada daerah yang paling optimum untuk dikembangkan setelah mengetahui kerapatan patahan dan rekahan, jenis dan sifat-sifatnya. Sifat-sifat patahan diketahui dari sumur explorasi (A) yang ada di daerah tersebut (Dikembangkan dari Ninotsmida.htm, 2008, p.2).

1.6. Hasil Penelitian Yang Diharapkan

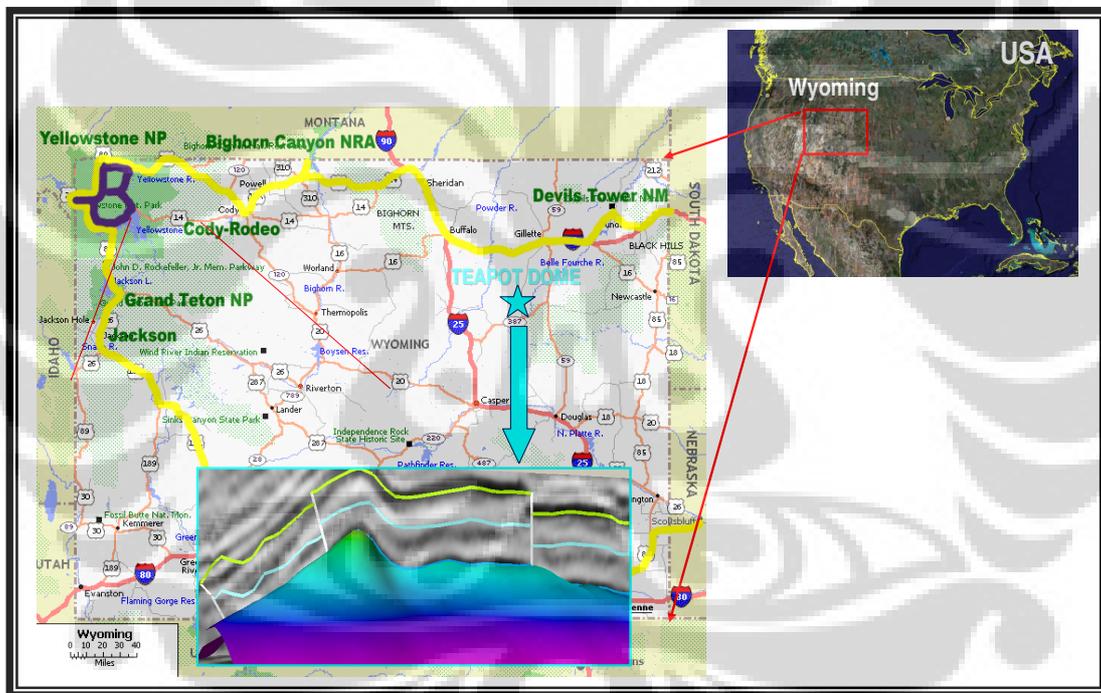
Hasil penelitian yang diharapkan adalah:

- a. Identifikasi patahan dan rekahan dengan menggunakan metode *ant-track* pada *seismic* 3D mampu memberikan gambaran penyebaran, arah patahan dan intensitas patahan secara lebih jelas.
- b. Selain Peta penyebaran patahan dan rekahan diharapkan pula patahan dan rekahan yang ada di daerah ini dapat dikelompokkan berdasarkan geometri dan potensinya sebagai reservoir. Hasil pengelompokan struktur ini dapat dianalisis untuk menemukan daerah yang berpotensi tinggi sebagai reservoir hidrokarbon.
- c. Hasil penelitian juga diharapkan dapat digunakan untuk menentukan lokasi sumur pengembangan lanjutan berdasarkan peta penyebaran patahan dan rekahan .

BAB II GEOLOGI REGIONAL

2.1. Tinjauan Umum

Daerah penelitian yang digunakan adalah sebuah struktur antiklin yang terletak di negara bagian Wyoming, USA (Gambar 2.1). Pemilihan daerah ini dilakukan dengan karena data tersebut merupakan data publik dan dapat digunakan untuk bahan penelitian. Walaupun data tersebut adalah data publik tetapi banyak sekali informasi yang dapat dipelajari dari data-data tersebut khususnya untuk mengembangkan metodologi atau membuat model interpretasi suatu daerah dengan karakter yang mirip.



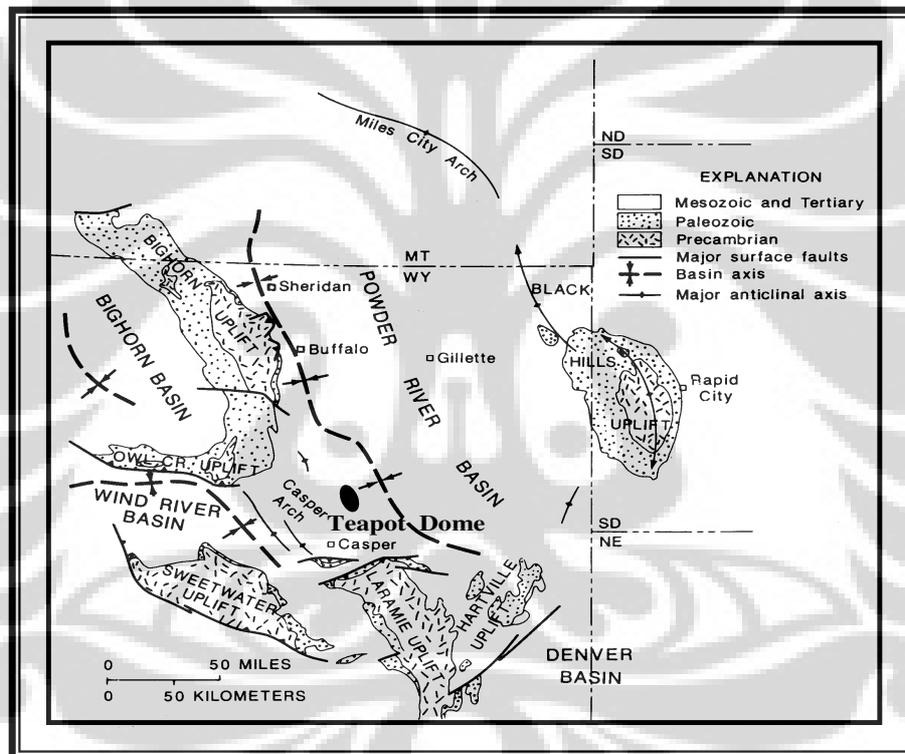
Gambar 2.1: Lokasi penelitian pengambilan contoh seismic 3D yang digunakan pada penelitian terletak di Teapot Dome, Wyoming, USA (Cooper, 1961).

2.2. Tektonik Dan Struktur Geology Regional

Teapot Dome terletak di Wyoming tengah, dekat dengan tepi Baratdaya cekungan Powder River. Bagian paling dalam cekungan Powder River terdiri dari hampir 5500 m batuan sedimen, dan sekitar 2440 m dari sediment tersebut adalah batuan sediment non *marine* yang berumur Upper Cretaceous and batuan sediment

klastik Tersier yang berhubungan dengan *Laramide orogenesis* (Fox et al., 1991). *Lamirade uplifts* adalah tektonik yang mengangkat cekungan Powder River secara bervariasi di beberapa bagian. Deformasi yang terbesar berada sepanjang tepi bagian Barat dan Utara. Teapot Dome adalah salah satu dari beberapa struktur yang menjadi perangkap hidrokarbon produktif yang berasosiasi dengan struktur Lamirade di daerah ini. (*Basement-involved, Laramide age asymmetric doubly plunging anticline*).

Bagian Timur dan barat Teapot Dome dibatasi oleh antiklin yang memanjang dengan arah sumbu relatif Baratlaut – Tenggara sedangkan bagian Utara, Selatan dan Baratdaya dibatasi oleh tinggian yang disebabkan proses *uplift* (Gambar 2.2).



Gambar 2.2: Pola struktur regional di teapot dome yang dibatasi tinggian di bagian Baratdaya dan Timurlaut dengan sumbu cekungan berarah Tenggara – Baratlaut. Antiklin yang terbentuk pada daerah itu juga berarah Tenggara – Baratlaut (Cooper, 1961).

Fracture yang dominant terdapat pada Teapot Dome adalah *extension fractures* yang memiliki arah orientasi umum sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu lipatan. Kadang kadang di beberapa tempat ditemukan lebih dari satu arah *fracture*. Umumnya pengukuran bidang rekahan terletak pada singkapan yang ada pada saat ini. Karena keterbatasan jumlah dan luas singkapan yang ada maka dimensi *fracture* tidak dapat

dihasilkan dari studi di daerah Teapot Dome. Panjang *fracture* diprediksi dengan menggabungkan patahan dari satu singkapan ke singkapan lainnya pada suatu permukaan yang rata antara 2 unit batupasir yang sama. Salah satu zona rekahan tersebut memanjang lebih dari 100 m.

Rekahan dan patahan hasil studi terdahulu maupun yang didapat dari data sumur digunakan untuk mengembangkan sebuah konsep model rekahan dan patahan secara 3 dimensi. Studi pada daerah ini yang juga memanfaatkan *seismic* 3D. Hasil studi tersebut digunakan sebagai bahan dasar untuk melakukan analisa kualitatif pada model 3 dimensi. Hasil pemodelan tersebut digunakan untuk mendapatkan arah maksimum permeability dan property reservoir lainnya.

2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah ini pertama kali dikerjakan oleh Early works by Wegemann (1918) dan Thom and Spieker (1931). Sebagai bagian dari Formasi Mesaverde di *Teapot Dome* dibagi menjadi dua anggota yaitu :

1. Anggota batupasir Parkman
2. Anggota batupasir Teapot

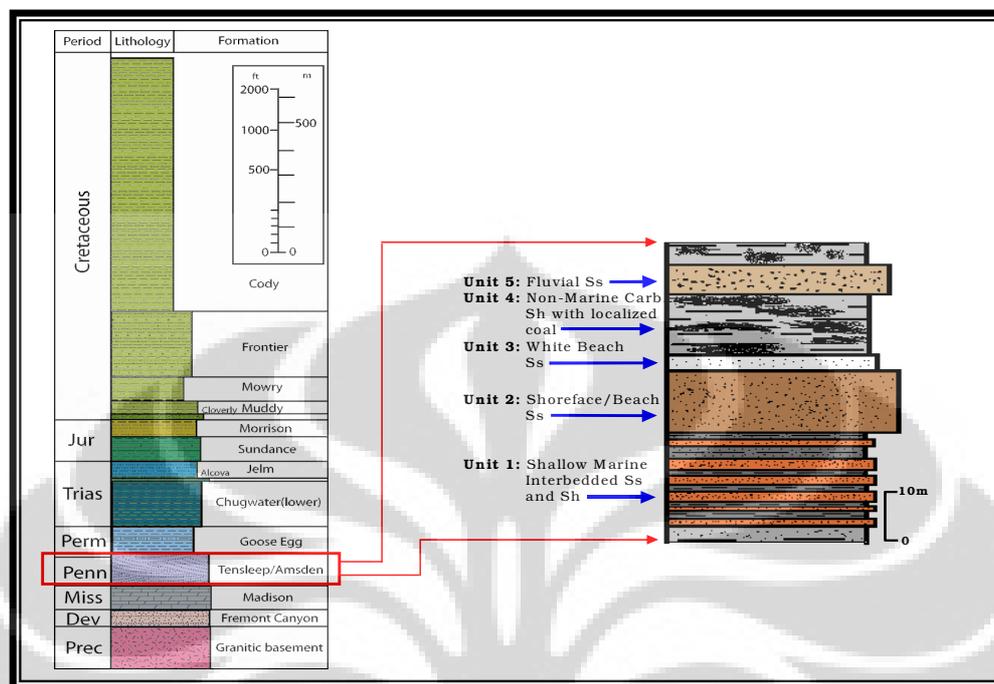
Anggota batupasir Parkman dibagi menjadi lima unit berdasarkan lingkungan pengendapannya (Gambar 2.3).

Dari yang tertua ke yang muda unit-unit tersebut terdiri dari perselingan batupasir laut dangkal , batupasir pantai (*foreshore*) , batupasir pantai putih, batuserpih karbonatan bukan *marine* dan lensa-lensa batupasir fluvial dalam serpih karbonatan. Unit- unit tersebut memiliki ciri-ciri khusus sebagai berikut:

2.3.1. Unit 1

Perselingan yang konsisten batupasir dan shale laut dangkal yang memiliki ketebalan antara 10 m sampai dengan 20 m. dengan ketebalan individu lapisan berkisar antara 5 cm sampai dengan 150 cm. Internal struktur bergradasi dengan pola *coarsening upward* , ukuran butir sekitar 62-125 μ pada bagian bawah dan terdiri dari batupasir dengan ukuran antara 88-177 μ pada bagian atas lapisan. Perselingan antara lapisan batupasir dan shale ini mengindikasikan bahwa lapisan ini diendapkan pada laut dangkal dekat dengan batas bawah gelombang (*wave base*). Pada saat berada di bawah *wave base* maka akan terendapkan sedimen berukuran

lempung dan jika berada di bagian atas wave base maka sebagian lempung akan mengalami reworking dan diikuti pengendapan material berukuran pasir.



Gambar 2.3: Statigrafi daerah penelitian yang menunjukkan endapan transisi yang dibagi menjadi 5 unit . Dari bawah ke atas menunjukkan lingkungan pengendapan yang semakin dangkal (Cooper, 1961)..

2.3.2. Unit 2

Unit batupasir pantai *foreshore* memiliki rata-rata ketebalan antara 15-20 m. dengan ukuran butir sekitar 88 sampai 177 μ . Bagian yang paling tebal dari unit ini terdapat pada sepanjang bagian Tenggara antiklin dengan ketebalan mencapai 20 m. Struktur sediment yang tampak pada bagian ini adalah silang-siur tidak berarah yang mencirikan bahwa batuan ini terbentuk oleh arus *long-shore*. Selain menunjukkan struktur silang-siur terdapat pula sebagian yang menunjukkan sediment fasies laut dangkal berupa batupasir tebal dengan sedikit lapisan serpih.

2.3.3. Unit 3

Unit batupasir putih dipisahkan dengan yang lainnya kasena sifat fisik yang berbeda dengan yang lainnya . Sifat-sifat tersebut antara lain warnanya yang putih salju, porositasnya yang besar dan kandungan semen yang lebih sedikit dibandingkan dengan batupasir Formasi Mesaverde yang lain. Unit ini tidak terdapat pada bagian Baratlaut *Tepot Dome* tetapi terdapat sebagai lapisan tipis

pada Baratdaya dan Selatan dome sampai dengan ketebalan 4 m. Bagian dari unit ini yang tertebal terdapat pada sayap timur antiklin dengan ketebalan mencapai 4.5 m. Batupasir ini berukuran antara 125 sampai dengan 250 μ .

2.3.4. Unit 4

Unit ini berupa batuserpih karbonatan bukan *marine* dengan ketebalan rata-rata 40 m. Di beberapa tempat berpais pada unit ini terdapat sisipan batu bara . Pemisahan unit ini didasarkan atas perbedaan warna yang gelap, ukuran butir halus (lebih halus dari 62 μ) . Unit ini juga banyak mengandung Material organik yang mengindikasikan bahwa unit ini diendapkan pada lingkungan rawa. Pada unit ini tidak ada *paleosols* atau zona terdapat akar tumbuhan yang mengindikasikan bahwa unit ini diendapkan pada kondisi *subaerial exposure*.

2.3.5. Unit 5

Unit 5 terdiri dari batupasir fluvial yang tidak menerus dengan ketebalan dampai dengan 10 m. Batupasir ini terdapat diantara unit serpih karbonatan. Masing-masing batupasir fluvial memiliki ketebalan antara 1 sampai dengan 6 m. Batupasir ini menunjukkan sortasi yang buruk dengan besar butir bervariasi antara 88 sampai dengan μ . Struktur yang tampak pada batupasir ini adalah silang-siur yang diakibatkan pergeseran channel pada saat sedimentasi. Selain silang-siur terdapat pula struktur *ripple-bedded*, lapisan tipis endapan *overbank* dan endapan tanggul alam sepanjang channel atau menutupi endapan *channel*.

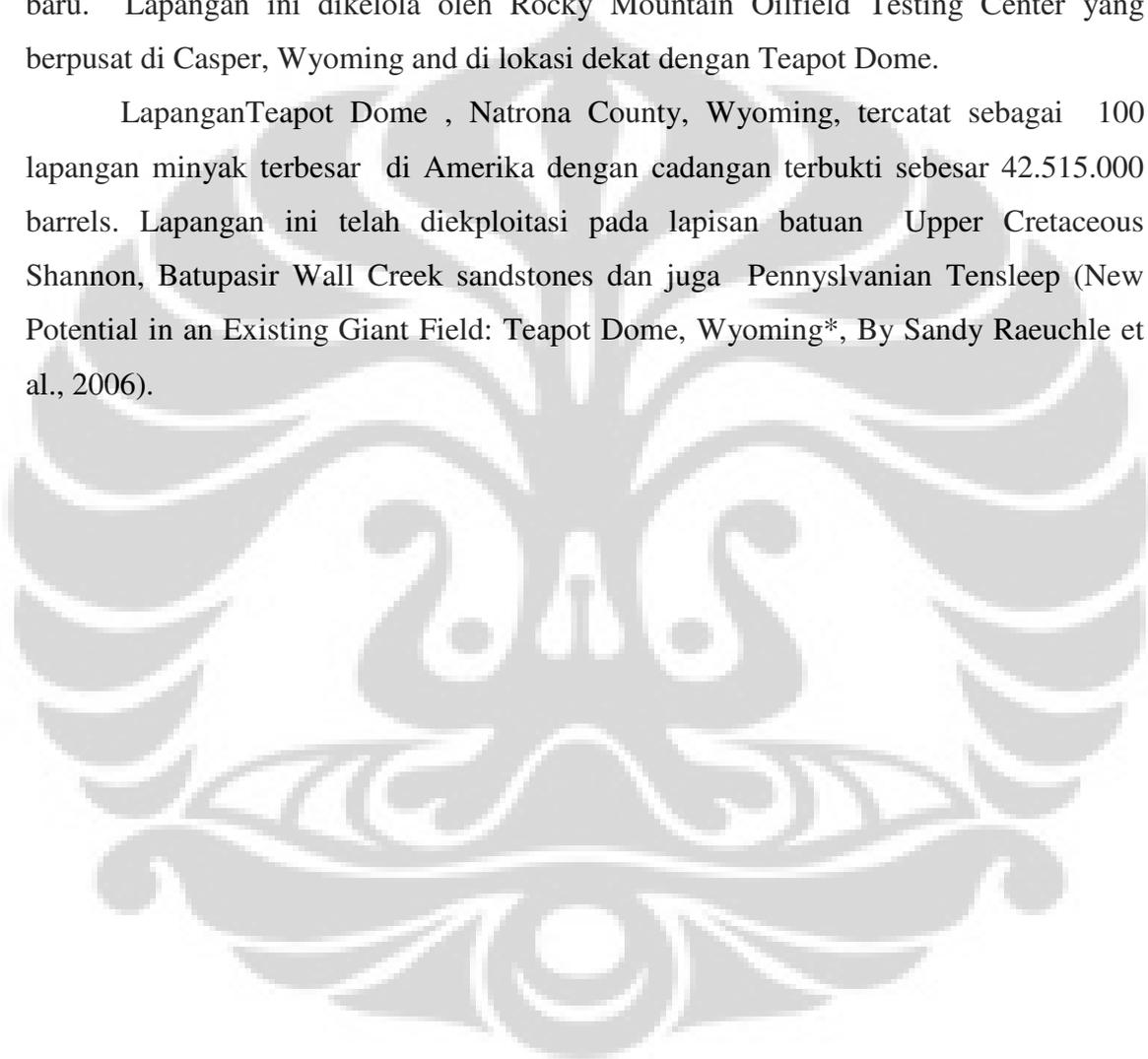
2.4. Sejarah Produksi minyak di Teapot Dome

Pada awalnya rembesan minyak di permukaan tanah ditemukan pada Teapot Dome dan Salt Creek sekitar tahun 1880. dan sumur minyak pertama dibor pada tahun 1889 di dekat salah satu rembesan minyak bumi (*oil seeps*) tersebut pada bagian Utara antiklin Salt Creek. Sumur tersebut dibor pada kedalaman sekitar 231 meter atau sekitar 700 feet dan memproduksi minyak sebesar 10 sampai 15 barrel minyak mentah setiap hari. Minyak tersebut diproduksi dari lensa batupasir yang berupa sisipan pada Shale Steele (Curry, 1977). Teapot Dome telah dibentuk sebagai suatu cadangan minyak oleh presiden Wilson pada tahun 1915 (Doll et al., 1995). Produksi pertama pada struktur Teapot Dome adalah sekitar 830 barrels pada bulan October 1922, sebagai representasi dari produksi selama dua hari. (ID # 301-2; Trexel, 1930). Produksi tertinggi terjadi

pada tahun 1923 yaitu sebesar 138.081 barrels pada bulan October dari 51 sumur atau sekitar 4460 barrels setiap hari (Trexel, 1930).

Akumulasi produksi sampai dengan tahun 1998 adalah 250.000 barrels *sweet crude oil* dan 26.000 barrels of *sour crude oil* dari rata-rata 500 sumur produksi (Milliken, pers. com., 1999). Saat ini lapangan *Teapot Dome* ditutup untuk direklamasi pada tahun 2003. Saat ini juga lapangan Teapot Dome pusat pengujian untuk teknologi baru. Lapangan ini dikelola oleh Rocky Mountain Oilfield Testing Center yang berpusat di Casper, Wyoming and di lokasi dekat dengan Teapot Dome.

Lapangan Teapot Dome , Natrona County, Wyoming, tercatat sebagai 100 lapangan minyak terbesar di Amerika dengan cadangan terbukti sebesar 42.515.000 barrels. Lapangan ini telah dieksploitasi pada lapisan batuan Upper Cretaceous Shannon, Batupasir Wall Creek sandstones dan juga Pennsylvanian Tensleep (New Potential in an Existing Giant Field: Teapot Dome, Wyoming*, By Sandy Raeuchle et al., 2006).



BAB III
DASAR TEORI

3.1. Konsep Dasar Varian

Dalam melakukan identifikasi patahan dan rekahan dari suatu *seismic volume* digunakan perhitungan harga varian dari suatu trace *seismic* dengan delapan trace yang berada di sekitarnya. Perhitungan tersebut secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut:

Jika $\mu = E(X)$ adalah rata-rata dari variabel acak X , maka varian adalah (Welford, 1962):

$$\text{var}(X) = E((X - \mu)^2). \dots\dots\dots(3.1)$$

Persamaan di atas adalah nilai varian dari variabel acak X dari sekumpulan data. Nilai varian tersebut adalah rata-rata dari kuadrat standard deviasi. Varian dari suatu variabel acak biasa ditulis dengan $\text{var}(X)$, σ_X^2 , atau σ^2 .

Catatan: Definisi tersebut dapat dipakai dalam *discrete* dan *continous* variabel acak.

Berdasarkan definisi di atas dapat disimpulkan bahwa nilai varian tidak pernah berharga negatif karena varian merupakan nilai kuadrat standad deviasi. Satuan dari varian juga merupakan kuadrat dari satuan data yang diobservasi. Dari definisi nilai varian tidak tergantung dari nilau rata-rata μ .

Rumus lain yang sering digunakan dalam varian adalah (Welford, 1962):

$$\begin{aligned} \text{var}(X) &= E(X^2 - 2X E(X) + (E(X))^2) \\ &= E(X^2) - 2(E(X))^2 + (E(X))^2 \\ &= E(X^2) - (E(X))^2 \end{aligned} \dots\dots\dots(3.2)$$

Persamaan ini juga sering digunakan dalam menghitung varian.

Varian lebih diutamakan untuk mengukur penyebaran data karena sifatnya yang independen untuk variabel acak. Jika data-data independent tersebut tidak terkorelasi maka disebut *uncorrelatedness* (Dempster, 1977) dan secara umum persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{var}(aX + bY) = a^2\text{var}(X) + b^2\text{var}(Y) + 2ab\text{cov}(X, Y). \dots(3.3)$$

Dalam hal ini **COV** adalah kovarian, berupa nilai nol untuk variabel acak mandiri .

3.1.1. Varian Dari Sebuah Fungsi

Varian dari sebuah fungsi didekati dengan cara “*Delta method*” yang menggunakan orde kedua dari *Taylor expansion*. Sebagai contoh perkiraan varian dari sebuah fungsi dapat ditulis sebagai berikut (Welford, 1962):

$$\text{var} [f(X)] \approx (f'(E[X]))^2 \text{var} [X] \dots\dots\dots(3.4)$$

3.1.2. Varian Populasi dan Varian Contoh

Secara umum varian populasi dari jumlah data “*N*” yang terbatas dapat ditulis

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(3.5)$$

atau jika populasi tersebut adalah populasi abstrak dengan probabilitas sebaran Pr, maka dapat ditulis

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \text{Pr}(x_i), \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana \bar{x} adalah rata-rata populasi data.

Ketika jumlah data sangat banyak maka hampir tidak mungkin menemukan harga yang tepat dari varian populasi. Hal ini terjadi karena keterbatasan waktu, biaya, pertimbangan tenaga kerja. Ketika berbicara dengan data yang tidak terbatas maka ini menjadi tidak mungkin dilakukan.

Metoda yang paling sering digunakan untuk memperkirakan varian dari jumlah data yang sangat besar adalah dengan mengambil contoh “*sample*” (y_1, \dots, y_n) dari *n value* dari populasi data, dan memperkirakan harga varian berdasarkan contoh data ini. Ada banyak cara untuk memperkirakan harga varian , dua diantaranya adalah:

$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \bar{y}^2, \dots\dots\dots(3.7)$$

dan

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{n}{n-1} \bar{y}^2, \dots\dots\dots(3.8)$$

Kedua persamaan tersebut mengacu pada varian contoh.

3.1.3. Distribusi Varian Contoh.

Sebagai fungsi dari variabel acak, varian contoh itu sendiri merupakan variabel acak. Pada kasus y_i berdiri sendiri, Gaussian realization, Cochran's theorem menunjukkan bahwa s^2 sebuah skala "chi square distribution".

$$(n - 1) \frac{s^2}{\sigma^2} \sim \chi_{n-1}^2 \dots\dots\dots(3.9)$$

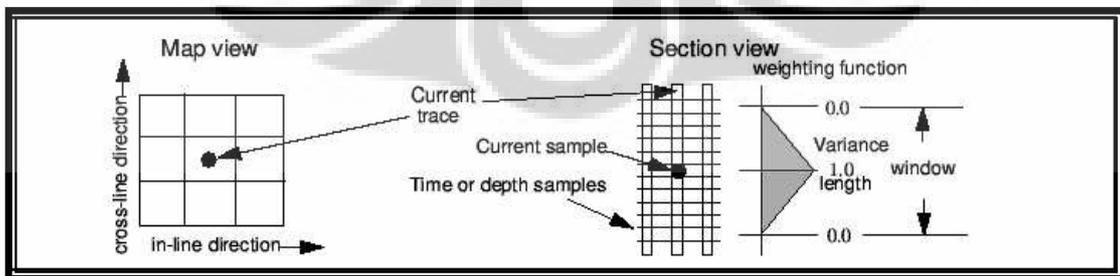
Sebagai konsekuensinya, maka akan mengikuti

$$E(s^2) = \sigma^2 \dots\dots\dots(3.10)$$

Bagaimanapun asumsi Gaussian masih mungkin membuktikan bahwa s^2 tidak bias untuk σ^2 .

3.2. Algoritma Untuk Menghitung Varian.

Algoritma untuk menghitung variance cube adalah *weighted moving variance* yang dihitung tiap contoh waktu atau kedalaman dalam area yang diinginkan (Jain, 1989). Penghitungan dilakukan pada sebuah trace dan delapan trace sekitarnya. Nilai varian yang didapatkan diletakkan pada trace yang berada di tengah. Gambar 3.1. di bawah menunjukkan trace yang digunakan untuk menghitung harga varian.



Gambar 3.1: Penghitungan varian dari data seismik antara satu trace (current sample) dengan trace-trace terdekat (GF.4.0, Training Manual, 2003).

Perhitungan varian yang digunakan dalam analisa ini mengikuti rumus:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_{j=-L/2}^{j=+L/2} w_{j-t} \sum_{i=1}^I (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{\sum_{j=-L/2}^{j=+L/2} w_{j-t} \sum_{i=1}^I (x_{ij})^2} \dots\dots\dots(3.11)$$

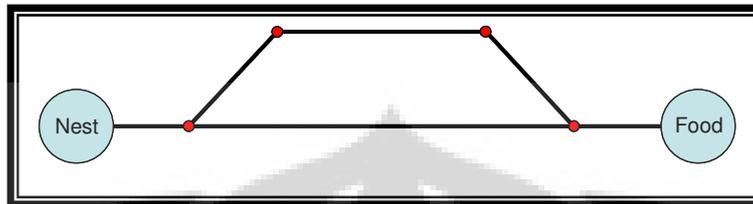
Dari penghitungan varian akan didapatkan nilai varian seismik 3D tersebut. *Variance cube* yang dihasilkan akan menunjukkan patahan, rekahan, ketidak menerusan, penyebaran litologi.

3.3. Konsep Dasar *Ant_Track*

Ide dasar penggunaan *Ant-Track* berdasarkan pada suatu algoritme yang disebut dengan *ant colony optimization metaheuristic*. Algoritma ini dikembangkan dengan mengadaptasi kebiasaan semut pada saat mencari makan. Ketika semut mencari makan mereka akan berjalan dari sarangnya menuju makanan. Pada saat menemukan persimpangan maka semut tersebut harus memutuskan jalur mana yang dipilih. Pada perjalanan tersebut semut tersebut meninggalkan *pheromone* yang menandai rute mereka. *Pheromone* adalah semacam hormon yang dihasilkan oleh semut untuk menandai rute perjalanannya mereka. Tingginya konsentrasi pheromon pada jalur tertentu menandakan bahwa jalur tersebut sering digunakan. Semut-semut lain akan mengikuti rute yang kadar *preromone* yang paling tinggi.

Pada gambar 3.2. menunjukkan perjalanan semut dari Sarang ke tempat makanan. Pada saat menemukan persimpangan semut akan secara acak memilih persimpangan yang mana yang diambil. Ketika kembali semut akan mengambil mengambil jalur yang lebih pendek yaitu jalur yang di bawah dan juga meninggalkan *pheromon* pada jalur tersebut. Semut-semut berikutnya akan memilih jalur yang terpendek tersebut untuk berjalan dari sarang ke tempat makanan dan juga meninggalkan *pheromon*. Konsentrasi pheromone akan meningkat sejalan dengan banyaknya semut yang melewati rute tersebut. Proses tersebut terus berlanjut sehingga

hanya jalur yang terpendek yang dilewati oleh semut-semut tersebut (Bouazizi, Sorges, Gunes, 2002). Dengan pola tersebut rute perjalanan yang tadinya menyebar akan mengumpul ke satu rute yang lebih jelas dan tegas.



Gambar 3.2: Konsep *ant-track* meniru perjalanan semut (*ant*) dari sarang ke makanan menempuh jalur acak sementara pada saat kembali ke sarang akan menempuh jalur terpendek yang selanjutnya akan diikuti semut lain dan membentuk rute yang lebih pendek (Bouazizi, Sorges, Gunes, 2002) .

Secara sederhana persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut. Jika $G = (V,E)$ adalah titik-titik yang akan dihubungkan dengan jumlah $n=|V|$ titik. Optimalisasi ant colony digunakan untuk menemukan rute yang paling pendek dari titik asal v_s ke titik akhir v_d . Panjang jalur ditentukan oleh banyaknya titik (*nodes*) pada jalur tersebut. Masing-masing sudut (*edge*) $e(i,j) \in E$, pada gambar masing-masing menghubungkan v_i dan v_j dengan variable $\varphi_{i,j}$ (*pheromon* buatan) yang berubah jika titik tersebut dikunjungi semut (*ant*). Semut yang berada pada v_i akan menggunakan *pheromon* $\varphi_{i,j}$ dari titik $v_j \in N_i$ untuk menghitung kemungkinan v_j sebagai perhentian berikutnya. N_i adalah satu langkah dari titik v_i .

$$p_{i,j} = \begin{cases} \frac{\varphi_{i,j}}{\sum_{j \in N_i} \varphi_{i,j}} & \text{if } j \in N_i \\ 0 & \text{if } j \notin N_i \end{cases} \dots\dots\dots(3.12)$$

Probabilitas transisi $p_{i,j}$ pada titik v_i memenuhi persamaan

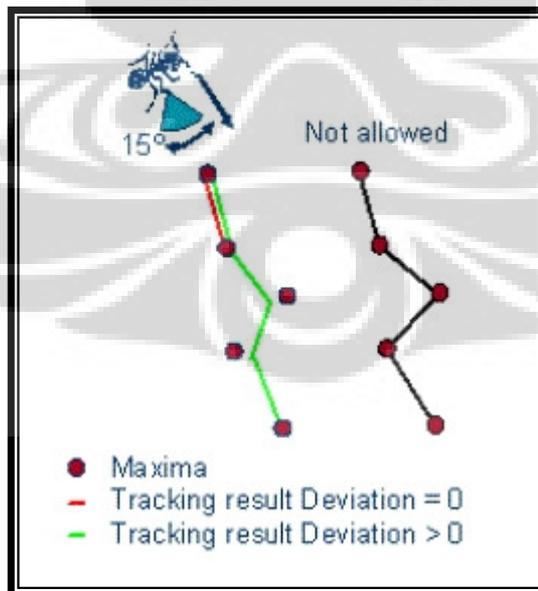
$$\sum_{j \in N_i} p_{i,j} = 1, \quad i \in [1, N] \dots\dots\dots(3.13)$$

Dalam proses penemuan rute perjalanan semut meninggalkan *prehomone* pada setiap sudut . Dalam ant colony meta-heuristic algorithm, semut-semut meletakkan *pheromone* sejumlah $\Delta\varphi$. Ketika seekor semut yang melewati titik v_i ke arah titik v_j akan merubah jumlah pheromon pada sudut (*edge*) $e(v_i,v_j)$ mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$\varphi_{i,j} := \varphi_{i,j} + \Delta\varphi \dots\dots\dots(3.14)$$

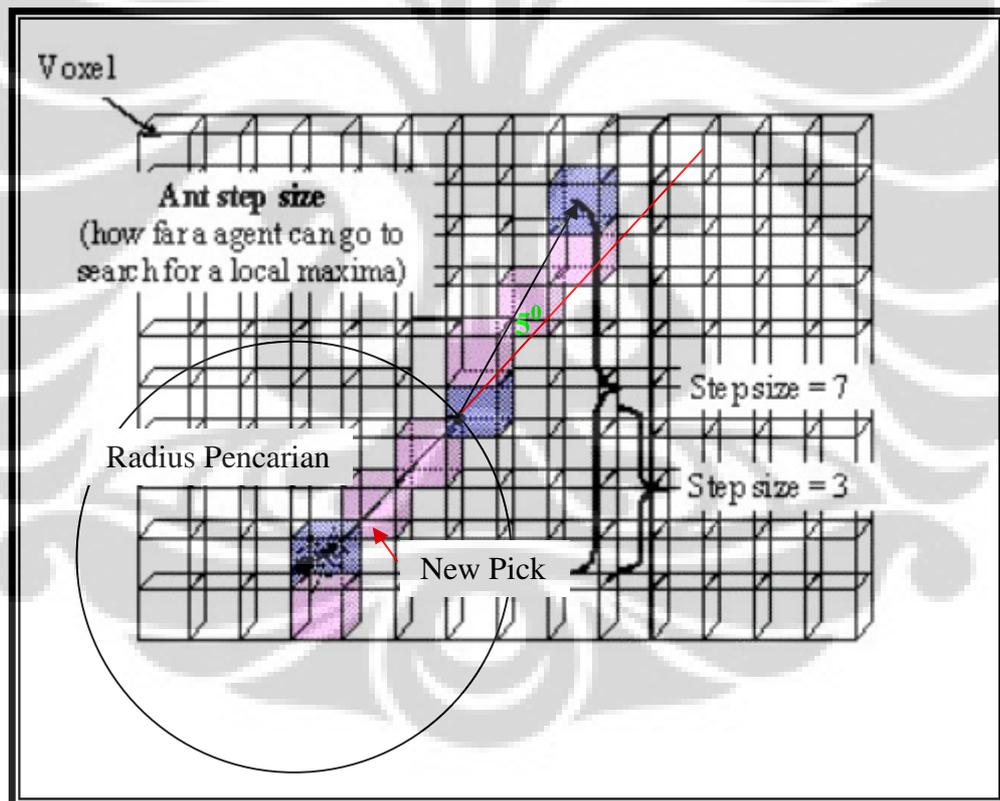
Seperti sifat *pheromone* di alam, *pheromon* buatan ini juga dibuat konsentrasinya berkurang terhadap waktu untuk mencegah pheromon menumpuk di setiap sudut.

Dalam proses tracking di alam, metode ini menggunakan asumsi bahwa patahan dan rekahan yang terjadi diakibatkan oleh gaya tektonik yang bekerja pada daerah tersebut. Gaya tektonik yang bekerja memiliki arah dan kemiringan tertentu sehingga patahan rekahan juga memiliki arah dan kemiringan tertentu. Dengan asumsi tersebut maka patahan dan rekahan memiliki bentuk cenderung lurus.



Gambar 3.3: Konsep pencarian *data* (*data searching*) dari satu titik ke titik lain tidak melebihi 15° pada algoritme *ant-track* (Petrel 2004 manual book).

Selain menggunakan jarak yang terpendek, arah pencarian data dipakai pada *Ant-Track* dibatasi berdasarkan arah data-data sebelumnya. Sehingga pencarian data pada saat propagasi tidak melebihi 15° (Lihat gambar 3.3) . Pada gambar tersebut menunjukkan ilustrasi pencarian data pada saat proses auto picking. Para proses *Ant-Tracking* yang terjadi adalah seperti pada gambar 3.3 , kiri dimana data yang satu tidak langsung dihubungkan dengan data yang lain namun dibatasi dengan arah sudut maksimum pencarian . Dengan cara ini sebaran data yang relative lurus dengan arah data yang sebelumnya yang akan dihubungkan. Metode ini menghasilkan pola patahan baru yang lebih tegas dibandingkan dengan menggunakan perhitungan harga varian biasa.



Gambar 3.4. Contoh radius pencarian data dan penambahan data antara kedua data tersebut serta arah pencarian data 5° dari trend data sebelumnya (Petrel 2004 manual book).

Selain arah pencarian data pada saat propagasi, hasil *Ant-Track* juga dipengaruhi oleh radius pencarian data (Gambar 3.4). Radius pencarian adalah jarak pencarian suatu titik data ke titik data berikutnya . Titik-titik data ini selanjutnya

disebut dengan *maxima*. Jarak antar *maxima* tidak diukur langsung tetapi diproyeksikan ke arah sumbu x dan y . Jarak antara dua *maxima* pada arah x dan dan pada arah y disebut ”*step*”. Setiap *step* mewakili satu besaran seismic atau disebut bin size. *Step* ini digunakan sebagai parameter radius pencarian data pada proses ant tracking. Jika *step* besar maka radius pencarian akan semakin besar dan *maxima* yang masuk dalam radius *step* akan dihubungkan menjadi sebuah garis. Jika Jarak *step* dekat maka *maxima* yang diluar radius tidak akan dihubungkan dengan *titik data* asal sehingga proses auto pick akan berhenti. Proses ini yang membuat proses auto picking terfokus pada arah tertentu sehingga patahan-patahan memiliki geometri lurus akan menjadi lebih jelas sementara event seismic yang tidak lurus para *variance cube* akan dihilangkan.



BAB IV

PENGOLAHAN DATA

4.1. Data Yang Digunakan

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah berupa data seismic 3D yang sudah dalam depth domain. Seismic dalam domain depth dipilih untuk mempermudah penelitian karena tidak perlu melakukan konversi dari domain time ke depth . Data dalam domain depth diperlukan karena data sumur yang berupa data rekahan, marker dan data reservoir property semuanya dalam domain depth.

Seismic tersebut mencakup wilayah seluas 521.579.965 ft² dengan lokasi pada coordinate minimum adalah $x = 791373.28$ ft dan $y = 944476.03$ ft sampai dengan maximum pada titik $x = 809424.69$ ft dan $y = 973370.49$ dan ketebalan cube 768 ft mulai dari kedalaman -637 ft sampai dengan -1405 ft. Seismic cube tersebut terdiri dari 345 inline dan 188 crossline dengan interval masing-masing 110 ft.

Data sumur juga digunakan dalam penelitian ini. Data-data tersebut berupa data fractures yang diperoleh dari FMI yang merupakan hasil pengukuran dip dan strike dari beberapa sumur. Sumur-sumur yang memiliki data FMI tersebut antara lain sumur 48-X-28, 71-1-X-4 dan sumur 67-1-X-10. Selain data fracture juga diketahui data property dari well tersebut misalnya data porosity dan permeability. Dalam penelitian ini data sumur digunakan untuk mengetahui property reservoir yang terekahkan dari hasil pengukuran langsung. Hasil pengukuran ini nantinya akan digunakan untuk pembuat model 3 dimensi dari rekahan yang ada di Teapot Dome. Namun dalam penelitian ini dibatasi sampai dengan mengetahui penyebaran patahan dan rekahan sehingga untuk analisis property rekahan tidak dilakukan.

4.2. Alat Yang Digunakan

Alat Bantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah sebuah Komputer dengan empat giga byte memori untuk membantu analisis dan

perhitungan-perhitungan matematis dalam pengujian metodologi maupun untuk mendapatkan hasil. Selain perangkat keras juga digunakan perangkat lunak berupa software yaitu Petrel versi 2007.1. Perangkat lunak ini digunakan untuk:

- Membuat model geologi lapangan yang merupakan gambaran struktur sekunder maupun struktur sedimen batuan .
- Melakukan penghitungan geostatistik sederhana untuk mendapathan modus dari data *fracture* yang dapat ditampilkan berupa diagram rose ataupun tadpole.
- Melakukan pemrosesan pada data seismic terutama untuk melakukan proses smoothing, penghitungan nilai varian.
- Peningkatan resolusi variance cube data dengan menggunakan metode *ant-track*.

4.3. Pengolahan Data

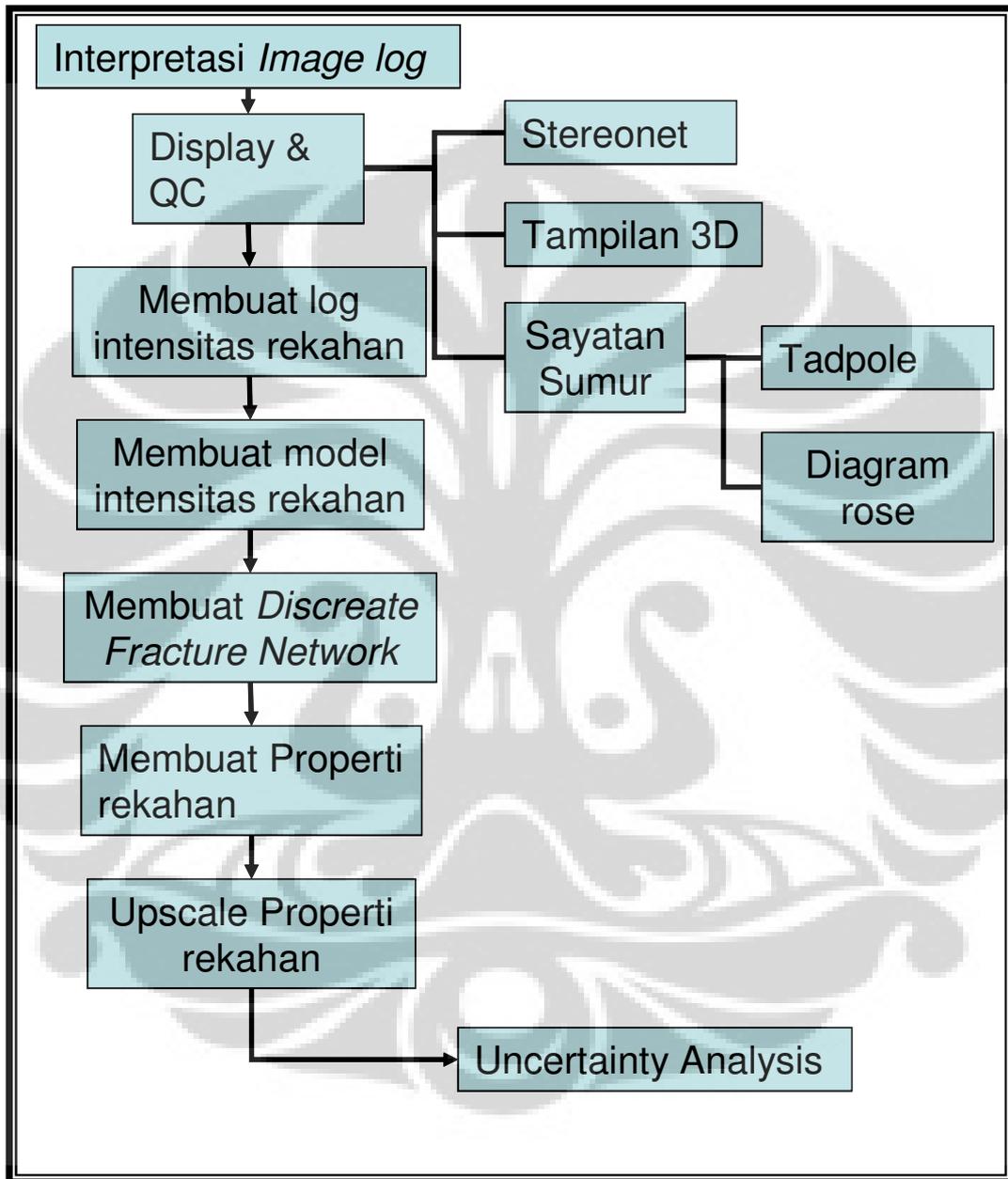
Pengolahan data meliputi dua tahapan yaitu pengolahan data sumur dan pengolahan data seismic. Pengolahan data sumur diperlukan karena data fracture didapatkan dari FMI pada sumur yang diteliti. Selain pengolahan data sumur, dalam penelitian ini juga dilakukan pengolahan data seismic 3D karena data ini adalah data utama yang digunakan untuk melihat penyebaran patahan dan tempat yang kemungkinan berkembang sebagai reservoir rekahan.

4.3.1. Pengolahan Data Sumur

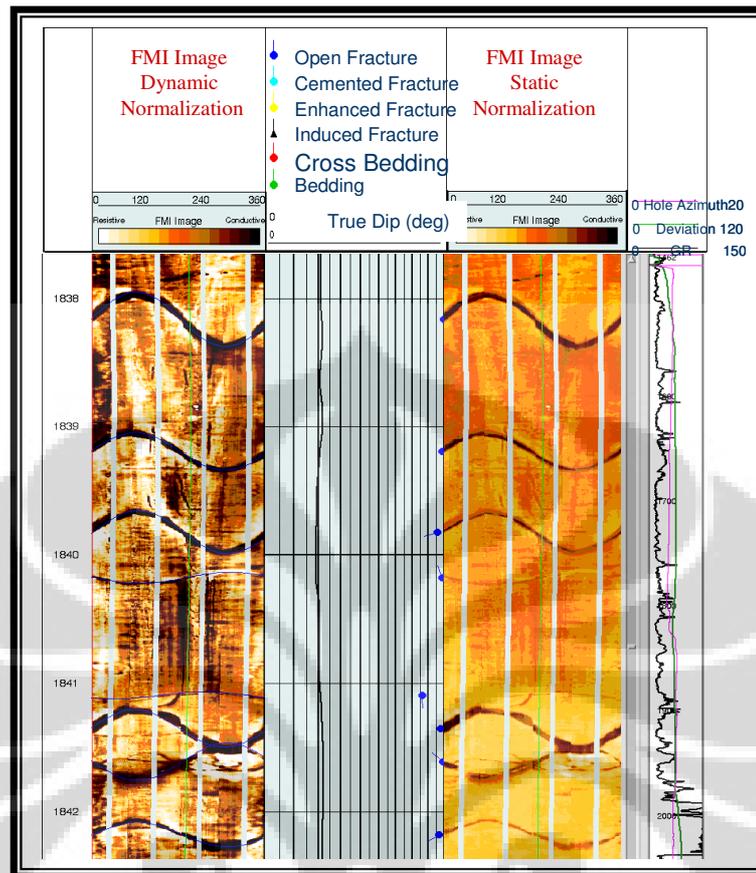
Interpreasi rekahan dengan menggunakan data sumur dilakukan dengan mengikuti alur kerja tertentu seperti pada gambar 4.1. Alur kerja ini diawali dengan melakukan interpretasi pada image log kemudian data tersebut diuji kualitasnya dengan menggunakan display stereonet, display secara 3 dimensi ataupun lintasan sumur. Dari stereonet dapat dilihat arah umum patahan dan rekahan yang dilewati oleh sumur.

Arah-arrah rekahan ini dapat digunakan untuk membantu menentukan arah rekahan yang dihasilkan para penghitungan *Ant-Track* pada *seismic cube*. Proses selanjutnya adalah membuat intensitas log yaitu mengubah jumlah rekahan pada setiap satuan kedalaman menjadi data log sumur. Data ini kemudian dijadikan model dan model ini akan digunakan untuk membuat discrete fracture network (DFN). DFN ini berupa property pada sumur sama seperti . Property ini kemudian di upscale sehingga mengisi sel yang ditembus oleh sumur. Hasil analisis pada sumur ini kemudian digunakan untuk analisis selanjutnya yang lebih komprehensif dan melibatkan data ant-

track cube dari seismic 3D yang sudah diproses sebelumnya. Proses ini intinya adalah untuk menjadikan rekahan tersebut menjadi property reservoir.



Gambar 4.1.: Alur kerja pada interpretasi log FMI.



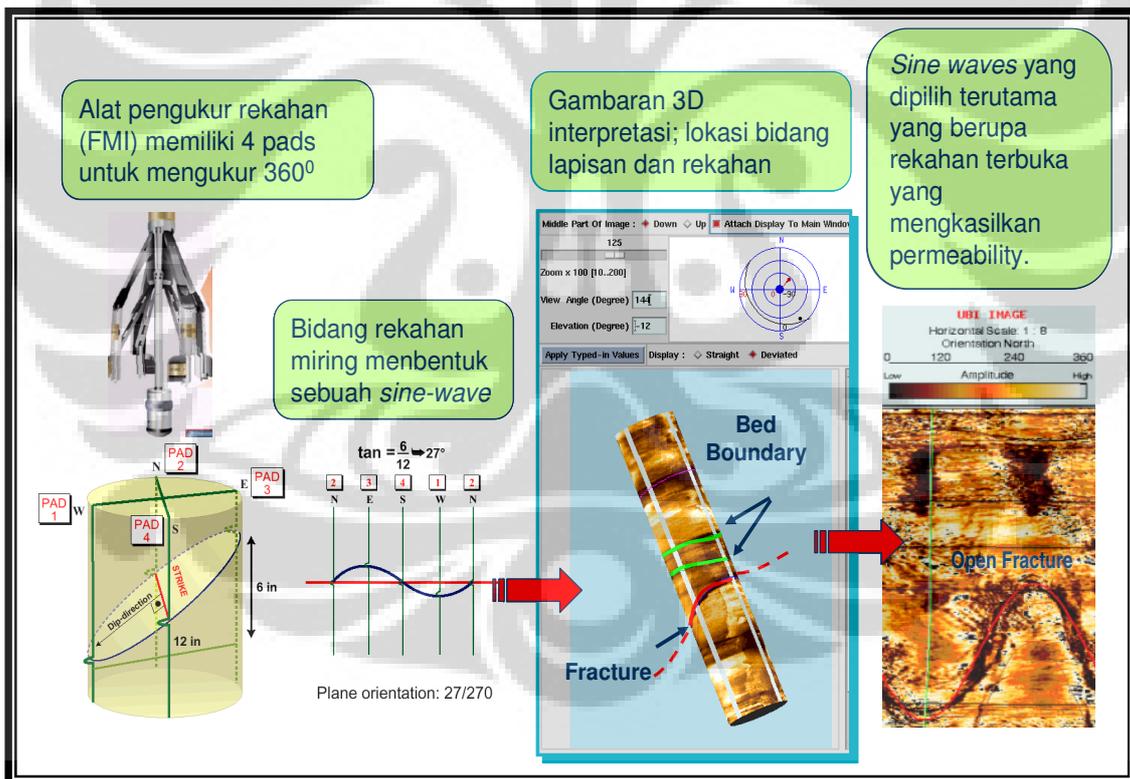
Gambar 4.2: Struktur rekahan terbuka yang tampak pada image log FMI ditunjukkan dengan bentuk kurva berwarna gelap.

Data sumur yang digunakan untuk menginterpretasi *fault* adalah data log FMI (Formation Micro Imaging). Log ini merupakan konversi nilai mikro resistivity menjadi gambar (*image*). Dari image ini dapat dilihat *fracture* termasuk arah dan lebar rekahannya (lihat gambar 4.2.). Data ini kemudian diukur dan dipisahkan antara yang rekahan terbuka (*open fracture*) ataupun *fracture* yang sudah termineralisasi. Dalam studi ini yang diukur adalah rekahan yang terbuka terisi oleh hidrokarbon dan rekahan yg berpotensi untuk meningkatkan harga porositas dan permeabilitas reservoir. Pengukuran dilakukan meliputi pengukuran arah dan lebar rekahan.

Rekahan pada log FMI dapat dikenali dengan bentuk kurva yang mirip gelombang dengan bagian terbuka atau termineralisasi. Bentuk melengkung seperti kurva ini disebabkan karena rekahan memotong miring terhadap lubang sumur. Lapisan batuan yang terpotong miring oleh sumur yang berbentuk silinder sehingga menunjukkan bentuk yang mirip dengan kurva gelombang hanya saja pada bagian batas lapisan atau laminasi terlihat lebih rapat dan solid. Kadang rekahan juga sejajar dengan

lapisan batuan . Rekahan ini terjadi umumnya terjadi karena dekompresi terhadap lapisan batuan . Pada log FMI rekahan jenis ini akan sejajar namun memiliki rongga terbuka atau termineralisasi. Rekahan terbuka dan terisi oleh hidrokarbon dikenali dengan bagian yang berwarna gelap , sedangkan rekahan yang tertutup atau termineralisasi tidak berwarna gelap. Hal tersebut dikarenakan log FMI sebenarnya mengukur *resistivity* pada dinding lobang sumur. Bagian yang gelap adalah bagian yang lebih *resistive* dibandingkan yang terang. Rekahan yang terisi oleh minyak akan akan bersifat *resistive* dibandingkan dengan sekitarnya sehingga dalam log FMI akan menunjukkan warna yang lebih gelap.

Pada log FMI dapat dilihat dua skala yaitu skala vertikal yang menunjukkan tempat atau kedalaman rekahan tersebut diukur dan skala horizontal yang menunjukkan image yang direkam oleh sensor sekeliling dinding sumur sejauh 360⁰ . Dengan pengukuran sekeliling dinding sumur tersebut maka arah rekahan dapat diukur.



Gambar 4.3: Skema proses pengambilan data dan interpretasi data sumur untuk mendapatkan arah dan intensitas rekahan.

Pengukuran arah rekahan dilakukan dengan melihat bagian puncak kurva dan besar sudut yang terbaca pada log header. Besarnya sudut yang terbaca pada lengkung kuva terendah adalah arah dip rekahan. Untuk mencari strike rekahan tersebut dari arah

dip yang didapatkan dikurangi dengan 90^0 . Data lain yang perlu diukur adalah besarnya dip rekahan tersebut. Dip atau kemiringan rekahan diukur dengan cara menghitung jarak dari lengkungan tertinggi sampai dengan lengkungan terendah. Jarak yang didapatkan tersebut adalah jarak yang sejajar lubang bor. Jarak yang tegak lurus lubang bor didapatkan dari harga caliper . Besarnya sudut dip dihitung dengan menggunakan cara menghitung arc tangen dari jarak lengkung tertinggi ke lengkung terendah terhadap diameter lubang.

Data-data tersebut dicatat untuk nantinya digunakan dalam analisis patahan dan rakahan baik secara statistik maupun deterministik dan di-load ke dalam software sebagai data dip meter. Data pengukuran rekahan ini kemudian dikoreksi dengan arah deviasi sumur sehingga didapatkan harga pengukuran *fracture* yang sudah terkoreksi.

4.3.2. Pengolahan Seismik 3D

Proses yang dilakukan pada seismic 3D antara lain adalah proses *smoothing*, penghitungan varian dan pembuatan *ant-track cube*. Proses *smoothing* ini dilakukan untuk menghilangkan efek variasi spasial yang disebabkan oleh noise (Kass & A. Witkin, 1987).

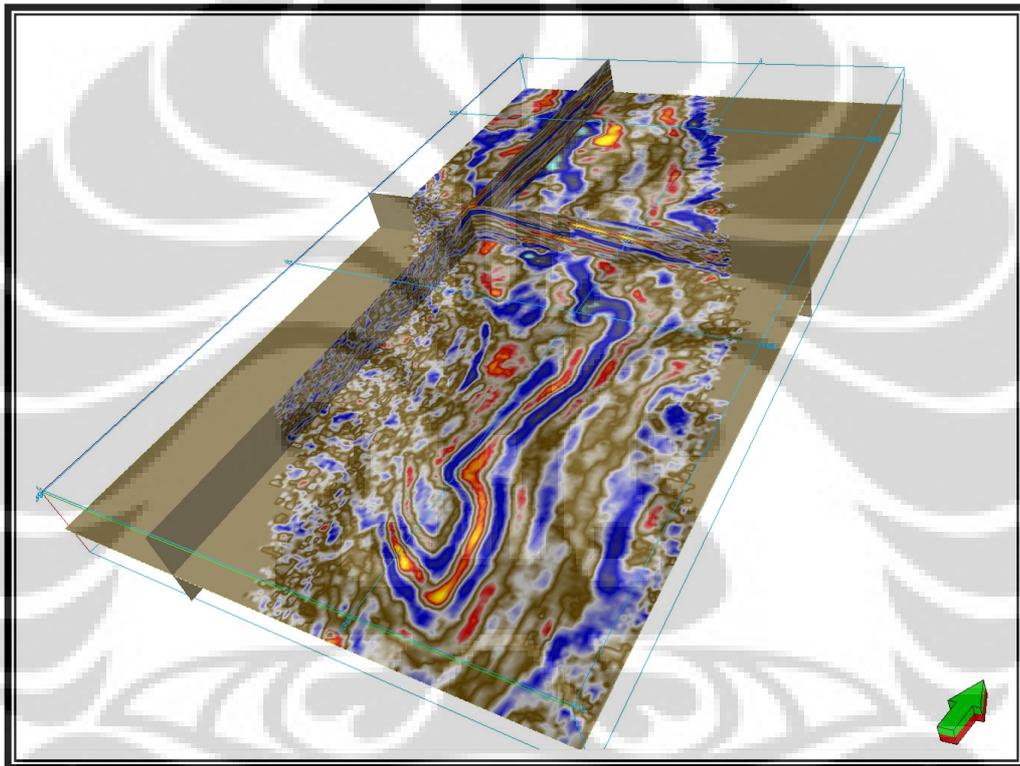
Seismic cube yang sudah dihaluskan (*smooth*) kemudian dihitung nilai variannya untuk mendapatkan *variance cube*. Hasil *variance cube* tersebut kemudian dipertajam lagi dengan menggunakan algoritma *Ant-Track*.

Setelah mendapatkan cube *Ant-Track* maka dilakukan analisis patahan dengan menggunakan stereonet dan kemudian dipisahkan menurut arahnya masing masing. Kelompok patahan tersebut kemudian diklasifikasi berdasarkan umur dan genesanya dengan mempertimbangkan data-data lainnya.

4.3.2.1. Data Loading.

Proses data loading seismic dilakukan dengan menggunakan software Petrel versi 2007.1. Sebelum proses loading seismic dilakukan ke dalam aplikasi , terlebih dahulu dilakukan pengecekan segy header. File segy yang bisa langsung di load ke dalam Petrel adalah segy standard. Pada segy standard, pada trace headernya harus tercantum data koordinat setiap trace, nomor inline, nomor cross line. Software akan langsung mengenali format segy standard. Hasil loading proses akan berupa *seismic cube* seperti

terlihat pada gambar 4.4. Setelah seismic data tersebut terload ke dalam aplikasi perlu dicek kualitasnya . Pengecekan kualitas seismic tersebut dapat dilakukan dengan cara melihat statistik dari penyebaran datanya, jumlah inline dan crosslinenya serta melihat time first sample pada seismic tersebut. Pada aplikasi Petrel seismic 3D dapat ditampilkan secara inline, crossline dan time slices . Jika data dirasa perlu ditingkatkan kualitasnya maka bisa dilakukan seismic processing berupa penambahan *gain* atau menggunakan *graphic equalizer*. Jika data yang dihasilkan sudah cukup memuaskan proses selanjutnya adalah data *smoothing*.

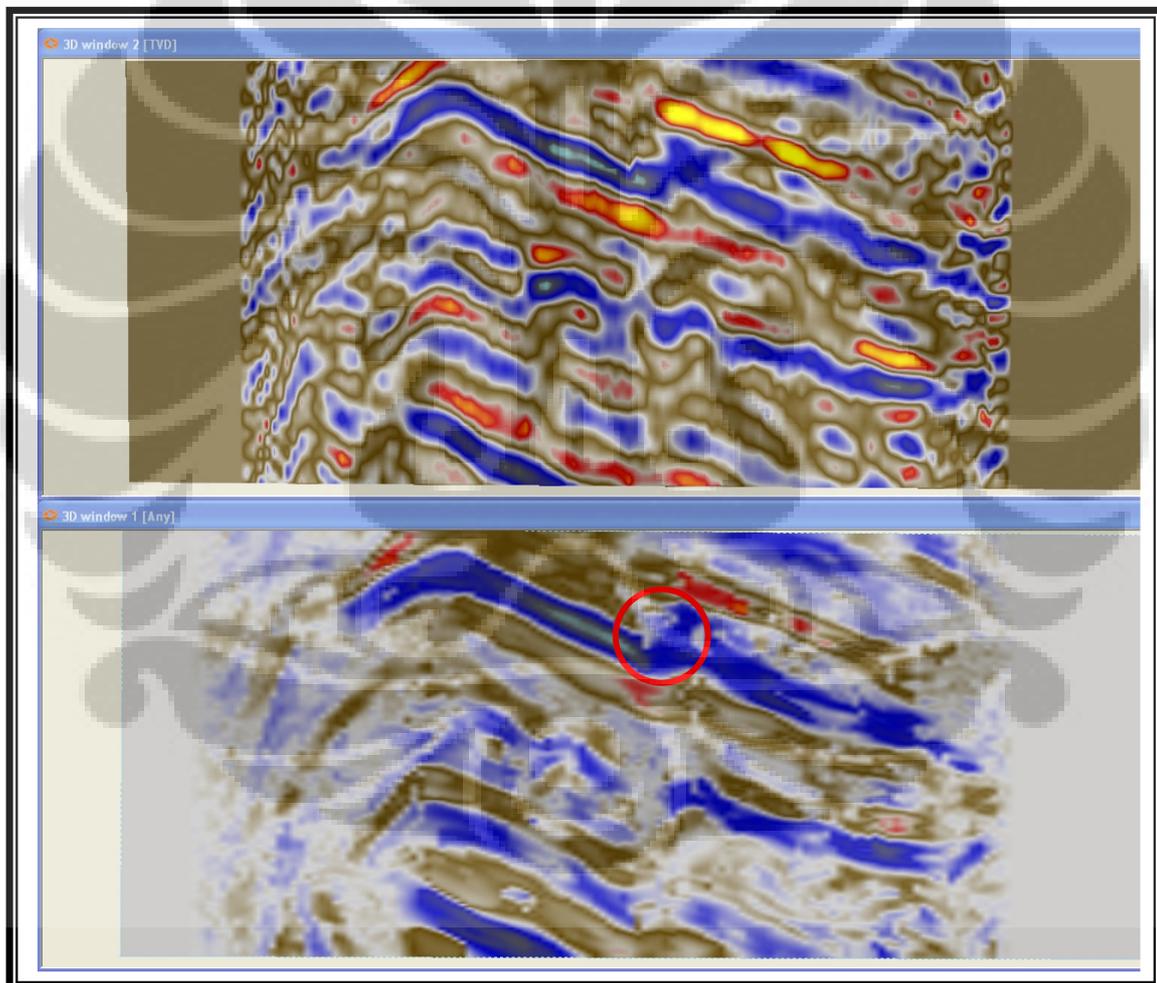


Gambar 4.4: Data seismic dalam domain depth yang telah diload ke dalam aplikasi . Proses quality kontrol salah satunya dapat dilihat dari kualitas image, panjang, lebar, posisi dan kedalaman seismic data tersebut.

Pengecekan posisi seismik ini dilakukan dengan membandingkan seismic dengan data sumur termasuk marker. Apabila seismic dilihat pada arah sayatan vertikal seismic dapat dilihat kualitas *image seismic* . Dari data tersebut diketahui variasi *seismic* secara spatial . Penghitungan nilai varian dilakukan untuk mengetahui event seismic yang tidak menerus karena fault dan zona *fractures*. Untuk mendapatkan hasil yang baik maka ketidak menerus event seismic yang diakibatkan oleh nois harus dikurangi. Cara mengurangi efek ini adalah dengan menggunakan *smoothing*.

4.3.2.2. Data Smoothing.

Dalam proses *smoothing* variasi data spasial yang sifatnya tidak beraturan akan dihilangkan sehingga ketidak menerusan event seismic diharapkan benar-benar merupakan gambaran fault dan fracture zone yang terekam dalam data seismic. Dalam pengambilan parameter smoothing yang dilakukan dengan *trial and error* karena variabel smoothing akan menentukan kualitas seismic yang dihasilkan. Jika parameter smoothingnya terlalu besar maka fault dan fracture yang kecil akan hilang sementara jika terlalu kecil maka spatial noisnya tidak hilang akan masuk dalam perhitungan variance.



Gambar 4.5 : Proses smoothing yang menghasilkan image seismic baru sehingga data struktur patahan dan rekahan akan semakin jelas (bawah) semakin jelas.

Hasil proses seismic smoothing akan terlihat lebih menerus dibandingkan dengan data yang belum diperhalus dengan proses smoothing. Tingkat kehalusan pada proses smoothing ini dipertimbangkan dan dilakukan berulang-ulang dengan mengubah

parameter untuk mendapatkan hasil yang baik . Dari beberapa kali pengujian proses smoothing yang menghasilkan data yang cukup baik adalah dengan menguji parameter sampai menemukan *image* yang baik.

Gambar 4.5. menunjukkan bahwa seismic yang belum melewati proses smoothing akan menunjukkan amplitud yang masih asli namun patahan dan rekahan kurang jelas. Yang tampak dari seismic tersebut adalah *discontinuity* dari *seismic event* nya saja yang diinterpretasi sebagai patahan.

Pada gambar 4.5. (bawah) dapat dilihat sayatan seismic yang sudah melalui proses *smoothing* . Pada gambar ini terlihat bahwa amplitudnya berubah namun patahan dan rekahan yang dicari akan lebih jelas dan lebih mudah diidentifikasi. Rekahan-rekahan terbuka pada seismic event juga tampak pada sayatan seismic hasil proses *smoothing*. Bagian yang dilingkari pada seismic bagian bawah adalah kenampakan rekahan yang dihasilkan setelah proses *smoothing*.

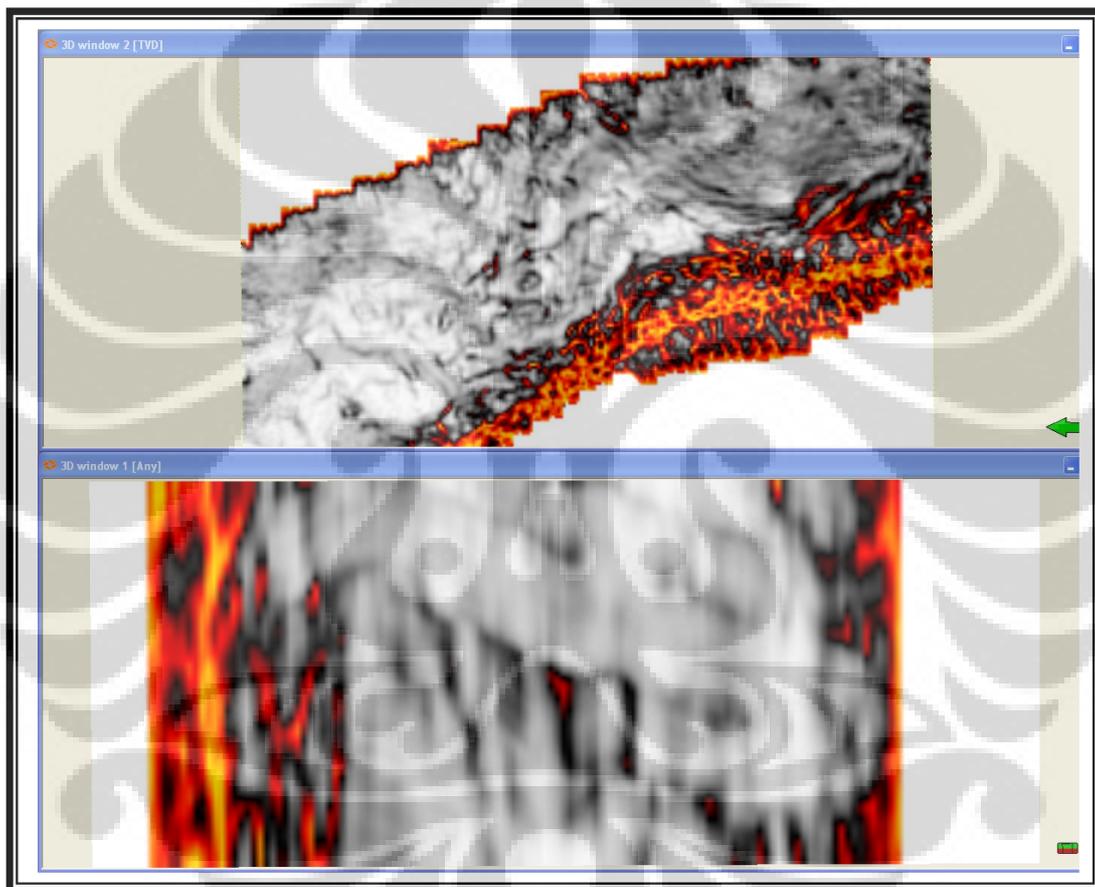
4.3.2.3. Penghitungan Varian.

Seismic cube yang dihasilkan dari proses *smoothing* tersebut kemudian digunakan sebagai bahan dasar untuk menghitung nilai varian . Penghitungan varian akan menghasilkan *cube* varian yang merupakan angka yang mencerminkan kemenerusan event seismik secara lateral antara suatu trace dengan trace sekitarnya. Dalam penghitungan varian ini digunakan parameter 3x3 atau setiap satu trace dihitung bersama dengan delapan trace di sekitarnya. Parameter lainnya yang perlu diperhatikan adalah vertikal *smoothing*. Semakin kecil vertikal *smoothing* maka resolusi vertikal harga variannya akan semakin tinggi dan semakin besar vertikal *smoothing*nya maka resolusinya makin rendah.

Nilai varian ini tidak hanya mencerminkan patahan atau zona rekahan namun hanya menghitung variasi secara statistik antara satu trace dengan yang lain sehingga nilai resolusi yang baik belum tentu mencerminkan struktur yang baik. Dengan menggunakan asumsi bahwa patahan dan rekahan yang ada di daerah contoh relatif tegak atau miring maka angka vertikal *smooth* dapat dibuat agak besar sehingga dapat menghilangkan variasi nilai varian akibat lapisan yang miring.

Hasil proses penghitungan nilai varian dapat dilihat pada gambar 4.6. Gambar ini menunjukkan bagian-bagian yang memiliki nilai varian yang tinggi akan berwarna gelap sampai merah. Bagian Barat lapangan yang berbatasan dengan fault besar dapat

dengan mudah dikenali dengan melihat warna gelap dan merah yang mendominasi bagian tersebut. Tetapi untuk daerah yang berada pada bagian tengah dan Timur, adanya patahan dan rekahan kurang terlihat dengan jelas. Pada beberapa bagian memang tampak agak terlihat gelap sebagai tanda adanya *discontinuity* dari seismic event, namun akan sangat sulit memastikan itu adalah patahan atau rekahan. Pada sayatan vertikalnya pun tidak jauh berbeda sehingga patahan dan rekahan dari data *variance cube* belum cukup untuk memberikan informasi tersebut.



Gambar 4.6: Pola patahan yang dihasilkan dari penghitungan varian dilihat dengan menggunakan time slice

Jika dilihat pada time slice maka akan dapat dilihat bentuk-bentuk kelurusan yang mencerminkan struktur patahan atau rekahan yang terbentuk dari proses tektonik. Patahan dan rekahan yang terbentuk karena proses tektonik tersebut memiliki arah orientasi tertentu sehingga dapat dikelompokkan menurut jenisnya dan sifat-sifatnya. Dengan mengetahui patahan dan rekahan yang terbuka dan mampu menampung hidrokarbon ataupun yang memiliki permeability tinggi dapat membantu dalam proses

produksi minyak bumi. Arah dan bentuk dari patahan dan rekahan inilah yang nantinya akan dipertajam dengan menggunakan metode *Ant-Track*. Gambar 4.6 menunjukkan time slices dari daerah penelitian yang menunjukkan adanya pola-pola varian tinggi yang memiliki arah orientasi tertentu.

4.3.2.4. Penghitungan *Ant-Track*.

Prinsip dasar penghitungan ant track adalah proses picking ulang secara otomatis terhadap data-data yang memiliki kesamaan karakter atau biasa disebut *voxel picking*. Pada proses ini picking ulang yang dilakukan oleh mesin mengikuti arah orientasi tertentu karena radius dan arah pencarian data dapat diatur sesuai dengan kondisi data yang ada. Proses ini menghasilkan suatu seismic cube yang baru yang disebut ant track cube. Cube seismic ini menunjukkan pola-pola kelurusan yang lebih jelas dibandingkan dengan hanya menggunakan varian. Keuntungan menggunakan ant track cube dalam melakukan interpretasi Patahan dan rekahan adalah :

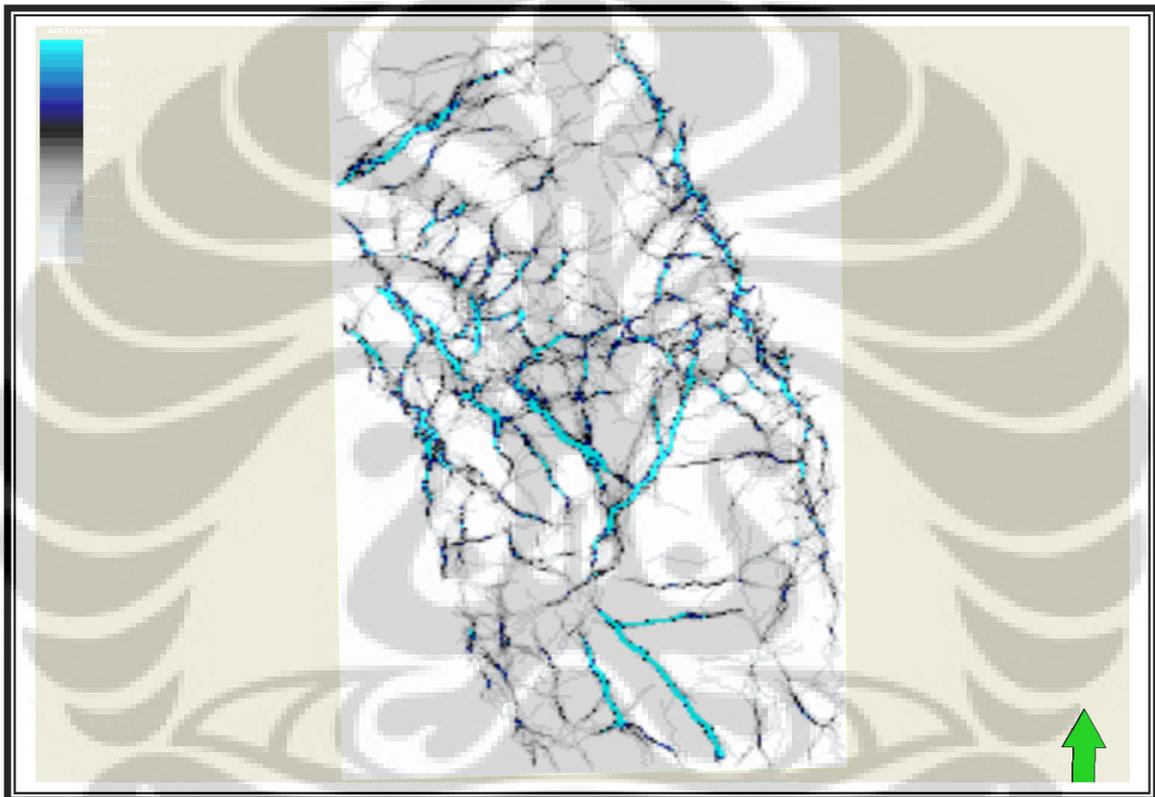
1. Pola-pola patahan dan rekahan akan lebih jelas sehingga lebih mudah diinterpretasi secara manual maupun otomatis.
2. Filtering terhadap pola-pola yang dihasilkan oleh patahan dan rekahan dengan menghilangkan noise ataupun pola yang disebabkan perbedaan lithology. Proses ini akan mempertegas patahan dan rekahan.
3. Filtering terhadap arah patahan sehingga tidak semua pola patahan ditampilkan tetapi dapat dipisahkan patahan dengan pola tertentu yang terbuka dan permeabilitas tinggi.
4. Hasil berupa cube seismic dapat dianalisa secara kualitatif maupun dengan cara kuantitatif.

Pada gambar di bawah menunjukkan pola-pola patahan dan rekahan yang dihasilkan pada time slice dari ant track cube yang menunjukkan patahan yang berupa pola-pola lurus dan tegas sedangkan rekahan-rekahan yang umumnya kurang tegas namun memiliki pola yang hampir sama dengan pola patahan. Secara kualitatif dapat langsung dilihat tempat-tempat yang lebih banyak terdapat struktur patahan dan rekahan sehingga langsung dapat diinterpretasi sesuai dengan kebutuhannya. Gambar 4.7., menunjukkan hasil proses *ant-track* yang menghasilkan 3D seismic cube baru.

Dari data seismic yang telah diproses menjadi ant track cube dapat dilihat pola-pola kelurusan yang ditimbulkan akibat adanya patahan dan rekahan, namun dengan

menggunakan data tersebut tidak menunjukkan patahan atau rekahan apakah patahan tersebut tersebut terbuka sehingga dapat terisi oleh hidrokarbon atautkah patahan tersebut tertutup dan tidak berpotensi sebagai reservoir hidrokarbon.

Dalam penelitian ini metoda pendekatan yang digunakan adalah menggunakan data sumur yang berupa log FMI. Dari log ini akan diketahui rekahan rekahan yang mana yang berfungsi sebagai reservoir kemudian dikelompokkan berdasarkan arah dan geometrinya. Untuk mendapathan data tersebut dilakukan pengolahan data sumur.

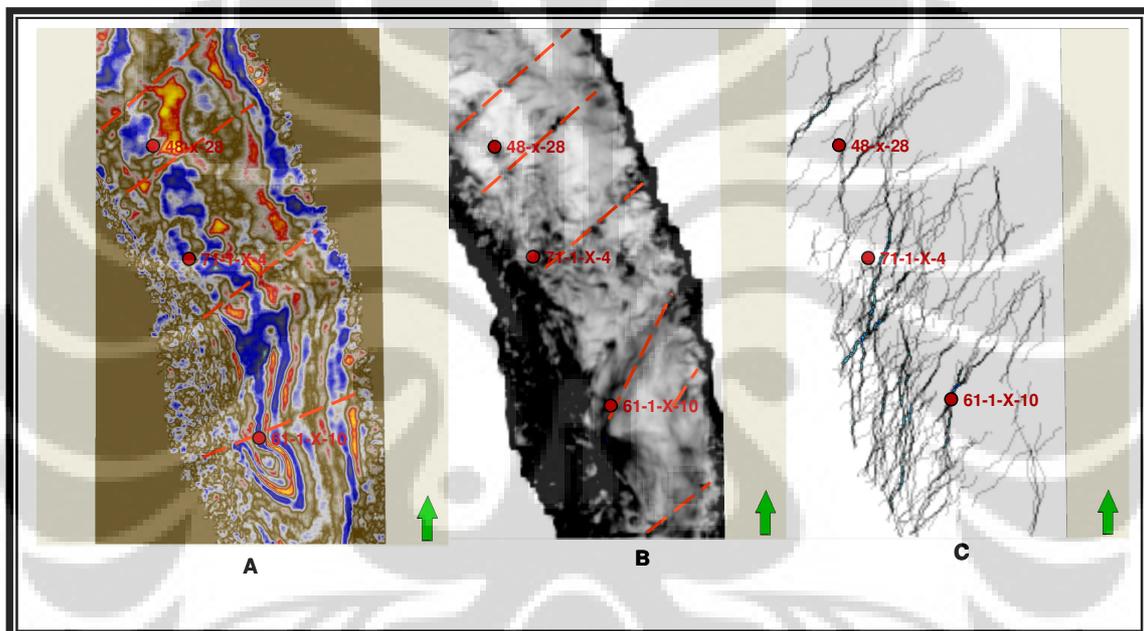


Gambar 4.7 : Pola patahan yang dihasilkan dari penghitungan *ant track cube* yang menunjukkan kelurusan tegas.

BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Peningkatan Resolusi Gambaran Patahan

Proses awal dari analisa data yang telah diproses adalah dengan membandingkan antara *image* yang dihasilkan dengan menggunakan proses penghitungan harga varian saja dan hasil pemrosesan data menggunakan penghitungan harga varian dilanjutkan dengan proses *ant-track*.



Gambar 5.1 : Peningkatan resolusi gambaran patahan dari seismic amplitud (A), *variance cube* (B) dan *ant-track cube* (C).

Dengan algoritme *ant-track* dapat dilihat dengan jelas peningkatan resolusi patahan. Pada gambar 5.1 paling kiri menunjukkan seismic amplitud tanpa pemrosesan tambahan. Pada *seismic cube* tersebut patahan dapat diidentifikasi dengan melihat ketidakmenerusan event seismic. Jumlah patahan yang dapat diinterpretasi relatif sedikit karena hanya menunjukkan patahan-patahan yang relatif besar dengan arah yang sangat interpretatif. Pemrosesan tambahan dengan menggunakan penghitungan varian akan mempertegas bidang ketidakterusan. Pada gambar 5.1,B., ketidakmenerusan event seismic tersebut ditunjukkan dengan warna yang lebih gelap. Dengan *variance cube* tersebut patahan akan lebih mudah diidentifikasi dibandingkan dengan hanya menggunakan amplitud seismic. Jumlah patahan yang dapat

diinterpretasiakan lebih banyak dan akurasinya juga lebih baik. Dua seismic cube tersebut sudah sering digunakan dalam interpretasi patah. Gambar 5.1,C., merupakan hasil pemrosesan dengan menggunakan *ant-track*. Pada cube ini dapat dilihat dengan jelas peningkatan resolusi patahan jika dibandingkan dengan *cube A* dan *B*. Patahan-patahan yang sudah tampak pada proses penghitungan varian terlihat lebih tegas dengan peningkatan resolusi tersebut. Patahan-patahan kecil yang tidak tampak pada *variance cube* akan terlihat sangat jelas pada *ant-track cube*.

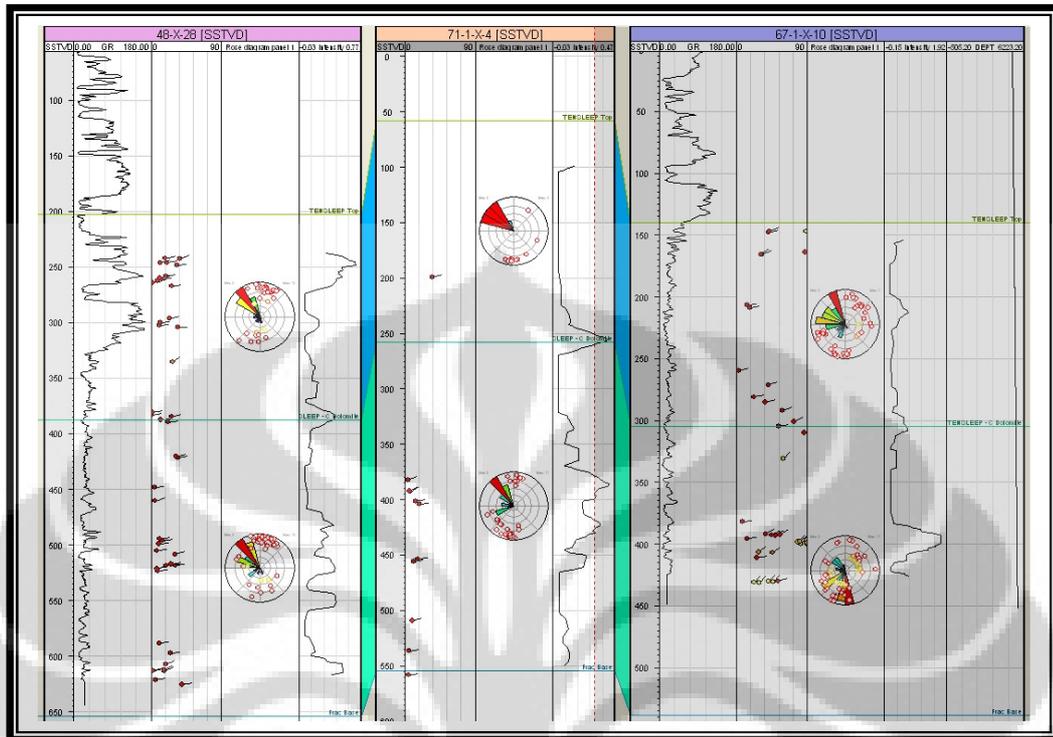
Dengan membandingkan ketiga *image* tersebut sangat jelas bahwa algoritme *ant-track* mampu meningkatkan resolusi patahan. Peningkatan resolusi patahan tersebut memungkinkan pengkajian terhadap intensitas patahan pada suatu tempat untuk memperkirakan lokasi rekahan (*fracture*) yang berkembang dengan mengabungkan data *ant-track* dengan data rekahan (*fracture*) dari sumur.

5.2. Analisis Data Sumur

Data rekahan yang telah diukur dari FMI kemudian dianalisa dengan menggunakan diagram rose dan *tadpole*. Dari diagram rose pada beberapa sumur dapat dilihat arah umum kemiringan (*dip*) rekahan tersebut adalah berarah sekitar Baratlaut dan strike relatif berarah Baratdaya. (Gambar 5.2).

Sehingga diperkirakan arah gaya pembentuk rekahan atau patahan tersebut. Arah umum pembentuk gaya atau biasa disebut adalah berasal dari arah Utara-Timurlaut dan Selatan-Baratdaya. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan pendekatan arah gaya terhadap rekahan atau patahan yang dihasilkan oleh gaya-gaya tersebut.

Jika diketahui gaya-gaya tersebut bekerja atau mengenai batuan si sekeliling dinding sumur artinya gaya tersebut juga mengenai batuan yang ada di sekitar sumur tersebut atau mengenai daerah yang lebih luas di sekitar sumur tersebut. Pola-pola rekahan yang kita dapatkan di sumur dapat digunakan untuk menganalisa pola-pola rekahan yang dihasilkan dari proses *ant track* yang kita lakukan. Berpatokan dengan data sumur 48-X-28, 71-1-x-4 dan 67-1-X-10 dapat diketahui bahwa rekahan rekahan-terbuka memiliki arah relatif Baratdata dan Timurlaut. Hal ini dapat dipakai sebagai acuan untuk menentukan mana fault yang terbuka dan bisa terisi hidrokarbon dari *ant track cube*.

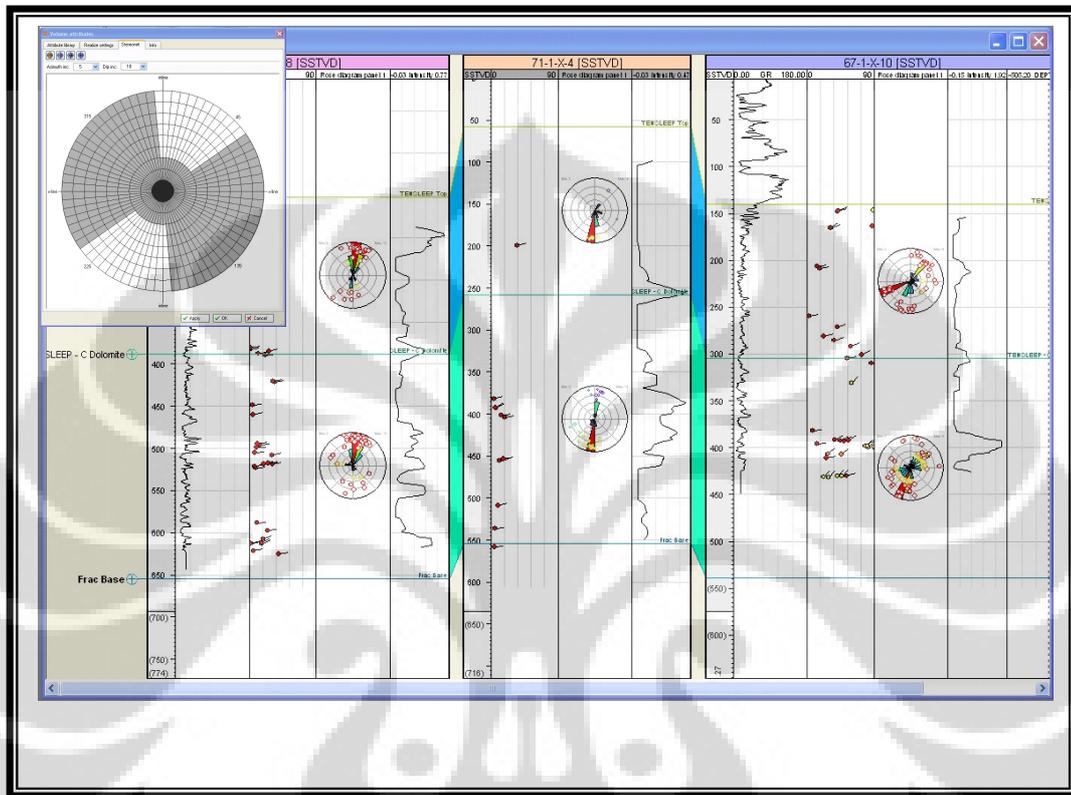


Gambar 5.2: Diagram rose menunjukkan yang arah umum *fracture* ke Baratlaut sementara strikenya menunjukkan relatif ke arah Baratdaya.

Arah *fracture* yang diperoleh dari diagram rose digunakan sebagai penuntun untuk membuat *ant-track cube*. Dari gambar 5.3., ketiga sumur menunjukkan penyebaran *fracture* secara umum memiliki arah 335° sampai sengan sekitar 70° dari Utara ke arah Timur . Selai menunjukkan arah *fracture*, data sumur ini memberikan informasi mengenai arah rekahan-rekahan terbuka dan berisi hidrokarbon. Hal ini dikarenakan pada proses awal hanya rekahan terbuka yang berisi hidrokarbon saja yang diukur geometrinya. Informasi ini digunakan untuk memisahkan arah fault pada *ant track cube* yang kemungkinan berisi hidrokarbon. Proses pemisahan ini dilakukan pada saat pembuatan fault path dengan cara menghilangkan fault dan fracture yang memiliki arah berbeda dengan data sumur.

Proses untuk memfilter arah patahan dilakukan dengan menggunakan stereonet. Stereonet yang dibuat digunakan untuk memisahkan patahan yang akan dibuat dengan menggunakan metode *ant-track* . Dari data fracture yang didapatkan pada tiga sumur di atas (gambar 5.3) dapat diketahui arah *fracture*. Fracture tersebut memiliki arah umum Timurlaut – Baratdaya.

Bagian yang berwarna abu-abu pada stereonet merupakan arah patahan yang akan dihilangkan pada saat pemrosesan data seismic dengan menggunakan algoritma *ant-track*.

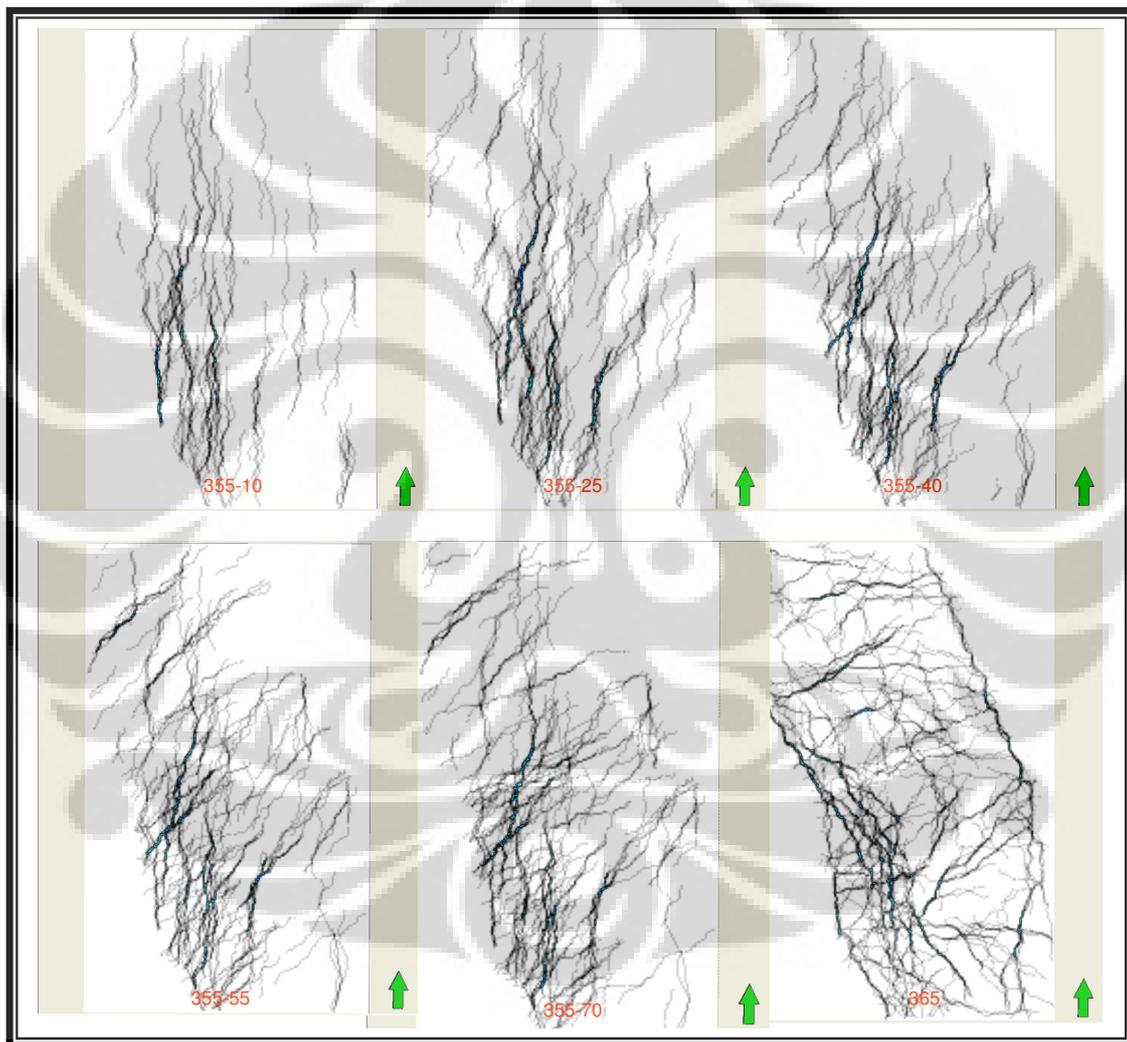


Gambar 5.3: Stereonet menunjukkan arah dan kemiringan patahan dan rekahan yang akan dibuat . Dengan mereferensi data sumur dapat dipisahkan patahan dan rekahan yang memiliki trend yang sama dengan data sumur

Dalam pembuatan *ant-track* dilakukan pemisahan fault dan fracture yang searah dan yang tidak searah dengan rekahan dari data sumur. Pemisahan tersebut dilakukan dengan menggunakan stereonet. Daerah yang berwarna abu-abu (gambar 5.3) pada stereonet adalah arah fault dan fracture yang dieliminasi atau tidak digenerate. Dalam melakukan penghitungan *ant-track* dilakukan pengujian dengan mengubah arah pencarian data untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari masing-masing proses. Hal ini dilakukan sesuai dengan data sumur yang menunjukkan tidak dominannya fault dan fracture pada arah tersebut.

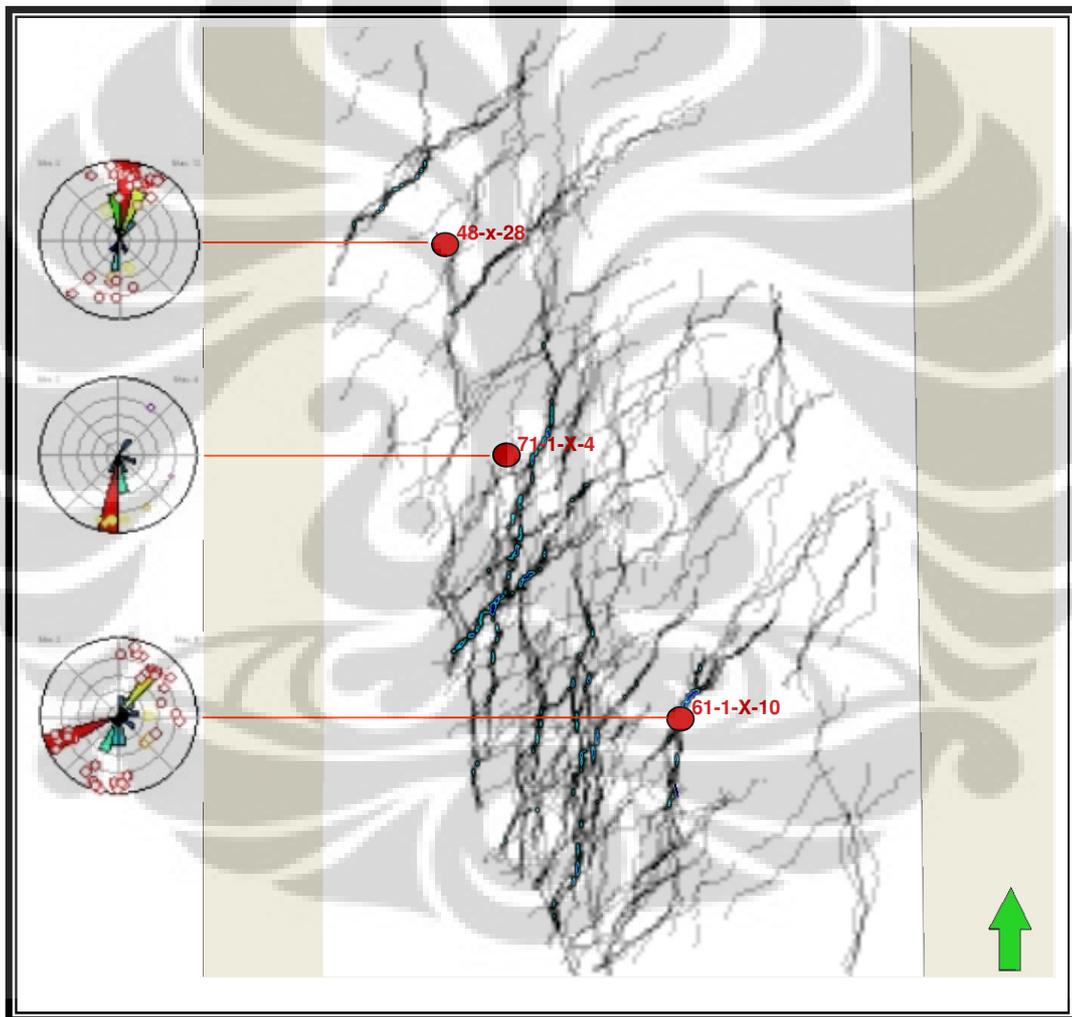
5.3. Korelasi Data *Fracture* dan *Ant-Track Cube*.

Untuk mengoptimalkan hasil *ant-track* dilakukan pengujian dengan mengubah rentang sudut pencarian data varian yang akan diproses menjadi *ant-track cube*. Berdasarkan diagram rose yang didapat dari data patahan sumur maka kisaran arah strike adalah $355^{\circ} - 70^{\circ}$ NE. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui patah-patahan yang berasosiasi dengan *fracture* yang didapat dari data sumur.



Gambar 5.4: *Image* yang dihasilkan dari pengujian *ant-track* dengan merubah rentang sudut pencarian data. Secara berurutan kiri atas *image* yang dihasilkan dari sudut $355^{\circ}-10^{\circ}$, tengah atas *image* yang dihasilkan dari sudut $355^{\circ}-25^{\circ}$, kanan atas *image* yang dihasilkan dari sudut $355^{\circ}-40^{\circ}$, kiri bawah *image* yang dihasilkan dari sudut $355^{\circ}-55^{\circ}$, tengah bawah *image* yang dihasilkan dari sudut $355^{\circ}-70^{\circ}$, kanan bawah *image* yang dihasilkan dari proses *ant-track* tanpa filter arah.

Dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama menggunakan yang menggunakan rentang sudut pencarian harga varian dibatasi antara azimuth $355^{\circ} - 10^{\circ}$ NE. Di sini terlihat jelas bahwa patahan yang terbentuk dari proses *ant-track* adalah patahan yang hanya dalam rentang azimuth $355^{\circ} - 10^{\circ}$ NE. Secara kualitatif jumlah patahan juga tidak terlalu banyak. Ketika pengujian dilanjutkan dengan tentang sudut yang lebih lebar sampai dengan azimuth $355^{\circ} - 70^{\circ}$ NE akan terlihat semakin banyak patahan yang berasosiasi dengan data fracture yang diperoleh dari sumur (gambar 5.4).



Gambar 5.5: Korelasi *fracture* dalam bentuk diagram rose yang diperoleh dari sumur dengan *ant-track cube* pada rentang pencarian data $355^{\circ} - 55^{\circ}$.

Pemilihan rentang pencarian data tersebut dilakukan dengan cara kualitatif yaitu dengan melihat membandingkan arah dominan dari patahan yang terbentuk dengan *fracture* yang didapat dari data sumur. Rentang pencarian data varian yang paling baik

adalah yang sesuai dengan data *fracture* yang didapatkan dari sumur yaitu antara $355^{\circ} - 55^{\circ}$. Arah yang ditunjukkan diagram rose pada sumur 48-X-28, 71-1-X-4 dan sumur 61-1-X-10 relatif mirip dengan patahan pada *ant-track cube*. Selain menunjukkan arah, banyaknya *fracture* pada sumur juga berkaitan dengan jarak sumur tersebut dengan patahan. Sumur 48-X-28 menunjukkan intensitas *fracture* yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan disebabkan karena sumur tersebut berada dekat dengan patahan yang berarah sama dengan *fracture*. Lain halnya dengan sumur 71-1-X-4 yang posisinya agak jauh dari patahan sehingga *fracture* yang dijumpai pada sumur ini relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan dua sumur lainnya. Sumur 61-1-X-10 adalah sumur yang terletak pada perpotongan dua patahan sehingga pada sumur ini tidak hanya dijumpai jumlah *fracture* yang lebih banyak dan ditemukan lebih dari satu orientasi strike.

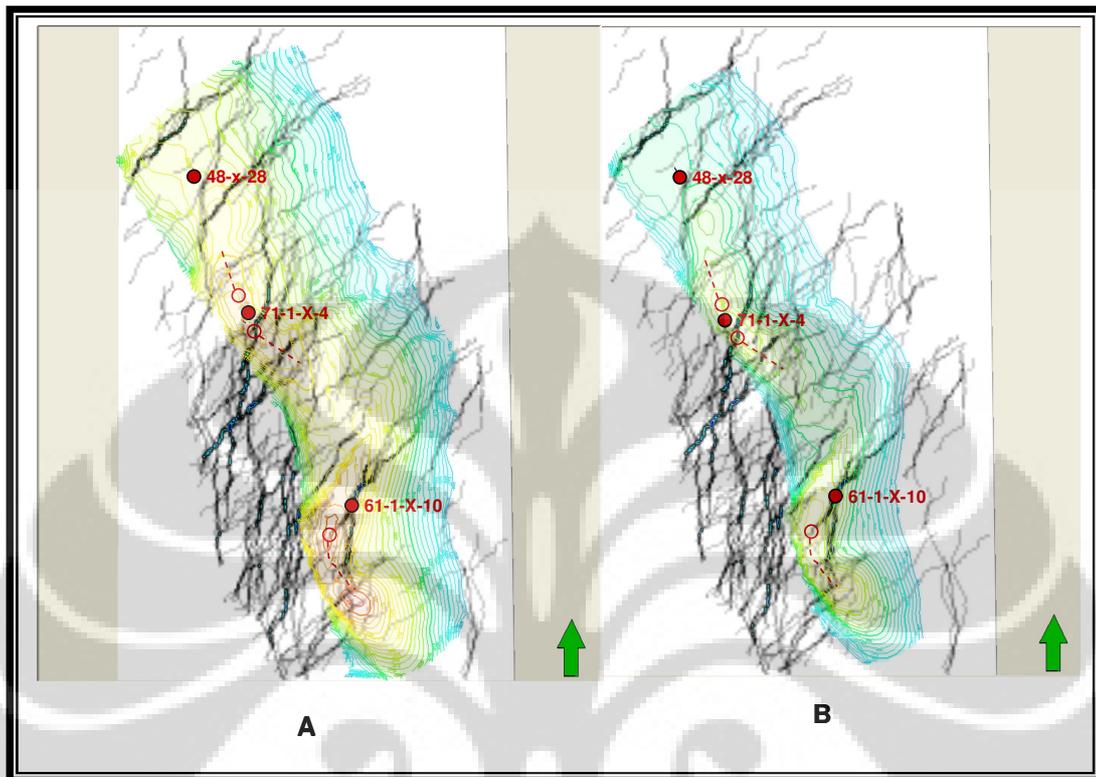
Dengan korelasi antara data sumur dengan *ant-track cube* dapat dilihat bahwa *fracture* yang ditemukan pada sumur-sumur di Teapot Dome berhubungan erat dengan arah patahan pada lapangan tersebut terutama arah *fracture* terhadap patahan dan intensitas *fracture* terhadap patahan.

5.4. Potensi Pengembangan Lapangan.

Setelah mengetahui hubungan antara *fracture* dengan patahan yang ada di Teapot Dome maka mulai dicari kemungkinan pengembangan lapangan. Sejak awal penelitian *fracture* yang dicari adalah *fracture* terbuka dan terisi oleh hidrokarbon sehingga diharapkan mampu meningkatkan permeabilitas reservoir. Begitu pula patahan yang dicari adalah yang berasosiasi dengan *fracture*.

Dengan melakukan overlay antara peta struktur dengan *image* yang diperoleh dengan menggunakan metode *ant-track* dapat dilihat adanya beberapa lokasi yang memungkinkan untuk dikembangkan sebagai sumur horizontal. Pada reservoir bagian atas berupa unit batupasir yang dibatasi surface Tenslep Top di bagian atas, ada beberapa lokasi yang memungkinkan untuk dibuat sumur pengembangan yang berarah relatif ke arah Baratlaut atau Tenggara. Hal ini didasarkan atas asumsi arah tersebut relatif tegak lurus dengan arah *fracture* sehingga semakin banyak *fracture* yang terpotong oleh sumur (gambar 5.6.,A). Pada lapisan reservoir bagian bawah yang

dibatasi oleh surface Tenslep-C-Dolomit juga bisa dibuat sumur-sumur sidetrack yang memotong *fracture* (gambar 5.6.,B).



Gambar 5.6: Overlay peta surface Tenslep-Top (batupasir) dengan nilai *ant-track* menunjukkan adanya potensi untuk mengembangkan lapangan dengan membuat sumur horizontal yang memotong banyak patahan yang berasosiasi dengan *fracture* (A). Overlay antara surface Tenslep C Dolomit menunjukkan walaupun reservoir ini relatif tight namun karena ada *fracture* masih memungkinkan untuk dikembangkan (B).

Dengan menggabungkan antara data sumur, seismic dan peta struktur dapat dibuat pendekatan baru untuk melakukan pengembangan lapangan minyak. Pemanfaatan algoritma *ant-track* yang dikembangkan berdasarkan algoritma *ant colony optimization metaheuristic* diharapkan mampu memberikan inovasi baru dalam proses interpretasi data seismic terutama pada lapangan minyak dengan *fractured reservoir*.

5.7. Estimasi Cadangan Hidrokarbon Pada Rekahan.

Cadangan minyak atau *reserve* minyak pada reservoir rekahan dibagi menjadi dua bagian yaitu cadangan minyak yang berasal dari porositas primer dan cadangan tambahan yang berasal dari porositas sekunder. Untuk cadangan minyak yang berasal dari porositas primer dapat diestimasi dengan menggunakan penghitungan volumetrik.

Namun dalam penelitian ini tidak akan dibahas mengenai perhitungan volumetrik . Pada penelitian ini lebih menitik beratkan pada penghitungan volume hidrokarbon yang terdapat pada rekahan. Jika terdapat dua sistem porositas yaitu porositas primer dan porositas sekunder yang berasal dari rekahan maka hasil kedua perhitungan tersebut dapat dijumlahkan untuk mendapatkan estimasi *reserve*.

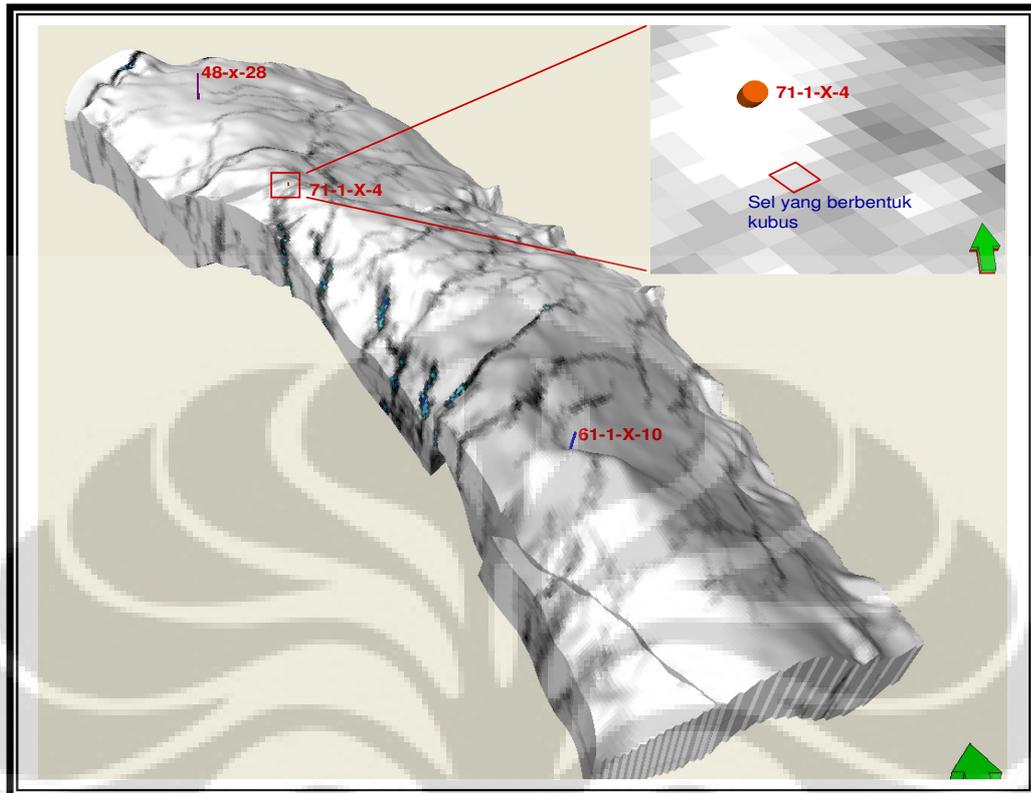
Cadangan minyak pada rekahan dapat dihitung dengan cara membuat model tiga dimensi dari lapangan minyak . Model tiga dimensi tersebut dibuat dengan batas atas adalah horizon Tenslep-Top dan batas bawah horizon Base-Fracture. Model tersebut dibagi menjadi sel. Setiap sel merupakan bangun tiga dimensi sederhana yang membentuk model. Pada umumnya sel berbentuk balok atau kubus yang volume tiap selnya tergantung besar kecilnya sel. Semakin kecil sel yang dibuat maka akan semakin detail model yang akan dibentuk dan penghitungan cadangan akan semakin baik namun jumlah sel akan sangat banyak sehingga proses penghitungan akan lebih lama.

Setelah model terbentuk maka dilakukan proses *up-scaling* pada data *Ant-Track cube*. Pada proses *up-scaling* ini harga pada *Ant-Track cube* akan dimasukkan ke setiap sel pada model geologi tiga dimensi. Hasil proses tersebut adalah model geologi yang propertynya (harga setiap selnya) adalah harga *Ant-Track* (Gambar5.7).

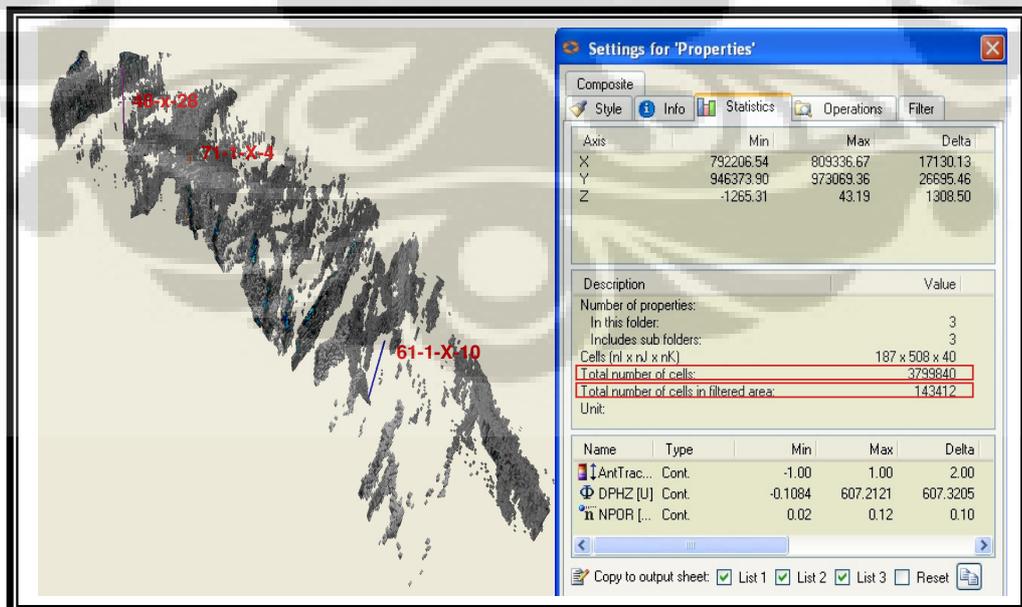
Proses selanjutnya adalah melakukan filterisasi terhadap model *Ant_Track* dengan tujuan untuk membuang bagian yang tidak terkena rekahan. Pada gambar 5.7 ditunjukkan sebagai daerah yang berwarna putih. Proses filterisasi ini sangat bergantung pada tingkat kepercayaan terhadap data. Setelah proses filterisasi akan didapat property yang hanya berisi bagian dari model geologi yang terkena patahan dan rekahan. Bagian ini ditunjukkan pada gambar 5.8. dengan warna abu-abu sampai dengan biru tua.

Zone yang terkena patahan dan rekahan dapat dilihat langsung jumlahnya dengan melihat statistik jumlah sel yang difilter. Jumlah sel yang telah difilter kemudian dibandingkan dengan jumlah keseluruhan sel pada model geologi untuk mendapatkan rasio volume sel yang akan digunakan dalam penghitungan volumenya.

Penghitungan volume dapat dilakukan dengan menggunakan volume calculation tool yang tersedia pada software Petrel. Dari proses penghitungan ini didapat keseluruhan volume bulk pada model geologi yang dibuat. Volume bulk ini kemudian dikalikan dengan rasio jumlah sel yang terkena petahandan rekahan terhadap jumlah sel keseluruhan.



Gambar 5.7: Seismic *Ant-Track cube* dirubah menjadi berbentuk sel. Masing-Masing sel pada model geologi diisi dengan harga *Ant-Track* . Jika diperbesar tiap sel akan relatif berbentuk kubus. Masing – masing sel mewakili suatu volume sehingga dapat dihitung jumlah sel yang dilewati patahan atau rekahan.



Gambar 5.8: Daerah pada model geologi yang terkena patahan dan rekahan akan tampak lebih jelas setelah proses pemfilteran. Bentuk geometri patahan juga dapat dilihat langsung pada model geologi di atas. Statistik window *Setting for Properties* menunjukkan jumlah total sel pada model dan juga jumlah sel yang terkena patahan dan rekahan.

Dari proses filter pada daerah yang terkena patahan dan rekahan dapat diketahui bahwa jumlah keseluruhan sel pada model adalah sebanyak 3.799.840 sel. Sedangkan jumlah sel yang terkena patahan dan rekahan adalah sebanyak 143.412. Rasio jumlah sel yang terkena patahan terhadap total jumlah sel adalah:

$$R = \frac{143.412}{3.799.840}$$

$$= 0,037741589$$

Setelah dilakukan penghitungan terhadap semua sel didapat volume sebesar $89.801 \times 10^6 \text{ ft}^3$. Dari kedua harga tersebut dapat dihitung volume batuan yang terkena patahan dan rekahan intensif sebesar:

$$\text{Volume Fracture} = FV = 0,037741589 \times 89.801 \times 10^6 \text{ ft}^3$$

$$= 3.389 \times 10^6 \text{ ft}^3$$

Untuk menghitung cadangan minyak pada reservoir (STOIP) dibutuhkan data petrofisika lain yaitu porositas sekunder yang disebabkan oleh rekahan (ϕ_f), harga kejenuhan air pada rekahan (SWf) dan Boi. Jumlah cadangan minyak yang bersal dari rekahan dapat dihitung dengan cara:

$$\text{STOIP (fracture)} = \frac{FV \times \phi_f (1 - SWf)}{\text{Boi}} \dots\dots\dots 5.1$$

STOIP (Fracture) = Stop Tank Oil Inisial In Place yang disebabkan oleh rekahan .

FV = Volume batuan yang terkena patahan dan rekahan terbuka

ϕ_f = rata-rata porositas sekunder yang disebabkan rekahan.

SWf = Faktor kejenuhan air pada rekahan

Boi = Oil Formation Volume Factor

Jika dari penghitungan petrofisika didapatkan harga – harga besaran tersebut seperti di bawah ini dengan kondisi pada daerah konsesi tidak terekam data *oil water contact*:

$$FV = 3.389 \times 10^6 \text{ ft}^3$$

$$\phi_f = 0,08$$

$$SW_f = 0,13$$

$$Bo_i = 1,12$$

Maka:

$$\begin{aligned} \text{STOIIP (fracture)} &= \frac{3.389 \times 10^6 \text{ ft}^3 \times 0,08 (1 - 0,13)}{1,12} \\ &= 210,6 \times 10^6 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Jadi banyaknya cadangan minyak yang disebabkan oleh adanya rekahan adalah sebesar $210,6 \times 10^6 \text{ ft}^3$.

Jika pada reservoir terdapat dua sistem porositas yaitu porositas primer dan porositas sekunder yang berasal dari rekahan maka penghitungan cadangan harus dipisah antara cadangan minyak yang berada pada porositas primer dan cadangan pada porositas rekahan. Hasil kedua penghitungan tersebut kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total cadangan minyak

BAB VI

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan terhadap data dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Data seismik 3D dapat digunakan untuk menganalisis patahan dan rekahan dengan melakukan proses penghitungan varian seismik dan penajaman hasil varian dengan menggunakan *ant track* algoritma.
2. Pemrosesan data seismic 3D dengan algoritme *ant-track* mampu menunjukkan peningkatan resolusi patahan jika dibandingkan dengan pengamatan menggunakan amplitude seismic ataupun harga varian.
3. Arah umum strike *fracture* yang terdapat pada lapangan Teapot Dome adalah relatif Timurlaut dan Baratdaya dengan dengan variasi arah antara 355^0 sampai 55^0 dan arah sebaliknya 175^0 sampai 235^0
4. Korelasi antara *fracture* pada sumur dengan data seismic yang telah diproses dengan menggunakan algoritme *ant-track* pada lapangan Teapot Dome menunjukkan arah yang intensitas yang konsisten antara data sumur dengan data seismic.
5. Pada lapangan Teapot Dome berpotensi untuk dikembangkan sumur horizontal yang berara relatif Baratlaut atau Tenggara dengan asumsi lebih banyak *fracture* yang terpotong oleh sumur.
6. Cadangan minyak yang terdapat pada rekahan di Teapot Dome diperkirakan sebesar $210,6 \times 10^6 \text{ ft}^3$.

DAFTAR REFERENSI

Cooper, S.P., Deformation Within a Basement-Cored Anticline: Teapot Dome, Wyoming, 1961.

Bahorich, M. and Farmer, S., "3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube", *The Leading Edge*, pp. 1053-1058, vol. 14, no. 10, 1995.

Dempster, A.P., Laird, N.M., and Rubin, D.B., Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 39(1), 1-38, 1977.

Jain, A.K., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

Jain, A.K., and Farrokhnia, F., "Unsupervised texture segmentation using Gabor filters", *Pattern Recognition*, pp 1167-1186, no. 12, vol. 24, 1991.

Kass, M., and Witkin, A., Analyzing oriented patterns. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 37:362-385, 1987.

Pedersen, S.I., *Image Feature Extraction*, US patent application, March 7, 2001.

Pedersen, S.I., Randen, T., Sønneland, L., Steen, Ø., "Automatic Extraction of Fault Surfaces from Three-Dimensional Seismic Data", presented at Norwegian Petroleum Association biannual conference, March 2002, Kristiansand, Norway.

Pedersen, S.I., Randen, T., Sønneland, L., Steen, Ø., "Automatic 3D fault interpretation by artificial ants". Accepted for publication at the EAGE-2002 in Florence, Italy, late May.

Pedersen, S.I., Randen, T., Sønneland, L., Steen, Ø., "Automatic fault extraction using artificial ants". Submitted to the SEG-2002 conference in Salt Lake City, Utah.

Welford, B.P., "Note on a method for calculating corrected sums of squares and products". *Technometrics*, pp 419-420, 1962



Lampiran 1.

Data pengukuran Fracture di sumur

X	Y	Depth	MD	Well	Dip angle	Dip azimuth
797883.4	960880.3	-558.26	5754.26	71-1-X-4	83.56	4.05
797883.4	960880.3	-542.42	5738.42	71-1-X-4	84.42	177.46
797883.4	960880.3	-536.52	5732.52	71-1-X-4	83.41	5.03
797883.4	960880.3	-516.38	5712.38	71-1-X-4	76.99	183.48
797883.4	960880.3	-509.2	5705.2	71-1-X-4	71.98	8.9
797883.4	960880.3	-457.78	5653.78	71-1-X-4	81.75	193.65
797883.4	960880.3	-456.34	5652.34	71-1-X-4	81.77	193.65
797883.4	960880.3	-455.72	5651.72	71-1-X-4	79.48	11.16
797883.4	960880.3	-453.7	5649.7	71-1-X-4	79.15	16.16
797883.4	960880.3	-437.2	5633.2	71-1-X-4	81.08	183.71
797883.4	960880.3	-435.75	5631.75	71-1-X-4	81.4	189.68
797883.4	960880.3	-428.79	5624.79	71-1-X-4	83.09	187.58
797883.4	960880.3	-426.32	5622.32	71-1-X-4	83.17	187.58
797883.4	960880.3	-423.68	5619.68	71-1-X-4	82.86	181.61
797883.4	960880.3	-421.88	5617.88	71-1-X-4	83.3	188.57
797883.4	960880.3	-418.62	5614.62	71-1-X-4	83.08	185.59
797883.4	960880.3	-415.69	5611.69	71-1-X-4	82.18	203.75
797883.4	960880.3	-409.54	5605.54	71-1-X-4	82.07	348.46
797883.4	960880.3	-404.28	5600.28	71-1-X-4	78.72	18.14
797883.4	960880.3	-401.58	5597.58	71-1-X-4	79.02	13.12
797883.4	960880.3	-395.03	5591.03	71-1-X-4	61.39	167.14
797883.4	960880.3	-392.85	5588.85	71-1-X-4	60.57	6.23
797883.4	960880.3	-392.37	5588.37	71-1-X-4	60.88	5.24