



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN ANALISA DAN
PEMODELAN DATA GAYABERAT UNTUK MELIHAT POTENSI HIDROKARBON
PADA DAERAH “FW1807” CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA**

SKRIPSI

INDAH FITRIANA WALIDAH

0706262451

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
DESEMBER 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN
ANALISA DAN PEMODELAN DATA GAYABERAT UNTUK MELIHAT
POTENSI HIDROKARBON PADA DAERAH “FW1807”
CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Indah Fitriana Walidah

0706262451

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
PEMINATAN GEOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Indah Fitriana Walidah

NPM : 0706262451

Tanda tangan : 

Tanggal : 8 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Indah Fitriana Walidah
NPM : 0706262451
Program Studi : Fisika S-1 Reguler
Judul Skripsi : Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Data Gayaberasat untuk Melihat Potensi Hidrokarbon pada Daerah "FW1807" Cekungan Jawa Timur Utara.

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 Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Drs. Syamsu Rosid, PhD (.....)

Pembimbing II : Dr. Ir. Eko Widiyanto, MT (.....)

Penguji I : Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc (.....)

Penguji II : Dr. rer. nat. Abdul Haris (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 8 Desember 2011

*Skripsi ini dipersembahkan kepada yang tercinta,
Bapak Arfa'I Dasuki & Ibu Mas 'Idah Zaeni Hamid
yang telah mengambil peran yang sangat besar dalam usaha mengenalkan,
mengajarkan dan membimbing kepada sesuatu yang baik.
dan semoga terus menjadi lebih baik.*

“Every finish line is the beginning of a new race”



Special thanks to:

Bpk. Drs. Syamsu Rosid, PhD & Bpk. Dr. Ir. Eko Widiyanto, MT

Bpk. Dr. Eng. Yunus Daud, Msc & Bpk. Dr. rer. nat. Abdul Haris

Aris Juana Yusuf, Bobby Setiawan, David Fahmi, Dody Yunan N, Vidya Risma dan Adin Yusroni

Anita Hartati, Hira Nasmy, Dwintha Zahrianty, Diana Putri Hamdiana.

-atas kontribusinya yang sangat besar dan tak terhitung jumlahnya, sejak awal hingga akhir “perjalanan”-

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT Tuhan semesta alam. Dzat, kepada siapa kita bersujud dan kembali, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya serta kesempatan dan kemampuan untuk akhirnya dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, pembawa risalah Allah yang telah mempersembahkan seluruh waktu dan hidupnya semata-mata untuk berjuang dijalan-Nya. Walaupun dalam pelaksanaannya penulis yakin bahwa masih sangat banyak kekurangan dan keterbatasan yang harus terus diperbaiki.

Laporan ini merupakan hasil penelitian yang mencakup studi literatur mengenai eksplorasi perminyakan di Cekungan Jawa Timur Utara dan analisa hasil pengolahan Data Gaya Berat dalam menentukan struktur bawah permukaan area "FW1807", yaitu salah satu lapangan minyak milik PT PERTAMINA (persero). Pada penelitian ini dilakukan interpretasi terpadu yang mencakup analisa fakta-fakta geologi yang dikombinasikan dengan data Geofisika lainnya seperti Seismic, MT dan Gravity dalam penentuan struktur bawah permukaan untuk melihat potensi hidrokarbon pada area tersebut, hal ini dilakukan oleh Pertamina sebagai salah satu upaya untuk mendapatkan target-target eksplorasi yang baru. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam rencana eksplorasi kedepan.

Penyelesaian dan Penulisan Tugas Akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dorongan dari berbagai pihak terutama pihak Universitas Indonesia dan PT Pertamina. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga besar Bpk. Arfa'i Dasuki & Ibu Mas 'Idah Zaeni Hamid, kakak-kakak tercinta Aris Juana Yusuf, Bobby Setiawan, David Fahmi, Dody Yunan Nasution, Vidya Risma, dan Adik tersayang Adin Yusroni yang telah sangat berjasa menyayangi, merawat, mendukung, mendidik, dan membimbing hingga saat ini.
2. Bpk. Drs. Syamsu Rosid, PhD selaku pembimbing dan Dosen Pengajar yang telah memberikan kontribusi yang sangat besar bagi penulis dalam perjalanan mengenal *Geoscience* dari awal hingga akhir.
3. Bpk. Dr. Ir. Eko Widiyanto, MT selaku pembimbing dari pihak UTC PT PERTAMINA yang telah rela meluangkan sangat banyak sekali waktu dan perhatiannya, atas semua support dan bantuan dari mulai proses diskusi awal, studi literatur, data, hingga tersusun dan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini. Terimakasih Bapak.
4. Bpk. Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc & Bpk. Dr. rer nat Abdul Haris, selaku Dosen Pengajar Geofisika sekaligus penguji pada penelitian ini. Saya ucapkan terima kasih yang sangat banyak atas ilmu yang diberikan.
5. Bpk. Dr. Ir. Djedi S. Widarto atas segala support dan masukannya.
6. Mbak Ermin Retnowati selaku pembimbing teknis dari UTC PT PERTAMINA yang telah mengajarkan, mengenalkan dan membuka pikiran tentang banyak hal baik yang akademis maupun non-akademis.
7. Sahabat-sahabatku tersayang, Anita Hartati, Hira Nasmy, Diana Putri Hamdiana dan Dwintha Zahrianty yang kapanpun, disaat apapun dan dalam kondisi apapun selalu ada buat gw, selalu mendukung gw, membantu gw, terimakasih terimakasih dan terimakasih.
8. Seluruh Keluarga besar Dept. Fisika Universitas Indonesia, Seluruh Dosen, Karyawan (Pak Mardi & Mbak Ratna CS), sahabat-sahabat se-angkatan 2007 yang kompak dan tak akan terlupakan, terutama teman-teman sepeminatan Geofisika 2007.

9. Teman-teman Fisika 2006, Kak Arfan, Kak Yaya, Kak Heni, Kak Dedew, Kak Intan dan kakak-kakak yang lainnya. Teman-teman Fisika 2008. Teman-teman Fisika 2009.
10. ”Geng” KP PTFI angkatan 2010. Keluarga BEM Perak 2009-2010. Teman-teman *assistant* UPP-IPD. Terimakasih atas semangatnya.
11. Rohani, Devi aprianti, Larastika Primasari dan Kak Firdaku.
12. Semua teman-teman TA&KP dari UI, ITB, UGM, UPN dan Unhas. Luthfian Dariono, Dinoy Alamsyah, Yaris Ibdian, Achmad Yoshi, Indah PS, okvi dan Irma yang lucu-lucu dan baik-baik.
13. Farid Adisaputra Gumilang
14. Semua Civitas dan Manajemen PT PERTAMINA *Upstream Technology Center* yang memberikan kesempatan untuk melaksanakan Tugas Akhir. Mbak dan Mas Processing I, Processing II, di lt. 11, terimakasih banyak.
15. Dan masih banyak lagi orang-orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam kesempatan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini sangat kurang dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik para pembaca yang bersifat membangun, serta saran-saran dari berbagai pihak, yang akan diterima dengan tangan terbuka agar menjadi bahan evaluasi dan acuan untuk menuju sesuatu yang lebih baik lagi. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi banyak pihak terutama pihak PT PERTAMINA (Persero). Akhir kata semoga tulisan ini juga dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekalian. Terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Depok, 8 Desember 2011

Penulis

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

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

Nama : Indah Fitriana Walidah
NPM : 0706262451
Peminatan : Geofisika
Program Studi : 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:

**PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN
ANALISA DAN PEMODELAN DATA GAYABERAT UNTUK MELIHAT
POTENSI HIDROKARBON PADA DAERAH “FW1807” CEKUNGAN JAWA
TIMUR UTARA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 8 Desember 2011

Yang menyatakan,



(Indah Fitriana Walidah)

ABSTRAK

Nama : Indah Fitriana Walidah
Program Studi : Geofisika
Judul : Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Data Gayaberat untuk Melihat Potensi Hidrokarbon pada Daerah “FW1807” Cekungan Jawa Timur Utara

Besarnya ambiguitas dan kemungkinan dalam pemetaan bawah permukaan merupakan alasan utama dalam pengaplikasian berbagai macam teknik-teknik pemetaan untuk mendapatkan kemungkinan model bawah permukaan terbaik yang paling logis dan bisa digunakan untuk mendekati kondisi yang sebenarnya. Teknik analisa dan Pemodelan data gayaberat pada penelitian ini diaplikasikan untuk memastikan keberadaan struktur terumbu karbonat dari Formasi Kujung yang diidentifikasi sebagai struktur sembulan pada penampang seismik, dan pada penampang MT merupakan *high resistivity zone*. Berdasarkan kondisi geologi dan karakteristiknya, struktur karbonat ini diasumsikan akan mempunyai kontras densitas yang sangat baik dengan litologi batuan disekitarnya sehingga hasil pemodelan data gayaberat yang dikorelasikan dengan data-data geofisika lainnya ini, dapat dengan baik untuk digunakan dalam mendekati kondisi bawah permukaan area “FW1807” dan dapat mengkonfirmasi keberadaan Kujung carbonates reservoir dalam bentuk terumbu karbonat yang berada pada kedalaman sekitar 2000-3000 m. tepat diatas basement.

Kata Kunci : Gayaberat, anomali Bouguer, analisa spektrum, karbonat Kujung, *gravity forward modelling*, *petroleum system*.

xx+80 halaman ; 47 gambar; 5 tabel

Daftar Acuan : 29 (1949-2011)

ABSTRACT

Name : Indah Fitriana Walidah
Program Study : Geophysics
Title : Subsurface Structure Determination Based on Analysis and Modeling Gravity Data to Identify the Presence of Hydrocarbon in "FW1807" Zone North East Java Basins

The high ambiguity and the probability in subsurface mapping are the main reason for the application of many mapping techniques in order to get the best logical subsurface probability and also to approach the geological condition. Gravity analysis technique and modeling in this study are applied to ensure the presence of carbonate reef from Kujung Formation which is identified as an anticline at seismic section and from MT section as a high resistivity zone. Based on geological condition and geological characterization, the carbonate structure is assumed will have a good density contrast compare with the surrounding lithology. The quality of gravity modeling which is correlate with others geophysical data, can well approach the subsurface condition of "FW1807" and can confirm the presence of Kujung carbonat reservoir in the form of carbonate reef at depth between 2000-3000 m. just above the basement.

Keyword : Gravity, Bouguer Anomaly, Spektral analysis, Kujung Carbonates, *Gravity Forward Modelling, Petroleum System.*

xx+80 pages ; 47 pictures; 5 tables

Bibliography : 29 (1949-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Pembatasan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Waktu & Tempat.....	8
1.5 Metodologi Penelitian	9
1.6 Sistematika Penyajian Laporan	11
BAB II TINJAUAN ASPEK EKSPLORASI PERMINYAKAN & TATANAN GEOLOGI REGIONAL	13
2.1 Cekungan Sedimen Jawa Timur Utara (<i>NE Java Basin</i>)	13
2.1.1 Tektonik Regional	15
2.1.2 Fase Tektonik Tersier	16
2.1.3 Konfigurasi Cekungan Jawa Timur Utara	16
2.1.5 “FW1807” <i>Field</i>	18
2.1.6 Stratigrafi Daerah Penelitian	20

2.2 Petroleum System Cekungan Jawa Timur Utara	25
2.2.1 Batuan Induk (<i>Source Rock</i>)	27
2.2.2 Jalur Migrasi (<i>Migration Pathway</i>)	28
2.2.3 Batuan Reservoar (<i>Reservoir Rock</i>)	30
2.2.4 Perangkap (<i>Trap</i>).....	32
2.2.5 Batuan Penyumbat (<i>Seal Rock</i>).....	33
2.3 <i>Play</i> Eksplorasi	34
BAB III TEORI DASAR	36
3.1 Prinsip Dasar Metode Gayaberat (<i>Gravity</i>).....	36
3.1.1 Hukum Newton: Gaya tarik menarik antara dua partikel.....	36
3.1.2 Percepatan Gravitasi	37
3.1.3 Potensial Gravitasi.....	38
3.2 Koreksi dalam Metode Gravitasi	38
3.2.1 Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>).....	40
3.2.2 Koreksi Apung (<i>Drift Correction</i>)	41
3.2.3 Koreksi Udara Bebas (<i>Free-Air Correction</i>)	42
3.2.4 Koreksi Bouguer (<i>Rock Density Correction</i>).....	42
3.2.5 Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>).....	43
3.3 Pengolahan Data Gayaberat.....	45
3.3.1 Anomali Gayaberat (<i>Bouguer Anomaly</i>)	45
3.3.2 Analisa Spektrum	46
3.3.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	49
3.3.4 Profil Bawah Permukaan dengan <i>Forward Modeling</i>	50

BAB IV HASIL PENGOLAHAN DATA & PEMBAHASAN	52
4.1 Peta Anomali Gaya Berat Bouguer	52
4.2 Analisa Spektrum Gaya Berat	54
4.3 Peta Anomali Regional & Residual	57
4.4 <i>Gravity Forward Modeling</i>	61
4.5 Profil Geologi Bawah Permukaan	63
BAB V INTERPRETASI TERPADU - PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN	70
5.1 Data Geofisika	70
5.1.1 Penampang Bawah Permukaan dengan Metode Seismik	70
5.1.2 Pemodelan Bawah Permukaan Berdasarkan Data Gayaberat.....	72
5.1.3 Pemodelan Bawah Permukaan Berdasarkan Data MT.....	73
5.2 Potensi Hidrokarbon pada Daerah “FW1807”	76
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
6.1 Kesimpulan.....	79
6.2 Saran.....	80
DAFTAR RREFERENSI.....	xviii

DAFTAR GAMBAR

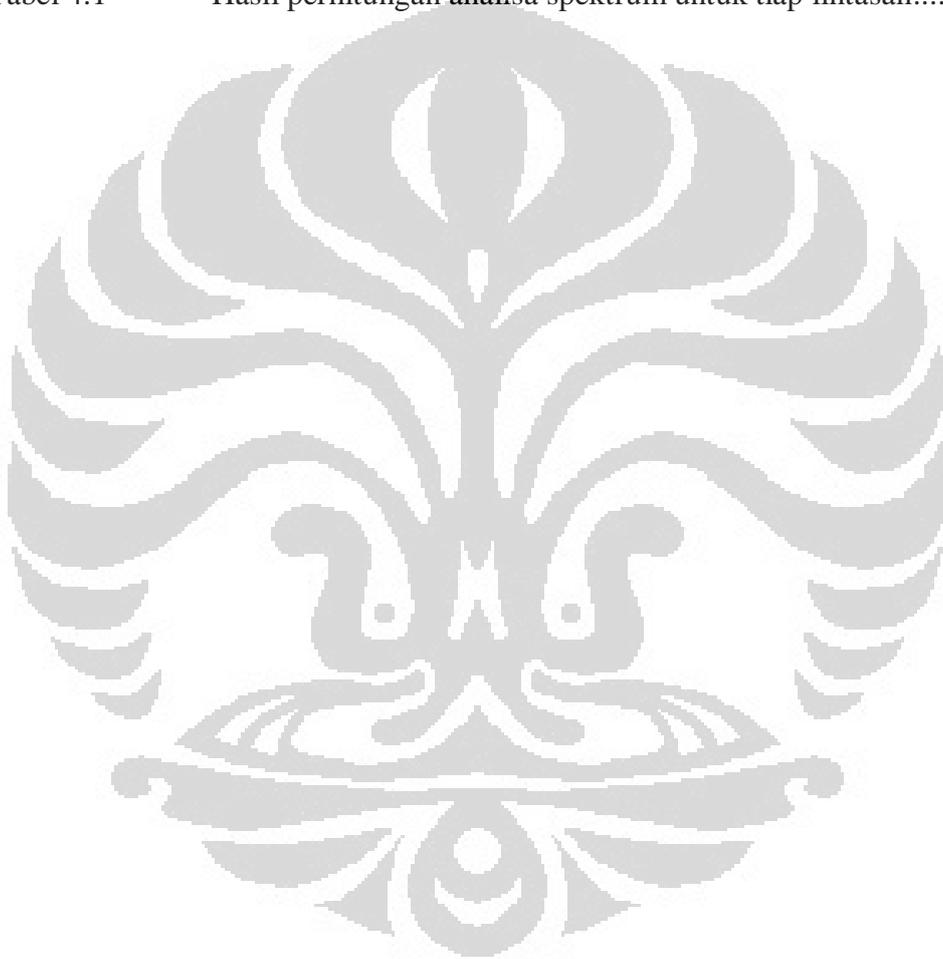
Gambar 1.1	Diagram tahapan dalam eksplorasi perminyakan (Widianto, 2011)	2
Gambar 1.2	Penampang seismik FW-5 (Pertamina, 2007)	3
Gambar 1.3	Lintasan pengukuran <i>Gravity</i> dan <i>Magnetotelluric</i> pada penampang seismik 87CPU-06 (Pertamina, 2007).....	4
Gambar 1.4	Peta lokasi daerah penelitian (Yudantoro, 2005).....	5
Gambar 1.5	Penampang MT FW-05 (Pertamina 2007)	6
Gambar 1.6	Diagram Alir Penelitian	10
Gambar 2.1	<i>Geologic Setting of Java</i> (Satyana dan Armandita 2003)	14
Gambar 2.2	Penampang fisiografi Pulau Jawa dan Pulau Madura (Bemmelen, 1949)	15
Gambar 2.3	Pembagian Sub-cekungan bagian Jawa Timur berdasarkan analisa data gayaberat (Widianto, 2008).....	18
Gambar 2.4	Pola struktur geologi pada <i>Present Time</i> (Yudantoro, 2005)....	19
Gambar 2.5	Pola struktur pada Peta Geologi Daerah Penelitian (Yudantoro, 2005)	19
Gambar 2.6	Stratigrafi onshore cekungan Jawa Timur Utara (Satyana, 2008)	20
Gambar 2.7	Tinggian-rendahan Tersier di daerah penelitian (Yudantoro, 2005)	21
Gambar 2.8	Model penyebaran Sembulan karbonat Terumbu Formasi Kujung-Tuban (Yudantoro, 2005)	22
Gambar 2.9	Tuban <i>Uplift Zone</i> (Yudantoro, 2005)	23
Gambar 2.10	<i>Petroleum System Chart</i> Cekungan Jawa Timur Utara (Pertamina, 2002).....	26
Gambar 2.11	Statistik batuan reservoir	31
Gambar 2.12	Model-model perangkap hidrokarbon (Brown,2005)	32

Gambar 2.13	Statistik batuan <i>Seal</i>	33
Gambar 3.1	Pengaruh gravitasi bulan terhadap bumi	40
Gambar 3.2	Hammer Chart yang digunakan untuk menghitung koreksi medan (Pertamina, 2010)	43
Gambar 3.3	Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman sumber anomali (Pertamina, 2010).....	49
Gambar 4.1	Lay-out desain pengukuran survei gayaberat “FW1807”	52
Gambar 4.2	Grafik nilai anomali Bouguer terhadap jarak lintasannya.....	53
Gambar 4.3	Peta anomali gayaberat Bouguer beserta lintasan pengukuran gayaberatnya.....	53
Gambar 4.4a	Trend regional dan residual hasil analisa spektrum Lintasan FW-5	55
Gambar 4.4b	Trend regional dan residual hasil analisa spektrum Lintasan FW-7	55
Gambar 4.4c	Trend regional dan residual hasil analisa spektrum Lintasan FW-9	55
Gambar 4.5	Peta anomali gayaberat regional.....	58
Gambar 4.6	Peta anomali gayaberat residual	58
Gambar 4.7	Lintasan yang akan dianalisa nilai anomalnya untuk mengkonfirmasi kondisi dan keberadaan sumber anomali pada kedalaman regional	59
Gambar 4.8	Kurva plot nilai anomali Bouguer, anomali regional dan anomali residual pada satu lintasan.....	60
Gambar 4.9	Kurva plot nilai anomali Bouguer dan anomali regional satu lintasan	60
Gambar 4.10	Lintasan pada peta anomali Bouguer yang ditentukan untuk dilakukan pembuatan model geologi bawah permukaan “FW1807”	61
Gambar 4.11	Lintasan FW-7 diatas peta anomali regional-Bouguer-residual (kiri ke kanan).....	62

Gambar 4.12	Profil geologi bawah permukaan berdasarkan data gayaberat pada lintasan FW-7	64
Gambar 4.13	Proses pembentukan fase diapirisma (Arbenz, 1968).....	65
Gambar 4.14	Persebaran mud-Vulkano di Jawa Tengah-Jawa Timur (Hall, 2005)	65
Gambar 4.15	Profil geologi bawah permukaan yang mengidentifikasi ketidakberadaan sembulan terumbu karbonat Kujung	68
Gambar 4.16	Profil geologi bawah permukaan yang mengidentifikasi adanya sembulan akibat intrusi batuan beku	69
Gambar 5.1	Penampang seismik FW-5 (Pertamina, 2007)	71
Gambar 5.2	Penampang seismik XCPU-06 yang memotong Banyuurip-FW1807-Tapen dari selatan ke utara (Pertamina, 2005)	71
Gambar 5.3	Penampang hasil pemodelan data gayaberat lintasan FW-07 ...	73
Gambar 5.4	Lintasan pengukuran MT (Pertamina, 2007)	74
Gambar 5.5	Penampang hasil pemodelan data MT lintasan FW-05 & FW-07 (Pertamina, 2007).....	74
Gambar 5.6	Penampang hasil pemodelan data MT lintasan FW-07 pada kedalaman 0-3000 meter (Pertamina, 2007)	75
Gambar 5.7	Potensi hidrokarbon berdasarkan hasil pemodelan gayaberat...	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	<i>Timeline</i> Penelitian.....	8
Tabel 2.1	Tabel nilai TOC batuan	27
Tabel 2.2	Tabel kematangan minyak untuk tiap kerogen.....	27
Tabel 2.3	Batuan reservoir di Cekungan Jawa Timur (Pertamina, 2009). 31	
Tabel 4.1	Hasil perhitungan analisa spektrum untuk tiap lintasan.....	56



BAB I

PENDAHULUAN

Sejarah eksplorasi Cekungan Jawa Timur Utara mengatakan bahwa hingga permulaan 1990-an target utama eksplorasi dan produksi hidrokarbon dibagian *onshore* adalah *shallow Neogene clastic reservoirs* yang dibawa oleh Formasi Ngrayong dan Wonocolo. Sementara itu dibagian *offshore* target utama eksplorasi sudah difokuskan pada *Lower Tertiary carbonates* dari Formasi Kujung (dan Pre-Kujung) yang mana sudah berhasil dan terbukti menghasilkan hidrokarbon seperti pada struktur BD (Mobil Oil, selat Madura), Poleng (Kodeco) dan Camar (GFB Resources).

Berdasarkan hasil interpretasi dan penilaian ulang atas kegiatan eksplorasi, yaitu melalui penyelidikan geologi, *aero* magnetik, gayaberat, seismik dan pemboran beberapa sumur yang sudah dilakukan, dijumpai adanya terumbu karbonat dari Formasi Kujung (Miocene Awal) di beberapa tempat dibagian *onshore* Cekungan Jawa Timur Utara, hingga tepatnya pada tahun 1994 untuk pertama kalinya dibagian *onshore* Cekungan Jawa Timur Utara, struktur terumbu ini terbukti menghasilkan hidrokarbon yaitu pada Formasi Kujung (struktur Mudi).

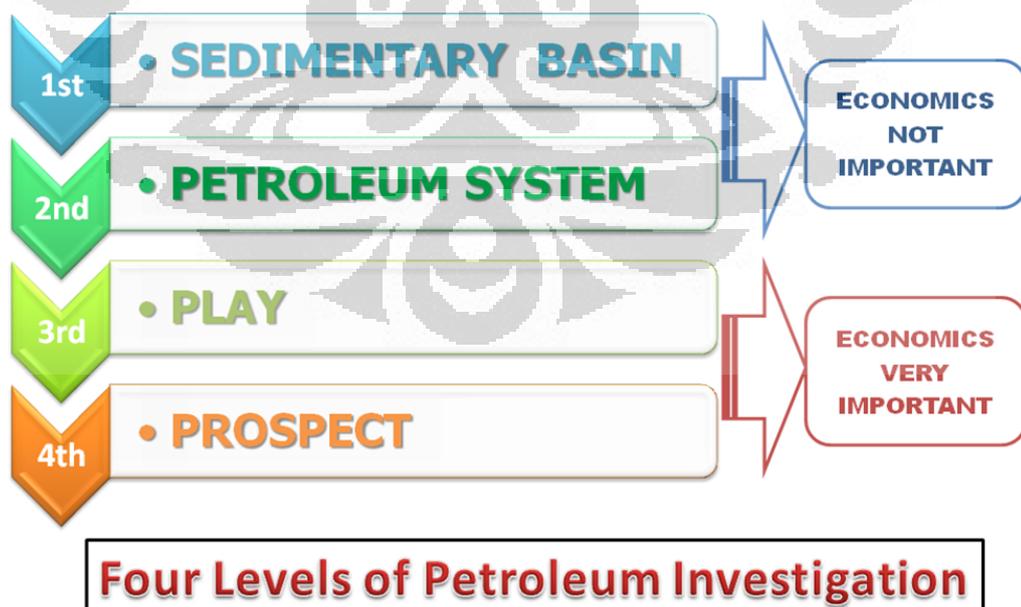
1.1 Latar Belakang Penelitian

Sampai sekarang ini sebagian besar lapangan-lapangan yang masih diproduksi di Cekungan Jawa Timur Utara (CJTU) adalah lapangan-lapangan tua yang produksinya semakin lama akan semakin menurun. Maka untuk dapat mempertahankan atau meningkatkan produksinya, PERTAMINA bermaksud untuk meningkatkan usaha eksplorasi dengan melakukan lebih banyak lagi studi potensi hidrokarbon, salah satunya adalah studi potensi hidrokarbon pada struktur yang terletak tepat dibawah lapangan "FW1807" (Pertamina), dan mulai mempertimbangkan kemungkinan keberadaan *Kujung Carbonates Reservoir* seperti yang dijumpai pada struktur Mudi (JOB Tuban), Sukowati (JOB-

ExxonMobil), BanyuUrip, Jimbaran & Cendana (ExxonMobil), Kedungtuban & Randublatung (PERTAMINA).

Dalam melakukan suatu usaha eksplorasi perminyakan terdapat beberapa tahap penting yang akan sangat berpengaruh dalam berhasil atau tidaknya suatu usaha eksplorasi tersebut, oleh Magoon and Dow (1994) tahapan itu dibagi menjadi empat tahapan yang biasa dikenal sebagai “*Four Levels of Petroleum System*”. yang secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 1.1.

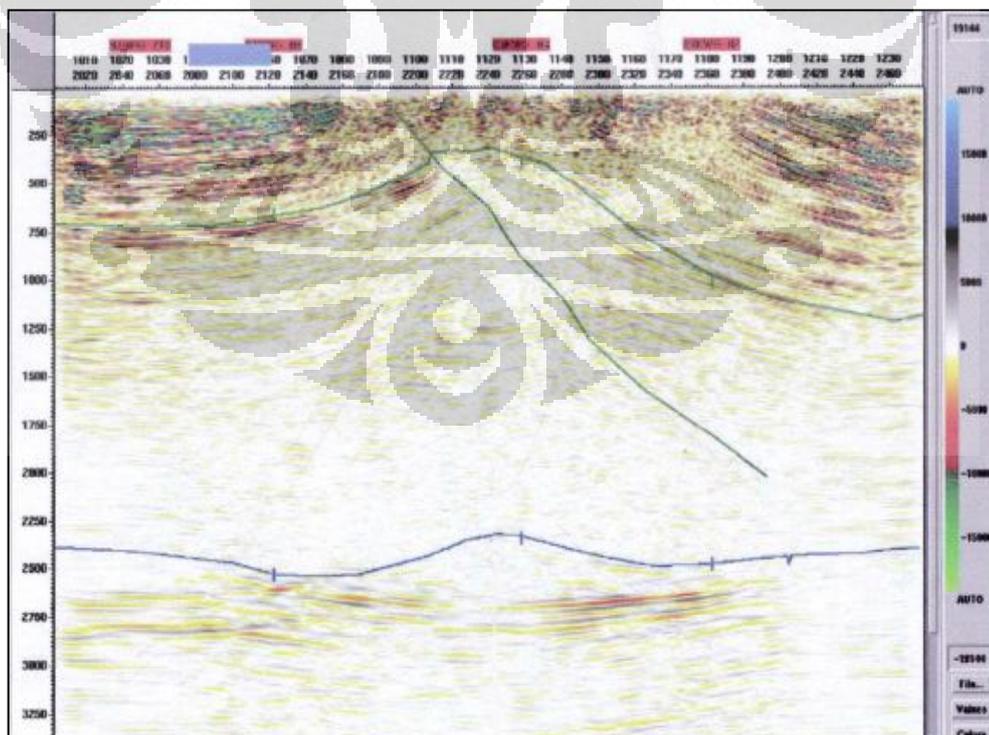
Dari empat tahapan ini kita ketahui bahwa sebuah eksplorasi akan diawali dengan studi mengenai “*Sedimentary basin*” atau cekungan sedimen, karena pada umumnya seluruh kegiatan eksplorasi akan dikonsentrasikan pada daerah-daerah cekungan pengendapan sedimen yang merupakan tempat pembentukan dan akumulasi hidrokarbon. Kemudian hasil studi ini dilanjutkan dengan studi mengenai “*Petroleum system*” yang bekerja pada daerah tersebut sehingga dari sini akan muncul beberapa “*Explorations play*” yaitu konsep *play* eksplorasi yang pada akhirnya memberikan gambaran mengenai “*Prospects*” yaitu area-area keberadaan dan akumulasi hidrokarbon.



Gambar 1.1: Diagram tahapan dalam eksplorasi perminyakan

Salah satu *play* eksplorasi di Cekungan Jawa Timur Utara adalah sebuah konsep *play* eksplorasi dengan *Kujung Carbonates* sebagai reservoirnya, yang berdasarkan kondisi geologi dan stratigrafinya dalam bentuk reservoir terumbu (*carbonate build-up*). Oleh Doust (2007) dalam “*Petroleum Geology of Indonesia*”, dikatakan bahwa *Kujung Play* ini merupakan “*new life*” untuk *onshore exploration* di Cekungan Jawa Timur Utara terutama di area Cepu sehingga sekarang ini usaha eksplorasi terutama studi geologi dan geofisika di cekungan Jawa Timur mulai banyak difokuskan untuk mencari *Play* eksplorasi *Kujung* dengan target reservoir terumbu karbonat *Kujung*.

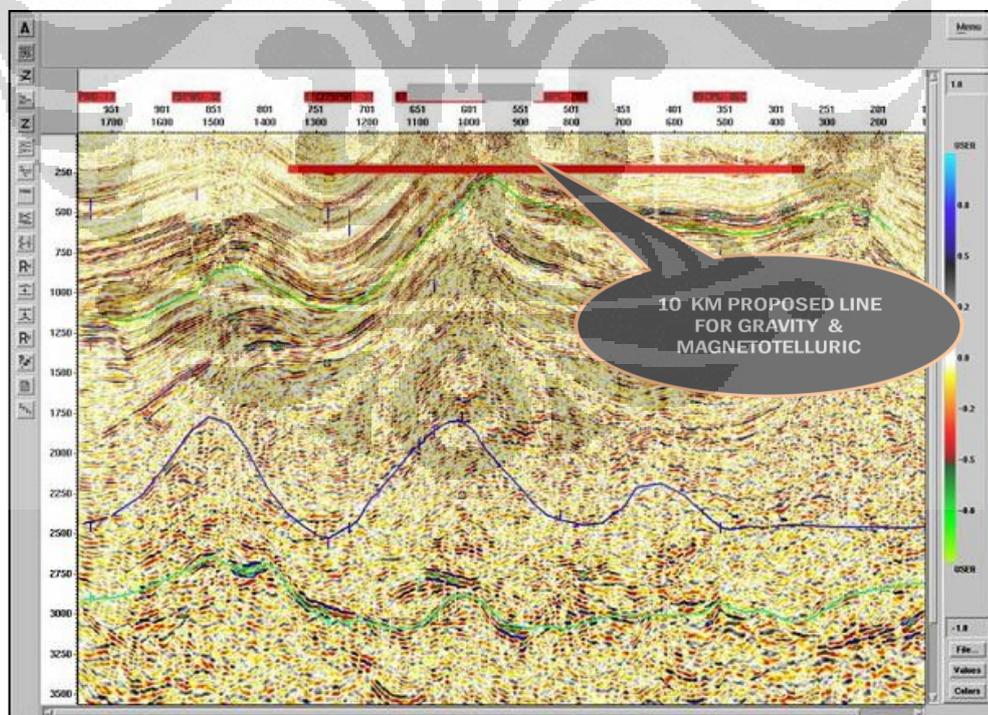
Sementara itu studi seismik yang telah dilakukan, mengidentifikasi keberadaan struktur dalam bentuk undulasi (Gambar 1.2), yang berada tepat dibawah Lapangan “FW1807” yaitu salah satu Lapangan Minyak milik Pertamina (Persero) di daerah Cepu. Studi inilah yang menjadi awal adanya dugaan mengenai kemungkinan keberadaan *Early Kujung carbonates reservoir* yang diasumsikan dalam bentuk *carbonates build-up*.



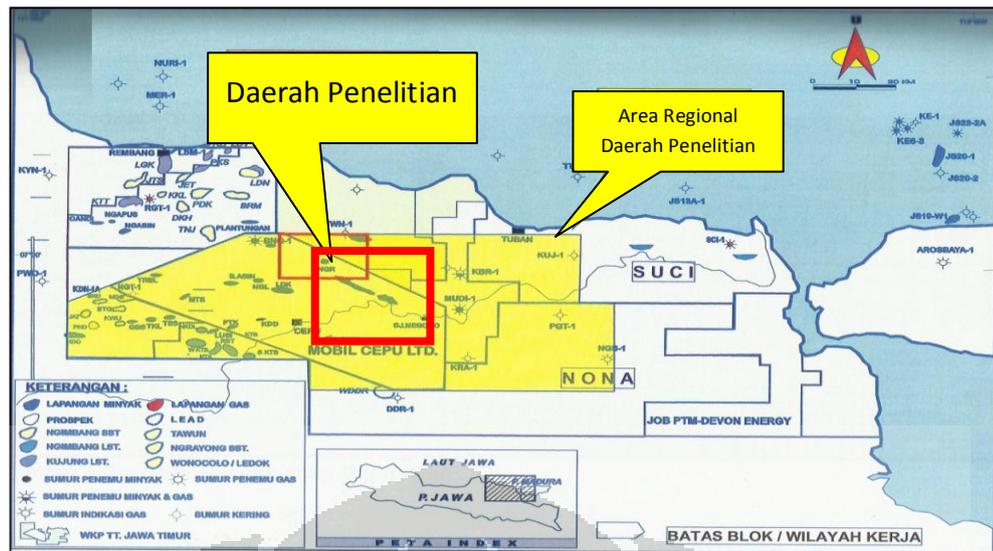
Gambar 1.2: Penampang seismik FW-5 (Pertamina, 2007)

Namun sampai saat ini belum ada tindak lanjut yang signifikan mengenai struktur yang diidentifikasi dari hasil studi seismik tersebut, hasil studi seismik ini dirasa masih belum cukup untuk digunakan sebagai satu-satunya metode dalam menggambarkan atau mendekati kondisi bawah permukaan yang sebenarnya, ditambah lagi kondisi ini merupakan target *deep* eksplorasi yang baru, sehingga belum ada data bor yang mungkin dapat menguatkan data ini dan kecenderungan dugaan mengenai struktur bawah permukaan tersebut.

Akan sangat banyaknya kemungkinan dan besarnya ambiguitas dalam menentukan struktur bawah permukaan tersebut maka diperlukan banyak bahan pertimbangan dan data yang dapat digunakan untuk mensupport atau memvalidasi data seismik tersebut, salah satunya yaitu dengan cara melakukan studi geofisika dengan menggunakan metode lainnya, yang memang memungkinkan. Sehingga tepatnya pada tahun 2007, oleh Pertamina dilakukan pemetaan bawah permukaan dengan menggunakan metode geofisika *MT (magnetotelluric)* dan *gravity*. Area yang akan dipetakan dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3: Lintasan pengukuran *Gravity* dan *Magnetotelluric* pada penampang seismik XCPU-06 (Pertamina, 2007).

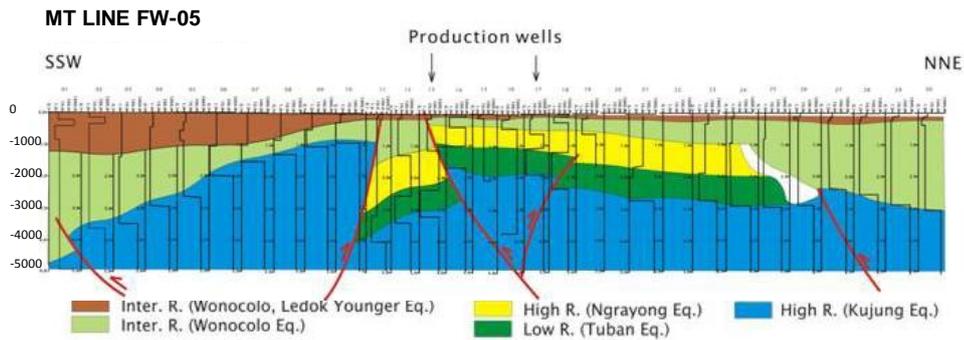


Gambar 1.4: Peta lokasi daerah penelitian (Yudiantoro, 2005)

Pengambilan data dari ketiga metode tersebut dilakukan secara bersamaan dan sengaja diambil pada lintasan-lintasan yang sama, sehingga metode-metode tersebut diharapkan dapat dengan mudah saling menguatkan untuk membentuk hipotesa yang lebih kuat mengenai kondisi bawah permukaan daerah penelitian. Lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.4.

Sementara itu hasil studi MT yang sudah ada, dirasa masih juga belum cukup memberikan informasi yang baik mengenai kondisi bawah permukaan. Bisa kita lihat pada Gambar 1.5, dimana nilai resistivitas antara Formasi Kujung dan *basement* tidak dapat dibedakan. Secara geologi Formasi Kujung akan berada tepat di atas *basement* mulai pada kedalaman sekitar 3000 m. Namun pada penampang MT mulai kedalaman sekitar 3000 m, kesemuanya terbaca sebagai *high resistivity zone* tapi tidak dapat mengidentifikasi batas antara kedua lapisan tersebut.

Kemudian data gayaberat yang didapat dari pengukuran tersebut diambil sebagai bahan pada penelitian ini. Pengolahan lanjut dari data gayaberat diharapkan dapat memberikan tambahan informasi mengenai struktur dan litologi yang mengisi undulasi tersebut, yaitu dengan melihat distribusi dan nilai densitas yang diperoleh dari hasil *gravity forward modelling*. karena diasumsikan jika dilihat dari segi nilai densitasnya Formasi karbonat Kujung dan *basement* akan mempunyai kontras densitas yang signifikan.



Gambar 1.5 : Penampang MT FW-05 (Pertamina, 2007)

Metode gayaberat adalah metode geofisika yang banyak digunakan dalam kegiatan eksplorasi untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan. Struktur bawah permukaan ini diturunkan dari anomali gayaberat Bouguer (*Bouguer gravity anomaly*) yang diamati di permukaan. Penurunan struktur bawah permukaan ini didasarkan pada hubungan bahwa anomali gayaberat Bouguer ini merupakan refleksi variasi rapat massa (*density*) bawah permukaan ke arah horisontal dan geometri (bentuk) benda anomalnya (Kadir, 1999).

Studi gayaberat yang dilakukan pada penelitian ini, mencakup pengolahan data CBA (*Complete Bouguer Anomaly*), pemodelan dan interpretasi, dapat diaplikasikan untuk memetakan struktur bawah permukaan selama ada asumsi bahwa struktur geologi tersebut mempunyai kontras densitas terhadap sekitarnya. Tidak hanya itu, mengingat besarnya ambiguitas yang kita hadapi dalam menentukan litologi dalam struktur tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan tiga pemodelan dengan struktur litologi yang berbeda-beda yaitu pemodelan dengan struktur intrusi batuan beku, *shale diapir* dan *carbonates build-up*. sehingga dengan membandingkan hasil dari ketiga model tersebut dapat menuntun kita dalam menentukan struktur dan litologi yang paling representatif dalam mendekati kondisi bawah permukaan yang sebenarnya.

Pada akhirnya, hasil integrasi data geologi regional, *petroleum system*, studi seismik dan studi hasil survei MT (*magnetotelluric*) yang tersedia, dengan analisa hasil pemodelan gayaberat yang dilakukan pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang cukup untuk menentukan kelanjutan dari target baru *deep exploration* ini.

1.2 Pembatasan Masalah

Ruang lingkup atau batasan yang didefinisikan dalam penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian dan penyusunan karya tulis ini akan dititikberatkan pada pembahasan dan analisa dengan menggunakan metode gayaberat (*gravity geophysics method*).
2. Data yang digunakan adalah data gayaberat yang sudah berupa data CBA (*Complete Bouguer Anomaly*) dan bukan merupakan data gravitasi observasi hasil pengukuran di lapangan.
3. Lintasan pengukuran adalah tiga lintasan yang sama dengan lintasan pengukuran seismik dan MT (*magnetotelluric*).
4. Studi seismik dan MT (*magnetotelluric*) di daerah penelitian yang digunakan dalam interpretasi terpadu merupakan hasil studi literatur.
5. Penelitian ini difokuskan pada analisa konsep *play* eksplorasi *Kujung Carbonates Reservoir*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah studi terpadu mengenai kondisi struktur bawah permukaan Lapangan Minyak “FW1807” dan memastikan kemungkinan adanya potensi hidrokarbon yaitu Play eksplorasi Kujung dengan terumbu karbonat sebagai reservoarnya. Tujuan tersebut dapat diuraikan menjadi beberapa butir sebagai berikut:

1. Mempelajari aspek-aspek eksplorasi perminyakan mencakup kondisi geologi dan studi mengenai potensi hidrokarbon di Cekungan Jawa Timur Utara (CJTU).
2. Mengaplikasikan metode-metode Geofisika khususnya metode *gravity* atau gayaberat dan mempelajari aplikasinya di dunia perminyakan Indonesia.
3. Penentuan struktur bawah permukaan Lapangan “FW1807” dengan analisa dan pemodelan data gayaberat.

4. Analisa terpadu, berdasarkan hasil pemodelan gayaberat, kondisi geologi, *petroleum system* dan studi geofisika lainnya dalam identifikasi kemungkinan keberadaan potensi hidrokarbon yaitu *play* eksplorasi Kujung dibawah lapangan “FW1807”.
5. Memperoleh pengalaman operasional dari suatu industri dalam penerapan dan perckayasaan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sesuai dengan bidang ilmu geofisika.

1.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan dalam rentang waktu 4 bulan pada bulan Juli-Agustus dan Oktober-November 2011, dan dilakukan di lingkungan kerja geofisika, *Upstream Technology Center* PT Pertamina (Persero) Jakarta Pusat, yang mana meliputi studi literatur mengenai kondisi geologi dan eksplorasi perminyakan di daerah penelitian, *filtering*, *forward modeling*, dan analisa terpadu mengenai kondisi struktur bawah permukaan lapangan “FW1807” Cepu, Cekungan Jawa Timur Utara.

Berikut ini alur waktu masa penelitian yang dijabarkan sebagai berikut:

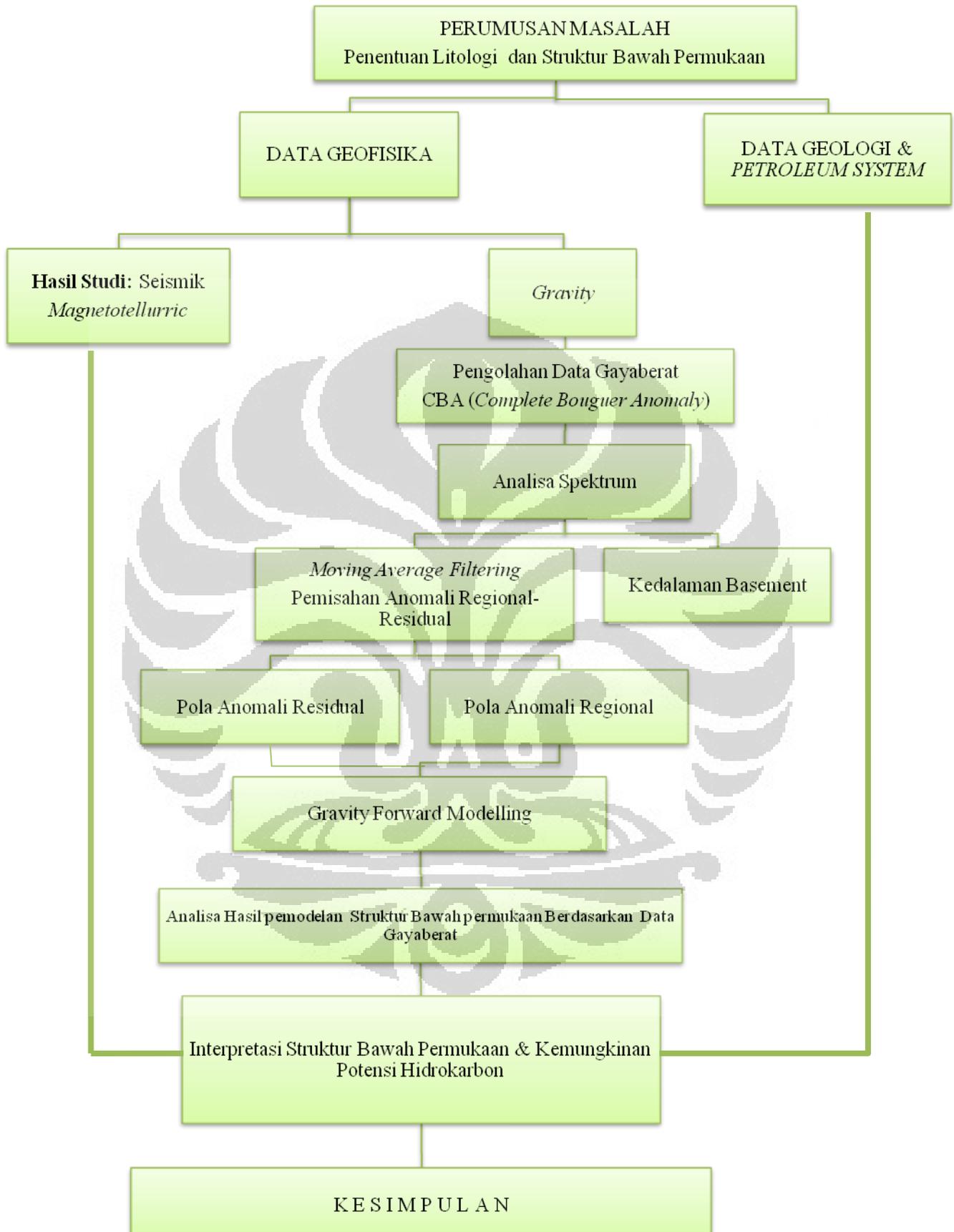
Tabel 1.1: *Timeline* Penelitian

No	Tahap	Bulan				
		Juli	Agustus	Oktober	November	Desember
1	Studi literature	■	■			
2	Pengumpulan Data		■			
3	Filtering Data Gayaberat		■			
4	Studi software			■		
5	Modelling			■		
6	Analisa Hasil Data Gravity				■	
7	Analisa terpadu				■	
8	Diskusi dan Pembahasan		■	■	■	
9	Pembuatan laporan		■	■	■	
10	Masa Persiapan Sidang					■

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan penyelesaian masalah dan mencapai tujuan diatas adalah:

1. Perumusan masalah dan pengumpulan data.
2. Studi literatur mengenai aspek-aspek eksplorasi perminyakan dan tatanan geologi regional di daerah penelitian. Studi literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari bahan-bahan pustaka yang berkaitan dan akan menunjang penelitian seperti laporan penelitian, laporan perusahaan, buku, dan paper.
3. Pengolahan data gayaberat CBA (*Complete Bouguer Anomaly*), yang meliputi:
 - Analisa Spektrum, yaitu tahapan analisa spektrum gayaberat untuk menentukan kedalaman sumber-sumber anomali regional dan residual.
 - Filtering*, yaitu salah satu tahap pengolahan data gayaberat yang dilakukan untuk pemisahan anomali regional dan anomali residual, dan
 - Gravity forward modeling*, yaitu pembuatan model penampang bawah permukaan berdasarkan data gayaberat.
4. Interpretasi terpadu, yaitu korelasi antara hasil analisa satu metode dengan metode lainnya untuk mendapat kesimpulan dan penyelesaian yang baik dari masalah yang dihadapi. Biasanya dilakukan untuk meminimalkan rasio ambiguitas atau ketidakpastian dalam pemetaan bawah permukaan.
5. Pengambilan kesimpulan dan saran atau rekomendasi yang dapat didefinisikan dari hasil penelitian



Gambar 1.6: Diagram Alir Penelitian

1.6 Sistematika Penyajian Laporan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang dan perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penyajian laporan.

BAB II : TINJAUAN ASPEK EKSPLORASI PERMINYAKAN & TATANAN GEOLOGI REGIONAL

Mengacu pada tujuan penelitian itu sendiri maka pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa aspek yang berkaitan dengan eksplorasi perminyakan secara umum dan yang berkaitan secara langsung dengan daerah penelitian.

Mencakup didalamnya tinjauan mengenai Cekungan Jawa Timur Utara *sedimentary basins*, yang akan mengandung informasi mengenai proses awal pembentukan cekungan, tektonik *setting* regional, yang kemudian akan dilanjutkan dengan struktur geologi dan stratigrafi regional di daerah penelitian. Pembahasan ini juga dilakukan untuk mendapatkan bayangan yang lebih luas mengenai daerah target penelitian.

Akan dibahas juga mengenai *petroleum system*, *play* eksplorasi secara umum dan yang bekerja di daerah penelitian, juga akan ditambahkan informasi mengenai lapangan-lapangan yang *proven* atau telah produksi di daerah Cekungan Jawa Timur Utara yang diharapkan akan dapat memberikan informasi secara utuh mengenai kondisi eksplorasi perminyakan di daerah penelitian.

BAB III : TEORI DASAR

Dalam penelitian ini akan dititikberatkan pada pemrosesan data dengan menggunakan salah satu metode geofisika yaitu metode gayaberat, maka pada bab ini akan dibahas mengenai teori dasar pemetaan bawah permukaan bumi dengan menggunakan metode gayaberat (*gravity*). Mencakup didalamnya pembahasan mengenai konsep dasar gravitasi yang digunakan sebagai konsep dasar pemetaan bawah permukaan dengan menggunakan metode ini, koreksi-koreksi yang perlu dilakukan dalam pemetaan, aspek-aspek lainnya yang juga akan berpengaruh pada

pemetaan dengan metode ini seperti analisa spektrum dan pemisahan anomali regional-residual.

Bab ini juga mencakup pembahasan mengenai tiap detail tahapan pemrosesan data anomali bouguer dari mulai tahap pengkonturan, analisa spektrum untuk melakukan pemisahan anomali regional-residual, sampai tahap pembuatan profil bawah permukaan bumi dengan menggunakan *forward modeling*.

BAB IV : HASIL PENGOLAHAN DATA & PEMBAHASAN

Bab ini akan berisi tentang hasil akhir dari keseluruhan proses pada pengolahan data yang dianalisa untuk menuntun kita pada hasil interpretasi yang baik. Mencakup didalamnya hasil dan analisa peta anomali Bouguer, spektrum gayaberat, peta anomali regional dan residual, dan 3 profil bawah permukaan hasil *forward modeling* dengan menggunakan 3 litologi batuan (densitas batuan) yang berbeda-beda sesuai dengan permasalahan yang dihadapi dan tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini.

BAB VI : INTERPRETASI TERPADU - PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN

Pada bab ini akan membahas mengenai gabungan dan korelasi hasil dari semua aspek terutama geologi dan geofisika (*geosciences data*) yang kemudian dengan menganalisa korelasi atau integrasi data-data ini, dibangun asumsi-asumsi yang dapat *me-lead* kita untuk dapat melakukan interpretasi kondisi bawah permukaan lapangan “FW1807” dengan baik. Kemudian dengan menambahkan informasi mengenai *petroleum system*, digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan keberadaan *play* eksplorasi Kujung.

BAB VII : KESIMPULAN DAN SARAN

Akan dituliskan kesimpulan dan saran atau rekomendasi yang dapat diambil dari dilakukannya penelitian ini.

BAB II

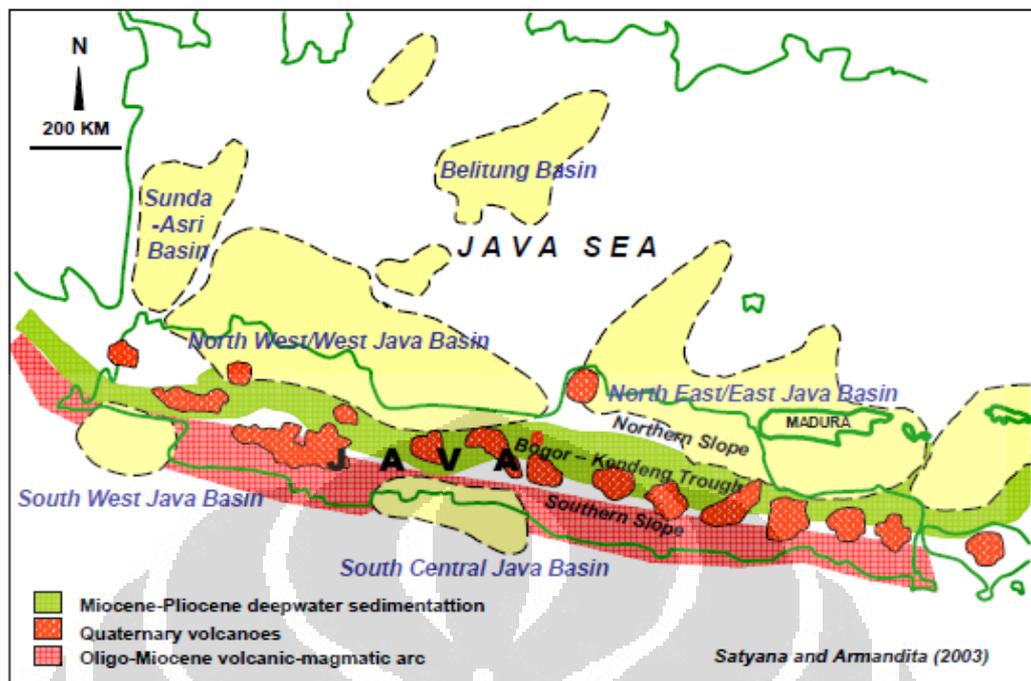
TINJAUAN ASPEK EKSPLORASI PERMINYAKAN DAN TATANAN GEOLOGI REGIONAL

Studi literatur mengenai aspek-aspek eksplorasi perminyakan dan tatanan geologi regional ini dilakukan untuk membantu dalam melakukan rekonstruksi gaya-gaya yang bekerja di Cekungan Jawa Timur Utara (CJTU). Proses ini akan sangat penting dalam melakukan pemetaan dan interpretasi bawah permukaan bumi terutama pada tahap pemodelan gayaberat (*gravity modeling*). Nantinya pemodelan yang dilakukan harus mengacu pada kondisi tatanan geologi di Cekungan Jawa Timur Utara.

2.1. Cekungan Sedimen Jawa Timur Utara (*NE Java Sedimentary Basins*)

Cekungan sedimen adalah bagian dari kerak bumi yang dapat berperan sebagai akumulasi lapisan-lapisan sedimen yang relatif lebih tebal dari sekitarnya, dimana akumulasi batuan sedimen ini dapat berperan sebagai tempat pembentukan dan akumulasi minyak dan gas bumi (hidrokarbon).

Pada kondisinya yang sekarang ini, Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan Tersier belakang busur (*back arc basin*) yang terletak dibagian tenggara dari lempeng mikro Sunda dan dibatasi oleh rangkaian pegunungan (*volkanik arc*) dan tujaman Tersier Indo-Australia di bagian selatannya. Cekungan ini merupakan zona lemah akibat tumbukan atau penujaman Lempeng Samudra Australia ke arah barat laut dibawah lempeng Asia. Kemudian karena adanya perpindahan jalur zona tumbukan yang terus menerus kearah selatan Indonesia, maka sekarang ini Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk sebagai cekungan belakang busur (*back arc basin*).



Gambar 2.1: *Geologic Setting of Java* (Satyana dan Armandita 2003)

Secara Geografi Cekungan Jawa Timur Utara berada diantara Laut Jawa yang terletak dibagian utaranya dan sederetan gunung berapi yang berarah barat-timur dibagian selatannya seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Cekungan Jawa Timur ini menempati luas $\pm 50.000 \text{ km}^2$, yang melingkupi daratan sebelah timur Jawa Tengah, Jawa Timur, Lepas pantai disekitar Laut Jawa Utara hingga Selat Madura.

Sedimentary basin merupakan kajian mengenai penelitian yang ditekankan pada sekuen-sekuen stratigrafi dan pola struktur batuan sedimen, maka pembahasan ini akan dilanjutkan dengan kajian mengenai sejarah Tektonik Regional Cekungan Jawa Timur Utara dan Stratigrafi di daerah penelitian.

2.1.2 Fase Tektonik Tersier

Dalam kerangka tektonik regional maka proses pembentukan struktur Tersier seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 diatas dibagi menjadi 3 periode:

1. *Paleogen Extension Rifting*
2. *Neogen Compresional Wrenching*
3. *Pilo-Pleitocene Compressing Thrust-Folding*

Fase ekstensional Paleogene menghasilkan graben atau *half* graben dan sesar-sesar yang mempunyai arah pemanjangan barat daya – timur laut. Fase tektonik ini merupakan tektonik regangan yang berasosiasi dengan pengendapan sedimen berumur Eosen-Oligosen.

Periode *Neogen Compressional Wrenching* ditandai oleh pembentukan sesar-sesar geser dengan arah barat – timur yang terjadi akibat gaya kompresif dari tumbukan lempeng Hindia. Sesar-sesar ini merupakan reaktivasi sesar-sesar ekstensional yang terbentuk pada periode Paleogen.

Periode *Plio – Pleistocene Compressional Thrust – Folding* ditandai oleh pembentukan lipatan yang berlanjut pada pembentukan sesar-sesar naik. Antiklinorium dan *thrust belt* yang terjadi memiliki orientasi tertentu yang berhubungan dengan arah kompresi dan kinematika pembentukannya.

2.1.3 Konfigurasi Cekungan Jawa Timur Utara

Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi tiga bagian besar (Pringgoprawiro, 1982). Adapun 3 pembagian tersebut berturut-turut dari selatan ke utara adalah sebagai berikut:

1. Jalur Kendeng

Terletak langsung di sebelah utara deretan gunung api, terdiri dari endapan kaenozoikum muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai dengan

sesar-sesar sungkup dengan kemiringan keselatan. Panjang jalur Kendeng sekitar 250 km dengan lebar maksimumnya adalah 40 km.

2. Jalur Randublatung

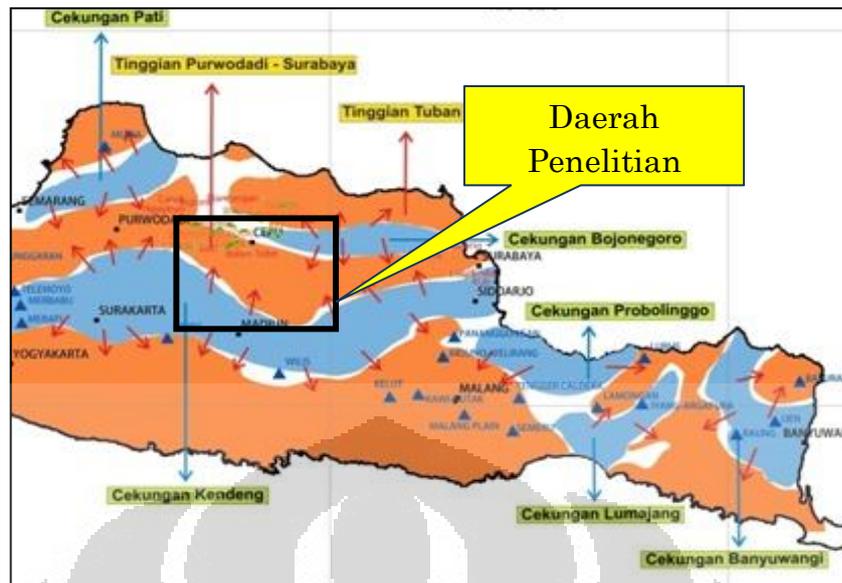
Merupakan suatu depresi fisiografi akibat gejala tektonik yang terbentang diantara Jalur Kendeng dan Jalur Rembang, terbentuk pada kala Pleistosen dengan arah barat – timur dan disebut sebagai Jalur Randublatung. Beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah berada pada depresi ini. Sepanjang dataran ini mengalir sungai utama yakni sungai Bengawan Solo.

3. Jalur Rembang-Madura

Jalur Rembang terbentang sejajar dengan Jalur Kendeng yang dipisahkan oleh depresi Randublatung, merupakan suatu dataran tinggi terdiri dari antiklinorium yang berarah barat – timur sebagai hasil gejala tektonik Tersier Akhir yang membentuk perbukitan dengan elevasi yang tidak begitu tinggi, rata-rata kurang dari 500 m. Arah memanjang perbukitan tersebut mengikuti sumbu-sumbu lipatan yang pada umumnya berarah barat – timur. Di beberapa tempat sumbu-sumbu ini mengikuti pola *en-echelon* yang menandakan adanya sesar geser lateral.

Zona Rembang merupakan zona patahan antara paparan karbonat di utara (Laut Jawa) dengan cekungan yang lebih dalam di selatan (Cekungan Kendeng). Litologi penyusunnya adalah campuran antara karbonat laut dangkal dengan klastika, serta lempung dan napal laut dalam.

Jawa Timur bagian utara merupakan suatu daerah yang mengalami struktur pembalikan (*inversion structure*) mulai dari Miosen sampai sekarang. Pada fase inversi ini dibagian utara dari cekungan ini mengalami pengangkatan (Zona Rembang) sedangkan pada bagian selatannya masih berupa cekungan laut dalam (Zona Kendeng). Dua sesar turun diamati di barat daya Lapangan Kawengan membentuk suatu terban (graben). Daerah tinggian terdapat di daerah Tuban - Paciran karena adanya sesar besar yang mengangkat daerah ini ke atas.



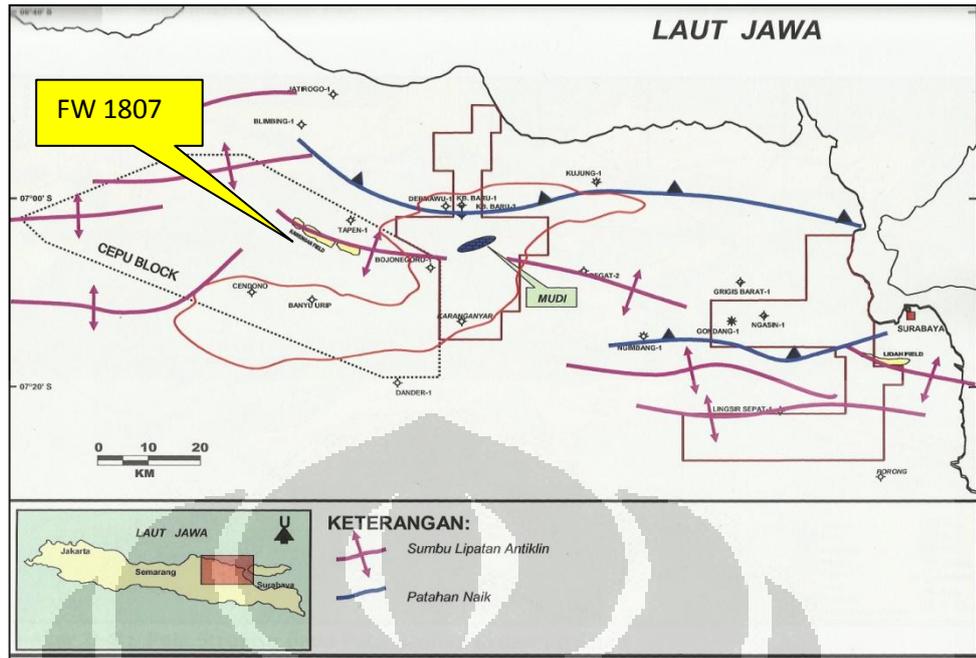
Gambar 2.3: Pembagian Sub-cekungan bagian Jawa Timur berdasarkan analisa data gayaberat (Widianto, 2008) .

Pada kondisinya sekarang ini pola tinggian-rendahan secara regional di daerah Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 2.3 yaitu gambar hasil studi pemetaan tinggian dan rendahan dengan menggunakan data gayaberat.

2.1.4 “FW1807” Field

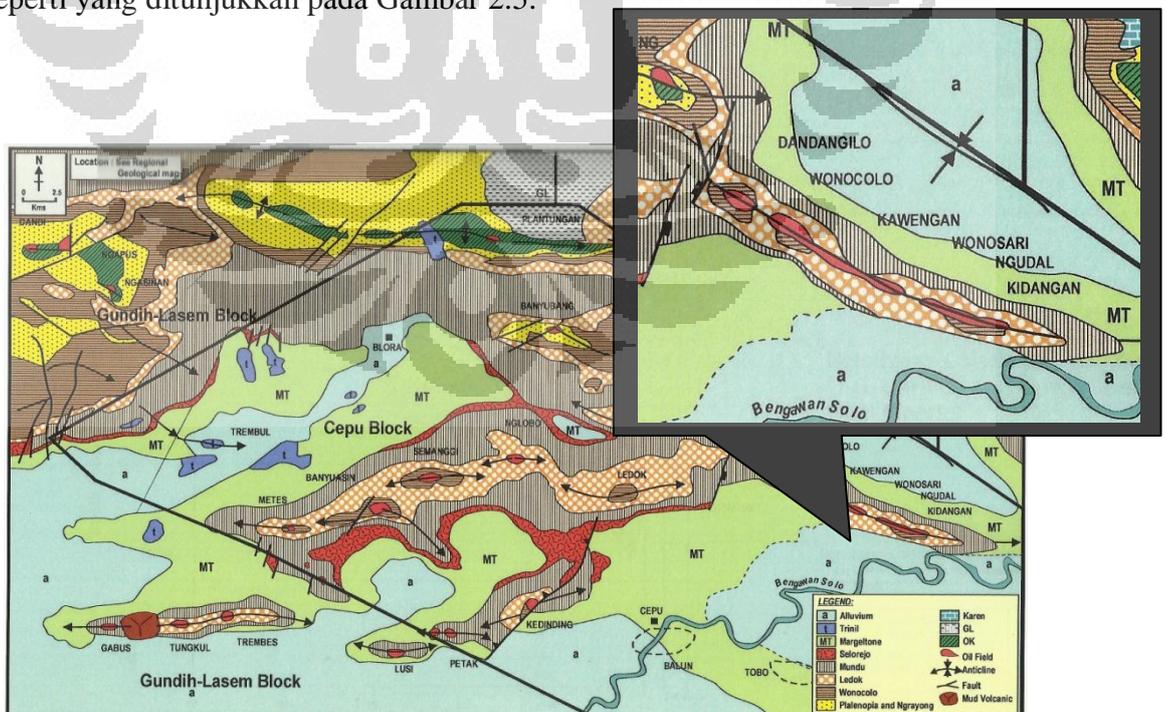
Lapangan-lapangan minyak di Cekungan Jawa Timur Utara secara garis besar dikelompokkan dalam beberapa blok besar, salah satunya yaitu Blok Tuban yang terdiri dari *East & West Tuban Block* dan Blok Cepu. Lapangan “FW1807” ini merupakan salah satu lapangan minyak milik Pertamina yang masuk ke dalam region Bojonegoro dalam Blok Cepu.

Secara regional lapangan minyak “FW1807” termasuk dalam Antiklinorium Rembang, yang terdiri dari antiklinal-antiklinal yang membentang dari barat ke timur. Dimana keseluruhan bukit tersebut termasuk Cekungan Besar Rembang. Puncak tertinggi Antiklinorium Rembang kira-kira 500 meter diatas permukaan air laut, sedangkan ketinggian lapangan minyak “FW1807” bervariasi antara 140 sampai 200 meter.



Gambar 2.4: Pola struktur geologi pada *Present Time* (Yudiantoro, 2005)

Lapangan minyak “FW1807” dibagi menjadi beberapa bagian dari barat ke timur yaitu Dandangdilo, Wonocolo, Kawengan *deep*, Wonosari dan Kudangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

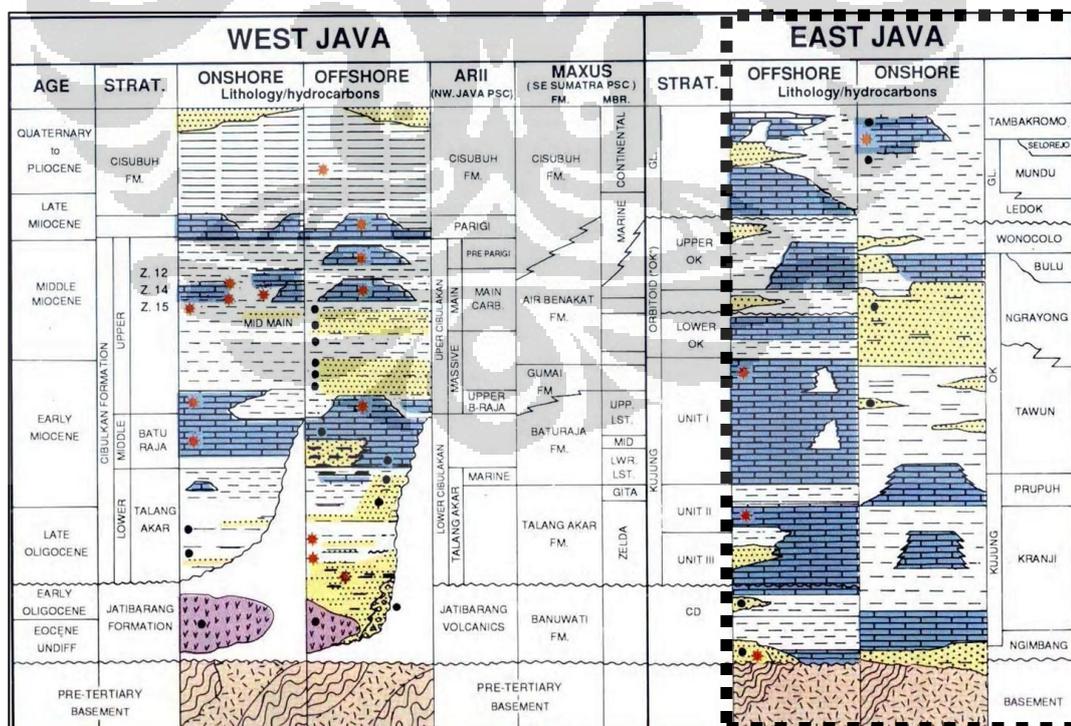


Gambar 2.5: Pola struktur pada Peta Geologi Daerah Penelitian (Yudiantoro, 2005)

2.1.5 Stratigrafi Daerah Penelitian

Cekungan sedimentasi Jawa Timur Utara mengandung urutan endapan kaenozoikum yang tebal, tak terputus dan berumur mulai dari Eosene hingga Pleistosen. Tebal keseluruhan dari endapan cekungan tersebut tidak diketahui secara pasti akan tetapi diduga melebihi 6000 m. Pada pusat (depocenter) cekungan ini terdapat lebih dari 6000 meter sedimen tersier yang diendapkan secara tidak selaras diatas batuan beku dan metasedimen berumur mesozoikum yang merupakan *economic basement* (Budiyani 1994). Oleh Martodjojo (1986) disimpulkan bahwa batuan tertua yang merupakan batuan dasar di Cekungan Jawa Timur Utara adalah batuan metasedimen dan batuan beku asam (granit). Batuan dasar ini diperkirakan berumur kapur jura atau Pra-Tersier.

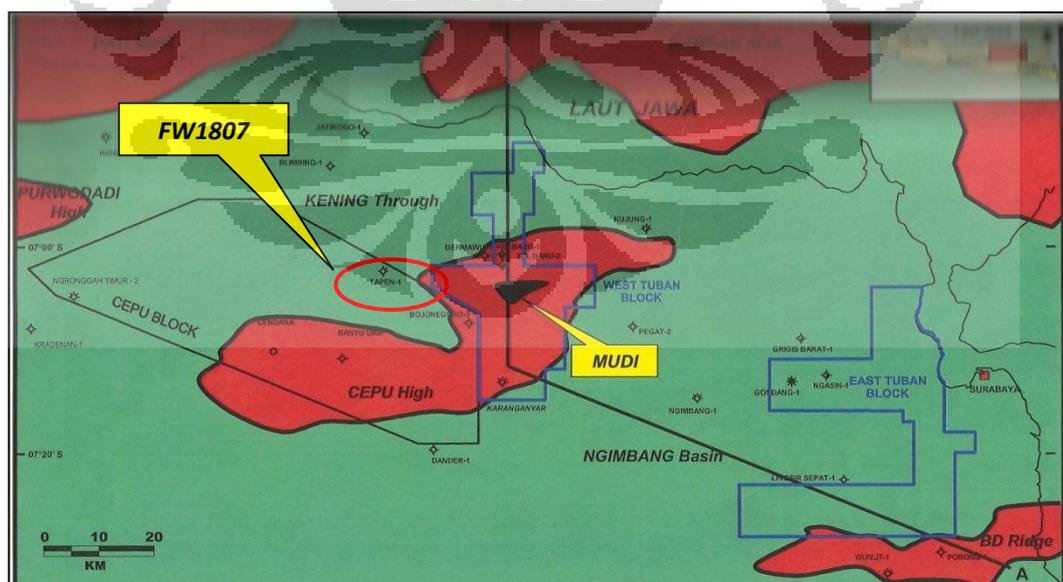
Pringgoprawiro (1983) membagi Stratigrafi Zona Rembang atas beberapa formasi, dari tua ke muda yaitu: Formasi Ngimbang, Formasi Kujung, Formasi Prupuh, Formasi Tuban, Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, Formasi Wonocolo, Formasi Ledok, Formasi Mundu, Formasi Kawengan, dan Formasi Lidah (Gambar 2.6).



Gambar 2.6: Stratigrafi onshore cekungan Jawa Timur Utara (Satyana, 2008)

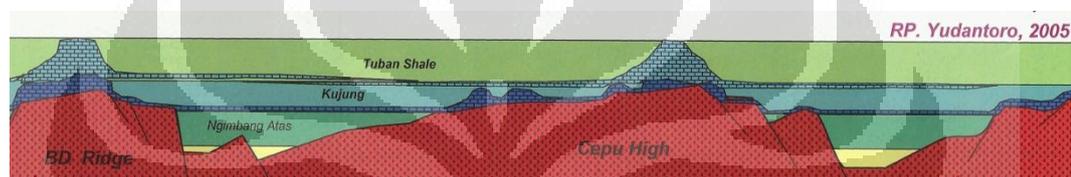
Yudiantoro (2005), dalam kajiannya mengenai *review G&G* di Cekungan Jawa Timur Utara menyebutkan bahwa Sedimen tersier yang pertama diendapkan menutupi daerah rendahan yaitu Formasi Ngimbang (Eosen-Oligosen Awal). Berdasarkan data sumur yang menembus formasi ini, Formasi Ngimbang di Kening Trough didominasi oleh batulanau, serpih, sisipan batupasir dan batugamping klastik. Pengendapan formasi ini dikontrol oleh pola tinggian-rendahan purba yang akan ditunjukkan pada Gambar 2.7, dimana sedimen mengisi penuh bagian-bagian rendahan dan *onlapping* ke lereng tinggian. Pola sedimentasi yang seperti ini menyebabkan sedimen Formasi Ngimbang tidak berkembang di sebagian daerah Tinggian Cepu, Tinggian Purwodadi maupun Pati shelf.

Diatas Formasi Ngimbang secara selaras berkembang Formasi Kujung (Oligosen Akhir - Miosen Awal) dengan litologi penyusun utama berupa sembulan karbonat dan batugamping klastik dengan sisipan serpih. Diatas tinggian Cepu Formasi Kujung berkembang sebagai sembulan karbonat terumbu sedangkan di bagian rendahan diendapkan sebagai batuan karbonat klastik dengan sisipan batulanau.



Gambar 2.7: Tinggian-rendahan Tersier di daerah penelitian (Yudiantoro, 2005)

Dari beberapa sembulan karbonat, sebagian posisinya berada di lereng tinggian. Sembulan karbonat yang berada di lereng tersebut, kecepatan pertumbuhan terumbu tidak bisa mengikuti kenaikan muka laut sehingga pertumbuhannya terhenti pada masa *Kujung Time*, kemudian sembulan-sembulan karbonat ini disebut sebagai Sembulan Karbonat Kujung yang nantinya akan dikenal sebagai sembulan karbonat Karanganyar, Pilang, Alastua, Kampar, Kedungtuban, Randublatung dan Kedunglusi. Gambar 2.8 dibawah ini akan memberikan gambaran mengenai pola pengendapan dan persebaran, terutama sembulan karbonat terumbu Formasi Kujung di daerah penelitian.



Gambar 2.8: Model penyebaran Sembulan karbonat Terumbu Formasi Kujung-Tuban (Yudantoro, 2005)

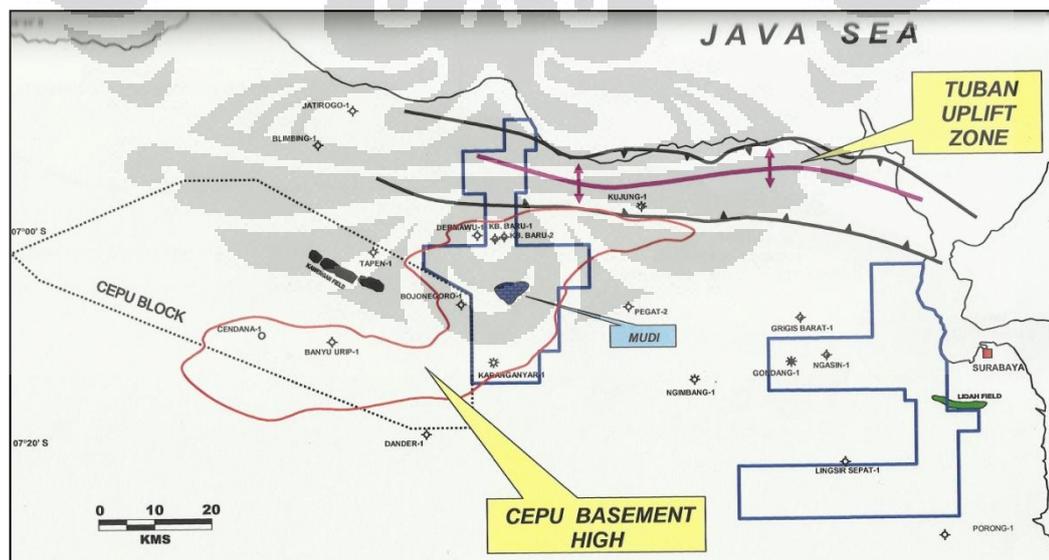
Perkembangan sembulan karbonat diatas tinggian Cepu berlangsung terus hingga umur Formasi Tuban (Miosen Tengah - Awal Miosen akhir). Pertumbuhan sembulan karbonat pada umur formasi Tuban meneruskan pertumbuhan sembulan karbonat Formasi Kujung yang tumbuh dibagian paling tinggi dari tinggian Cepu (Gambar 2.8) dan kemudian disebut sebagai Sembulan Karbonat Kujung-Tuban yang nantinya akan dikenal sebagai sembulan karbonat Kembangbaru, Mudi, Sukowati, Banyuurip, Kedungkeris dan Jambaran. Didaerah rendahan Formasi Tuban berkembang sebagai batuan karbonat klastik dan batuan epiklastik (serpih dan batulanau) namun proporsi batuan epiklastiknya lebih dominan.

Setelah Formasi Tuban selesai diendapkan, terjadi aktifitas tektonik yang bersifat *Compressional (Mid Miocene Tectonic)*, akibat gaya kompresi yang arahnya utara – selatan tersebut terjadi perlipatan berarah barat – timur yang mengangkat Formasi Tuban hingga sebagian muncul ke permukaan. Sumbu

pengangkatan yang paling tinggi berada disebelah utara Kawengan, arahnya barat – timur memanjang dari daerah Jatirogo-Kujung-Suci. Jalur tersebut merupakan bagian depocenter dari Kening Trough, jalur ini dikenal sebagai *Sakala Zone*. Proses perlipatan tersebut diikuti oleh proses erosi terhadap batuan-batuan Formasi Tuban yang muncul ke permukaan.

Proses tersebut pada akhirnya akan menghasilkan pola tinggian-rendahan baru (*mid Miocene Paleogeography*) yang disebut *Tuban Uplift* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, yang mengontrol pengendapan sedimen berikutnya yaitu Formasi Ngrayong. Formasi Ngrayong mulai diendapkan pada Miosen Akhir, dikontrol oleh pola rendahan-tinggian *Tuban Uplift* dan konfigurasi sembulan karbonat Kujung-Tuban diatas tinggian Cepu yang tidak terpengaruh oleh *Tuban Uplift*.

Setelah pengendapan Formasi Ngrayong berakhir terjadi transgresi yang mengontrol pengendapan Formasi Wonocolo (Miosen Akhir), Formasi ini didominasi oleh batulempung-batulanau dengan sisipan batugamping-pasiran. Akhir pengendapan Formasi Wonocolo ditandai dengan adanya proses regresi sehingga puncak sedimen Wonocolo berada dekat permukaan.



Gambar 2.9: Tuban Uplift Zone (Yudiantoro, 2005)

Pada kondisi yang lebih dangkal tersebut mulai diendapkan sedimen Formasi Ledok (Pliosen). Secara umum sedimen Formasi Ledok berupa batulanau dan batupasir-karbonatan dan di beberapa tempat yang dangkal dan berkembang sebagai batugamping terumbu.

Setelah Formasi Ledok selesai diendapkan terjadi proses susut laut yang besar sehingga menghasilkan pola cekungan dan tinggian yang baru, akibat proses ini sebagian Formasi Ledok muncul ke permukaan membentuk suatu tinggian, sedangkan bagian lainnya berada dibawah muka air laut membentuk suatu cekungan atau rendahan. Pola tinggian-rendahan tersebut yang akan mengontrol proses sedimentasi formasi berikutnya yaitu Formasi Mundu (akhir Pliosen) bagian bawah formasi mundu ini memperlihatkan pola *onlapping* ke Formasi Ledok, sedangkan bagian atas Formasi Mundu memperlihatkan pola perlapisan yang sejajar dengan Formasi Ledok, secara keseluruhan Formasi Mundu didominasi oleh endapan batulanau dan batulempung yang diendapkan dalam sistem transgresif. Pada tempat-tempat yang relatif dangkal, berkembang sembulan karbonat meneruskan pertumbuhan sembulan karbonat Ledok. Kelompok sembulan karbonat Ledok-Mundu ini disebut sebagai *Karren Limestone* (Formasi Kawengan).

Diatas Formasi Mundu secara selaras diendapkan Formasi Lidah (Pleistosen) sebagai sedimen Tersier terakhir di Cekungan Jawa Timur. Litologi penyusun formasi ini didominasi oleh napal dan sisipan batupasir-napalan.

Pada akhir Tersier, setelah Formasi Lidah terendapkan, aktifitas tektonik kembali menguat dan menyebabkan seluruh formasi yang ada, terlipat dan terpatahkan. Aktifitas tektonik ini menyebabkan terbentuknya perlipatan dan patahan naik besar mengikuti jalur *Taban Uplift*, memanjang dengan arah barat-timur memotong daerah Jatirogo-Tawun-Dermawu-Kembangbaru-Kujung dan selatan Suci atau *Sakala Zone*.

Di bagian selatan yaitu didaerah rendahan Ngimbang Basin maupun bagian selatan Kening *Through*, aktivitas tektonik ini menghasilkan kompleks struktur antiklonorium dengan sumbu berarah barat – timur. Sedimen Kwarter yang

terbentuk setelah tektonik Plio-Pleistosen merupakan hasil proses erosional pada daerah tinggian, mengisi dan menutupi bagian rendahan. Hasil seluruh proses geologi tersebut diatas pada akhirnya menghasilkan kondisi geologi dan morfologi daerah cekungan Jawa Timur sekarang ini.

2.2 PETROLEUM SYSTEM CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Secara struktur dan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan *back arc* Indonesia terkomples yang juga merupakan *most wanted area* untuk *petroleum* di Indonesia (Satyana 2008). Batuan tertua yang tersingkap di bagian ini berumur Miosen Akhir yang kebanyakan mengandung minyak.

Migas biasanya banyak ditemukan di basin-basin Tersier yang terbentuk sekitar 50 juta tahun yang lalu. Migas merupakan senyawa hidrogen (H) dan karbon (C) dengan variasi yang sangat beragam dan biasanya disebut Hidrokarbon yang mempunyai karakteristik untuk cenderung naik ke permukaan dari batuan induknya (± 30 km) dibawah permukaan ke batuan reservoir melalui struktur-struktur yang biasanya terbentuk akibat aktivitas tektonik di daerah tersebut. Jadi migas terbentuk, bermigrasi dan terperangkap dalam batuan penyusun terpenting dari kerak bumi (Moehadi, 2010).

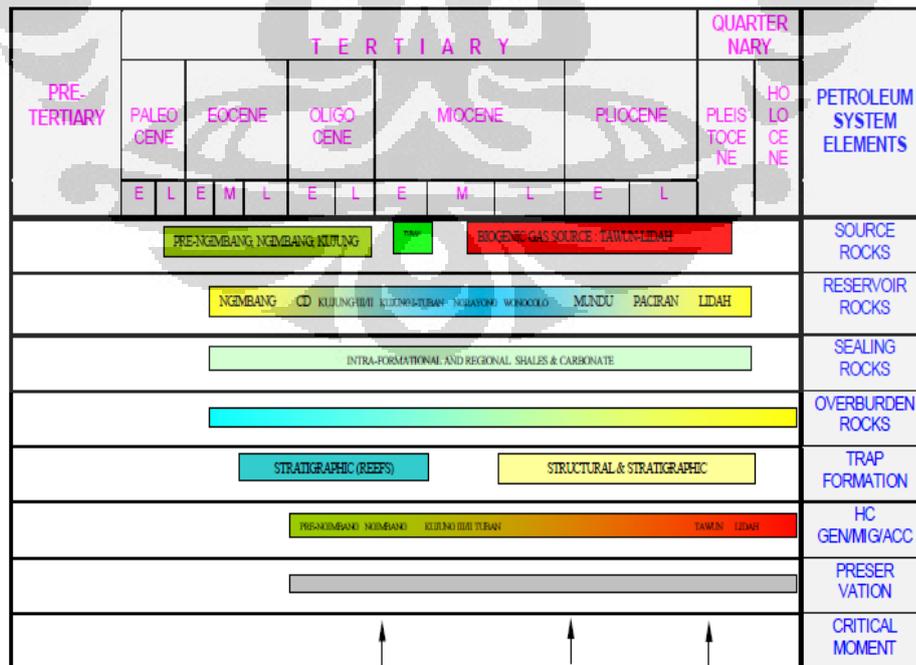
Petroleum system merupakan kajian atau studi yang akan mendeskripsikan hubungan secara genetis antara sebuah batuan induk yang aktif, komponen-komponen geologi, proses-proses yang dibutuhkan dari tahap pembentukan hingga terakumulasinya hidrokarbon. *Petroleum system* ini terdiri dari 5 unsur penting yaitu:

1. Adanya batuan induk yang matang (*kitchen area*), yaitu suatu batuan yang mempunyai harga Temperatur Time Index (TTI) 15-500.
2. Adanya batuan cadangan (reservoir), yaitu batuan yang mempunyai porositas dan permeabilitas yang baik yang memungkinkan menjadi tempat penampungan hidrokarbon (minyak, kondensat dan gas).

3. Adanya batuan penutup, yaitu batuan kedap fluida (*impermeable*) dan terletak diatas batuan reservoir yang akan berfungsi sebagai penutup yang menghalangi keluarnya fluida dari batuan reservoir tersebut.
4. Adanya mekanisme migrasi sebagai jalan bagi hidrokarbon (minyak dan gas) dari batuan induk kebatuan waduk.
5. Adanya pemerangkapan, yaitu suatu bentuk geometri atau bentuk tinggian dari batuan waduk yang memungkinkan hidrokarbon terakumulasi dan terperangkap di geometri tersebut.

Kelima faktor dari sebuah *petroleum system* ini biasanya ditampilkan dalam sebuah chart (Gambar 2.10) yang memperlihatkan hubungan antara umur geologi dan kelima elemen dalam *petroleum system*.

Petroleum system ini akan sangat berpengaruh dalam melakukan analisa keberadaan akumulasi hidrokarbon, dari hasil pemboran eksplorasi, telah terbukti bahwa keberhasilan terjadi ketika kelima faktor tersebut diatas terpenuhi sedangkan kegagalan disebabkan oleh tidak terpenuhinya salah satu atau lebih, faktor-faktor tersebut diatas (Budiyani 1994). Berikut ini pembahasan mengenai kelima aspek penting dalam *petroleum system* di Cekungan Jawa Timur Utara.



Gambar 2.10: *Petroleum System Chart* Cekungan Jawa Timur Utara (Pertamina, 2002).

2.2.1 Batuan Induk (*Source Rock*)

Batuan induk (*source rock*) adalah batuan yang mempunyai banyak kandungan material (TOC 0.1 % - 4.0 %) (Tabel 2.1) yang terakumulasi, terawetkan, dan termatangkan secara termal. Batuan induk ini biasanya merupakan batuan yang mempunyai sifat mampu mengawetkan kandungan material seperti batu lempung atau batuan yang memang mengandung banyak material organik seperti batu gamping. Disamping kaya akan material organik, syarat untuk dapat menjadi batuan induk yang baik adalah mengalami proses pematangan secara termal, proses pematangan inipun juga berbeda-beda tiap jenis kerogen (Tabel 2.2).

Tabel 2.1: Tabel nilai TOC batuan

Generation Potential	Wt % TOC, Shales	Wt % TOC, Carbonates
Poor	0.0 – 0.5	0.0 – 0.2
Fair	0.5 – 1.0	0.2 – 0.5
Good	1.0 – 2.0	0.5 – 2.0
Very Good	2.0 – 5.0	1.0 – 2.0
Excellent	> 5.0	> 2.0

Tabel 2.2: Tabel kematangan minyak untuk tiap kerogen

Hydrocarbon Generation Zone	Rock-Eval Pyrolysis Tmax, °C
Immature	< 435
Oil (from type II kerogen)	435 – 455
Oil (from type III kerogen)	435 – 465
Gas (from type II kerogen)	> 455
Gas (from type III kerogen)	> 465

Dari hasil pengujian beberapa *sample* minyak, nilai TOC batuan induk di Cekungan Jawa Timur Utara menunjukkan *fair to good* (~1- 2.3 %), Kerogen tipe II dan III, kedalaman kematangan dimulai dari 1500-2600 m. dan diasumsikan hidrokarbon dihasilkan sejak Miosen Tengah (10 Ma). Analisa contoh minyak di Ngasinan, Trembul, Ngrayong, dan Kawengan menunjukkan batuan induk diendapkan di lingkungan *fluvio-deltaic* dimana terjadi pengendapan yang cepat yang merupakan salah satu cara untuk mencegah rusaknya material dan biasanya pengendapan yang cepat ini dicirikan dengan perlapisan batuan endapan yang tebal.

Batuan induk (*source rock*) untuk minyak dari lapangan Kawengan adalah Formasi Ngimbang-Eosen dan untuk kasus pada lapangan Kawengan kitchen area untuk minyak ini diasumsikan pada daerah Kening *Through* (Doust, 2007).

Hasil studi JOB Pertamina-santa Fe Tuban (1999) yang kemudian diadopsi oleh Pertamina Trend Team Jatim (1999), berdasarkan data sumur pemboran menyebutkan bahwa Formasi Ngimbang ini berkembang cukup tebal di rendahan Kening *Through* dan Ngimbang Basin. Di atas tinggian Cepu, Formasi Ngimbang berkembang tipis bahkan cenderung tidak berkembang. Begitu juga hasil studi yang dilakukan oleh Joint study Pertamina-Anadarko (2000). Kajian dengan menggunakan data sumur dan data seismic juga menyatakan hal yang sama (Yudiantoro, 2005).

2.2.2 Jalur Migrasi (*Migration Pathway*)

Migrasi merupakan proses perpindahan hidrokarbon yang telah terbentuk dari batuan induk ke tempat dimana hidrokarbon dapat terakumulasi dan memiliki nilai ekonomis untuk dieksplorasi. Proses migrasi ini biasanya terjadi melalui batuan *porous* atau bidang sesar yang arahnya cenderung menuju ke atas (permukaan) atau tempat yang bertekanan yang lebih rendah.

Migrasi secara umum dibagi menjadi dua yaitu migrasi primer dan migrasi sekunder. Migrasi primer adalah pergerakan hidrokarbon keluar dari batu

induknya menuju batuan reservoir yang arahnya bisa ke atas, kesamping atau bahkan kebawah tergantung posisi reservoir yang terdekat, sedangkan migrasi sekunder adalah pergerakan hidrokarbon dari satu reservoir ke reservoir lainnya, migrasi sekunder ini akan selalu mengarah ke atas secara vertikal melalui patahan ataupun *up-dip* dan kesamping (Moehadi, 2010).

Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa selain menuju ke permukaan arah migrasi akan tegak lurus dengan arah struktur cekungan yang arahnya dominan timur – barat, maka kemungkinan arah migrasi hidrokarbon di Cekungan Jawa Timur Utara ini akan cenderung menuju ke permukaan atau cenderung ke arah utara – selatan.

Proses migrasi ini hanya akan berhenti ketika hidrokarbon tersebut terperangkap dalam suatu jebakan atau *trap* sehingga terakumulasi dan tidak bisa mengalami pergerakan lagi.

Berdasarkan salah satu hasil *review G&G* yang dilakukan oleh DOH-JBT PERTAMINA disebutkan bahwa setidaknya terdapat tiga model migrasi yang dibuat untuk melakukan pendekatan dalam menganalisa proses migrasi hidrokarbon di daerah penelitian.

Migrasi Model-1 adalah migrasi primer terjadi pada interval waktu Miosen Tengah – Miosen Atas, dimana hidrokarbon dari Formasi Ngimbang bermigrasi melalui *carrier-bed* (vertikal-lateral), masuk ke perangkap reservoir sembulan karbonat Formasi Kujung-Tuban yang tumbuh langsung diatas *Basement*. Migrasi model ini berlangsung pada pemerangkapan hidrokarbon di struktur Mudi, Sukowati, Banyu Urip, Cendana, Jambaran dll.

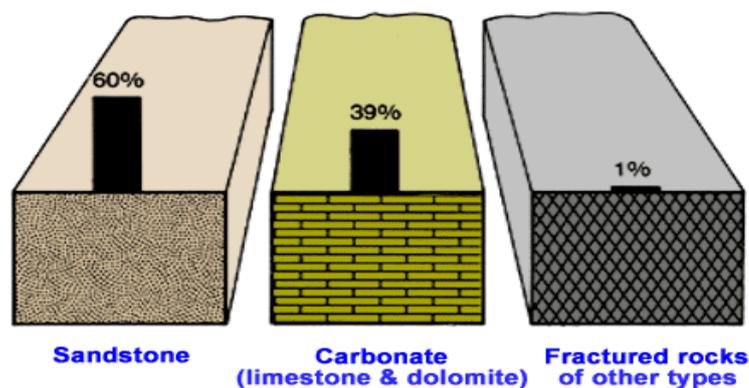
Migrasi Model-2 adalah migrasi primer yang terjadi pada interval waktu Pliosen – *Recent*, dimana hidrokarbon yang ter-*generate* dari Formasi Ngimbang masuk langsung ke struktur perangkap akibat tektonik Plio-Pleistocene (Ngrayong-Wonocolo-Ledok) melalui media jalur patahan. Migrasi ini berlangsung di pemerangkapan hidrokarbon pada lapangan Gabus, Tungkul, Trembul, Metes, Banyuasin, Semanggi, Ledok, Nglobo, dan Banyubang.

Model Migrasi-3 adalah migrasi sekunder yang terjadi setelah tektonik Plio-Pleistosen, dimana hidrokarbon yang sudah terperangkap pada lapisan reservoir sembulan karbonat Kujung-Tuban, akibat pengaruh aktifitas tektonik dan perubahan konfigurasi kemiringan lapisan batuan akhirnya bermigrasi lagi masuk ke perangkap batupasir Ngrayong, Wonocolo, Ledok dan Lidah. Model migrasi ini diduga terjadi dalam proses pengisian Lapangan Kawengan, dimana lapisan batuan Formasi Ngrayong miring *down-dip* ke arah selatan dan timur, dan mengalami kontak langsung dengan puncak sembulan karbonat Mudi, Sukowati, Banyuurip. Minyak yang sudah terperangkap dalam ke tiga struktur tersebut diduga bermigrasi lagi mengisi struktur Lapangan Kawengan. Hal inilah yang membedakan jumlah akumulasi minyak di struktur Kawengan jauh lebih banyak dibandingkan dengan lapangan-lapangan obyektif Ngrayong lainnya.

2.2.3 Batuan Reservoir

Reservoir adalah suatu jenis batuan atau lapisan yang karena porositas dan permeabilitasnya yang baik sehingga mampu untuk menjadi tempat akumulasi hidrokarbon. Suatu reservoir dikatakan baik ketika batuan tersebut mempunyai porositas (10 – 30 %) dan permeabilitas (5 – 500 *milidarcy*) yang baik karena nantinya rongga-rongga atau pori-pori yang saling berhubungan ini akan sangat mempengaruhi besar kecilnya daya tampung dari suatu batuan reservoir.

Secara teoritis semua batuan baik batuan beku maupun batuan metamorf dapat bertindak sebagai batuan reservoir namun pada kenyataannya 99% batuan reservoir adalah batuan sedimen (Gambar 2.11). Dan pada umumnya sekarang ini hanya dikenal dua macam batuan yang dapat bertindak sebagai batuan reservoir yang baik, yaitu batupasir dan batugamping.



Gambar 2.11: Statistik batuan reservoir

Dari hasil evaluasi beberapa Lapangan minyak di Cekungan Jawa Timur Utara dikatakan bahwa formasi-formasi yang berpotensi sebagai batuan reservoir di Cekungan Jawa Timur Utara ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Batuan reservoir di Cekungan Jawa Timur (Pertamina, 2009)

RESERVOIR	LITHOLOGY	TRAP	FIELD
Ngrayong	Sandstone (RGT-1) Limestone (BNB-1)	Anticline on Flower structure, faulted closure,	Randugunting, Banyubang, Kawengan, Wonocolo, Nglobo, Semanggi...
Tuban	Sandstone	Anticline on Flower structure, faulted closure	Dutch oil Field (Candi, Ngiono,...), Tawun field...
Kujung	Limestone/sandstone	Draping, carbonate buildup, faulted closure	Mudi, Sukowati, Banyu urip, Cendono, KTB-1, RBT-1...
Ngimbang	Sandstone/limestone	Carbonate buildup, stratigraphy, tilted block, alluvial fan	Pagerungan gas, Suci A & B, West Kangean gas

Namun sekarang ini batuan yang berfungsi sebagai reservoir hidrokarbon yang utama di daerah Rembang Cekungan Jawa Timur Utara adalah batu pasir Ngrayong yang berumur Miosen Tengah.

2.2.4 Perangkap (*Trap*)

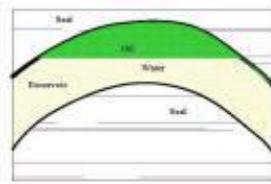
Trap atau Perangkap merupakan sebuah konfigurasi dari struktur atau perlapisan, dimana batuan reservoir atau batuan permeabel berada disekelilingnya dan dilindungi oleh batuan penutup yaitu batuan yang sifatnya *impermeable*. Sehingga dari jebakan ini tercipta suatu kondisi yang mampu menahan minyak dan gas bumi agar dapat berkumpul atau terakumulasi didalamnya. Secara umum perangkap atau jebakan hidrokarbon dibagi menjadi 2 yaitu perangkap struktur (*structural trap*) dan perangkap stratigrafi (*stratigraphic trap*) (Gambar 2.12).

Perangkap struktur merupakan target eksplorasi yang paling sering dicari, hal ini dikarenakan jenis perangkap ini mudah dideteksi dan sampai saat ini sudah menyediakan lebih dari $\frac{3}{4}$ cadangan minyak bumi di dunia. Pada umumnya perangkap struktur ini merupakan sebuah antiklin yang pembentukannya akan sangat berkaitan erat dengan aktifitas tektonik di daerah tersebut.

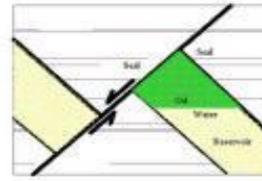
Perangkap stratigrafi merupakan jebakan yang terbentuk dan berhubungan dengan perubahan tipe batuan baik secara lateral maupun vertikal dan ketidakselarasan. Jebakan ini hanya menyediakan sekitar 13% dari cadangan minyak dunia.

Sebagian besar jebakan yang berkembang di Cekungan Jawa Timur adalah perangkap struktur dan stratigrafi yang terbentuk pada kala Miosen, yaitu *carbonate build-up* pada masa Oligosen akhir-Miosen Awal dan struktur *uplift* yang terjadi pada masa Miosen Awal-Miosen Akhir.

Structural Traps

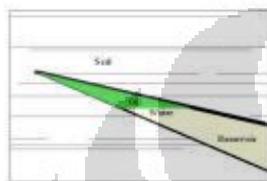


Anticline

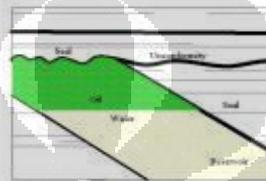


Fault

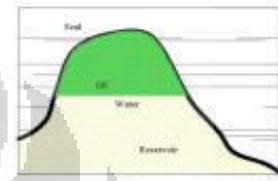
Stratigraphic Traps



Pinchout



Unconformity



Reef

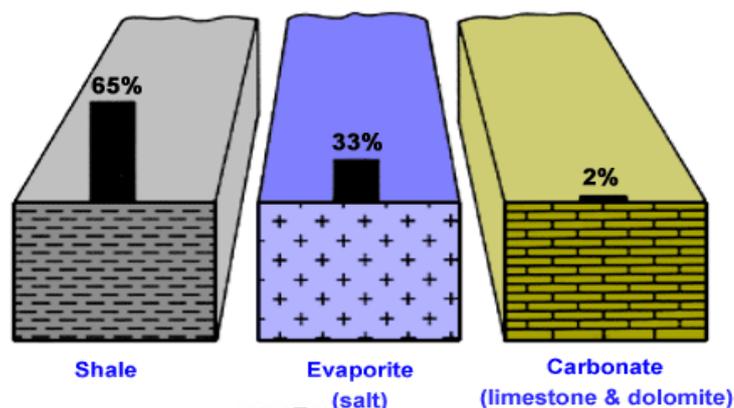
J F Brown 2005

Gambar 2.12: Model-model perangkap hidrokarbon (Brown,2005)

2.2.5 Batuan Penyumbat (*Seal Rock*)

Berikutnya suatu reservoir tidak akan berarti tanpa kehadiran batuan penutup yang sifatnya impermeabel dan biasanya berbutir sangat halus dimana butiran satu sama lain sangat rapat sehingga hidrokarbon yang sudah sampai di batuan reservoir itu terperangkap dan terakumulasi ditempat itu saja. Secara umum batuan yang biasanya dapat berperan sebagai batuan penutup (*seal rock*) adalah *shale*, *evaporite (salt)*, dan batuan karbonat (*limestone & dolomite*) (Gambar 2.13).

Batuan yang berfungsi sebagai seal atau batuan penyumbat di Cekungan Jawa Timur Utara adalah batulempung Wonocolo yang berumur Miosen Akhir dan pada Lapangan Kawengan dengan Formasi Kujung sebagai Reservoir batuan penutup (*seal*) adalah lapisan batulempung yang tebal dari Formasi Tuban.



Gambar 2.13: Statistik batuan seal

2.3 Play Eksplorasi

Dari *petroleum system* tersebut diatas akan muncul beberapa *play* eksplorasi di Cekungan Jawa Timur Utara. Terdapat 4 model *play-tipe* yang bisa digunakan dalam pencarian hidrokarbon di Cekungan Jawa Timur, dari model-model *play* tersebut terdapat 3 *play-tipe* yang sudah terbukti menghasilkan migas, yaitu *play tipe-1*, *play tipe-2*, *play tipe-3* (Yudantoro, 2005).

Play tipe-1 adalah *play tipe* semburan karbonat Kujung atau semburan karbonat Kujung-Tuban. Tipe ini telah terbukti di Lapangan Mudi dan Sukowati, serta di struktur-struktur temuan yang belum atau sedang dikembangkan misalnya: struktur Karanganyar (temuan gas, JOB Pertamina-Petrochina), struktur Banyuurip dan Jambaran (temuan minyak dan gas, Exxon Mobil) serta struktur Kedungtuban-Randublatung-Kedunglusi (temuan gas, Pertamina).

Play tipe-2 adalah *play-tipe* lapisan batupasir Ngrayong-Wonocolo-Ledok dengan model perangkat struktur (antiklin) maupun stratigrafi. Lapangan-lapangan produksi DOH-JBT merupakan lapangan produksi dengan *play tipe-2* dengan jenis perangkat struktur, sedangkan struktur temuan Gondang (Gondang-1) merupakan struktur temuan *play tipe-2* dengan jenis perangkat stratigrafi.

Struktur-struktur antiklin dengan *play tipe-2* seperti model lapangan produksi DOH-JBT masih cukup banyak ditemukan diwilayah WKP DOH-JBT, baik struktur yang belum pernah di-bor maupun struktur lapangan tua yang pernah

di-bor pada jaman Belanda. Nilai plus struktur-struktur dengan *play tipe* ini adalah posisi obyektif dari lapisan penghasil migas relatif dangkal yaitu sekitar 500-1000 meter sehingga biaya pemborannya relatif murah. Problem G&G mengenai *play tipe-2* yang perlu mendapatkan perhatian adalah keberadaan lapisan reservoir penghasil pada struktur siap bor maupun pada titik sumur baru untuk pengembangan lapangan. Beberapa pemboran baru dengan *play tipe* ini (Gabus-P1, Tungkul-P1, Metes-P1) gagal menemukan hidrokarbon yang diasumsikan terjadi karena posisi sumur-sumur tersebut berada jauh di bagian lereng dari struktur antiklin.

Play tipe-3 adalah *play tipe* perangkap lapisan batugamping klastik atau batupasir Formasi Kujung dan Ngimbang. Di daerah Jawa Timur *onshore*, pemboran dengan *play tipe* ini umumnya banyak mengalami kegagalan. Pemboran sumur Purwodadi-1, Kujung-1, Dermawu-1, Jatirogo-1, Dander-1 (Pertamina, 1980-1983), Blimbing-1 dan Kembangbaru-1 & 2 (JOB Pertamina-PTT, 1991-1993), Kayen-1 (JOB Pertamina-Stanvac 1992) merupakan beberapa contoh kasus kegagalan pemboran *play tipe* ini. Lapisan batugamping klastik (*platform*) Formasi Kujung maupun Formasi Ngimbang dapat dijumpai pada sumur-sumur pemboran tersebut namun tidak didapati adanya kandungan hidrokarbon. Pemboran sumur Dermawu-1 menembus kaki/lereng sembulan karbonat Kembangbaru. Struktur Kembangbaru terlihat jelas sebagai sembulan Karbonat Kujung namun sudah terpotong oleh beberapa patahan naik yang menyebabkan larinya hidrokarbon dari struktur ini. Satu-satunya struktur di daerah Jawa timur yang dapat membuktikan adanya kandungan hidrokarbon pada *play tipe* ini adalah struktur Suci.

Play tipe-4 adalah *play tipe* perangkap sembulan karbonat Formasi Ngimbang. Di daerah Jawa Timur *onshore*, pemboran pada *play tipe* ini belum pernah dilakukan namun berdasarkan data-data seismik keberadaan sembulan-sembulan karbonat Formasi Ngimbang diperkirakan berkembang di beberapa tempat. Penampang seismik 90 EJ-124 merupakan salah satu penampang seismik yang memperlihatkan kenampakan struktur-struktur Mounded dari sembulan karbonat Ngimbang di lereng barat Ngimbang Basin.

BAB III

TEORI DASAR & PENGOLAHAN DATA

Metode gayaberat adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang digunakan untuk mengukur variasi medan gravitasi bumi akibat adanya perbedaan densitas antar batuan. Dalam prakteknya, metode ini mempelajari perbedaan medan gravitasi dari satu titik terhadap titik observasi lainnya. Sehingga sumber yang merupakan suatu zona massa di bawah permukaan bumi akan menyebabkan suatu gangguan pada medan gravitasi. Gangguan medan gravitasi inilah yang disebut sebagai anomali gayaberat. Besar gangguan medan gravitasi yang diakibatkan oleh setiap litologi batuan akan mempunyai nilai yang berbeda-beda bergantung pada nilai densitasnya.

Secara prinsip, metode gayaberat digunakan karena kemampuannya dalam membedakan densitas dari suatu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya. Dari variasi densitas tersebut dapat diketahui bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah. Dasar teori yang digunakan dalam metode gayaberat adalah hukum Newton tentang gravitasi bumi.

3.1 Prinsip Dasar Metode Gayaberat (*Gravity*)

3.1.1 Hukum Newton: Gaya tarik menarik antara dua partikel

Jika dua benda dengan massa m_1 dan m_2 dipisahkan oleh jarak r , maka gaya tarik menarik (F) yang terjadi diantara kedua benda tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Dengan:

- F = Gaya antara dua partikel bermassa m_1 ke m_2
- $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ (konstanta gravitasi umum)
- m_1 = massa benda 1
- m_2 = massa benda 2
- r = jarak antara dua partikel atau benda m_1 ke m_2

3.1.2 Percepatan Gravitasi

Percepatan gravitasi yang bervariasi atau berbeda disetiap tempat dipengaruhi oleh ketidakhomogenan bumi baik bentuk maupun *content*. Percepatan gravitasi adalah gaya tarik suatu m_1 (massa pegas pada gravimeter) dipermukaan bumi yang disebabkan oleh keberadaan benda m_2 (massa Bumi = m), Berdasarkan Hukum Newton kedua, $F = m.a$ maka percepatan gravitasinya dapat diperoleh dengan membagi F (gaya tarik menarik antara benda m_1 dan m_2) dengan m_1 .

$$F = m.a$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$g = \frac{F}{m_1} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \frac{1}{m_1} = G \frac{m_2}{r^2}$$

Secara khusus bila m_2 adalah massa dari bumi (m) maka percepatan dari suatu massa pegas (m_1) di permukaan bumi adalah:

$$g = G \frac{m}{R^2} = G \frac{\rho v}{R^2}$$

Dengan R^2 adalah jari-jari bumi maka persamaan ini menunjukkan bahwa percepatan gravitasi dipermukaan bumi akan dipengaruhi oleh bentuk bumi (jari-jari bumi yang bervariasi) dan massa bumi yang mencakup lapisan mantel dan inti bumi yang akan memberikan pengaruh yang sangat besar, dan lapisan kerak bumi yang akan memberikan pengaruh hanya sebesar 0,3% yang 15% darinya berasal dari bagian kerak 5 km teratas (Rosid, 2005), dan ketika bumi diasumsikan berbentuk bulat sempurna tidak berotasi dan homogen maka percepatan gravitasinya akan konstan.

3.1.3 Potensial Gravitasi

Suatu massa dalam suatu ruang akan menimbulkan medan potensial disekitarnya. Medan potensial untuk gaya berat bersifat konservatif yang artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gayaberat tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya akan bergantung pada posisi awal dan posisi akhirnya (Retnowati, 2006).

Persamaannya diberikan sbb:

$$\Delta U(r) = F(r) / m_2 = g(r)$$

Maka potensial gaya berat U dipermukaan, dengan asumsi bumi bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari R akan diberikan oleh:

$$U(r) = \int_{\infty}^R g \cdot dr = -\gamma M \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = \gamma \frac{M}{R}$$

3.2 Koreksi dalam Metode Gravitasi

Seperti yang telah kita pelajari sebelumnya bumi terbentuk sekitar 12 milyar tahun yang lalu hanya berupa bola yang terbentuk dari batuan yang melebur. Secara bertahap batuan-batuan di permukaan mendingin membentuk lapisan luar yang keras atau kerak bumi, namun dibawah kulit tipis bumi ini terdapat lapisan mantel yang tersusun dari mineral-mineral seperti magnesium dan besi serta batuan lebur yang disebut magma, kemudian jauh kedalamnya lagi kita dapati inti bumi yang suhunya mencapai 5000° Celsius (Malam, 2001).

Selain itu bumi juga berotasi, dan berevolusi dalam sistem matahari. Efek dari pergerakan rotasi bumi ini maka bumi yang diasumsikan bulat akan mengalami *flatten* atau bentuknya *ellips*, yang terjadi akibat adanya keseimbangan gaya gravitasi dan gaya sentrifugal dari efek gerakan rotasinya, sehingga akan mempengaruhi adanya variasi jari-jari bumi yang akhirnya juga akan menjadi salah satu faktor adanya variasi percepatan gravitasi dari kutub ke ekuator, jari-jari ekuator akan lebih besar dari jari-jari kutub sehingga nilai percepatan gravitasi di kutub akan lebih tinggi dari nilai gravitasi di ekuator.

Asal-usul dan konfigurasi pembentukan bumi baik itu struktur, komposisi, evolusi dan deformasi bumi, adanya variasi temperatur dalam bumi (*Gradient thermal*) menyebabkan terjadinya arus konveksi dalam bumi yang mana arus konveksi ini akan menyebabkan terjadinya pergerakan lempeng-lempeng atau lapisan kerak bumi (Teori Pergerakan Lempeng). Dinamika pergerakan lempeng inilah yang nantinya akan mengakibatkan tidak rata permukaan hingga bawah permukaan bumi.

Karena beberapa asumsi dan fakta tersebut diatas disimpulkan bahwa pada kenyataannya, bumi tidak bulat sempurna bahkan cenderung mendekati bentuk *spheroid*, relief permukaannya tidak rata, berotasi dan ber-revolusi dalam sistem matahari serta tidak homogen, sehingga variasi gaya berat di setiap titik di permukaan bumi akan tidak konstan dan dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya (Telford et al, 1976):

1. Lintang
2. Ketinggian
3. Topografi
4. Pasang surut
5. Variasi densitas bawah permukaan

Sehingga dalam perhitungan pengukuran nilai gravitasi ($g_{observe}$), perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai gravitasi dari target bawah permukaan yang kita inginkan ($g_{Bouguer}$) yaitu nilai gravitasi yang hanya dipengaruhi oleh variasi massa dibawah permukaan. Sehingga untuk mendapatkan nilai $g_{Bouguer}$ ini, pengaruh empat faktor lainnya harus dikoreksi atau dihilangkan dari harga pembacaan alat ($g_{observe}$).

Berikut ini merupakan koreksi koreksi yang dilakukan dalam metoda gravitasi :

1. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)
2. Koreksi Alat (*Drift Correction*)
3. Koreksi Lintang dan Bujur (*Latitude Correction*)
4. Koreksi Lokasi (*Free Air Correction*)
5. Koreksi Massa Batuan (*Rock Density Correction*)
6. Koreksi Medan Pengukuran (*Terrain Correction*)

3.2.1 Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Yaitu salah satu koreksi yang perlu dilakukan untuk menghilangkan efek dari terjadinya pasang-surut muka air laut yang terjadi akibat tarikan gravitasi bulan yang pada suatu posisi tertentu tarikan atau gravitasi dari bulan ini menyebabkan muka air laut dan mantel/inti bumi akan lebih condong ke posisi dimana bulan berada, sedangkan bahwa dalam sehari terjadi dua kali pasang yaitu pasang naik dan pasang surut. Gravitasi bulan menarik air di samudra ke arahnya gravitasi tersebut menyebabkan terbentuknya tonjolan air pada sisi bumi yang paling dekat ke bulan dan pada sisi bumi yang berlawanan. Tonjolan air tersebut mengikuti bulan yang berputar mengelilingi bumi dan menyebabkan terjadinya pasang.



Gambar 3.1: Pengaruh gravitasi bulan terhadap bumi

Koreksi ini perlu dilakukan karena posisi bulan dan matahari dapat mempengaruhi pembacaan anomali gayaberat dipermukaan. Sehingga dilakukan koreksi dengan cara:

$$Um = G(r) \left(\frac{c}{R} \right)^3 \left[3 \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta \right) \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \phi \right) \sin 2\phi \sin \delta \cos t + \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2t \right]$$

Dimana: ϕ : Lintang

δ : Deklinasi

t : sudut waktu bulan

c : Jarak rata-rata ke bulan

3.2.2 Koreksi Apung (*Drift Correction*)

Koreksi yang perlu dilakukan untuk menghilangkan efek dari terjadinya perbedaan pembacaan anomali gayaberat di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda karena adanya perubahan harga pegas alat yang memang sangat sensitif yang mungkin terjadi selama perjalanan. Untuk menghilangkan efek ini dilakukan pengukuran dengan desain lintasan tertutup sehingga besarnya penyimpangan dapat diketahui dan diasumsikan linear pada selang waktu tertentu. Koreksi ini dilakukan dengan cara:

$$D_n = \frac{g_{akhir} - g_o}{t_{akhir} - t_o} (t_n - t_o)$$

dimana :

D_n : koreksi drift pada titik n

g_{akhir} : pembacaan gravimeter pada akhir looping

g_o : pembacaan gravimeter pada awal looping

t_{akhir} : waktu pembacaan pada akhir looping

t_o : waktu pembacaan pada awal looping

t_n : waktu pembacaan pada stasiun n

3.2.3 Koreksi Udara Bebas (*Free-Air Correction*)

Koreksi ini merupakan koreksi yang dilakukan karena adanya pengaruh variasi ketinggian terhadap medan gravitasi bumi sehingga perlu dilakukan penarikan titik pengukuran gravitasi ke standar permukaan yaitu Spheroid referensi, yang dilakukan untuk menarik bidang pengukuran agar kondisinya sama dengan di spheroid.

Koreksi ini dilakukan dengan asumsi bahwa harga gravitasi teoritis pada ketinggian (h) dari *mean sea level* akan selalu berkurang atau bertambah sebesar $FAC = -0.3086 h \text{ mGal}$ (Rosid, 2005)

Nilainya ditambahkan ketika bidang atau titik pengukuran kita lebih tinggi (diatas bidang spheroid) yang artinya nilai gravitasi di spheroid akan lebih besar dibandingkan nilai gravitasi di titik pengukuran kita maka sebagai konsekuensinya kita perlu menambahkan atau memperbesar nilai gravitasi di bidang pengukuran kita agar sama dengan nilai gravitasi di spheroid. Begitu juga sebaliknya nilainya dikurangkan ketika titik pengukuran kita lebih rendah (dibawah bidang spheroid) yang artinya nilai gravitasi di bidang di spheroid akan lebih kecil dibandingkan nilai gravitasi di titik pengukuran kita maka sebagai konsekuensinya kita perlu mengurangkan nilai gravitasi di bidang pengukuran kita agar sama dengan nilai gravitasi di spheroid.

3.2.4 Koreksi Bouguer (*Rock Density Correction*)

Koreksi Bouguer ini dilakukan untuk menghilangkan efek tarikan suatu massa atau material batuan yang berada diantara titik pengamatan dan titik acuan (*mean sea level*) dengan asumsi lapisan batuan tersebut berupa slab yang tak berhingga, sehingga besarnya diberikan adalah:

$$BC = 2\pi G\rho_r h$$

dimana :

G : $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ (konstanta gravitasi umum)

ρ_r : rapat massa batuan

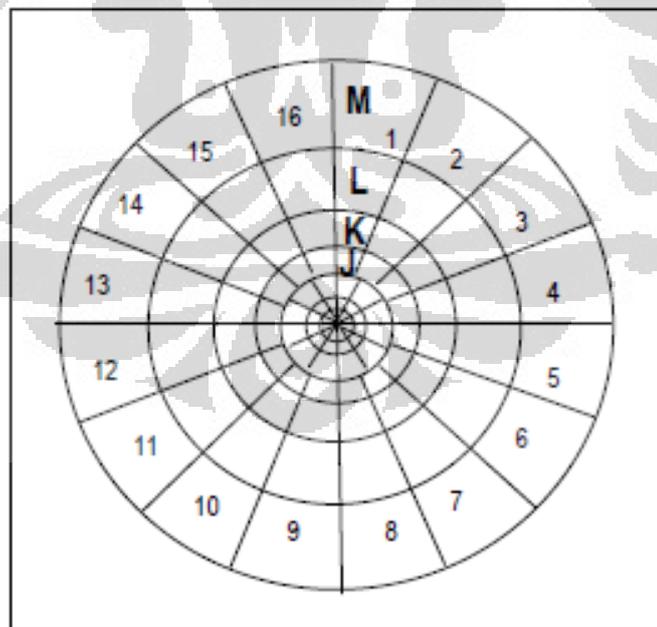
h : ketinggian stasiun pengukuran

Besar koreksi ini adalah :

$$BC = 0.04188 \text{ ph mGal}$$

3.2.5 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk memflatkan bidang pengukuran, karena pada kenyataannya permukaan bumi tidaklah rata atau datar tetapi berundulasi sesuai dengan topografinya. Perhitungan koreksi medan ini dilakukan dengan menggunakan Hammer Chart seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Hammer Chart yang digunakan untuk menghitung koreksi medan

(Pertamina, 2010)

Berdasarkan besarnya radius dari titik pengukuran gayabarat, Hammer Chart tersebut dapat dikelompokkan menjadi:

1. Inner Zone

Memiliki radius yang tidak terlalu besar sehingga bisa didapatkan dari pengamatan langsung di lapangan. Inner zone ini dapat dibagi menjadi beberapa zona:

-Zona B : radius 6,56 ft dan dibagi menjadi 4 sektor

-Zona C : radius 54,6 ft dan dibagi menjadi 6 sektor

2. Outer Zone

Memiliki radius yang cukup jauh, sehingga biasanya perbedaan ketinggian dengan titik pengukuran gravity menggunakan analisa peta kontur. Outer zone dibagi menjadi beberapa zona:

-Zona D : radius 175 ft dan dibagi menjadi 6 sektor.

-Zona E : radius 558 ft dan dibagi menjadi 8 sektor.

-Zona F : radius 1280 ft dan dibagi menjadi 8 sektor.

-Zona G : radius 2936 ft dan dibagi menjadi 12 sektor.

-Zona H : radius 5018 ft dan dibagi menjadi 12 sektor.

-Zona I : radius 8575 ft dan dibagi menjadi 12 sektor.

-Zona J : radius 14612 ft dan dibagi menjadi 12 sektor.

-Zona K sampai M, masing-masing dibagi menjadi 12 sektor.

Untuk menghitung koreksi medan pada tiap sektor dengan menggunakan persamaan:

$$TC = 0,04191 \frac{\rho}{n} r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2}$$

Selanjutnya koreksi medan pada setiap stasiun pengukuran gayaberat adalah total dari koreksi medan (TC) sektor-sektor dalam satu stasiun pengukuran tersebut.

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Anomali Gaya Berat (Bouguer Anomaly)

Dalam studi ini analisa dilakukan pada data gayaberat (gravity) dari anomali Bouguer lengkap (Complete Bouguer Anomaly). Untuk setiap stasion, anomalnya diturunkan dengan menggunakan formula atau persamaan sebagai berikut:

$$CBA = g_{obs} - g_e \pm FAC \mp BC + TC$$

dimana :

g_{obs} = Gayaberat pengamatan, Harga g_{obs} adalah harga pengukuran gayaberat

g_e = Gaya berat ellipsoid (koreksi spheroid dan geoid)

FAC = koreksi free-air yang diberikan oleh 0.3045/m (mGal) dan untuk stasiun diatas muka laut rata-rata, koreksinya akan bernilai positif.

BC = koreksi Bouguer yang diberikan oleh $2\pi G\rho h$ (mGal), dimana G adalah konstanta gayaberat umum, ρ rapat massa (density), dan h adalah ketinggian stasion.

TC = koreksi medan (terrain correction)

Setelah koreksi-koreksi ini dilakukan, berdasarkan persamaan diatas maka akan kita dapatkan nilai anomali Bouguer. Anomali Bouguer atau anomali gravitasi yaitu adanya suatu gangguan pada medan gravitasi bumi yang disebabkan oleh suatu sumber yang merupakan suatu zona massa dibawah permukaan bumi. Anomali Bouguer ini merupakan nilai gravitasi yang sudah

dikoreksi sehingga merupakan nilai gravitasi yang diakibatkan oleh adanya pengaruh massa dibawah permukaan bumi, tetapi perlu diingat bahwa anomali ini masih mengandung anomali yang terjadi karena sumber anomali “benda-benda” regional dan “benda-benda” residual oleh karenanya untuk mendapatkan target pengukuran dengan baik perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali residualnya.

Data anomali Bouguer yang biasa disebut CBA (Complete Bouguer Anomaly) ini kemudian digrid, proses *gridding* ini merupakan proses digitasi sinyal perbedaan nilai gayaberat pada interval jarak yang sama, dengan amplitudo sinyalnya adalah perbedaan nilai gayaberat (Retnowati 2006). Kemudian data yang sudah digrid dibuat menjadi peta kontur anomali gayaberat dengan interval kontur 0.5 mGal. Proses *gridding* dan pembuatan kontur ini dilakukan dengan menggunakan software Surfer9.

3.3.2 Analisa Spektrum

Sebelum melakukan proses filtering atau pemisahan anomali regional-residual perlu dilakukan proses Analisa spektrum yaitu suatu proses yang dilakukan untuk melakukan estimasi kedalaman suatu anomali gayaberat dan menentukan lebar jendela (*window*) filter yang dianggap paling baik untuk digunakan dalam pemisahan anomali regional-residual pada daerah penelitian.

Dalam analisa spektrum dilakukan proses transformasi Fourier (transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi) untuk mengubah suatu signal menjadi penjumlahan beberapa signal sinusoidal dengan berbagai frekuensi. Hasil dari transformasi ini akan berupa *spektrum amplitude* dan *spektrum phase*, melalui transformasi Fourier nilai gayaberat ini kita dapat memperkirakan kedalaman dengan mengestimasi nilai bilangan gelombang (k) dan amplitude (A) yang dapat digunakan untuk menghitung lebar jendela filter yang selanjutnya dijadikan sebagai input data dalam proses filtering, pemisahan anomali regional dan residual seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Pada penelitian ini proses transformasi Fourier (transformasi dari domain waktu kedalam domain frekuensi) dilakukan dengan menggunakan software Grav-Fluid Technology.

Blakely (1995) menurunkan spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal.

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{k(z_0-z')}}{|k|}$$

Berdasarkan kedua persamaan diatas maka diperoleh:

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{k(z_0-z')}}{|k|}$$

Sehingga transformasi fourier anomali gayaberat pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \rightarrow F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{k(z_0-z')}$$

dimana:

g_z = anomali gayaberat

k = bilangan gelombang

Z_0 = ketinggian titik amat

Z = kedalaman benda anomali

Bila distribusi densitas bersifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat maka $\mu = 1$, sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi:

$$A = Ce^{k(z_0-z')}$$

dimana:

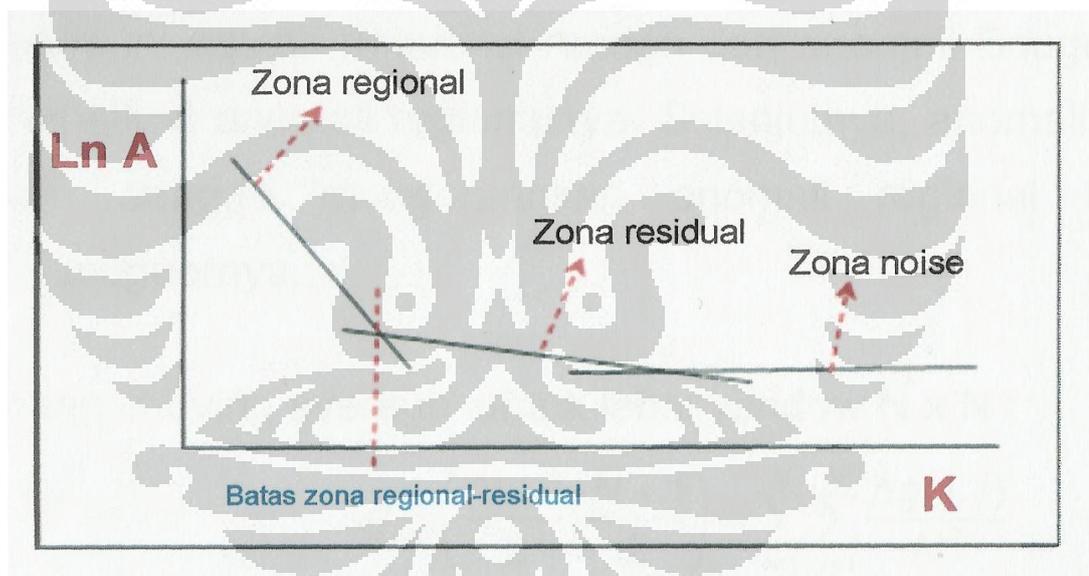
A = amplitude

C = konstanta

Selanjutnya dengan melogaritmakan hasil transformasi Fourier tersebut diatas, maka akan diperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z'$):

$$\ln A = (z_0 - z')|k|$$

Hasil logaritma ini menunjukkan bahwa kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas rapat massa akan berbanding dengan kemiringan grafik spektrum. Kemudian dari hubungan itu pula, dengan menggunakan metode least square, maka estimasi kedalaman anomali adalah gradien dari masing-masing grafik spektrum pada tiap lintasan. Ilustrasi penentuan kedalaman proses regresi data logaritma hasil transformasi Fourier ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 : Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman sumber anomali (Pertamina, 2010).

3.3.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Tujuan dari proses ini adalah untuk memisahkan anomali gayaberat Bouguer menjadi efek gayaberat dangkal (*shallow*) dan dalam (*deep*). Efek dangkal diperlihatkan oleh anomali residual sedangkan efek dalam diperlihatkan oleh anomali regional.

Pada dasarnya anomali gayaberat yang terukur di permukaan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang berada dibawah permukaan dimana salah satunya merupakan target “*event*” dari eksplorasi. Pada penelitian ini target “*event*” adalah anomali regional sehingga untuk mencapai target ini maka target ini perlu dipisahkan dari “*event*” lainnya yaitu dari anomali residual atau bahkan dari *noise*-nya. Pada umumnya *noise* akan mempunyai lebar anomali yang lebih kecil dibandingkan dengan anomali residual, sedangkan anomali regional lebar anomalnya akan lebih besar daripada anomali residualnya.

Dalam penelitian ini teknik pemisahan regional dan residualnya dilakukan dengan *moving average window filter* yaitu merupakan suatu metode atau teknik pemisahan yang jika dianalisis dari spektrumnya akan menyerupai *low-pass filter* sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali Bouguer yang akan merepresentasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Karena seperti yang kita ketahui bahwa frekuensi rendah ini dapat berpenetrasi lebih dalam. Selanjutnya anomali residual didapatkan dengan cara mengurangi anomali regional dari anomali Bouguernya.

Persamaan moving average untuk lebar window $N \times N$ adalah:

$$\Delta g_{\text{regional}} \left(\frac{N+1}{2}, \frac{N+1}{2} \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\Delta g(i, j)}{N^2}$$

dan untuk anomali residualnya adalah:

$$\Delta g_{\text{residual}}(i, j) = \Delta g(i, j) - \Delta g_{\text{regional}}(i, j)$$

dan estimasi lebar window-nya didapatkan dari:

$$n = \frac{2\pi}{\Delta S \cdot k_c}$$

dimana:

ΔS = grid-spacing

k_c = reg-res cut-off frequency

Berdasarkan karakter spektrum dari filter ini, lebar *window* $N \times N$ berbanding langsung dengan *low-cut* dari panjang gelombang atau *high-cut* frekuensi spasial dari *low-pass filter*, sehingga dengan bertambahnya lebar *window* akan menyebabkan bertambahnya panjang gelombang regional *output*. Dengan kata lain, lebar *window* terkecil menyebabkan harga regionalnya mendekati anomali Bouguernya.

Setelah didapatkan estimasi kedalaman anomali regional-residual dan lebar jendela yang bisa digunakan untuk memisahkan kedua anomali ini maka akan didapatkan peta anomali regional dan peta anomali residual yang pengkonturannya juga dilakukan dengan menggunakan software Surfer9.

3.3.4 Profil Bawah Permukaan dengan Forward Modeling

Forward modeling adalah suatu metode interpretasi yang diturunkan dengan *fitting* antara anomali Bouguer lapangan dan anomali kalkulasi yang modelnya dikembangkan dengan tiga step yaitu kalkulasi anomali dari model, perbandingan anomali kalkulasi dengan anomali lapangan, dan pengaturan model yang dilakukan untuk meningkatkan perbandingannya. Dalam tahap ini dibutuhkan informasi geologi dan data sumur (jika ada) dari daerah studi sehingga dapat dengan baik merekonstruksi model bawah permukaannya.

Forward modeling ini dilakukan untuk melihat kesesuaian antara peta distribusi kontras rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$ dengan penampang model bawah permukaan berdasarkan data anomali Bouguer.

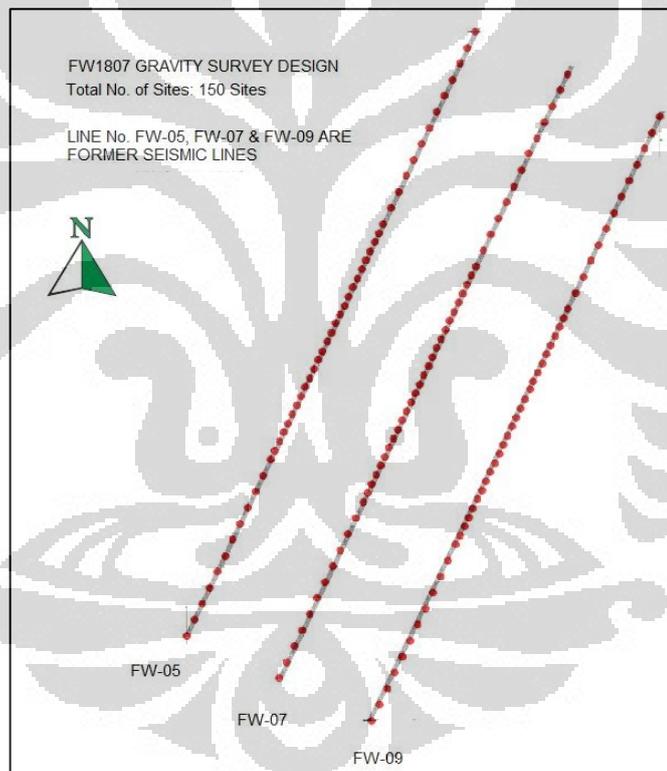
Dalam penelitian ini akan dilakukan 3 pemodelan gayaberat *forward modeling* dengan menggunakan struktur dan litologi yang berbeda yaitu model struktur dan litologi intrusi batuan beku, *shale diaper* dan *reef (Carbonates build-up)*. Pemodelan ini nantinya akan dilakukan dengan menggunakan software Grav2D. prinsip pemodelan dengan software ini adalah membuat model bawah permukaan dengan kontras rapat massa tertentu mulai dari kedalaman 0 kilometer hingga suatu kedalaman tertentu.

Respon dari model ini adalah anomali gayaberat model yang disebut sebagai *G-Calculated*. Model bawah permukaan yang dibuat diatur sedemikian rupa berdasarkan data yang ada agar anomali gayaberat model ini sesuai dengan anomali penampang dari pengukuran di lapangan atau yang disebut sebagai *G-observed*. Maka nantinya parameter yang digunakan dalam menentukan baik atau tidaknya suatu pemodelan gayaberat adalah dengan melihat error dari *match* kurva antara kurva *G-Calculated* terhadap *G-Observed*. Nilai error yang bisa ditoleransi adalah $< 10\%$.

BAB IV

HASIL PENGOLAHAN DATA & PEMBAHASAN

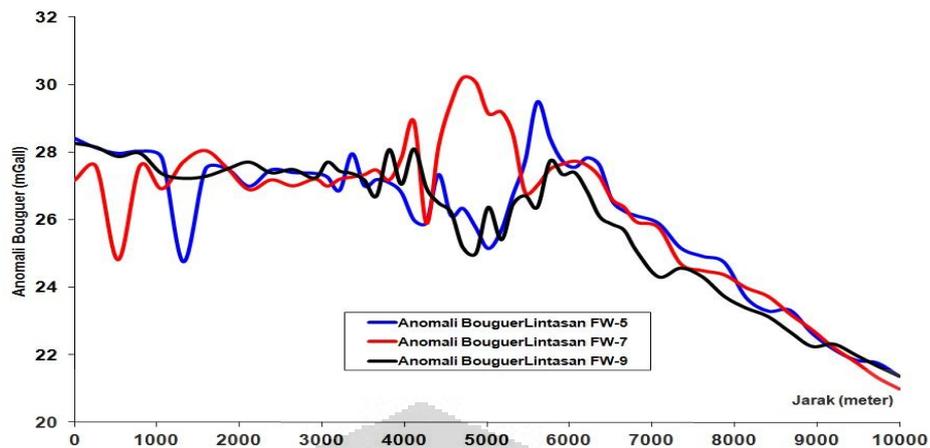
Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dari data CBA (Complete Bouguer Anomali) dari tiga lintasan pengukuran yaitu lintasan FW-5, FW-7 dan FW-9. Data yang digunakan ini berupa data nilai anomali Bouguer di tiap stasiun pengukuran, jarak antar titiknya dan data ketinggian (elevasi). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya lintasan ini merupakan lintasan yang juga merupakan lintasan pengukuran dengan menggunakan metode seismik dan *Magnetotelluric* (Gambar 4.1).



Gambar 4.1: *Lay-out* desain pengukuran survei gayabarat

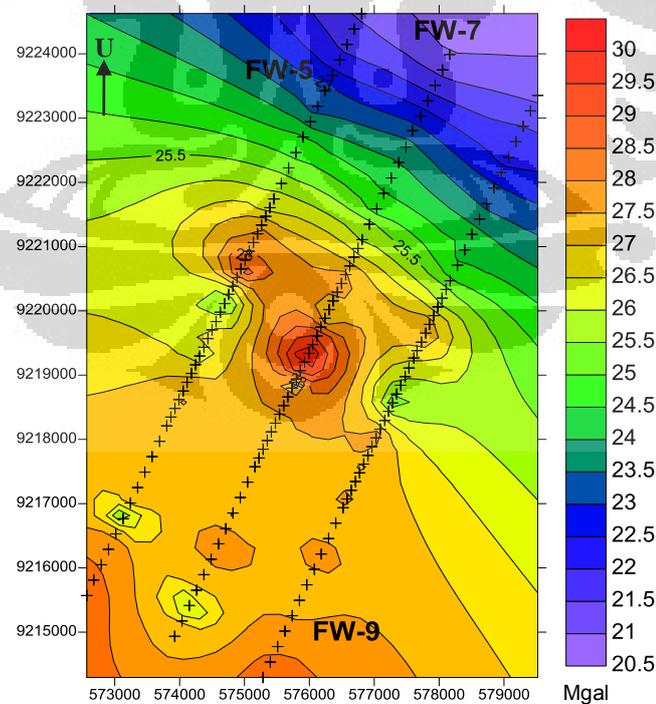
4.1 Peta Anomali Gaya Berat Bouguer

Nilai anomali Bouguer untuk tiap titik pengukuran pada tiap lintasan, yang nilainya terlampir pada Lampiran IV-1, kemudian diplot terhadap jarak tiap titik yang sebenarnya dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik nilai anomali Bouguer terhadap jarak lintasannya

Untuk mempermudah data anomali gayaberat (*Complete Bouguer Anomaly*) dari tiga lintasan tersebut kemudian di visualisasikan dalam bentuk Peta Anomali Gayaberat Bouguer yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Pada peta tersebut daerah penelitian ini mencakup luas area sekitar 10 x 6 kilometer dengan spasi (gridding) antar titik pengukuran 250 m. dengan interval kontur yang digunakan adalah 0.5 mGal.



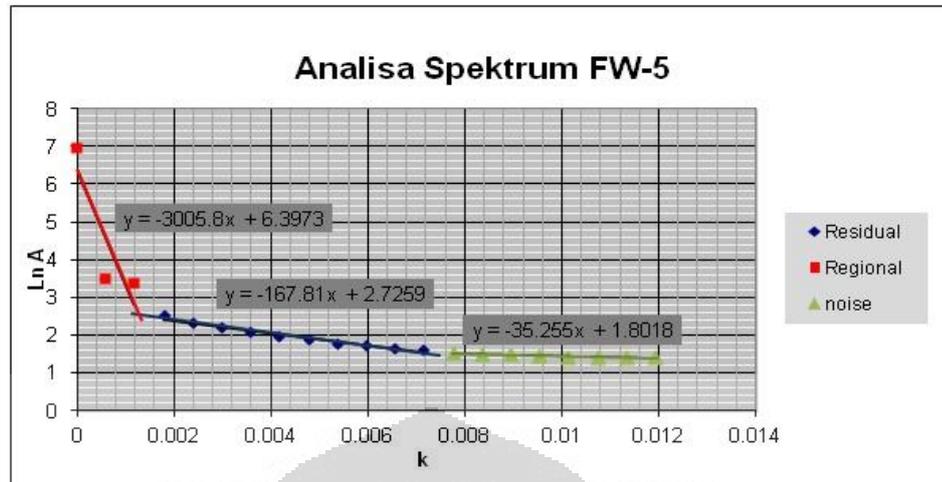
Gambar 4.3: Peta anomali gayaberat Bouguer beserta lintasan pengukuran gayaberatnya

Berdasarkan peta anomali Bouguer ini dapat kita lihat bahwa nilai anomali pada area pengukuran berkisar mulai 20.5 mGal hingga 30 mGal. Bagian yang paling menarik atau *zone of interest* pada penelitian ini adalah zona yang terletak pada bagian tengah daerah penelitian yaitu suatu area pada peta anomali Bouguer (Gambar 4.3) dimana terdapat suatu *closure* kontur dengan nilai anomali tertinggi yaitu 30 mGal. Pada kondisi geologinya bagian ini merupakan bagian dari perbukitan Kawengan yaitu perbukitan yang merupakan antiklin yang memanjang dari barat ke timur sepanjang 2 sampai 3 kilometer.

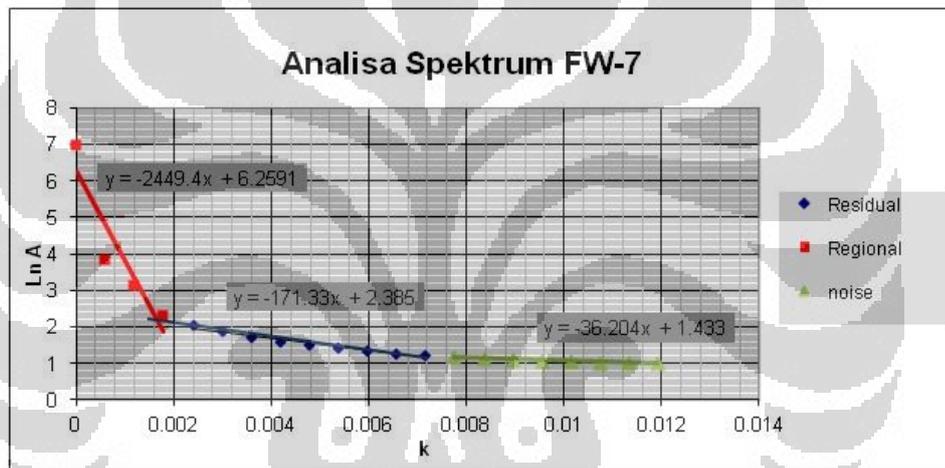
4.2 Analisa Spektrum Gaya Berat

Tahapan yang berikutnya adalah tahap analisa spektrum, pada umumnya peran utama analisa spektrum adalah digunakan untuk menentukan lebar jendela *window* yang akan digunakan dalam pemisahan anomali regional-residual namun pada penelitian ini analisa spektrum dilakukan lebih untuk mengetahui kedalaman basement serta pola anomali regional dan residual, sehingga nantinya juga akan membantu dalam menentukan pemodelan yang akan dilakukan.

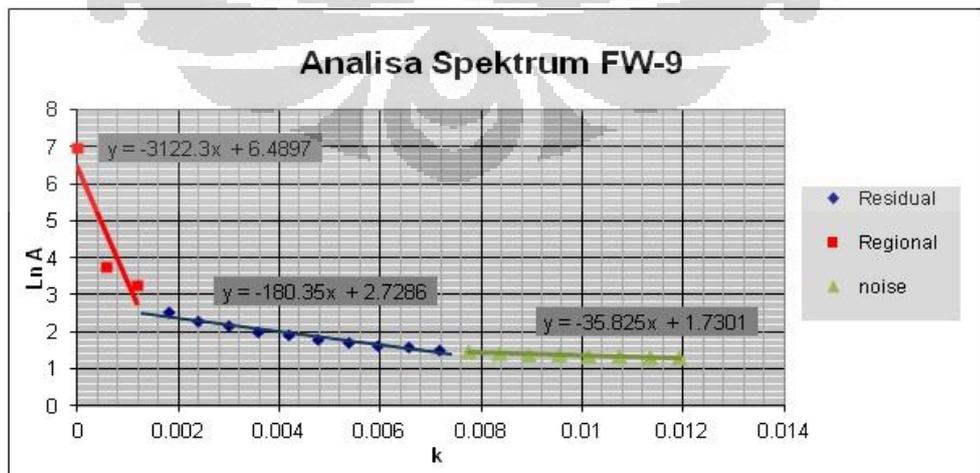
Gambar 4.4 adalah hasil grafik analisa spektrum yang memperlihatkan *trend* regional dan *trend* residual untuk tiap lintasan. Kemudian estimasi nilai kedalaman anomali regional (basement) dan residual untuk tiap lintasan serta perhitungan lebar jendela yang digunakan dalam proses *filtering* atau pemisahan anomali regional-residual akan ditunjukkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.4a: Trend regional dan residual hasil analisa spektrum pada Lintasan FW-5



Gambar 4.4b: Trend regional dan residual hasil analisa spektrum pada Lintasan FW-7



Gambar 4.4c: Trend regional dan residual hasil analisa spektrum pada Lintasan FW-9

Tabel 4.1 : Hasil perhitungan analisa spektrum untuk tiap lintasan

Lintasan	Trend Regional		Trend Residual		Cut off-k	Lebar Jendela Filter
	Y1 = m1 X+c		Y2 = m2 X+c			
	m1(meter)	c1	m2(meter)	c2		
FW-5	-3,005.80	6.40	-167.81	2.73	0.0014	17.94
FW-7	-2,449.40	6.26	-171.33	2.39	0.0017	14.78
FW-9	-3,122.30	6.49	-180.35	2.73	0.0013	19.32
Rata-rata	-2,859.17		-173.16			17.35

Berdasarkan hasil perhitungan analisis spektrum di area lapangan “FW1807” ini maka dapat kita simpulkan bahwa kedalaman rata-rata anomali regional (basement) berada pada kedalaman sekitar 3000 km. dan kedalaman anomali residualnya zona sekitar 200 m dari permukaan yang diasumsikan merupakan zona pelapukan (*weathering zone*). Sementara ini didapati adanya kesesuaian antara hasil estimasi kedalaman basement yang dilakukan pada tahap analisa spektrum ini dengan posisi (kedalaman) basement pada beberapa penampang seismik didaerah penelitian.

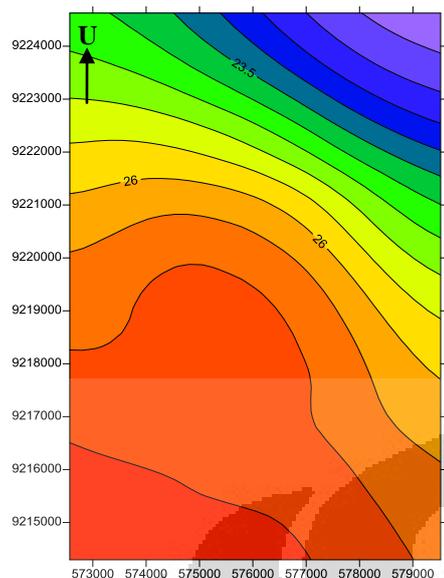
Lebar jendela filter yang dianggap paling baik untuk digunakan dalam memisahkan zona anomali regional-residual pada penelitian ini adalah $17.35 \approx 17$, yang dihitung berdasarkan nilai cut-off bilangan gelombang k dari hasil perpotongan antara trend anomali regional dengan trend anomali residualnya. Oleh karena spasi grid yang digunakan adalah 250 m, maka ukuran jendela filter untuk memisahkan antara anomali regional dan anomali residual adalah 17 X 17.

4.3 Peta Anomali Regional & Residual

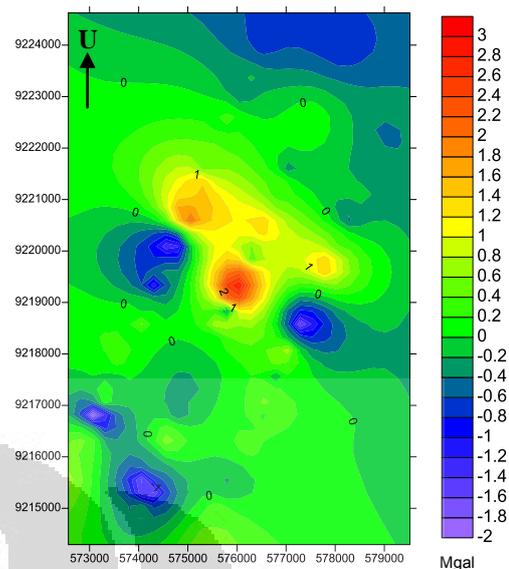
Berdasarkan peta anomali gayabernya, pada penelitian ini kita dapati bahwa anomali gayabern regional ini akan berasosiasi dengan keberadaan sumber anomali yang kedalamannya relatif lebih dalam. Berdasarkan hasil analisa spektrum dari ketiga lintasan tersebut menunjukkan bahwa kedalaman rata-rata sumber anomali yang sifatnya regional didaerah penelitian adalah berada pada kedalaman sekitar 3 km. Sedangkan anomali gayabern residual akan berasosiasi dengan sumber anomali yang memiliki kedalaman relatif lebih dangkal yaitu pada kedalaman rata-rata sekitar 200 meter.

Disesuaikan dengan estimasi kedalaman regional-residual hasil analisa spektrum tersebut, maka pemisahan anomali regional-residual yang terkandung dalam anomali Bouguer ini didapatkan setelah kita melakukan proses filtering dengan menggunakan lebar jendela filter ukuran 17 x 17, nantinya lebar jendela 17 x 17 ini akan menggambarkan kondisi bawah permukaan pada kedalaman sekitar 3000 meter pada peta anomali regional dan kedalaman sekitar 200 meter hingga ke permukaan pada peta anomali residual.

Peta anomali regional yang didapatkan dari hasil filtering ini ditunjukan pada Gambar 4.5. Sedangkan anomali residual didapatkan dari pengurangan nilai anomali Bouguer dengan anomali regionalnya, Peta anomali residual dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.



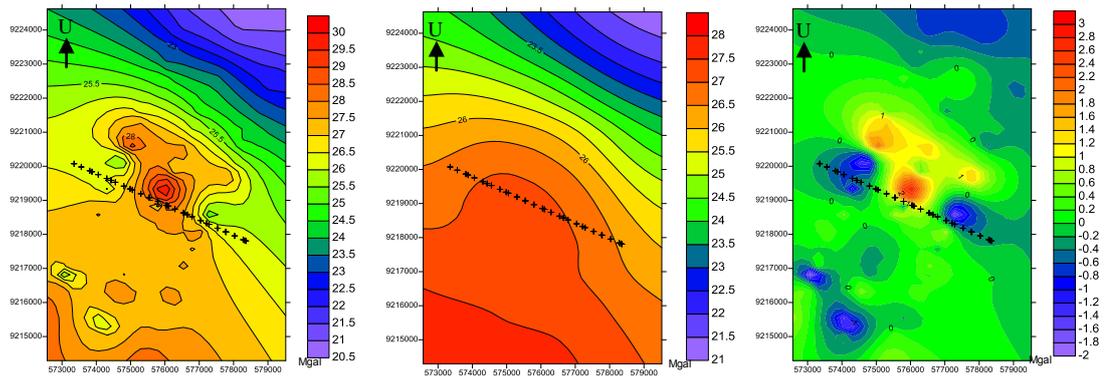
Gambar 4.5: Peta anomali gayaberat regional



Gambar 4.6: Peta anomali gayaberat residual

Secara keseluruhan besarnya nilai anomal Bouguer pada peta anomali regional berkisar antara 21-28 mGal. dimana diperkirakan suatu sumber anomali yang berada mulai pada kedalaman regional inilah yang akan menjadi target pengukuran kita, sedangkan nilai anomali residualnya secara keseluruhan berkisar antara -2 hingga 3 mGal. Namun terlihat bahwa pola residual ini hampir menyerupai pola anomali Bouguer sehingga untuk memastikan dugaan kita akan keberadaan sumber anomali pada kedalaman regional, maka perlu dilakukan beberapa analisa untuk dapat memperkuat dugaan kita.

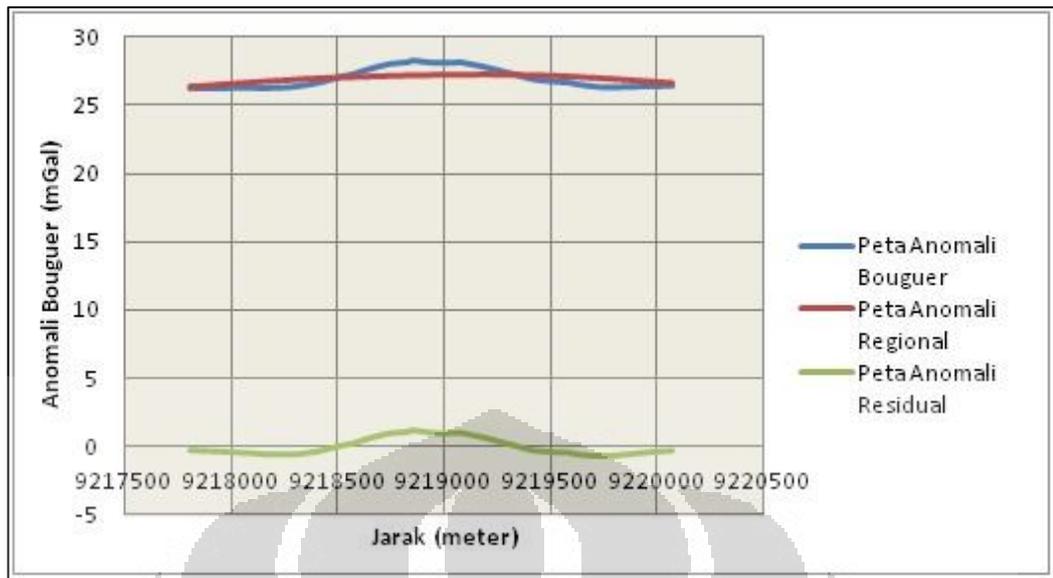
Kemudian untuk mulai menganalisa kondisi atau keberadaan benda anomali pada kedalaman 3000 m (kedalaman regional pada penelitian ini), diambil satu lintasan pada peta anomali Bouguer, regional dan residual yang dianggap merupakan zona representatif yaitu zona yang dianggap bisa menunjukkan adanya anomali (kontras densitas) untuk kemudian dilihat, dibandingkan dan dianalisa nilai anomali pada tiap lintasan tersebut. Penampang yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 4.7. Nilai-nilai anomali pada tiap lintasan ini dapat dilihat pada Lampiran IV-2.



Gambar 4.7: Lintasan yang akan dianalisa nilai anomalnya untuk mengkonfirmasi kondisi dan keberadaan sumber anomali pada kedalaman regional

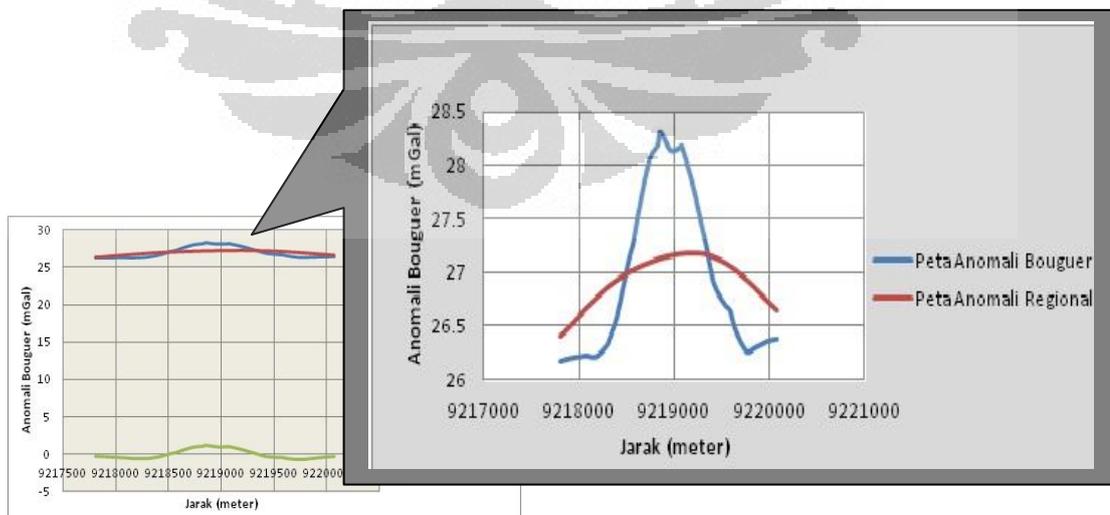
. Studi seismik yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa target struktur yang ingin dipetakan dan perlu dikonfirmasi kondisi dan keberadaannya adalah benda anomali yang berada pada kedalaman mulai 3000 m. seperti yang terlihat pada penampang seismik (Gambar 1.2) kemudian sebelum melakukan pemodelan atau proses yang lebih lanjut untuk memperkuat dugaan kita mengenai target pemetaan pada penelitian ini, dibuatlah sebuah kurva, plot antara nilai anomali bouguer terhadap jarak, hal ini dilakukan untuk memastikan keberadaan anomali, dan nantinya digunakan untuk menentukan zona yang dianggap paling baik untuk dimodelkan.

Sekilas ketika kita amati pada gambar Gambar 4.8 dibawah ini, maka kita dapati bahwa pola anomali residual menyerupai pola anomali Bouguernya, sehingga asumsi pertama adalah bahwa adanya anomali ini kemungkinan adalah anomali yang diakibatkan oleh sumber anomali residual bahkan dari Gambar 4.8 tersebut bisa diasumsikan juga, bahwa tidak ada benda atau sumber anomali pada kedalaman regional karena terlihat dari pola kurvanya yang flat-flat saja.



Gambar 4.8: Kurva plot nilai anomali Bouguer, anomali regional dan anomali residual pada satu lintasan

Hal ini tentu saja bertentangan dengan studi seismik dan pola yang ditunjukkan oleh peta anomali regional (Gambar 4.5) akan keberadaan benda anomali mulai pada kedalaman 3000 meter atau pada kedalaman regional gayaberat dalam penelitian ini. Akan tetapi ketika skalanya diperbesar yaitu dengan hanya melibatkan anomali Bouguer dan nilai anomali regional ternyata kita dapat adanya pola yang signifikan, yang menunjukkan keberadaan sumber anomali pada kedalaman tersebut (Gambar 4.9).

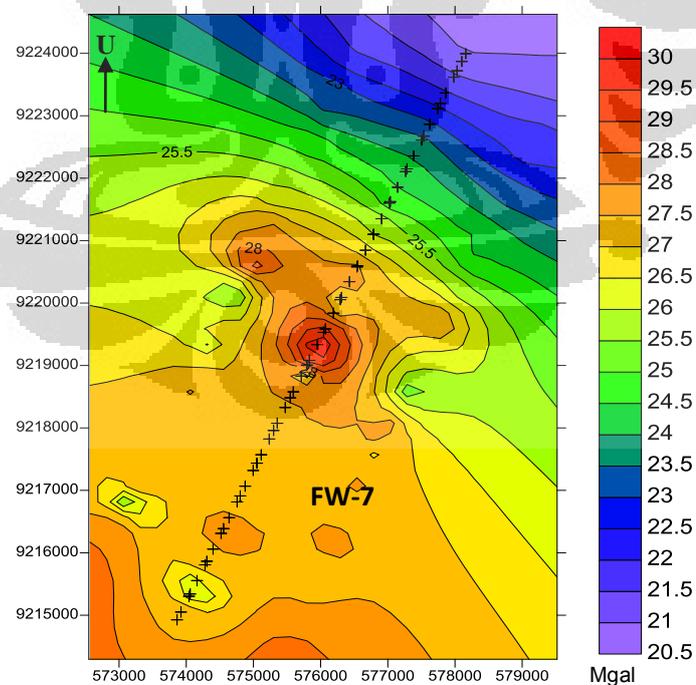


Gambar 4.9: Kurva plot nilai anomali Bouguer dan anomali regional satu lintasan

Dari Gambar 4.9 tersebut dapat disimpulkan bahwa tingginya nilai anomali bukan hanya terjadi akibat anomali residual melainkan adanya kontribusi dari benda anomali mulai pada kedalaman regional, sehingga berangkat dari asumsi tersebut, akan dilakukan pemodelan bawah permukaan dengan menggunakan *Gravity Forward Modeling*, untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan Lapangan “FW1807” berdasarkan data gayaberat dan untuk mengkonfirmasi kondisi struktur serta litologi bawah permukaan di area “FW1807” dengan melihat distribusi dan nilai densitasnya.

4.4 Gravity Forward Modelling

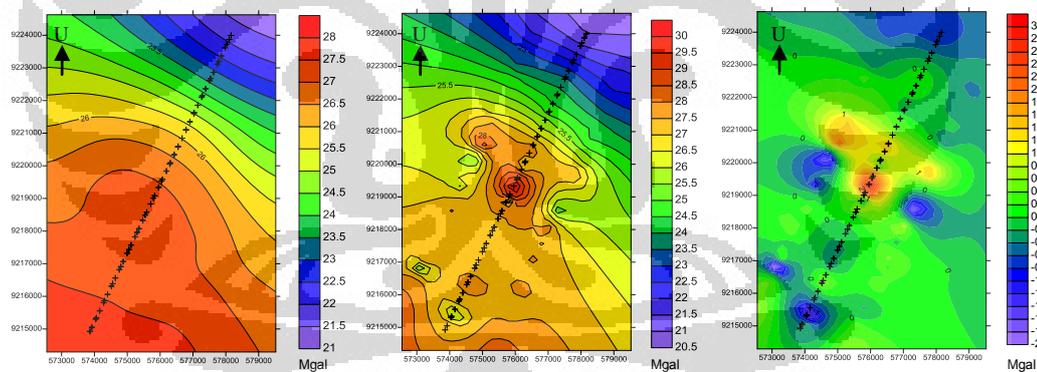
Profil model geologi bawah permukaan diperoleh melalui proses 2D *Forward Modelling* terhadap suatu lintasan pada peta anomali gayaberat Bouguer (Gambar 4.9). Lintasan ini dipilih karena dianggap paling bisa mewakili kondisi area yang kita inginkan dan menunjukkan kontras densitas yang paling baik, yaitu lintasan FW-7.



Gambar 4.10: Lintasan pada peta anomali Bouguer yang ditentukan untuk dilakukan pembuatan model geologi bawah permukaan “FW1807”

Pemodelan ini dilakukan pada nilai anomali Bouguer karena mengingat target undulasi yang akan kita petakan berada pada kedalaman regional (sekitar 3000 meter) sehingga untuk dengan baik memetakan kondisinya, pada pemodelan ini nilai regional tidak perlu dipisahkan. Pada Gambar 4.11 akan diperlihatkan lintasan yang akan dimodelkan diatas Peta anomali Bouguer, diatas peta anomali regional dan residual, karena pemodelan ini adalah pemodelan anomali Bouguer sehingga akan memberikan gambaran secara umum mengenai kondisi dari permukaan (kedalaman sumber anomali residual) hingga kedalaman 3000 (kedalaman sumber anomali regional) jadi akan melibatkan pola anomali regional dan residualnya.

Sekilas berdasarkan peta anomali Bouguer-regional-residual tersebut menunjukan bahwa secara umum gambaran awal kondisi bawah permukaanya dari selatan ke utara adalah dari tinggian di bagian selatan daerah penelitian menuju daerah rendahan di sebelah utara membentuk suatu sistem graben.

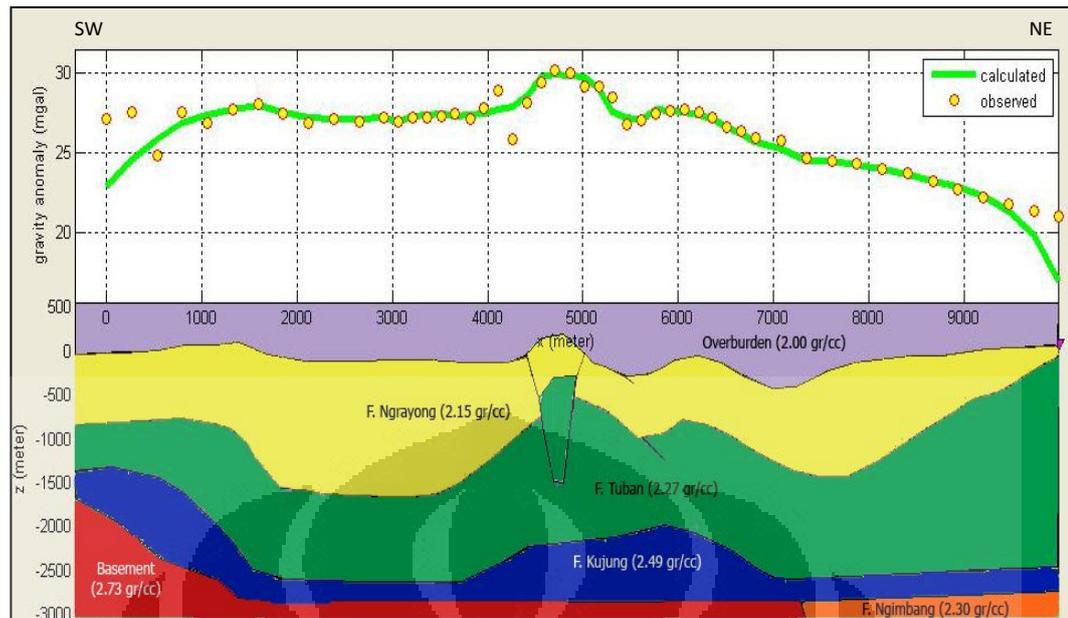


Gambar 4.11: Lintasan FW-7 diatas peta anomali regional-Bouguer-residual (kiri ke kanan)

Selanjutnya model geologi bawah permukaan berdasarkan data gayabarat ini akan dibuat dan mengacu pada kondisi geologi daerah penelitian. Pemodelan yang dibuat akan melibatkan batuan sedimen yang berdasarkan hasil tinjauan geologi, analisa spektrum dan beberapa penampang seismik diidentifikasi berada mulai pada kedalaman sekitar 3000 meter dengan nilai rapat massa rata-rata (2.73 gr/cc). Kemudian diatas basement ini diendapkan Formasi Ngimbang dengan nilai rapat massa rata-rata (2.30 gr/cc), disusul pengendapan Formasi Kujung (Terumbu Karbonat) dengan nilai rapat massa rata-rata (2.49 gr/cc) kemudian diatasnya lagi diendapkan Formasi Tuban (Tuban Shale) dengan nilai rapat massa rata-rata (2.27 gr/cc) yang litologinya didominasi oleh serpih dan kemudian bagian paling atas merupakan Formasi Ngrayong (Ngrayong Sand) dengan nilai rapat massa rata-rata (2.15 gr/cc) yang terdiri dari batupasir dan Formasi-Formasi yang umurnya lebih muda.

4.5 Profil Geologi Bawah Permukaan

Profil pemodelan dan respon kurva *G-calculated* terhadap *G-observe* pada pemodelan bawah permukaan lintasan FW-7 dapat kita lihat pada Gambar 4.12. Hasil pemodelan ini dibangun berdasarkan hasil distribusi nilai densitas yang membentuk struktur geologi bawah permukaan. Pemodelan ini dipilih dan dianggap merupakan model yang paling baik dan dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi struktur dan litologi bawah permukaan pada penelitian ini, terlihat dari respon *G-calculated* terhadap *G-observed* yang menunjukkan hasil *match kurva* yang sangat baik dengan nilai error 2,06 %.

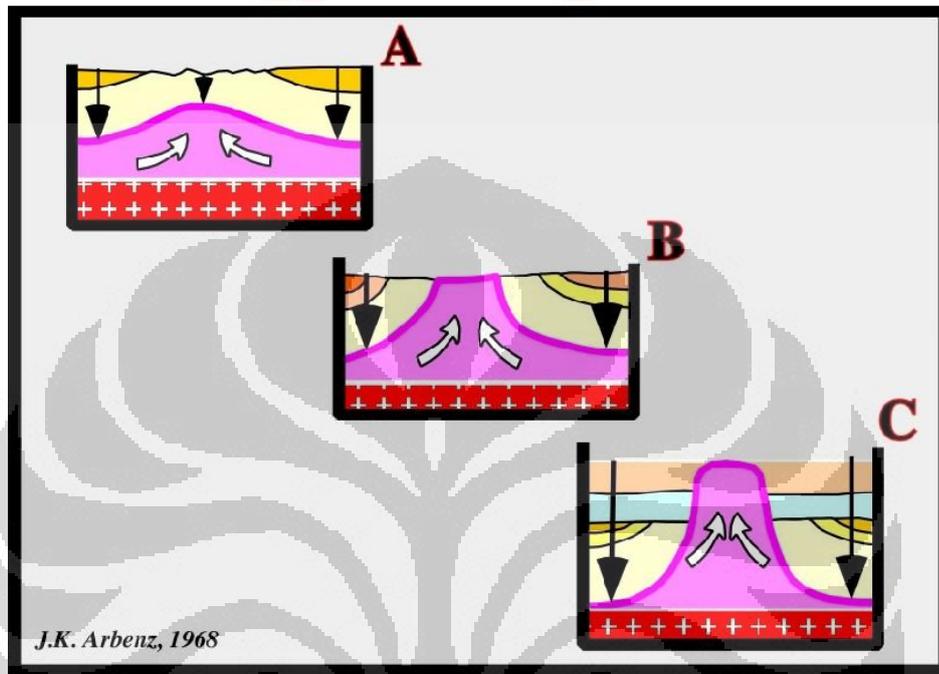


Gambar 4.12 : Profil geologi bawah permukaan berdasarkan data gayaberat pada lintasan FW-7

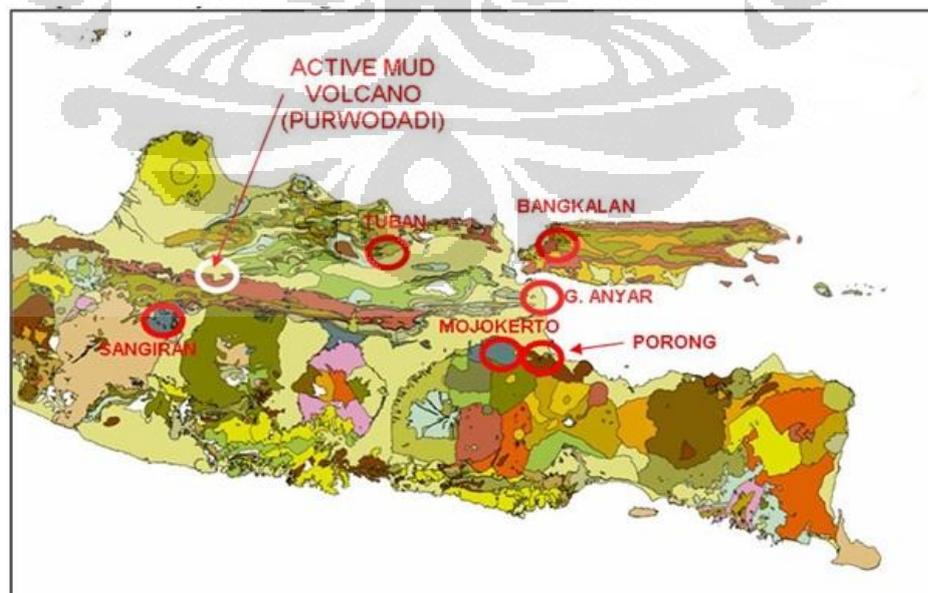
Pada pemodelan ini terlihat bahwa semua nilai anomali gayaberat (Bouguer anomali) ini terjadi akibat adanya kontribusi benda-benda anomali mulai dari kedalaman 3000 meter hingga permukaan. Lapisan yang paling bawah yang berada pada kedalaman 3000 meter merupakan batuan basement, kemudian di atasnya diisi dengan distribusi nilai densitas dari Formasi Kujung yang penyebarannya relative tipis namun di beberapa tempat menebal membentuk struktur undulasi dengan ketebalan sekitar 500-750 meter, penebalan distribusi dari Formasi Kujung ini diasumsikan merupakan terumbu karbonat yang secara umum bentuknya akan menyerupai undulasi dan secara geologi dan stratigrafi tumbuh dan menyebar dengan sangat baik di daerah Cepu terutama di daerah tinggian.

Kemudian di atas formasi Kujung disusul distribusi nilai densitas dari Formasi Tuban (Tuban Shale) yang pada suatu titik distribusinya ini membentuk struktur pembunguan yang kuat hingga kedalaman 1000 meter, adanya pembunguan ini diasumsikan sebagai indikasi atau dugaan awal akan keberadaan *shale diapir* (mud Vulkanos). Selain karena bentuk secara umum struktur *shale diapir* yang menyerupai undulasi (Gambar 4.13), kondisi geologi

didaerah Cekungan Jawa Timur ini memang sangat memungkinkan terbentuknya *shale diapir*, bahkan persebaran *shale diapir (mud vulcano)* di Jawa Timur ini dapat diamati pada Gambar 4.14.



Gambar 4.13 : Proses pembentukan fase diapirisma (Arbenz, 1968)



Gambar 4.14 : Persebaran mud-Vulkano di Jawa Tengah-Jawa Timur (Hall, 2005)

Gunung lumpur (mud Vulkano) merupakan fenomena geologi yang dihasilkan oleh adanya aliran fluida secara vertikal, fenomena ini umum terjadi pada cekungan-cekungan sedimentasi di seluruh dunia. Pembentukan gunung lumpur umumnya merupakan pelepasan sedimen lempung yang kaya dengan unsur organik dan mempunyai tekanan tinggi atau tekanan berlebih (*overpressure*). Biasanya dicirikan dengan adanya paket sedimen berdensitas rendah dikelilingi paket sedimen berdensitas lebih tinggi sehingga karena mengalami *overpressure* maka kondisi tersebut memungkinkan terbentuknya suatu bangunan gunung lumpur yang menyerupai undulasi. Sedangkan dari pemodelan ini juga menggambarkan dengan jelas adanya tekanan (*Pressure*) yang menyebabkan terbentuknya struktur pembumbungan tersebut. *Pressure* tersebut yaitu tekanan dari arah utara dan selatan dan tekanan dari atas yang merupakan area yang nilai densitasnya relatif lebih tinggi walaupun berada pada suatu litologi batuan yang sama, yang terjadi akibat terkena tekanan atau gaya yang mendorong dari bawah ke atas.

Diantara salah satu yang paling terkenal adalah mud vulkano “LUSI” atau semburan lumpur Sidoarjo yang tepatnya terletak di Porong Jawa Timur, yang hingga saat ini masih merupakan *geohazard* yang berkepanjangan. Studi yang sudah sudah mengatakan bahwa penyebab adanya semburan ini terjadi akibat semburan lumpur dan air panas yang berhubungan dengan pemboran sumur eksplorasi hidrokarbon Banjar Panji-1 (BPJ-1) untuk target eksplorasi Kujung Carbonates yang letaknya di 200 meter dari lokasi semburan di daerah Porong Sidoarjo Jawa Timur. Penampang seismik refleksi (*seismic reflection profile*) yang memotong sumur eksplorasi BPJ-1 memperlihatkan bahwa sebelum terjadinya semburan, telah diidentifikasi adanya pembentukan struktur undulasi (diapir lumpur yang membentuk pembubungan atau *'piercement'*) (Mazzini et al, 2009). pembumbungan ini dapat diartikan sebagai identifikasi adanya pergerakan lumpur kearah vertikal.

Maka kemungkinan adanya shale diapir yang menyebabkan terjadinya undulasi tersebut sangat perlu diwaspadai sebagaimana yang terjadi pada kasus pengeboran Sumur BPJ-1 tersebut diatas. Kondisi ini sama persis dengan kondisi yang sedang dihadapi dalam penelitian ini. Selain itu masih ada Bledug Kuwu, yaitu sebuah fenomena gunung api lumpur (*mud volcano*) yang terletak di Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah, tepatnya berada 28 km arah timur dari Purwodadi yang letaknya relatif dekat dengan daerah penelitian.

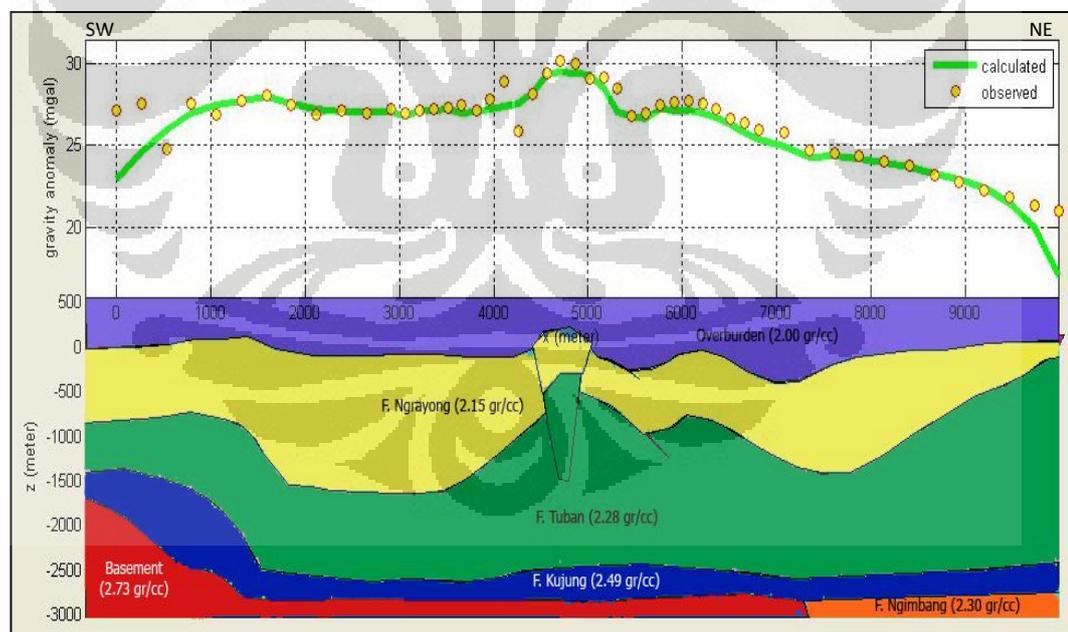
Perlu diingat juga bahwa daerah penelitian ini merupakan daerah yang letaknya tidak tepat di puncak tinggian lebih tepatnya berada di lereng tinggian maka dikhawatirkan undulasi itu memang shale diapir karena adanya kemungkinan bahwa karbonat tidak lagi tumbuh pada lereng tersebut. Tentunya kemungkinan struktur ini terbentuk akibat shale diapir ini menjadi sangat besar sehingga seperti pada pemodelan yang pertama, untuk menentukan litologi pada struktur undulasi ini dilakukan dengan cara memasukan nilai densitas shale yang lebih kecil dengan anggapan bahwa densitas ini merupakan nilai densitas shale tuban yang membentuk diaper yang nilainya menurun akibat adanya reaksi dengan fluida sehingga nilai rapat massanya relative menjadi lebih kecil dan karena tekanan dan kandungan gas-nya cenderung untuk naik atau membumbung keatas.

Dibagian paling atas pada pemodelan ini diisi dengan distribusi densitas dari Formasi Ngrayong dan Formasi lain yang lebih tipis dan muda. Pemodelan ini kemudian akan digunakan untuk dikorelasikan dengan hasil model bawah permukaan dengan metode lainnya untuk menentukan kondisi struktur bawah permukaan yang bisa digunakan dengan baik untuk mendekati kondisi bawah permukaan yang sebenarnya.

Pada penelitian ini juga dilakukan dua pemodelan lain yang dapat digunakan sebagai salah satu usaha untuk memvalidasi hasil pemodelan tersebut dengan cara melakukan perbandingan. Dimana kita ketahui dan telah disebutkan sebelumnya bahwa penelitian ini difokuskan pada identifikasi keberadaan terumbu Kujung Karbonat yang pada umumnya bentuk strukturnya akan

menyerupai undulasi, sedangkan baik dari sisi geologi maupun pemodelan gayaberat pada penelitian ini akan ada beberapa asumsi lain yaitu asumsi dimana pada struktur bawah permukaan tersebut ternyata tidak dijumpai keberadaan sembulan terumbu Kujung karbonat. Kemudian dengan melihat dan membandingkan respon G-calculated terhadap G-observed pada hasil pemodelan dengan tidak adanya sembulan terumbu Kujung ini (Gambar 4.15), diharapkan dapat menguatkan dugaan mengenai kondisi struktur bawah permukaan.

Kurva match hasil pemodelan ini menunjukkan nilai error 2.38 % yaitu nilai yang relative lebih besar dibandingkan dengan hasil pemodelan dengan mengidentifikasi keberadaan sembulan terumbu Kujung karbonat. Hasil ini tentunya akan dapat memperkuat pertimbangan kita mengenai model bawah permukaan yang akan kita pilih untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan “FW1807”.

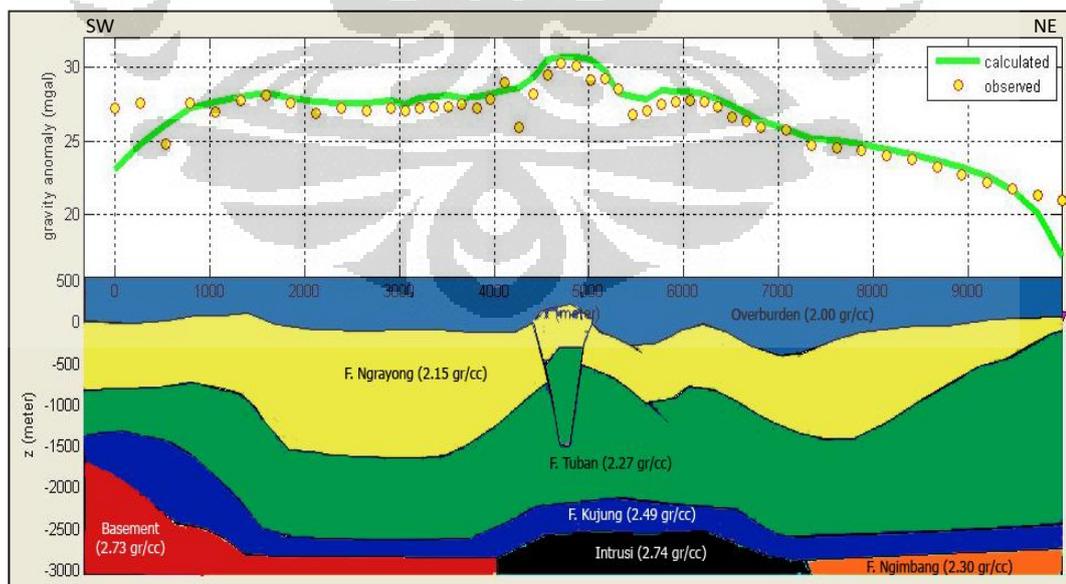


Gambar 4.15 : Profil geologi bawah permukaan pada lintasan FW-07 yang mengidentifikasi ketidakberadaan sembulan terumbu karbonat Kujung.

Berikutnya dilakukan juga pemodelan yang mengidentifikasikan adanya struktur undulasi akibat intrusi batuan beku, walaupun berdasarkan kondisi geologinya sangat kecil sekali kemungkinan akan adanya intrusi batuan beku di area penelitian ini namun untuk menguatkan dugaan dilakukanlah pemodelan ini (Gambar 4.16).

Dari hasil pemodelan ini kita dapati bahwa pemodelan ini bisa dikatakan tidak menunjukkan hasil yang representative dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan area “FW1807”. Nilai error dari hasil pemodelan ini hingga 3.14% yang artinya jauh lebih besar jika dibandingkan dengan dua pemodelan sebelumnya.

Hasil perbandingan antara dua pemodelan dengan model yang telah dipilih untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan pemodelan data gayaberat ini tentunya dapat menguatkan asumsi mengenai model tersebut. Terlihat bahwa nilai error pemodelan dengan keberadaan struktur undulasi akibat adanya terumbu Kujung karbonat menunjukkan hasil kurva match yang paling baik dengan nilai error yang relative paling kecil dari ketiga hasil pemodelan tersebut.



Gambar 4.16 : Profil geologi bawah permukaan pada lintasan FW-07 yang mengidentifikasikan adanya sembulan akibat intrusi batuan beku

BAB V

INTERPRETASI TERPADU

PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN

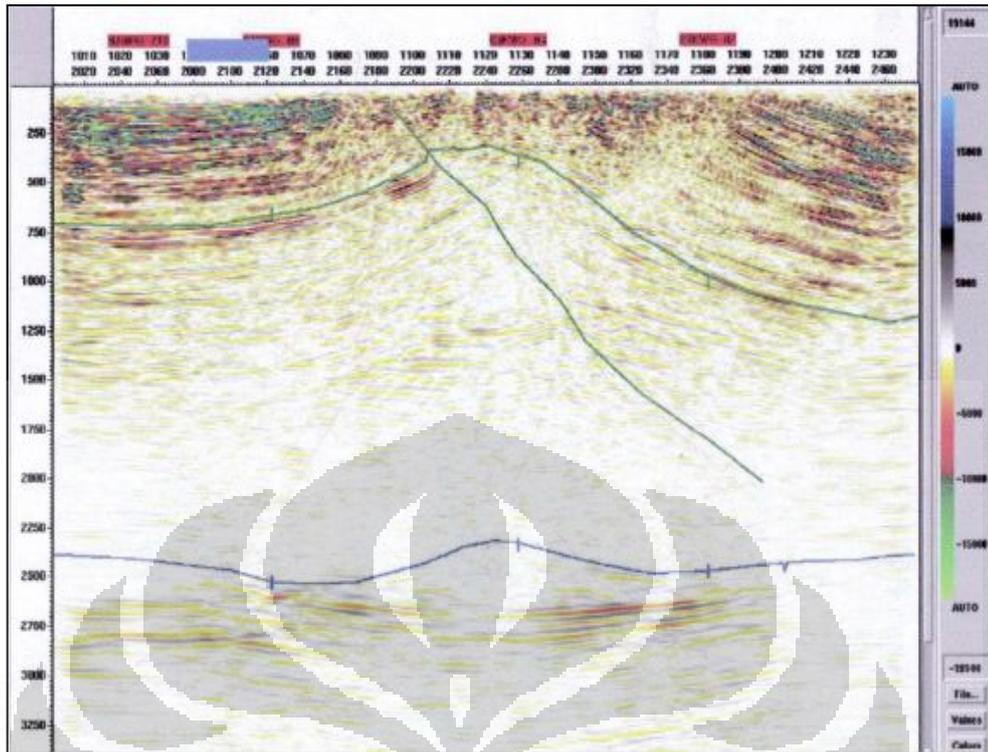
Suatu interpretasi atau penentuan struktur bawah permukaan yang baik biasanya dibangun berdasarkan *Geosciences data* yang secara umum merupakan data geologi dan geofisika. Sehingga nantinya dengan melihat tingkat korelasi antara hasil suatu metode dengan metode yang lainnya akan menghasilkan suatu interpretasi bahkan rekomendasi yang baik. Sehingga sebelum digunakan, hasil pemodelan gayabarat ini perlu dikorelasikan dengan menggunakan metode geofisika lainnya. Data-data yang digunakan untuk korelasi harus merupakan data yang paling baik dan merupakan data yang tepat berada pada suatu daerah atau bahkan tepat pada lintasan yang sama.

Pada penelitian ini data yang akan digunakan untuk membangun interpretasi penentuan struktur bawah permukaan adalah data seismik, penampang bawah permukaan hasil pemodelan gayabarat dan hasil pemodelan MT (*Magnetotelluric*). Kemudian dengan menambahkan data geologi dan *petroleum system* pada hasil korelasi antara ketiga metode tersebut kita akan melihat potensi hidrokarbon pada daerah penelitian.

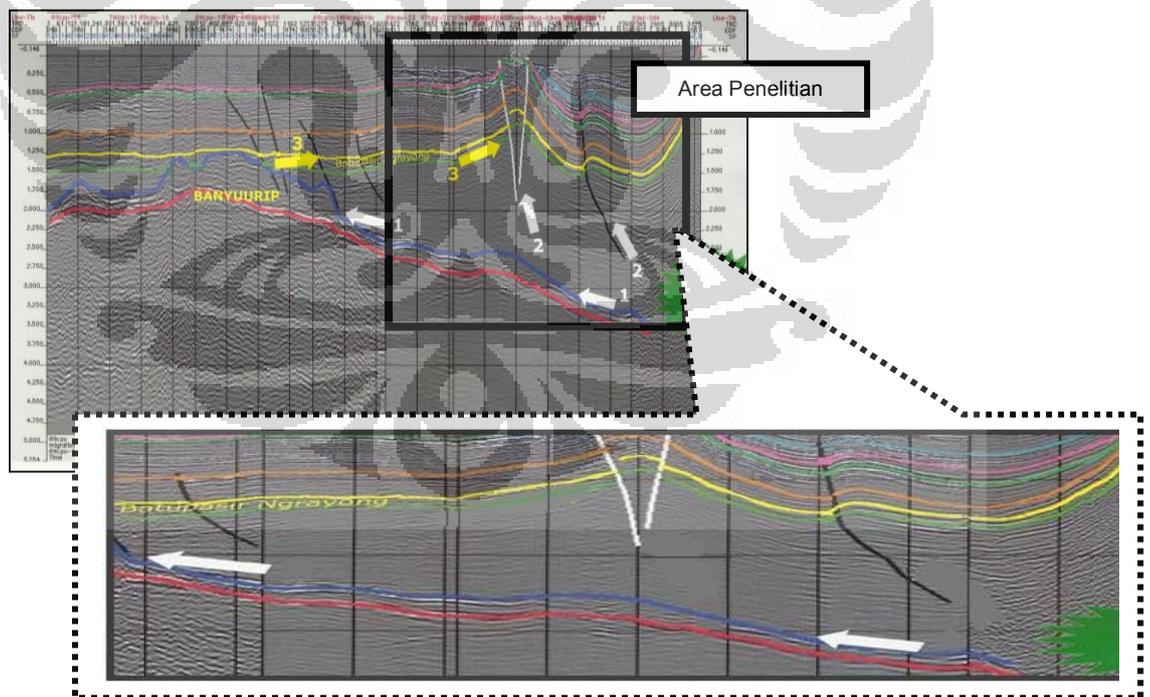
5.1 Data Geofisika

5.1.1 Penampang Bawah Permukaan Berdasarkan Data Seismik

Penampang bawah permukaan seismik yang digunakan untuk melihat adanya korelasi adalah data penampang seismik FW-5 (Gambar 5.1) yang disupport dengan penampang seismik XCPU-06 yang tepat melewati daerah penelitian dan tepat memotong lapangan produksi Banyuurip-FW1807-Tapen. Lintasan seismik XCPU-06 ini membentang dari arah barat daya ke timur laut dengan panjang ± 20 km. (Gambar 5.2). Penampang seismik XCPU-06 ini dipilih karena sudah diproses dan diinterpretasi dengan sangat baik, sehingga dapat dengan mudah untuk dikorelasikan dengan metode yang lainnya.



Gambar 5.1: Penampang seismik FW-5 (Pertamina, 2007)



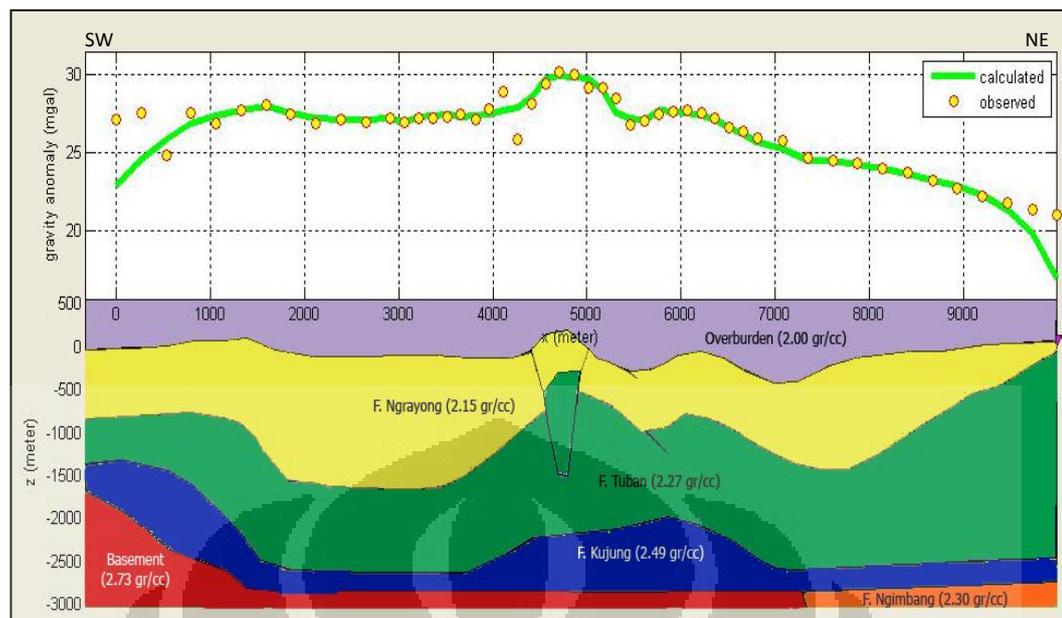
Gambar 5.2: Penampang seismik XCPU-06 yang memotong Banyuurip-FW1807-Tapen dari selatan ke utara (Pertamina, 2005)

Dari hasil penampang interpretasi seismik tersebut dapat terlihat bahwa basement cenderung menurun dari arah utara ke selatan, sehingga dapat diasumsikan bagian selatan merupakan bagian *basement high* yaitu pada kedalaman sekitar 3000 meter dan menurun terus ke arah utara. Tepat di atas basement terdapat Formasi Kujung yang ketebalannya sekitar 500 meter dan di beberapa titik terlihat seperti menebal membentuk undulasi. Kemudian di atas struktur reef atau karbonat terumbu itu terdapat Formasi Tuban (Tuban Shale) yang sangat tebal hingga 1500 meter di bagian utara namun menipis di selatan hingga 500 meter. Pada suatu titik terjadi pembungkungan, yang terlihat berkembang sebagai *shale diapir*. Di atasnya lagi merupakan Formasi Ngrayong, dan Formasi Wonocolo yang ketebalannya sekitar 1000 meter. Pada penampang seismik ini tergambar beberapa patahan yang menunjukkan kontrol tektonik yang mempengaruhi terbentuknya struktur tersebut.

Data ini akan dipakai sebagai acuan yang pertama karena bagaimanapun telah terbukti bahwa, hingga saat ini seismik merupakan metode pemetaan bawah permukaan yang terbukti sangat baik dalam merefleksikan struktur per lapisan bawah permukaan bumi.

5.1.2 Pemodelan Bawah Permukaan Berdasarkan Data Gayaberat

Dari hasil pemrosesan data anomali gayaberat Bouguer, analisa spektrum, pola anomali regional-residual dan beberapa macam pertimbangan seperti yang telah disebutkan pada bab IV, maka hasil pemodelan bawah permukaan dengan menggunakan metode gayaberat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.3 dibawah ini.

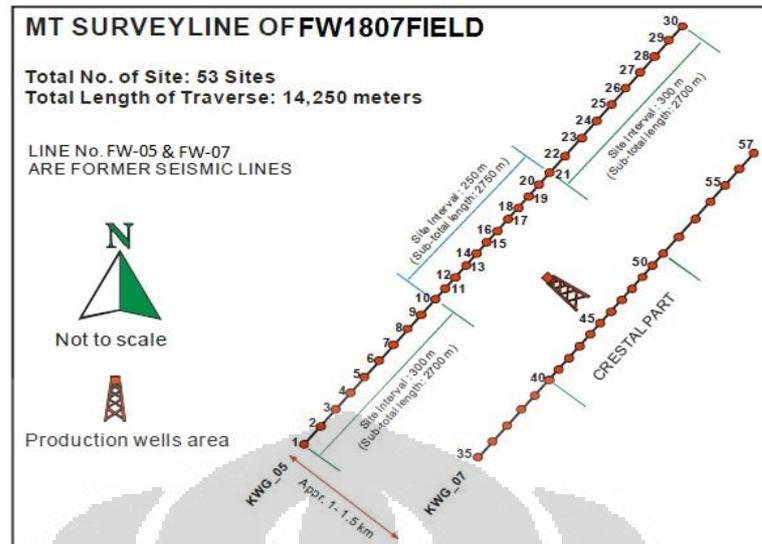


Gambar 5.3 : Penampang hasil pemodelan data gayaberat pada lintasan FW-07 yang dipilih untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan “FW1807”

Dari hasil pembahasan pemodelan gayaberat untuk sementara ini didapati adanya korelasi yang sangat baik antara hasil pemodelan gayaberat yaitu terlihat dari *matching curve* yang baik dan nilai error yang bisa dikatakan baik antara G-observasi dan G-calculated untuk pemodelan distribusi dan nilai densitas seperti yang terlihat pada Gambar 5.3 diatas. Adanya korelasi yang baik antara metode seismik dan pemodelan gayaberat ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan ini saling menguatkan satu sama lain yang artinya struktur dalam pemodelan tersebut dapat saling mengkonfirmasi dengan baik.

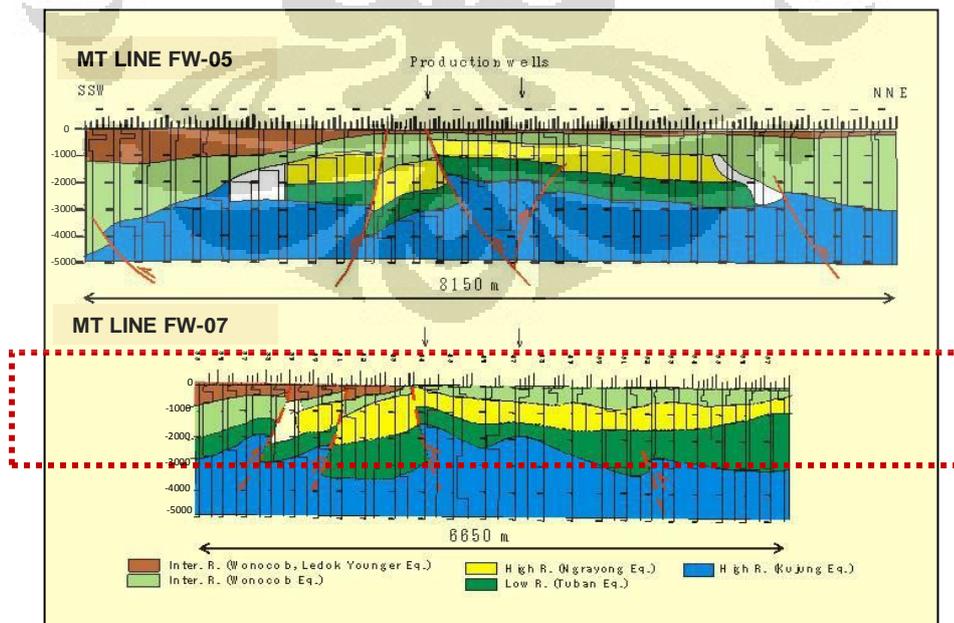
5.1.3 Pemodelan Bawah Permukaan Berdasarkan Data MT

Data pemodelan MT yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pemodelan MT pada lintasan FW-05 & FW 07, Lintasan ini merupakan lintasan yang sama dengan lintasan pengukuran gayaberat, hanya saja lintasan pengukuran dengan menggunakan metode MT ini lebih pendek. Desain pengukuran dengan menggunakan metode MT dapat dilihat pada Gambar 5.4.



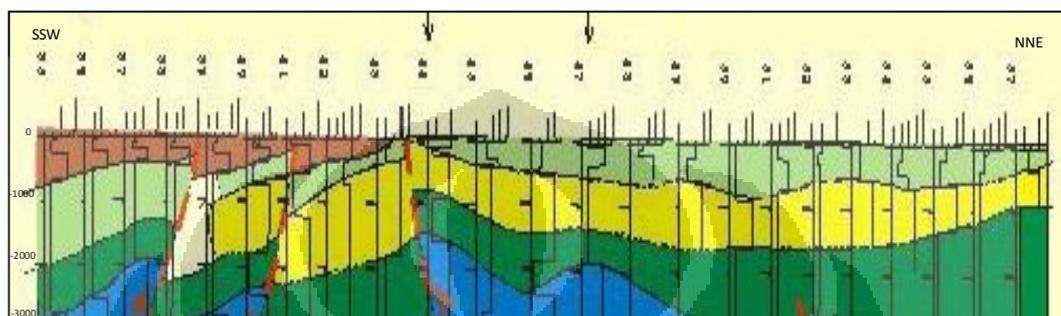
Gambar 5.4: Lintasan pengukuran MT (Pertamina, 2007)

Kemudian diharapkan dengan menambahkan informasi mengenai distribusi nilai resistivitas batuan di bawah permukaan yang tergambar dalam penampang hasil pemodelan bawah permukaan pada lintasan FW-07 & FW-05 (Gambar 5.5) akan lebih menguatkan hasil interpretasi mengenai kondisi struktur bawah permukaan area “FW1807”.



Gambar 5.5: Penampang hasil pemodelan data MT lintasan FW-05 & FW-07 (Pertamina, 2007)

Hasil model bawah permukaan dengan menggunakan metode MT yang akan digunakan dalam korelasi pada penelitian ini adalah pemodelan MT lintasan FW-07 pada kedalaman 0 hingga 3000 meter saja, sehingga untuk memudahkan pada Gambar 5.6 diperlihatkan model bawah permukaan MT lintasan FW-07 dari 0 hingga kedalaman 3000 m.



Gambar 5.6 : Penampang hasil pemodelan data MT lintasan FW-07 pada kedalaman 0-3000 meter. (Pertamina, 2007)

Pada pemodelan ini distribusi nilai resistivitas langsung diasosiasikan dengan batas perlapisan atau menunjukkan formasi batuan. Karenanya pada pemodelan ini terdapat beberapa hal yang terlihat seperti tidak menunjukkan korelasi yang baik dengan model bawah permukaan gayaberat dan seismik. Pada pemodelan MT ini disebutkan bahwa zona biru merupakan Formasi Kujung yang terlihat mulai dari kedalaman sekitar 3000 hingga kebawah, padahal berdasarkan hasil model bawah permukaan seismik dan gayaberat Formasi Kujung ini hanya berkembang tipis diatas basement. Namun oleh penulis diperkirakan hasil ini merupakan hasil gabungan respon atau nilai resistivitas antara Formasi Kujung dan basement yang memang cenderung sama-sama mempunyai nilai resistivitas yang relatif tinggi sehingga perbedaan antara Formasi Kujung yang didominasi oleh batuan karbonat tidak dapat dibedakan.

Mengesampingkan kondisi diatas, dengan melihat Gambar 5.6 yaitu sebagai Penampang distribusi nilai resistivitas batuan pada lintasan FW-07 yang menunjukkan distribusi nilai resistivitas pada kedalaman 0 sampai 3000 meter, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara hasil model bawah permukaan MT dengan model bawah permukaan gayaberat dan seismik untuk

mengidentifikasi dan saling mengkonfirmasi mengenai keberadaan sembulan terumbu Kujung Karbonat. Dapat kita lihat bahwa pada daerah yang diidentifikasi terdapat adanya struktur undulasi dan berdasarkan nilai densitas dari pemodelan data gayaberat diduga sebagai terumbu Kujung mempunyai nilai resistivitas yang tinggi. Sedangkan diketahui bahwa pada umumnya nilai resistivitas dari batuan karbonat akan relatif tinggi.

Korelasi antara metode MT dan dua metode sebelumnya terlihat dari distribusi nilai resistivitas batuan yaitu dari bawah keatas menunjukkan distribusi *high resistivity* untuk Formasi Kujung kemudian di atasnya terlihat distribusi nilai *low resistivity* untuk Formasi Tuban (*Tuban Shale*) yang juga terlihat tebal di utara dan menipis di selatan. Kemudian di atasnya lagi terdapat distribusi *High resistivity* untuk Formasi Ngrayong. Namun bisa dikatakan korelasi antara hasil model bawah permukaan berdasarkan data MT yang digunakan pada penelitian ini ini dapat dikatakan kurang menunjukkan korelasi yang baik.

Kurang baiknya korelasi antara model struktur bawah permukaan MT terlihat pada pola struktur yang terlihat berbeda dengan pola struktur yang diperlihatkan pada metode gayaberat dan seismik yang secara garis besar hampir sama.

5.2 Potensi Hidrokarbon pada Daerah “FW1807”

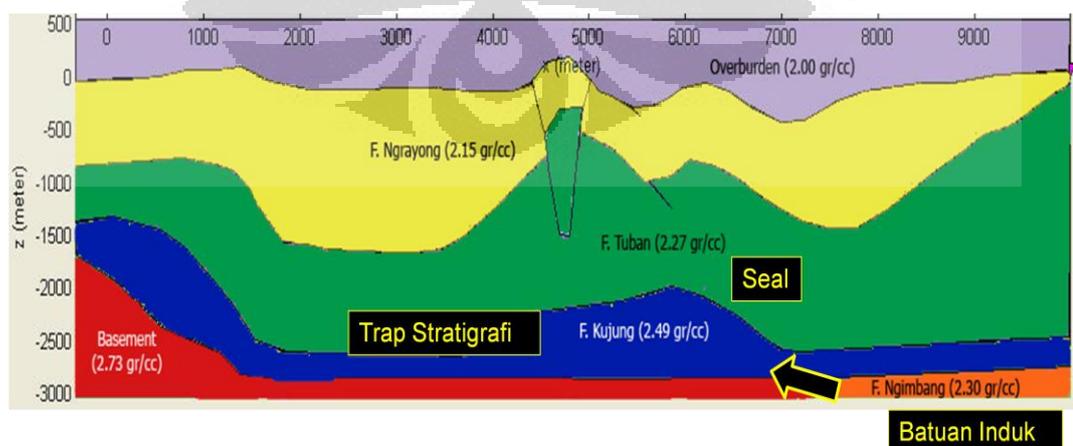
Akhirnya dengan menambahkan informasi hasil studi *petroleum system* dan tatanan geologi daerah penelitian (Bab II) pada hasil korelasi antara satu metode geofisika dengan metode geofisika lainnya, kita akan melakukan interpretasi bawah permukaan, untuk melihat potensi hidrokarbon pada area FW1807.

Dari tiga model bawah permukaan yang digunakan pada penelitian ini, diketahui bahwa terdapat korelasi yang baik antara metode *gravity* dengan seismik, sementara ini studi MT belum bisa kita gunakan secara utuh, sehingga hasil korelasi dari kedua data inilah yang akan kita gunakan sebagai hasil akhir yang digunakan untuk menentukan struktur bawah permukaan pada daerah “FW1807”.

Ditambah hasil studi seismik ini merupakan hasil studi yang tetap akan dijadikan acuan utama pada penelitian ini karena pemodelan bawah permukaan berdasarkan data MT maupun gayaberat adalah jenis pemodelan kedepan sehingga memiliki tingkat ambiguitas yang tinggi dibandingkan seismik. Metode pemodelan kedepan berdasarkan data gayaberat pada penelitian ini dikatakan dapat digunakan atau dianggap representatif karena antara kurva *G-calculated* dan *G-observed*-nya dapat *match* dengan baik dan mempunyai korelasi yang baik dengan metode seismik.

Hasil korelasi tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan karakteristik struktur yang terbentuk dan gaya-gaya yang tergambar dalam penampang hasil pemodelan gayaberat dan seismik, diasumsikan bahwa kondisi struktur bawah permukaannya menunjukkan kemungkinan adanya terumbu karbonat yang terletak pada kedalaman sekitar 2500 hingga 3000 meter dibawah permukaan, namun tepat diatas Formasi Kujung, Formasi Tuban (*Tuban Shale*) berkembang sebagai *Shale diapir*.

Dari hasil penentuan struktur bawah permukaan berdasarkan pemodelan dan analisa data gayaberat yang berkorelasi dengan baik dengan model struktur bawah permukaan dengan metode seismik, maka kita dapati bahwa dari pemodelan tersebut terdapat dugaan adanya potensi hidrokarbon dalam *play* Eksplorasi Kujung yaitu sebuah *play* eksplorasi dengan terumbu Kujung karbonat sebagai reservoirnya (Gambar 5.7).



Gambar 5.7 : potensi hidrokarbon berdasarkan hasil pemodelan gayaberat

Pada penampang hasil pemodelan gayaberat tersebut dapat diperlihatkan bahwa kelima unsur atau faktor penting yang tergabung dalam “*Petroleum system*” dapat terpetakan dengan sangat baik. *Source rock* akan berasal dari Formasi Ngimbang yang terletak dibagian utara dan berasosiasi dengan *Kithcen area* di cekungan Kening Trough. Kemudian dengan proses migrasi model-1 yaitu migrasi primer yang terjadi pada interval waktu Miosen Tengah – Miosen Atas, dimana hidrokarbon dari Formasi Ngimbang bermigrasi melalui *carrier-bed* (vertikal-lateral), masuk ke perangkat reservoir sembulan karbonat Formasi Kujung-Tuban yang tumbuh langsung diatas *Basement*.

Berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan pada penelitian ini juga, tidak teridentifikasi adanya patahan yang mengenai struktur sembulan yang dapat menyebabkan berpindahnya hidrokarbon yang telah terperangkap dalam struktur tersebut, sebagaimana yang terjadi pada beberapa kasus eksplorasi reservoir terumbu Kujung yang ternyata gagal dan kegagalan ini diasumsikan akibat terjadinya Model migrasi yang ketiga, yaitu berpindahnya hidrokarbon pada struktur terumbu Kujung ke Formasi Ngrayong karena adanya patahan yang tepat mengenai struktur terumbu karbonat Kujung (Reef).

BAB VI KESIMPULAN & SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan 1:

Anomali gayaberat Bouguer pada daerah “FW1807” didominasi oleh harga anomali positif terutama dibagian tengah area penelitian. Analisa spektrum pada tiap lintasan pengukuran menunjukkan bahwa kedalaman basement yang diasosiasikan dengan kedalaman regional adalah sekitar 3000 m.

Kesimpulan 2:

Anomali gayaberat “FW1807” mengindikasikan adanya korelasi yang baik dengan tatanan geologi pada daerah penelitian, yaitu menunjukkan tinggian dibagian selatan dan terus merendah di bagian utara, serta adanya sesar atau patahan di beberapa bagian. Hal ini seperti yang terlihat pada hasil pemodelan bawah permukaan.

Kesimpulan 3:

Berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan & analisa data gayaberat, dapat disimpulkan bahwa adanya anomali gayaberat merupakan kontribusi dari adanya sumber anomali mulai pada kedalaman regional hingga permukaan.

Kesimpulan 4:

Dari ketiga model bawah permukaan yang digunakan dalam memetakan struktur bawah permukaan area “FW1807” pada penelitian ini, menunjukkan bahwa pemodelan dengan keberadaan karbonat Kujung yang berkembang sebagai terumbu (*Carbonates Build-up*) merupakan model yang paling baik untuk mendekati kondisi bawah permukaan.

Dalam struktur yang dihasilkan dari pemodelan tersebut teridentifikasi keberadaan struktur karbonat terumbu Kujung dan di atasnya terdapat Tuban Shale yang berkembang sebagai *shale diapir*.

Kesimpulan 5:

Hasil pemodelan berdasarkan analisa data gayaberat pada penelitian ini dapat menggambarkan dengan baik adanya dugaan potensi hidrokarbon dalam suatu *Play* eksplorasi dengan terumbu karbonat Kujung, yang diperkirakan sebagai reservoarnya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini maka beberapa hal yang dapat direkomendasikan adalah sebagai berikut:

- Dalam melakukan korelasi antara metode yang satu dengan metode yang lainnya perlu dilakukan validasi data yang akan digunakan. Pastikan semua data yang akan digunakan merupakan data yang representatif dalam menggambarkan kondisi daerah penelitian. Artinya sudah dikonfirmasi dan diproses dengan benar.
- Sebaiknya hasil pemodelan bawah permukaan berdasarkan data MT pada penelitian ini, tidak langsung diasosiasikan terhadap Formasi atau bentuk struktur tapi disebutkan sebagai penampang resistivitas bawah permukaan.
- Dalam menentukan tindak lanjut dari struktur yang teridentifikasi berada dibawah lapangan “FW1807” tersebut, masih perlu dilakukan pertimbangan lebih lanjut mengingat dugaan keberadaan struktur Shale diapir dan ukurannya yang relatif kecil dan dalam jika dibandingkan dengan struktur-struktur sembulan lain yang sudah diproduksi saat ini.

DAFTAR REFERENSI

- Arbenz, J.K., 1968, *Structural Geology of The Potato Hills Ouachita Mountains*, Geological Society of America. The Geology of North America.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity & Magnetic application*, Cambridge University Press.
- Bransden, P.J.E. & Matthews, S.J. 1992. *Structural and stratigraphic evolution of the East Java Sea, Indonesia*. Indonesian Petroleum Association, Proceedings 21st Annual Convention, Jakarta, I, 417- 454.
- Brown, J.F., 2005, *Characterizing and monitoring drought in the 21st century—issues and opportunities [Invited] [abs.]*, in Fall Meeting, San Francisco, Calif, Washington, D.C., American Geophysical Union.
- Doust, H., 2007, *Petroleum System of Indonesia*, Marine and Petroleum Geology, Science Direct.
- Hamilton, 1979 *Tectonics of the Indonesian Region*. U.S.G.S. Professional Paper 1078:345 p.
- ITB – EPTC PERTAMINA, 2010, *Manual User Guide Grav fluid*. (manual software).
- ITB – Pertamina, 2010, *Studi Potensi Hidrokarbon Pulau Sulawesi dan Papua Berdasarkan Pemetaan Cekungan dengan Teknik Filtering dan Dekonvolusi Gayaberat*. Pertamina Internal Report.
- Kadir W.G.A., 1999, *The 4-D Gravity Survey and it's Subsurface Dynamics : a Theoretical approach*, Proceeding of 24 HAGI Annual Meeting, Surabaya.
- Magoon, L.B., and W.G. Dow, 1994, *The petroleum system - From Source to Trap*: AAPG Memoir 60.
- Malam, J., 2001, *Planet Bumi*, Marshall Publishing, UK.

- Manur, H., and Barraclough, R., 1994, *Structural control on hydrocarbon habitat in the Bawean area, East Java Sea*. Indonesian Petroleum Association, Proceedings 23rd Annual Convention.
- Martodjojo, S., 1986, *Cibinong and Gunung Walat, West Java*, Indonesian Petroleum Association, 15th Annual Convention, Post-convention Field-trip.
- Mazzini, A., Nermoen, A., Krotkiewski, M., Podladchikov, Y., Planke, S., and Svensen, H., 2009, *Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structures. Implications for the Lusi mud volcano, Indonesia*: Marine and Petroleum Geology, 26, 1751-1765.
- Moehadi, M., 2010, *Fundamental of Petroleum Geology and Explorations*, Indonesia University.
- Netherwood, R., 2000, *The Petroleum Geology of Indonesia, overview of Indonesia's oil and gas Industry-Geology*, Schlumberger Corporation.
- PERTAMINA – Laporan Akhir, 2007, *Kawengan MT Final Report*, Pertamina Internal Report.
- Pringgoprawiro, H., 1983, *Revisi Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dan Paleogeografinya*, Institut Teknologi Bandung.
- Renowati, E., 2006, *Metode filtering data gaya berat untuk identifikasi cekungan hidrokarbon di Jawa Barat*, Institut Teknik Bandung, 2006.
- Rosid, Syamsu, 2005, *Gravity Method in Exploration Geophysics*, Lecture Notes, Geophysics Program studi Department of Physics, University of Indonesia.
- Satyana, A.H., 2008, *Petroleum Geology of Indonesia, IAGI Professional Courses*, Bali.

- Satyana, A.H., and Armandita, C., 2003, *Deepwater Plays of Java, Indonesia: Regional Evaluation on Opportunity and Risks*, Proceedings, Deepwater and Frontier Exploration in Asia and Australia Symposium.
- Sribudiyani, 1994, *Konsep Eksplorasi Formasi Kujung Karbonat Ditinjau dari Contoh Kasus Sumur-Sumur Pemboran di Daerah Tuban*, Pertamina Internal Technical Report, JOB PERTAMINA-SANTA FE TUBAN DIREKTORAT E&P.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.
- Van Bemmelen, R. W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Government Printing office, Nijhoff, The Hague.
- Widianto, E., 1999, *Interpretasi struktur Cekungan Jawa Barat dari data Gravity*, Institut Teknologi Bandung.
- Widianto, E., 2008, *Penentuan konfigurasi struktur batuan dasar dan jenis cekungan dengan data gayaberas serta implikasinya pada target eksplorasi minyak dan gas bumi di Pulau Jawa*, Institut Teknologi Bandung.
- Widianto. E., 2011, *Petroleum Geosciences: Petroleum Geology*, Pertamina Internal Course, Jakarta.
- Yudiantoro, R.P., 2005, *Review G&G terhadap formasi Ngimbang, Sembulan karbonat Kujung-Tuban dan batupasir Ngrayong*, Laporan task force DOH-JBT daerah rendahan kening trough dan tinggian cepu Cekungan Jawa Timur, Pertamina Internal Report.