

**ANALISIS POTENSI HIDROKARBON PADA DAERAH “X”
BERDASARKAN PEMODELAN DATA GAYABERAT DAN MAGNETIK**

(Skripsi)

Oleh:

Eki Zuhelmi



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

ABSTRACT

HYDROCARBON POTENTIAL ANALYSIS IN THE "X" REGION BASED ON GRAVITY AND MAGNETIC DATA MODELING

By

EKI ZUHELMI

3D inversion modeling of subsurface structure based on gravity anomaly data and magnetic anomaly data used for identification hydrocarbon potential in “X” region. 3D inversion modeling of gravity and magnetic anomaly data correlated to three seismic section which available in study location consist of KWG-5, KWG-7, and KWG-9. 3D inversion model used to regional and residual of gravity and magnetic anomaly data. 3D inversion modeling of gravity and magnetic anomaly data result shows that regional depth of study located at around 2300 m depth from surface. This result is match compared to regional depth of spectrum analysis which had done and also shows the pattern that made from seismic section KWG-5, KWG-7, and KWG-9 at the depth is not a multiple noise but basement pattern at the study location. 3D gravity and magnetic residual anomaly inversion shows anticline pattern and fault structure pattern that match to seismic section KWG-5, KWG-7, and KWG-9. Those two 3D residual inversion model shows the pattern that allegedly as hydrocarbon reservoir with density value about 2.16 to 2.33 g/cm³ and susceptibility value between 0.418 to 0.484 SI. Based on rocks variation table, average value that close to those value is sandstone.

Keywords: 3D inversion, gravity anomaly, magnetic anomaly, spectrum analysis, regional anomaly, residual anomaly, and seismic section.

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI HIDROKARBON PADA DAERAH “X” BERDASARKAN PEMODELAN DATA GAYABERAT DAN MAGNETIK

Oleh

EKI ZUHELMI

Pemodelan inversi 3D struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali gayaberat dan anomali magnetik dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan potensi hidrokarbon di daerah “X”. Model inversi 3D data anomali gayaberat dan magnetik dikorelasikan dengan 3 (tiga) penampang sismik yang ada pada daerah penelitian yaitu penampang seismik KWG-5, KWG-7, dan KWG-9. Model inversi 3D dilakukan pada data anomali regional dan anomali residual pada metode gayaberat maupun metode magnetik. Hasil pemodelan inversi 3D data anomali gayaberat dan anomali magnetik menunjukkan bahwa kedalaman regional pada daerah penelitian berada pada kedalaman sekitar 2300 m dari permukaan daerah penelitian. Hasil ini sesuai dengan kedalaman regional pada analisa spektrum yang telah dilakukan serta menunjukkan bahwa pola yang terbentuk pada penampang seismik KWG-5, KWG-7, dan KWG-9 pada kedalaman tersebut bukanlah suatu *noise multiple* melainkan pola *basement* pada daerah penelitian. Model inversi 3D anomali residual gayaberat dan anomali residual magnetik menunjukkan pola antiklin dan pola struktur patahan yang sesuai dengan penampang seismik KWG-5, KWG-7, dan KWG-9. Hasil model inversi 3D residual kedua data tersebut menunjukkan pola yang diduga sebagai reservoir hidrokarbon dengan kisaran harga densitas antara 2.16 s.d. 2.33 g/cm^3 dan harga suseptibilitas antara 0.418 s.d. 0.484 SI. Berdasarkan tabel variasi batuan, harga rata-rata yang paling mendekati nilai tersebut adalah batuan pasir (*sandstone*).

Kata kunci : inversi 3D, anomali gayaberat, anomali magnetik, analisa spektrum, anomali regional, anomali residual, penampang seismik.

**ANALISIS POTENSI HIDROKARBON PADA DAERAH “X”
BERDASARKAN PEMODELAN DATA GAYABERAT DAN MAGNETIK**

Oleh

EKI ZUHELMI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

**Judul Skripsi : ANALISIS POTENSI HIDROKARBON PADA
DAERAH "X" BERDASARKAN PEMODELAN
DATA GAYABERAT DAN MAGNETIK**

Nama Mahasiswa : Eki Zuhelmi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015051019

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.
NIP 19711210 199702 1 001

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**



Sekretaris

: **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Syamsurijal R., S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Mei 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Mei 2017



Eki Zuhelmi
NPM 1015051019

RIWAYAT HIDUP



Eki Zuhelmi, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 25 Juli 1992, merupakan anak kedua dari 5 bersaudara pasangan Bapak Husni dan Ibu Suismilah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 2 Gotong Royong, pada tahun 2004, SMPN 9 Bandar Lampung pada tahun 2007, dan SMAN 8 Bandar Lampung pada tahun 2010. Pada tahun 2010 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Lampung Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur SNMPTN (Tes Tertulis).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif berorganisasi di HIMA TG Bhuwana sebagai Ketua Bidang Kaderisasi, BEM FT KBM Unila sebagai Wk. Gubernur, AAPG SC Unila sebagai Wk. Ketua Divisi *Fieldtrip*, dan tercatat sebagai anggota HMGI serta AAPG *Student member*. Penulis pernah terlibat dalam kegiatan lapangan beberapa project PT. Pertamina Geothermal Energy dan beberapa project lainnya. Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis Potensi Hidrokarbon Pada Daerah “X” Berdasarkan Pemodelan Data Gayabarat dan Magnetik” dan berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana pada bulan Mei 2017.

*Dengan segala kerendahan hati, karya kecil ini
ku persembahkan untuk:*

*Mamak ku Suismilah dan Bapakku Husni, atas segala
kasih sayang yang diberikan, do'a tulus yang selalu
tercurahkan, pengorbanan begitu besar serta pengertian yang
begitu dalam, baik segala moral maupun segala materil.*

*Buat kakakku Eko Siswant dan ketiga adikku, Evi
Triyani, Eris Gustami, Elvano Desmipenta, atas segala
dukungan serta pelipur laraku.*

*Segala rintangan yang kian menghadang, menjadi bumbu
terindah dalam kehidupan. Yang kutahu hanya ketegaran
untuk menatap masa depan.*

*Lakukan, lakukan, dan lakukan
Biar Allah SWT yang memutuskan apa yang terbaik
untuk kita.*

Motto

*"Man Jadda 'Wajada wa Man Saaro' Alard-darbi 'Washola wa
Man Shabara Zafira"*

Siapa yang bersungguh-sungguh, dia akan berhasil, dan Siapa yang berjalan pada lintasan yang benar, maka dia akan sampai di tujuan yang benar, dan siapa yang bersabar, akan beruntung

"Dan tiadalah kehidupan dunia ini, selain dari main-main dan senda gurau belaka, dan sungguh kampung akhirat itu lebih baik bagi orang-orang yang bertakwa. Maka tidakkah kalian memahaminya?"

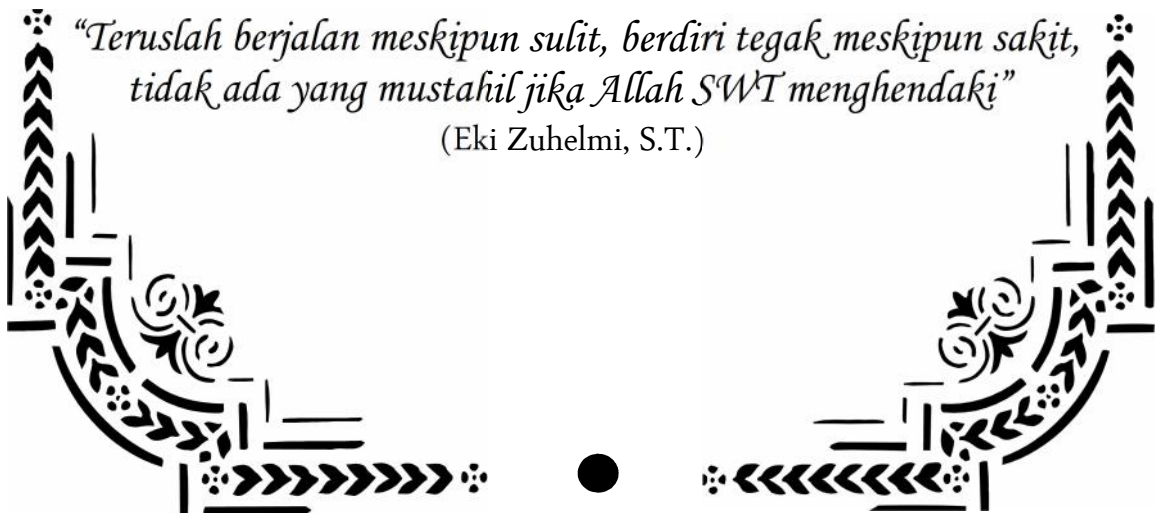
(QS. Al An'am 32)

"Jadilah pribadi yang dirindukan kehadirannya"

(Chofi Qolbi NA)

*"Teruslah berjalan meskipun sulit, berdiri tegak meskipun sakit,
tidak ada yang mustahil jika Allah SWT menghendaki"*

(Eki Zuhelmi, S.T.)



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis curahkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Analisis Potensi Hidrokarbon Pada Daerah “X” Berdasarkan Pemodelan Data Gayabarat dan Magnetik” ini telah terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta segenap keluarga, sahabat dan pengikut setia beliau.

Skripsi ini merupakan syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selain itu, dengan adanya penelitian ini penulis bisa memahami fenomena-fenomena nyata yang terjadi di alam serta dapat mengaplikasikan teori yang sudah diperoleh selama kuliah pada kegiatan eksplorasi yang sebenarnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, diperlukan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Mei 2017

Eki Zuhelmi
eki.zuhelmi@gmail.com

SANWACANA

Skripsi dengan judul “**Analisis Potensi Hidrokarbon Pada Daerah “X” Berdasarkan Pemodelan Data Gayabarat dan Magnetik**” Merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan atas dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis dengan kerendahan hati mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Allah SWT**, rasa syukur yang tak terkira dan tidak ada habisnya karena telah meridhoi tahap demi tahap proses pengerjaan skripsi hingga selesai;
2. **Bapak Husni dan Ibu Suismilah** tercinta, orangtua yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, doa, dan segalanya yang penulis inginkan dan yang penulis butuhkan. Sungguh, sebesar apapun usaha untuk membalas kalian, takan pernah terbalas;
3. Kakakku **Eko Siswanto** serta adik-adik tercinta **Ewi Triani, Eril Gustami**, dan **Elvano Desmipenta** yang telah memberikan doa dan semangatnya;
4. **Bapak Prof. Suharno, MS., M.Sc., Ph.D.** sebagai Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
5. **Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T** sebagai Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung dan sebagai Pembimbing

- II yang telah memberikan waktu, saran, pengarahan dan motivasi serta bantuan yang begitu besar sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
6. **Bapak Dr. Muh. Sarkowi, S.Si.** sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bantuan yang begitu besar baik waktu, ilmu, pengarahan dan motivasinya;
 7. **Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** sebagai dosen Penguji yang telah memberikan saran yang baik, solusi yang bermanfaat, motivasi dan bimbingan yang begitu dalam serta bantuan yang begitu besar;
 8. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., Bapak Dr. H. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., Bapak Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T., Bapak Alimuddin Muchtar, M.Si., Bapak Rustadi, M.T., Bapak Dr. Ordas Dewanto, M.Si., Bapak Karyanto, M.T., dan Bapak Nandi H., M.Si.** yang telah memberikan ilmu yang luar biasa dan memotivasi penulis untuk selalu menjadi lebih baik selama di perkuliahan Jurusan Teknik Geofisika Unila;
 9. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Marsono, Mbak Dewi, Mas Jono, Mas Legi, dan Broo Dayat** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi;
 10. Seluruh Pegawai Fakultas Teknik, Khususnya **Mamang Udin dan Mba Stefi** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses penyelesaian skripsi;

11. Teman seperjuangan Teknik Geofisika Unila angkatan 2010, **Rian Mongol, Yuda Badok, Heksa Tentro, Wiwi, Om Duta, Dito Hunter, Sasa Kobum, Anita Kobum, Farhan Abud, Beriyan, Taufiq Dota, Satria Boy, Tante Mega, Nduk Anis, Eko Kodok, Bagus Indro, Anne Ncik, Fenty Kimbum, Ines Model, Filya Cilik, Imah Menel, Dani Meghanai, Hanna Hughes, Lae Roy, Bima Bewok, Amri, Ade Jaseng, Nando, Uni Sari, dan Anggy Darma Wijaya** kalian adalah keluargaku, terimakasih atas kebersamaanya untuk setiap pahit manis cerita yang terukir sejak hari pertama berjumpa. Semangat dan sukses untuk kita semua;
12. Kakak tingkat dan senior Teknik Geofisika khususnya **Kak Sinku** yang telah memberikan banyak dukungan, ilmu serta masukan yang sangat bermanfaat dan **Kak Alm. Agung** yang telah memberikan banyak pelajaran dalam berorganisasi, semoga diterima di sisi Allah SWT; **Kak Edo Bagol, Kak Entu', Kak C, Kak Boy, Kak Nando, Kak Gun, Kak Irfan, Kak Alfian, Kak Zuhron, Kak Didi, Kak Adi, Kak Andri, Mas Ben,** dan senior saya yang lainnya. Terimakasih atas sharing ilmunya selama ini.
13. Adik-adik tingkatku yang selalu memberi semangat dan dukungannya; **Irwan Dobleh, Hilman Sadis, Esha Fir'aun, Agung Marah, Edo Jambi, Kevin Gembul, Wilyan Bogem, Bari Silat, Agra Gocek, Niko Doyok, Zaidah Jamila,** dan yang lainnya.
14. Semua abang dan Bapak di luar sana yang sering memberikan motivasi nasehat dan arahan yang baik : **Mas Adit, Bang Doga, Mas Lendri, Pak**

Selamet, Mas Fajar, dan Kang Ateng. Terimakasih atas *sharing* motivasi serta ilmunya selama ini.

15. Buat rekan BEM FT: **Fahmi Alif Utam H** sebagai partnerku serta rekan yang lainnya, **Yunike, Febrina Johana (VB), Masika Arinal, Nurul Umuniah L (Umu), Jefri Agus H, Agung, Veri, Ali mustafa, dan Yolanda.** Terimakasih atas kerjasamanya selama ini.

Serta semua pihak satu persatu yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai. Semoga Allah membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat bermanfaat dalam dunia ilmu Pengetahuan dan Teknologi. Semoga Allah SWT mencatat dan membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. *Aamiin*

Bandar Lampung, Mei 2017

Penulis,

Eki Zuhelmi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
HALAMAN MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Daerah Penelitian	3
2.2 Letak Geografis dan Struktur Geologi	4

2.3 Tektonik Regional	5
2.4 Cekungan Sedimen Jawa Timur Utara.....	6
2.5 Konfigurasi Cekungan Jawa Timur Utara	7

BAB III TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat (<i>Gravity</i>)	15
3.1.1. Potensial Gayaberat	16
3.1.2. Koreksi dalam Metode Gayaberat	18
3.1.3. Analisa Spektrum.....	24
3.2 Metode Geomagnetik	26
3.2.1. Kemagnetan Bumi	27
3.2.2. Kuat Medan Magnet	28
3.2.3. Intensitas Magnetik.....	28
3.2.4. Medan Magnet Induksi dan Total	29
3.2.5. <i>The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)</i>	32
3.2.6. Anomali Magnetik	34
3.2.7. Kutub Geomagnetik	35
3.2.8. Kontinuasi Keatas (<i>Upward Continuation</i>)	36
3.2.9. Prinsip Pemodelan Inversi 3 Dimensi.....	37

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	41
4.2. Alat dan Bahan	42
4.4. Diagram Alir Penelitian	42

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengolahan Data Gayaberat.....	44
5.1.1. Analisa Spektrum	48
5.1.2. Anomali Regional dan Residual	52
5.1.3. Inversi 3D Anomali Gayaberat	55
5.2. Pengolahan Data Magnetik	62
5.2.1. Anomali Regional dan Residual.....	64

5.2.2. <i>Reduction To Pole</i>	67
5.2.3. Inversi 3D Data Magnetik	69
5.3. Analisa Terpadu	78

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	99
6.2. Saran	100

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Peta Administrasi Jawa Timur.....	3
Gambar 2. Geologi Regional Lembar Bojonegoro, Jawa Timur.....	4
Gambar 3. Fisiografi Pulau Jawa dan Pulau Madura	6
Gambar 4. <i>Geological setting of Java</i>	7
Gambar 5. <i>Stratigraphy of Java's basins</i>	9
Gambar 6. Gaya Tarik menarik antara dua benda.....	16
Gambar 7. Potensial massa pada 3D	17
Gambar 8. Teknik Pengambilan data gayaberat.....	20
Gambar 9. Elipsoid sebagai bentuk bumi.....	21
Gambar 10. Titik amat P pada ketinggian h terhadap permukaan acuan	22
Gambar 11. Kurva Ln A terhadap k	26
Gambar 12. Deklinasi dan Inklinasi	28
Gambar 13. Contoh induksi magnet pada bahan magnetik.....	30
Gambar 14. Total anomali medan magnet.....	32
Gambar 15. 7 (tujuh) variabel magnetik.....	36
Gambar 16. Ilustrasi kontinuitas ke atas.....	37
Gambar 17. Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 18. Sebaran titik pengukuran gayaberat.....	43
Gambar 19. Sebaran titik pengukuran magnetik	44
Gambar 20. Peta Anomali Gayaberat Bouguer	45
Gambar 21. Reduksi Bidang Datar Anomali Gayaberat	46
Gambar 22. Kontinuitas ke Atas Anomali Gayaberat	47
Gambar 23. Anomali Gayaberat Kontinuitas 70 m	48

Gambar 24. <i>Slicing data</i> Analisa Spektrum	49
Gambar 25. Kurva Spektrum KWG-5.....	50
Gambar 26. Kurva Spektrum KWG-7	50
Gambar 27. Kurva Spektrum KWG-9.....	50
Gambar 28. Hasil Polinomial Anomali Gayaberat.....	52
Gambar 29. Peta Anomali Regional Gayaberat.....	53
Gambar 30. Peta Anomali Residual Gayaberat	54
Gambar 31. Inversi 3D Anomali Gayaberat.....	55
Gambar 32. <i>Cut-Plane</i> Horizontal inversi 3D Anomali Gayaberat.....	56
Gambar 33. <i>Cut-Plane</i> arah Selatan	57
Gambar 34. a) Pemotongan data minimum b) Pemotongan data maksimum ...	58
Gambar 35. Hasil Inversi 3D Anomali Residual Gayaberat	59
Gambar 36. <i>Cut-Plane</i> Horizontal Anomali Residual Gayaberat	61
Gambar 37. <i>Cut-Off</i> Anomali Residual Gayaberat.....	61
Gambar 38. Peta kontur AMT	62
Gambar 39. Overlay Anomali Magnet Total.....	63
Gambar 40. Peta reduksi bidang datar Anomali Magnet Total (AMT).....	64
Gambar 41. Hasil Polinomial Anomali Magnetik	65
Gambar 42. Peta Regional Anomali Magnetik.....	65
Gambar 43. Peta Anomali Residual Magnetik	66
Gambar 44. Peta anomali reduksi ke kutub 90^0	67
Gambar 45. <i>Pseudo Gravity</i>	68
Gambar 46. Overlay Anomali Gayaberat dengan <i>Pseudo Gravity</i>	69
Gambar 47. Inversi 3D Anomali Magnetik Reduksi Bidang Datar	70
Gambar 48. <i>Cut-Plane</i> Anomali Magnetik Reduksi Bidang Datar	71
Gambar 49. <i>Cut-Off</i> Anomali Reduksi Bidang Datar	72
Gambar 50. Inversi 3D Anomali Residual Magnetik	73
Gambar 51. <i>Cut-Plane</i> Anomali Residual Magnetik.....	74
Gambar 52. Inversi 3D <i>Pseudo Gravity</i>	75
Gambar 53. Horizontal <i>Cut-Plane Pseudo Gravity</i>	76
Gambar 54. <i>Cut-Off Pseudo Gravity</i>	76
Gambar 55. Anomali Residual Gaya berat dan <i>Pseudo Graviy</i>	77

Gambar 56. Lintasan Seismik Pada Anomali Gayabarat	78
Gambar 57. Lintasan Seismik Pada Anomali Magnetik.....	79
Gambar 58. Penampang seismik lintasan KWG-5	79
Gambar 59. Penampang seismik lintasan KWG-7	80
Gambar 60. Penampang seismik lintasan KWG-9	80
Gambar 61. Korelasi model 3D anomali gayabarat dengan KWG-5	81
Gambar 62. Korelasi model 3D anomali gayabarat dengan KWG-7	82
Gambar 63. Korelasi model 3D anomali gayabarat dengan KWG-9	83
Gambar 64. Korelasi anomali magnetik terhadap penampang KWG-5	85
Gambar 65. Korelasi anomali magnetik terhadap penampang KWG-7	86
Gambar 66. Korelasi anomali magnetik terhadap penampang KWG-9	87
Gambar 67. Model 3D anomali gayabarat residual dengan KWG-5	89
Gambar 68. Model 3D anomali gayabarat residual dengan KWG-7	91
Gambar 69. Model 3D anomali gayabarat residual dengan KWG-9	92
Gambar 70. Model 3D anomali residual magnetik dengan KWG-5	93
Gambar 71. Model 3D anomali residual magnetik dengan KWG-7	94
Gambar 72. Model 3D anomali residual magnetik dengan KWG-9	95

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Batuan reservoir di Cekungan Jawa Timur Utara.....	13
Tabel 2. Jadwal penelitian	41
Tabel 3. Hasil perhitungan analisa spektrum tiap lintasan	51
Tabel 4. Variasi nilai rapat massa batuan sedimen.....	98
Tabel 5. Variasi nilai suseptibilitas batuan sedimen	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lapangan minyak Kawengan merupakan salah satu lapangan minyak PERTAMINA yang berada pada Cekungan Jawa Timur Utara (CJTU). Lapangan ini berada pada struktur Kawengan yang dikenal sebagai struktur penghasil minyak yang di temukan pada tahun 1990-an oleh perusahaan Belanda. Hingga saat ini dari 167 sumur yang telah di bor, 42 sumur masih memberikan produksi minyak dari batu pasir Formasi Ngrayong. Berdasarkan perhitungan, sisa cadangan dari formasi ini adalah $\pm$ 35 juta barel (Yudha, 2003). Untuk dapat mempertahankan atau meningkatkan produksinya, PERTAMINA bermaksud untuk meningkatkan usaha eksplorasi dengan melakukan lebih banyak lagi studi potensi hidrokarbon, salah satunya yaitu studi geofisika untuk analisis potensi hidrokarbon pada lapangan minyak Kawengan.

Pada konsep eksplorasi geofisika, dalam melakukan studi potensi hidrokarbon, diperlukan intergrasi dari berbagai metode geofiska. Metode geofisika yang telah dilakukan pada daerah ini antara lain metode sismik, gayaberat, dan magnetik. Pada metode seismik telah dihasilkan suatu penampang dari

beberapa lintasan pengukuran. Hasil tersebut akan dikorelasikan dengan model data gayaberat dan magnetik yang dilakukan pada penelitian ini untuk identifikasi keberadaan potensi hidrokarbon.

Pada akhirnya, hasil integrasi penampang seismik yang tersedia dengan analisa hasil pemodelan gayaberat dan magnetik yang dilakukan pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang cukup untuk menginterpretasikan struktur bawah permukaan daerah penelitian.

1.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan anomali gayaberat dan anomali magnetik untuk identifikasi keberadaan potensi hidrokarbon di daerah “X”.

1.2. Batasan Masalah

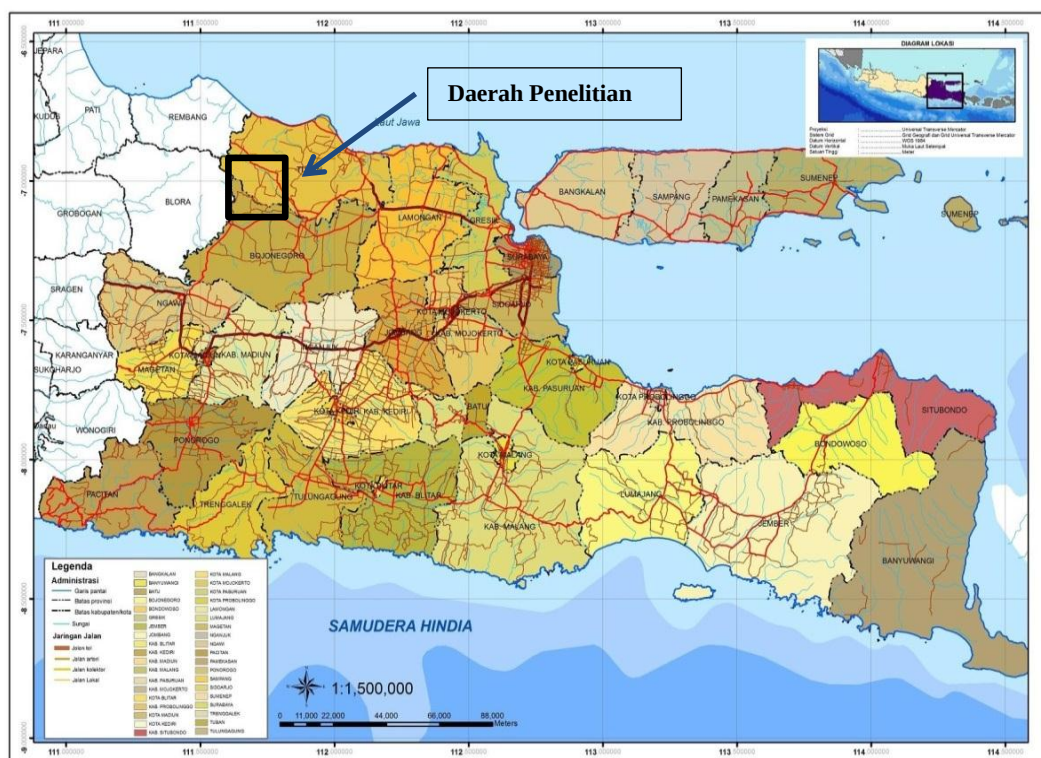
Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dititikberatkan pada pemodelan bawah permukaan menggunakan metode gayaberat dan metode geomagnetik untuk interpretasi Potensi Hidrokarbon pada daerah penelitian
2. Penampang seismik di daerah penelitian digunakan dalam interpretasi terpadu data geofisika.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan pada daerah Jawa Timur yang meliputi dua kabupaten yaitu Kabupaten Tuban dan Kabupaten Bononegoro. Pada daerah tersebut masuk kedalam zona Lapangan Minyak Kawengan (Blok Cepu) yang dikelola oleh PT. Pertamina EP.

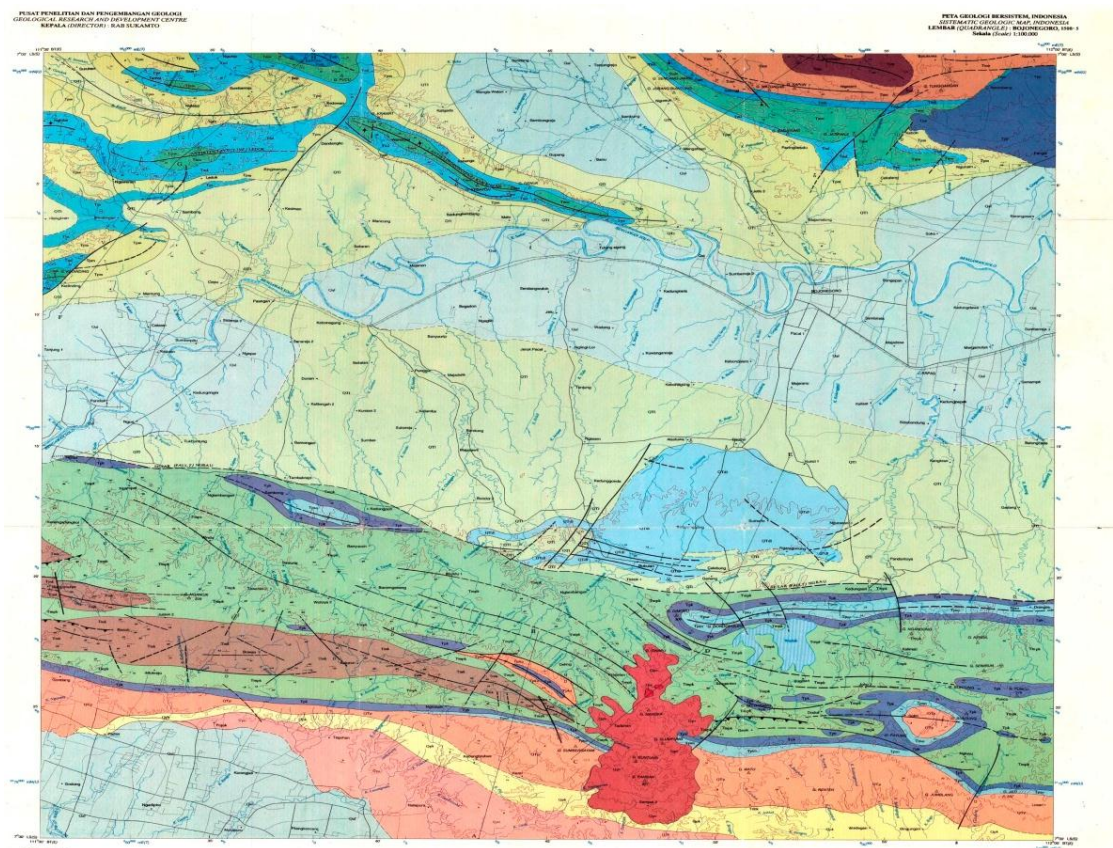


Gambar 1. Peta Administrasi Jawa Timur (Kemendagri, 2012)

2.2 Letak Geografis dan Struktur Geologi.

Lapangan minyak Kawengan terletak kurang lebih 22 km di sebelah Timur Laut kota Cepu, membentang dari arah Barat Laut ke Tenggara kurang lebih sepanjang 15 km, dengan lebar bagian Barat 1 km, dan lebar bagian Timur 1,5 km. Lapangan Minyak Kawengan terletak dalam tiga kecamatan, masing-masing adalah:

1. Kecamatan Kasiman, di bagian Barat
2. Kecamatan Senori, di bagian Tengah
3. Kecamatan Malo, di bagian Timur

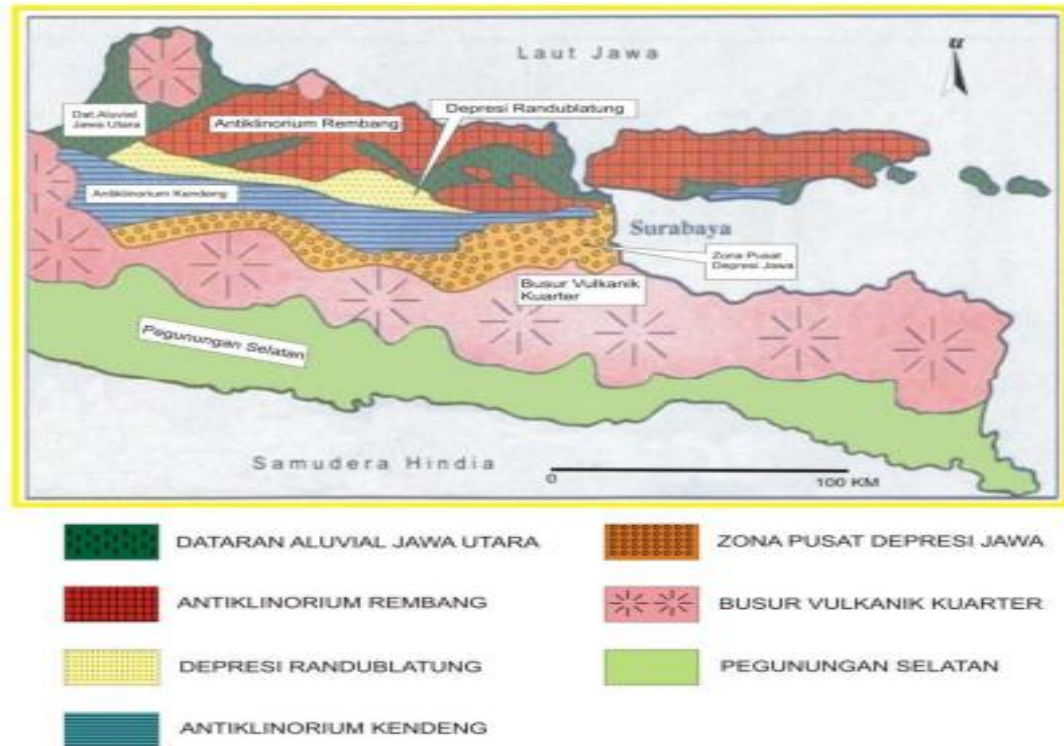


Gambar 2. Geologi Regional Lembar Bojonegoro, Jawa Timur
(Pringgoprawiro dan Sukido, 1992)

Gambar 2. menjelaskan bahwa secara regional Lapangan Minyak Kawengan termasuk dalam zona geologi lembar Bojonegoro. Antiklin pada lapangan ini tersusun dari empat formasi batuan yang termasuk dalam batuan *Tersier*. Formasi-formasi batuan tersebut yaitu formasi Wonocolo (Tmw), Bulu (Tmb), Ngrayong (Tmn), dan Tawun (Tmt). Struktur lapangan minyak Kawengan mempunyai bentuk struktur antiklin asimetris, yang terdiri dari empat buah puncak, dimulai dari desa Wonocolo di sebelah barat menjurus ke arah Tenggara dan berakhir di daerah Kanten dengan puncak antiklin semakin rendah. Panjang antiklinal lapangan minyak Kawengan sekitar 24 km dan panjang daerah yang diproduksi sekitar 13,2 km (Irawan, 2010).

2.3 Tektonik Regional

Pola struktur di daerah penelitian dipengaruhi oleh terjadinya sesar-sesar geser mengiri (sinistral) yang terjadi karena adanya sesar-sesar Pra-Tersier yang berarah baratdaya- timurlaut. Sesar geser mengiri ini terjadi karena adanya penunjaman baru lempeng Samudera Hindia ke bagian bawah Lempeng kontinen Asia, sesar-sesar lama yang berarah baratdaya-timurlaut akibat tekanan dari selatan aktif lagi dan terjadi pergerakan mengiri sehingga arahnya relatif menjadi Barat-Timur. Akibat sesar-sesar geser kiri tersebut terjadi perlipatan en-echelon dan antiklin-antiklin yang terjadi umumnya berasosiasi dengan struktur bunga (flower structure) seperti yang terlihat pada **Gambar 3.** yaitu sebuah penampang fisiografi yang secara umum menggambarkan kerangka fase tektonik dan konfigurasi Cekungan Jawa Timur Utara.



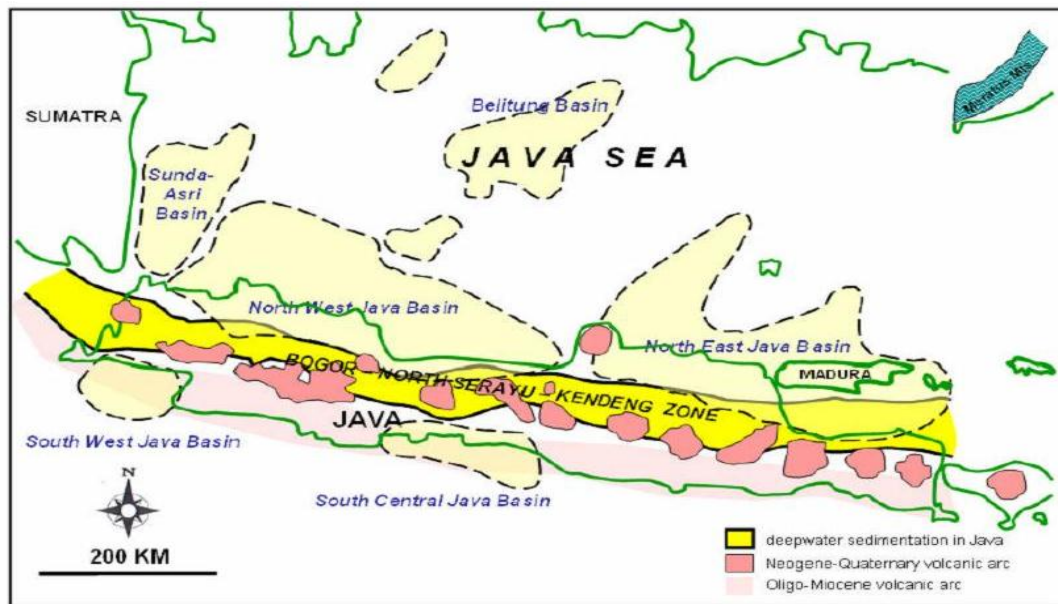
Gambar 3. Fisiografi Pulau Jawa dan Pulau Madura (Bemmelen, 1949)

2.4 Cekungan Sedimen Jawa Timur Utara

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. Cekungan ini merupakan zona lemah akibat tumbukan atau penunjaman Lempeng Samudera Australia ke arah Barat Laut di bawah lempeng Asia. Kemudian karena adanya pemindahan jalur zona tumbukan yang terus-menerus ke arah Selatan Indonesia, maka sekarang ini Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk sebagai cekungan belakang busur (*back arc basin*).

Secara geografi Cekungan Jawa Timur Utara berada di antara Laut Jawa yang terletak di bagian Utaranya dan sederetan gunung api yang berarah Barat-Timur

di bagian Selatannya seperti terlihat pada **Gambar 2**. Cekungan Jawa Timur Utara ini menempati luas $\pm 50.000 \text{ Km}^2$ yang melingkupi daratan sebelah Timur Jawa Tengah, Jawa Timur, Lepas pantai di sekitar Laut Jawa Utara hingga selat Madura.



Gambar 4. *Geological setting of Java* (Satyana dan Purwaningsih, 2003)

2.5 Konfigurasi Cekungan Jawa Timur Utara

Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi tiga bagian besar (Pringgoprawiro, 1983). Adapun 3 pembagian tersebut berturut-turut dari selatan ke utara adalah sebagai berikut:

1. Zona Kendeng

Terletak langsung di sebelah utara deretan gunung api, terdiri dari endapan kenozoikum muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai dengan sesar-sesar sungkup dengan kemiringan ke selatan. Panjang Zona Kendeng sekitar 250 km dengan lebar maksimumnya adalah 40 km.

2. Zona Randublatung

Merupakan suatu depresi fisiografi akibat gejala tektonik yang terbentang di antara Zona Kendeng dan Zona Rembang, terbentuk pada kala Pleistosen dengan arah Barat-Timur. Beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah berada pada depresi ini. Sepanjang dataran ini mengalir sungai utama, yaitu sungai Bengawan Solo.

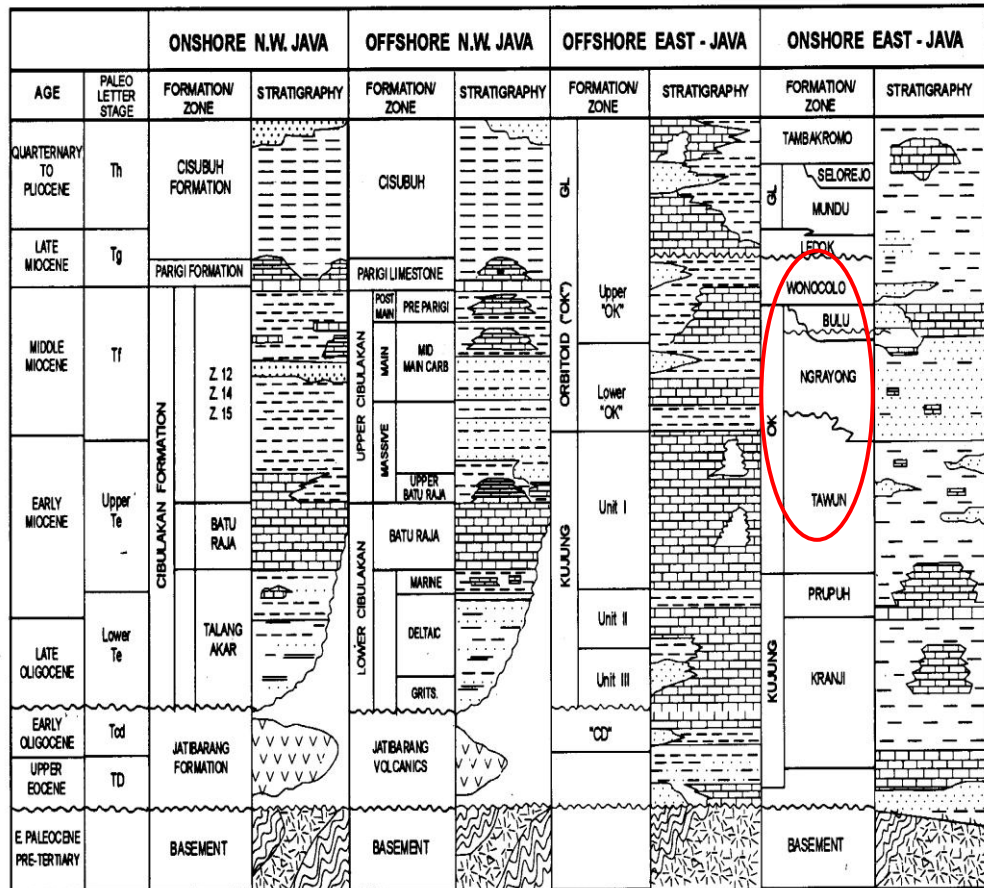
3. Zona Rembang-Madura

Zona Rembang terbentang sejajar dengan Zona 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 lipatan 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.

Litostratigrafi Tersier di Cekungan Jawa Timur bagian Utara banyak diteliti oleh para pakar geologi diantaranya adalah Trooster (1937), Van Bemmelen (1949), Marks (1957), Koesoemadinata (1969), Kenyon (1977), dan Musliki (1989) serta telah banyak mengalami perkembangan dalam susunan

stratigrafinya. Kerancuan tatanama satuan Litostratigrafi telah dibahas secara rinci oleh Pringgoprawiro (1983) Pembahasan masing-masing satuan dari tua ke muda adalah sebagai berikut :



Gambar 5. *Stratigraphy of Java's basins* (Pringgoprawiro, 1983)

1. Formasi Tawun

Formasi Tawun mempunyai kedudukan selaras di atas Formasi Tuban, dengan batas Formasi Tawun yang dicirikan oleh batuan lunak (batulempung dan napal). Bagian bawah dari Formasi Tawun, terdiri dari Batu Lempung, Batu Gamping pasir, Batu Pasir dan Lignit, sedangkan pada bagian atasnya (Anggota Ngrayong) terdiri dari batupasir yang kaya akan Moluska, Lignit dan makin ke atas dijumpai pasir kuarsa yang mengandung Mika dan Oksida

besi. Penamaan Formasi Tawun diambil dari desa Tawun, yang dipakai pertama kali oleh Brouwer (1957). Lingkungan pengendapan Formasi Tawun adalah paparan dangkal yang terlindung, tidak terlalu jauh dari pantai dengan kedalaman 0 – 50 meter di daerah tropis. Formasi Tawun merupakan reservoir minyak utama pada Zona Rembang. Berdasarkan kandungan fosil yang ada, Formasi Tawun diperkirakan berumur Miosen Awal bagian Atas sampai Miosen Tengah.

2. Formasi Ngrayong

Formasi Ngrayong mempunyai kedudukan selaras di atas Formasi Tawun. Formasi Ngrayong disusun oleh batupasir kwarsa dengan perselingan batulempung, lanau, lignit, dan batugamping bioklastik. Pada batupasir kuarsanya kadang-kadang mengandung cangkang moluska laut. Lingkungan pengendapan Formasi Ngrayong di daerah dangkal dekat pantai yang makin ke atas lingkungannya menjadi *litoral*, *lagoon*, hingga *sublittoral* pinggir. Berdasarkan kandungan fosil yang ada, Formasi Ngrayong diperkirakan berumur Miosen Tengah.

3. Formasi Bulu

Formasi Bulu secara selaras berada di atas Formasi Ngrayong. Formasi Bulu semula dikenal dengan nama '*Platen Complex*' dengan posisi stratigrafi terletak selaras di atas Formasi Tawun dan Formasi Ngrayong. Ciri litologi dari Formasi Bulu terdiri dari perselingan antara batugamping dengan kalkarenit, kadang – kadang dijumpai adanya sisipan batulempung. Pada batugamping pasiran berlapis tipis kadang-kadang memperlihatkan struktur

silang-siur skala besar dan memperlihatkan adanya sisipan napal. Pada batugamping pasiran memperlihatkan kandungan mineral kuarsa mencapai 30 %, foraminifera besar, ganggang, *bryozoa* dan *echinoid*. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal antara 50–100 meter. Tebal dari formasi ini mencapai 248 meter. Formasi Bulu diperkirakan berumur Miosen Tengah Bagian Atas.

4. Formasi Wonocolo

Lokasi tipe Formasi Wonocolo tidak dinyatakan oleh Trooster (1937) kemungkinan berasal dari desa Wonocolo, 20 km Timur Laut Cepu. Formasi Wonocolo terletak selaras di atas Formasi Bulu (**Gambar 5**), terdiri dari napal pasiran dengan sisipan kalkarenit dan kadang-kadang batulempung. Pada napal pasiran sering memperlihatkan struktur parallel laminasi. Formasi Wonocolo diendapkan pada kondisi laut terbuka dengan kedalaman antara 100–500 meter. Tebal dari formasi ini antara 89 meter sampai 339 meter. Formasi Wonocolo diperkirakan berumur Miosen akhir bagian bawah sampai Miosen Akhir bagian tengah.

2.6 Petroleum System

Secara struktur dan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan *back arc* Indonesia terkompleks 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.

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 tiap tahap pembentukan hingga terakumulasinya hidrokarbon. *Petroleum system* ini terdiri dari 5 unsur penting yaitu:

1. Adanya batuan induk yang matang, yaitu suatu bahan yang mempunyai harga *Temperature Time Index (TTI)* 15-500.
2. Adanya batuan reservoir, yaitu batuan yang mempunyai porositas dan permeabilitas yang baik yang memungkinkan menjadi tempat penampung hidrokarbon.
3. Adanya batuan penutup, yaitu batuan kedap fluida (*impermeable*) dan terletak di atas batuan reservoir yang akan berfungsi sebagai penutup yang menghalangi keluarnya fluida dari batuan reservoir.
4. Adanya mekanisme migrasi sebagai jalan bagi hidrokarbon dari batuan induk ke batuan waduk.
5. Adanya pemerangkapan, yaitu suatu bentuk geometri atau bentuk tinggian dari batuan waduk yang memungkinkan hidrokarbon terakumulasi dan terperangkap di geometri tersebut

1. Batuan induk

Batuan induk diendapkan pada *fluvio-deltaic* dimana terjadi pengendapan yang cepat yang merupakan salah satu cara untuk mencegah rusaknya material. Batuan yang terindikasi sebagai batuan induk pada Cekungan Jawa Timur berasal dari Formasi Ngimbang.

2. Batuan Reservoir

Suatu reservoir dikatakan baik jika mempunyai porositas (10-30%) dan permeabilitas (50-500 *millidarcy*) karena pori-pori yang saling berhubungan ini akan sangat mempengaruhi besar kecilnya daya tampung dari suatu batuan reservoir. Batuan yang bertindak sebagai reservoir yang baik adalah batupasir pada formasi Ngrayong yang berumur Miosen Tengah.

Tabel 1. Batuan reservoir di Cekungan Jawa Timur Utara (Pertamina, 2009)

Reservoir	Litologi	Trap	Field
Ngrayong	<i>sandstone Limestone</i>	<i>Anticline on Flower stucture, faulted closure</i>	Randugunting, Banyuabanng, Wonocolo, Nglobo, Semanggi
Tuban	<i>Sandstone</i>	<i>Anticline on Flower stucture, faulted closure</i>	Candi, Ngiono, Tawun
Kujung	<i>Limestone/s andstone</i>	<i>Drapping, carbonate buid-up, faulted closure</i>	Mudi, Sukowati, Banyuurip, Cendono
Ngimbang	<i>Limestone/s andstone</i>	<i>carbonate buid-up, stratigraphy, filled block, alluvial fan</i>	Pagerungan gas, Suci A & B, West kangean gas

3. Batuan Penutup

Secara umum biasanya yang berperan sebagai batuan penutup adalah lempung, evaporit (*salt*), dan batuan karbonat (*limestone & dolomite*).

4. Mekanisme Migrasi

Secara umum migrasi dibagi menjadi dua, yaitu migrasi primer dan migrasi sekunder. Migrasi primer adalah pergerakan hidrokarbon keluar dari batuan induk menuju bautan reservoir, sedangkan migrasi sekunder adalah pergerakan hidrokarbon dari satu reservoir ke reservoir lainnya melalui patahan ataupun *up-dip* (Moehadi, 2010).

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-Pleistosen (Ngrayong-Wonocolo-Ledok) melalui media jalur patahan. Migrasi ini berlangsung di pemerangkapan hidrokarbon pada lapangan Gabus, Tungkul, Trembul, Metes, Banyuasin, Semanggi, Ledok, Nglobo, dan Banyuabang.

Migrasi sekunder yang telah terjadi setelah tektonik Plio-Pleistosen, dimana hidrokarbon yang sudah terperangkap pada lapisan reservoir sembulan karbonat Kujung-Tuban, akibat pengaruh aktivitas tektonik dan perubahan konfigurasi kemiringan lapisan batuan akhirnya bermigrasi lagi masuk ke perangkap batupasir Ngrayong, Wonocolo, Ledok, dan Lidah.

5. Perangkap (*Trap*)

Perangkap struktur merupakan target eksplorasi yang paling sering dicari karena jenis perangkap ini mudah dideteksi. Pada umumnya perangkap ini merupakan sebuah antiklin yang pembentukannya akan sangat berkaitan erat dengan aktivitas tektonik di daerah tersebut. Sedangkan perangkap stratigrafi adalah jebakan yang terbentuk dan berhubungan dengan perubahan tipe batuan baik secara lateral maupun vertikal dan ketidakselarasan.

Sebagian besar jebakan yang berkembang di Cekungan Jawa Timur Utara adalah perangkap struktur dan stratigrafi yang terbentuk pada umur Miosen, yaitu *carbonat buil-up* pada masa Oligosen Akhir-Miosen Awal dan struktur *Uplift* yang terjadi pada masa Miosen Awal-Miosen Akhir.

BAB III

TEORI DASAR

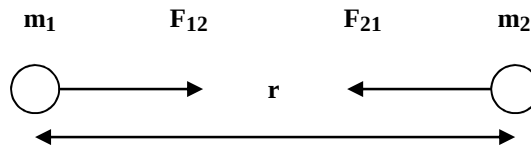
Metode gayaberat dan metode geomagnet merupakan metode eksplorasi geofisika yang digunakan untuk mengukur variasi medan alami bumi antara lain medan magnet dan medan gravitasi bumi akibat adanya perbedaan respon terhadap suatu medan antar batuan. Dalam prakteknya, kedua metode ini mempelajari perbedaan medan alami bumi dari satu titik terhadap titik observasi lainnya. Secara prinsip, kedua metode ini digunakan karena kemampuannya dalam membedakan respon medan dari suatu sumber anomali terhadap medan lingkungan sekitarnya. Dari variasi medan tersebut dapat diketahui gambaran bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah.

3.1 Metode Gayaberat (*Gravity*)

Metoda gayaberat menggunakan hukum dasar yaitu hukum Newton tentang gravitasi dan teori medan potensial. Newton menyatakan bahwa besar gaya tarik menarik antara dua buah partikel yang mempunyai massa m_1 dan m_2 dengan jarak antara kedua titik pusat partikel tersebut r adalah (Grant, 1965):

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}|^2} \hat{r} \quad (1)$$

dimana, F adalah Gaya antara benda m_1 dan m_2 , G adalah konstanta gravitasi ($6,672 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$), dan r adalah jarak antara m_1 dan m_2 .



Gambar 6. Gaya tarik menarik antara dua benda (Sutopo, 2008)

3.1.1. Potensial Gayaberat

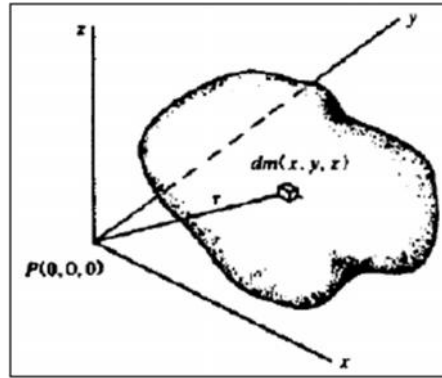
Potensial gayaberat adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu massa dari suatu titik ke titik tertentu. Suatu benda dengan massa tertentu dalam sistem ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gravitasi tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya tergantung pada posisi awal dan akhir (Rosid, 2005). Potensial gayaberat dapat dinyatakan sebagai fungsi potensial skalar $U(r)$ yaitu:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \quad (2)$$

dengan $U(r)$ merupakan potensial medan gayaberat dan potensial total gayaberat di suatu titik dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r g dr = -Gm_1 \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m_1}{r} \quad (3)$$

Potensial total gayaberat bersifat penjumlahan sedangkan potensial gayaberat oleh distribusi massa yang kontinyu atau benda berdimensi yaitu dalam ruang bervolume V dengan rapat massa yang konstan ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Potensial massa tiga dimensi (Telford dkk., 1990)

Gambar 7. menunjukkan sebuah massa tiga dimensi dengan bentuk sembarang, dimana potensial dan kuat medan gayaberat di titik P dapat dihitung dengan jalan membagi massa m menjadi elemen-elemen kecil dm kemudian diintegrasikan untuk memperoleh efek totalnya. Besarnya potensial pada sembarang titik P di luar benda bervolume V adalah potensial dari elemen massa dm berjarak r dari titik P , yaitu:

$$dU = G \frac{dm}{r} = \frac{G \rho dx dy dz}{r} \quad (4)$$

dimana, ρ adalah *densitas* dan $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

Potensial di titik P karena pengaruh massa total m adalah:

$$U = G \rho \iiint_V \frac{1}{r} dx dy dz \quad (5)$$

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G \iiint_V \frac{\rho}{r^3} dx dy dz \quad (6)$$

Dari persamaan tersebut, medan gayaberat g di permukaan bumi mempunyai nilai yang bervariasi tergantung pada distribusi massa di bawah permukaan seperti yang dinyatakan dalam fungsi densitas dan batas integrasi yang berupa volume.

3.1.2. Koreksi dalam Metode Gayaberat

Permulaan bumi terbentuk hanya berupa bola 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 rataanya 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 system matahari serta tidak homogen, sehingga variasi gayaberat di setiap titik di permukaan bumi akan tidak konstan dan dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya yaitu *Geodetic* (Telford dkk, 1990):

a). Koreksi pasang surut

Percepatan gravitasi di permukaan bumi di samping dipengaruhi oleh adanya gaya tarik bumi juga dipengaruhi oleh gaya tarik matahari dan bulan, sehingga untuk mendapatkan percepatan gayaberat yang akurat harus memperhitungkan pengaruh dari gaya tarik bulan dan matahari yang sering disebut dengan koreksi pasang surut.

Besarnya koreksi pasang surut dapat di ukur langsung dengan menggunakan Gravimeter secara periodik maupun hitungan dengan menggunakan komputer berdasarkan perumusan Longman (1969).

$$U_m = G(r) \left[\left(\frac{c}{R} \right) \left(\cos 2\alpha_m + \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{6} \frac{r}{c} \left(\frac{c}{R} \right) (5 \cos 3\alpha_m + 3 \cos \alpha_m) \right] \quad (6)$$

Dimana :

f = lintang

d = deklinasi

R = 'moon hour angel'

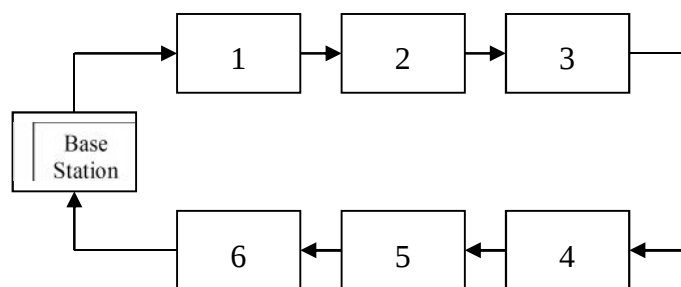
c = jarak rata-rata ke bulan

b). Koreksi *drift* (Apungan)

Koreksi drift adalah koreksi yang dilakukan sebagai akibat adanya perbedaan pembacaan harga gayaberat dari stasiun yang sama pada waktu yang berbeda yang disebabkan oleh adanya goncangan pada pegas selama proses pengukuran dari stasiun satu ke stasiun lain. Jadi koreksi drift dapat diartikan sebagai koreksi yang disebabkan karena sifat alat itu sendiri yang selalu menunjukkan perubahan harga setiap waktu. Secara matematik koreksi drift dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$DA = \frac{t_A - t_0}{t_t - t_0} \times (C_t - C_0) \quad (7)$$

dimana, DA adalah koreksi drift pada titik pengamatan (*station*) A, t_A adalah waktu pembacaan pada titik pengamatan (*station*) A, t_0 adalah waktu pengukuran awal di *Base Station*, t_t adalah waktu pengukuran akhir di *Base Station*, C_0 adalah Harga pembacaan (*counter reading*) pengukuran awal di *Base Station*, dan C_t adalah Harga pembacaan (*counter reading*) pengukuran akhir di *Base Station*.



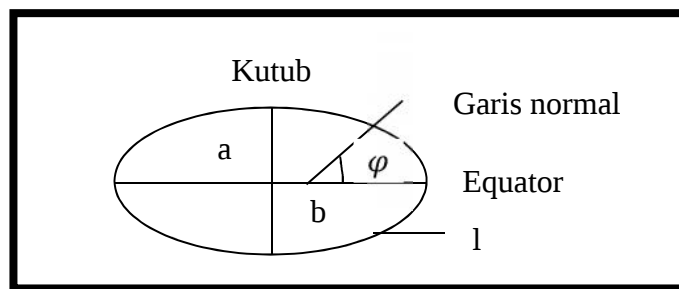
Gambar 8. Teknik Pengambilan data gayaberat

c). Koreksi lintang (*Latitude Correction*)

Telah diketahui bahwa bentuk bumi tidaklah bulat sempurna akan tetapi berbentuk sferoid dengan pepat pada kedua kutubnya, sehingga besarnya

harga gravitasi di kutub dan di khatulistiwa tidak sama. Dengan adanya perbedaan ini maka koreksi lintang sangat mempengaruhi besar gayaberat di suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan koreksi lintang dari *International Association of Geodesy System* (IAG.1967) dengan rumusan (Blakely,1955) yaitu:

$$g_n = 978031.846(1 + 0.0053024\sin^2 j - 0.0000058\sin^2 2j) \quad (8)$$



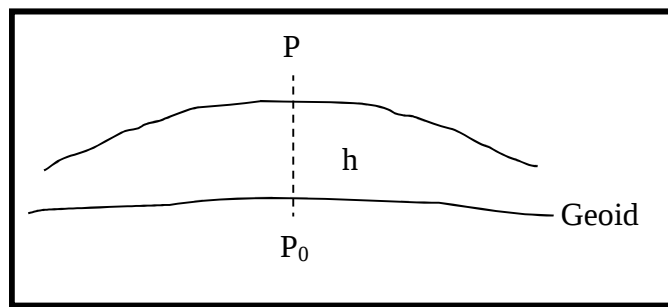
Gambar 9. Elipsoid sebagai bentuk bumi (Sutopo, 2008)

d). Koreksi udara bebas (*Free Air Correction*)

Koreksi udara bebas adalah koreksi yang digunakan untuk menghilangkan perbedaan harga gayaberat yang disebabkan oleh pengaruh ketinggian antara pengamatan dengan titik datum referensi. Pada koreksi udara bebas hanya memperhitungkan elevasi antara titik pengamatan dengan titik datum referensi dengan mengabaikan massa di antaranya. Besar koreksi udara bebas ini adalah:

$$KUB = 0,3086 h \quad \text{mgal} \quad (9)$$

dimana, h adalah ketinggian titik amat (meter) dan KUB adalah koreksi udara bebas.



Gambar 10. Titik amat P pada ketinggian h terhadap permukaan acuan

e). Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Setelah dikoreksi oleh udara bebas maka pengaruh tinggi rendah bisa dihindari, namun dengan adanya bukit dan jurang yang tersusun oleh material, maka pengaruh massa dari material tersebut harus diperhitungkan. Perhitungan ini disebut koreksi bouguer. Koreksi ini memperhitungkan efek massa yang ada di atas maupun di bawah bidang referensi. Misalkan, jika suatu titik amat berada di atas *slab* (bidang datar) yang luas maka distribusi massa luasan tersebut akan memperbesar pengukuran gaya berat di titik tersebut.

Untuk menurunkan koreksi bouguer di dekati dengan anggapan bahwa *slab* suatu luasan horizontal yang tak berhingga dengan rapat massa dan ketebalan yang *uniform*.

$$\begin{aligned} BC &= 2 \pi G r z \text{ mgal} \\ &= 0.04193 r h \text{ (mgal)} \end{aligned} \tag{10}$$

dimana, r adalah rapat massa (densitas) Bouguer (kg/m^3), z adalah ketinggian titik amat (meter), G adalah konstanta gaya berat ($6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$), dan BC adalah Koreksi Bouguer (mgal).

f). Koreksi medan (*Terrain Correction*)

Pada koreksi bouguer kita menganggap permukaan lempeng di atas bidang acuan adalah rata, akan tetapi pada kenyataannya tidak demikian melainkan berlembah dan bergunung-gunung sehingga tidak mewakili keadaan yang sebenarnya. Adanya lembah akan mengurangi nilai percepatan gayaberat di titik ukur, demikian dengan adanya bukit mengakibatkan berkurangnya percepatan gayaberat di titik ukur karena pengaruh adanya massa bukit.

g). Anomali Bouguer (*Bouguer Anomaly*)

Anomali Bouguer di suatu titik amat dapat didefinisikan sebagai penyimpangan harga gayaberat pengamatan (g_{obs}) terhadap gayaberat normal teoritis. Besarnya harga gayaberat normal di titik tersebut diperkirakan dari harga gayaberat normal dengan memasukkan nilai koreksi udara bebas, koreksi ketinggian dan koreksi medan. Jika seluruh koreksi tersebut telah dihitung maka besarnya anomali Bouguernya adalah:

$$\Delta g = g_{obs} - (g_n - KUB + KB - KM) \quad (11)$$

dimana, Δg adalah Anomali Bouguer, g_{obs} adalah Percepatan gayaberat teramati, g_n adalah Percepatan gayaberat normal, KUB adalah Koreksi udara bebas, KB adalah Koreksi Bouguer, dan KM adalah Koreksi Medan.

Nilai anomali ini merupakan harga anomali Bouguer di titik pengamatan pada ketinggian h dan merupakan anomali kumulatif akibat semua penyebab anomali yang berada di bawah ketinggian titik amat.

3.1.3. Analisa Spektrum

Analisa spektrum dilakukan untuk mengestimasi kedalaman anomali gayaberat serta estimasi lebar jendela (digunakan pada *moving average*). Analisa spektrum dilakukan dengan cara men-transformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur CBA. Secara umum, suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu bentuk gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya.

Amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut didisplay sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara matematis hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (input) dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier diberikan oleh persamaan berikut :

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j 2\pi f t} dt \quad (12)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$

Pada metoda gayaberat, spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut (Blakely, 1996) :

$$F(U) = g m F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \quad (13)$$

dimana, U adalah potensial gayaberat, m adalah anomali rapat massa, g adalah konstanta gayaberat, dan r adalah jarak.

Sehingga persamaannya menjadi :

$$F(U) = 2\pi g m \frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \quad (14)$$

Berdasarkan persamaan 13, Transformasi Fourier anomali gayaberat yang diamati pada bidang horizontal diberikan oleh :

$$\begin{aligned} F(g_z) &= g m F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \\ &= g m \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \\ F(g_z) &= 2\pi g m e^{|k|(z_0 - z')} \end{aligned} \quad (15)$$

dimana, g_z adalah anomali gayaberat , z_0 adalah ketinggian titik amat, k adalah bilangan gelombang, dan z adalah kedalaman benda anomali.

Jika distribusi rapat massa bersifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $m = 1$, sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi :

$$A = C e^{|k|(z_0 - z')} \quad (16)$$

dimana, A adalah amplitudo dan C adalah konstanta.

Estimasi lebar jendela dilakukan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan untuk memisahkan data regional dan residual. Untuk mendapatkan estimasi lebar jendela yang optimal dilakukan dengan cara men-logaritma-kan spektrum amplitudo yang dihasilkan dari transformasi Fourier pada persamaan 12 sehingga memberikan hasil persamaan garis lurus. Komponen k menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

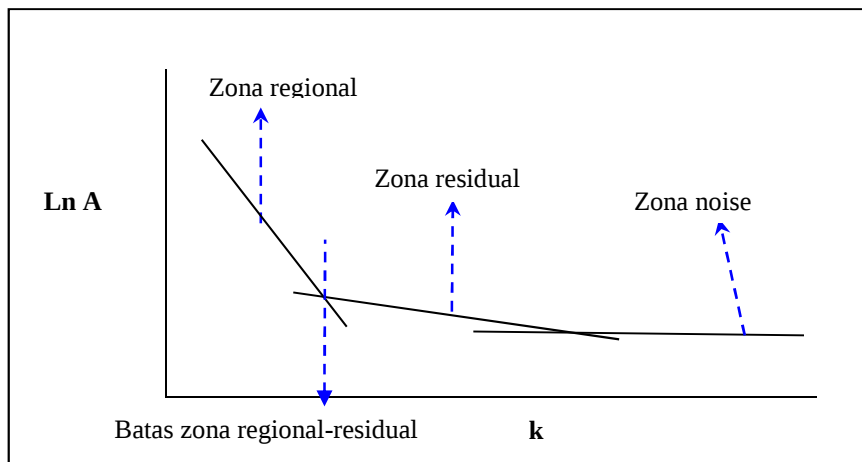
$$\ln A = (z_0 - z')|k| \quad (17)$$

Dari persamaan garis lurus diatas, melalui regresi linier diperoleh batas antara orde satu (regional) dengan orde dua (residual), sehingga nilai k pada batas tersebut digunakan sebagai penentu lebar jendela. Hubungan panjang gelombang (λ) dengan k diperoleh dari persamaan (Blakely, 1996):

$$k = \frac{2p}{l} \quad (18)$$

$$l = (N - 1)\Delta x$$

dimana, N adalah lebar jendela, maka didapatkan nilai estimasi lebar jendela.



Gambar 11. Kurva $\ln A$ terhadap k

Untuk estimasi kedalaman didapatkan dari nilai gradien persamaan garis lurus dari masing-masing zona.

3.2 Metode Geomagnetik

Charles Augustin de Coulomb (1785) menyatakan bahwa gaya magnetik berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik, yang persamaannya mirip seperti hukum gaya gravitasi Newton. Gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua buah kutub yang terpisah pada jarak r dan

muatannya masing-masing q_1 dan q_2 , di berikan oleh:

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{\mu r^2} \hat{r} \quad (19)$$

Dimana:

F = gaya yang bekerja pada dua magnet dengan kuat medan magnet m_1 dan m_2 .

μ = permeabilitas medium yang melingkupi kedua magnet.

r = jarak antar kedua kutub magnet.

q_1, q_2 = kuat kutub magnet.

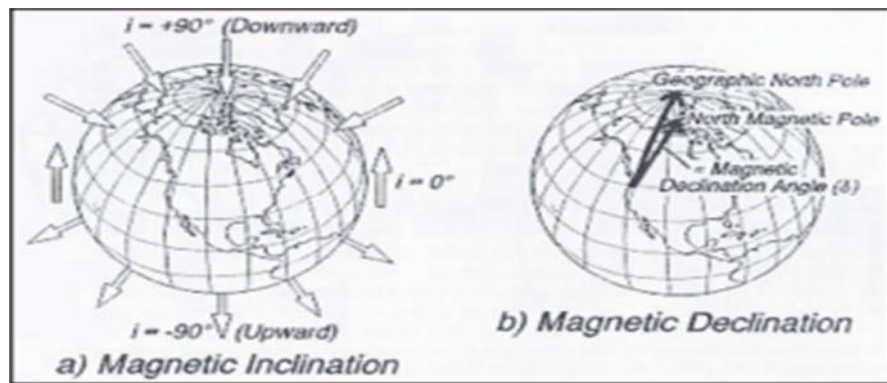
3.2.1. Kemagnetan Bumi

Medan magnet bumi secara sederhana dapat digambarkan sebagai medan magnet yang ditimbulkan oleh batang magnet raksasa yang terletak di dalam inti bumi, namun tidak berimpit dengan garis utara-selatan geografis Bumi.

Sedangkan kuat medan magnet sebagian besar berasal dari dalam bumi sendiri (98%) atau medan magnet dalam (*internal field*), sedangkan sisanya (2%) ditimbulkan oleh induksi magnetik batuan di kerak bumi maupun dari luar angkasa. Medan magnet internal berasal dari inti bumi (*inner core*) dan kerak bumi (*crustal earth*).

Beberapa alasan sehingga bumi memiliki medan magnetik, diantaranya;

1. Kecepatan rotasi Bumi yang tinggi
2. Proses konveksi mantel dengan inti luar bumi (bersifat kental)
3. Inti dalam (padat) yang konduktif, kandungan yang kaya besi.



Gambar 12. (a). Deklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah utara-selatan geografis, (b). Inklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah horizontal (Reynold, 1995).

Gambar 12. menjelaskan mengenai medan magnet dinyatakan sebagai besar dan arah (vektor), arahnya dinyatakan sebagai deklinasi (penyimpangan terhadap arah utara-selatan geografis) dan inklinasi (penyimpangan terhadap arah horisontal kutub utara magnet).

3.2.2. Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet didefinisikan sebagai besarnya medan magnet pada suatu titik sebagai akibat adanya sebuah gaya kutub yang berada sejauh r dan titik tersebut.

$$\vec{H} = \frac{m}{mr^2} \hat{r} \quad (20)$$

Tetapi didalam kutub-kutub magnet berpasangan (*dipole*). Karena fluk : $B = \mu H$ Tesla (weber/m²) dengan μ = permeabilitas *absolute*. Apabila suatu benda berada dalam medan magnetik dengan kuat medan ($\vec{H}$) maka akan terjadi polarisasi magnetik pada benda tersebut (Telford, dkk,1990).

3.2.3. Intensitas Magnetik

Jika suatu benda terinduksi oleh medan magnet $\vec{H}$, maka besar intensitas magnetik yang dialami oleh benda tersebut adalah (Reynold, 1995),

$$\vec{M} = k.\vec{H} \quad (21)$$

Polarisasi magnetik $\vec{M}$ disebut juga intensitas magnetisasi pada suatu medan magnetik dan k adalah suseptibilitas magnetik yang menunjukkan sifat kemagnetan suatu benda/batuan yang besarnya dalam SI dan emu diberikan dengan rumus sebagai berikut:

$$k = 4\pi.k' \quad (22)$$

dimana:

k' adalah suseptibilitas dalam satuan emu dan k dalam SI.

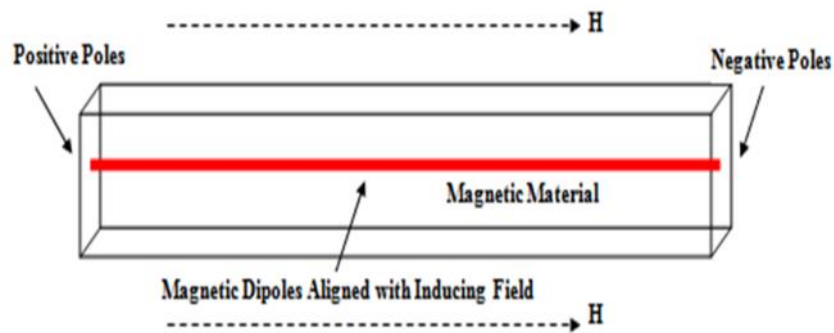
Medan magnet yang terukur oleh magnetometer adalah medan magnet induksi, termasuk efek magnetisasinya, yang diberikan oleh persamaan:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = (1 + k).\vec{H} = \mu.\mu_0.\vec{H} \quad (23)$$

3.2.4. Medan Magnet Induksi dan Magnet Total

Adanya medan magnetik regional yang berasal dari bumi dapat menyebabkan terjadinya induksi magnetik pada batuan di kerak bumi yang mempunyai suseptibilitas yang tinggi. Medan magnetik yang dihasilkan pada batuan ini sering disebut sebagai medan magnetik induksi atau medan magnetik sekunder.

Pada **Gambar 13.** mengilustrasikan medan magnet induksi yang timbul pada bahan magnetik yang mana medan magnet induksi (**H**) masuk melalui kutub positif mengarah ke kutub negatif.



Gambar 13. Contoh induksi magnet pada bahan magnetik (Robinson, dkk, 1988).

Sementara itu medan magnetik yang terukur oleh *magnetometer* adalah medan magnet total, yang berupa gabungan antara medan magnetik utama dan medan magnetik induksi berbentuk besaran skalar:

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M}) = \mu_0 (1 + k) \bar{H} \quad (24)$$

dimana, μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$), μ adalah $\mu_0 (1+k)$ permeabilitas magnetik relatif. Persamaan diatas dapat juga dituliskan,

$$\bar{B} = \mu \bar{H} \quad (25)$$

Persamaan (24) dan (25) mengabaikan faktor medan magnet remanen dan medan luar Bumi. Sebagai ilustrasi, hubungan antara medan magnet utama, medan magnetik induksi dan medan magnetik total (yang terukur oleh *magnetometer*) dapat dilihat pada **Gambar 14.**

Apabila,

$$F = F_{amb} + F_{ind} \quad (26)$$

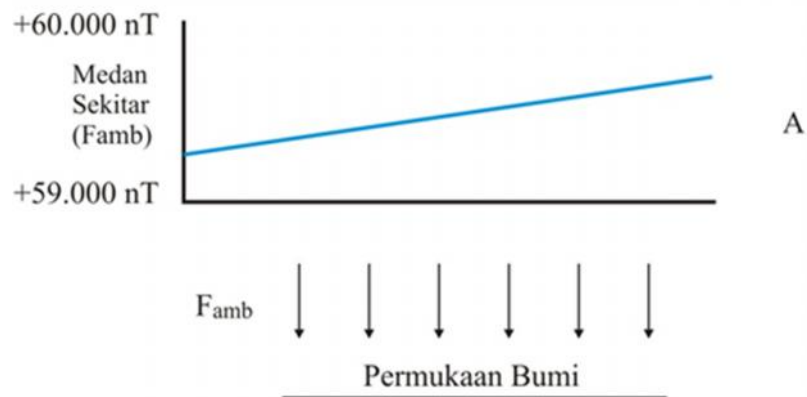
Sehingga,

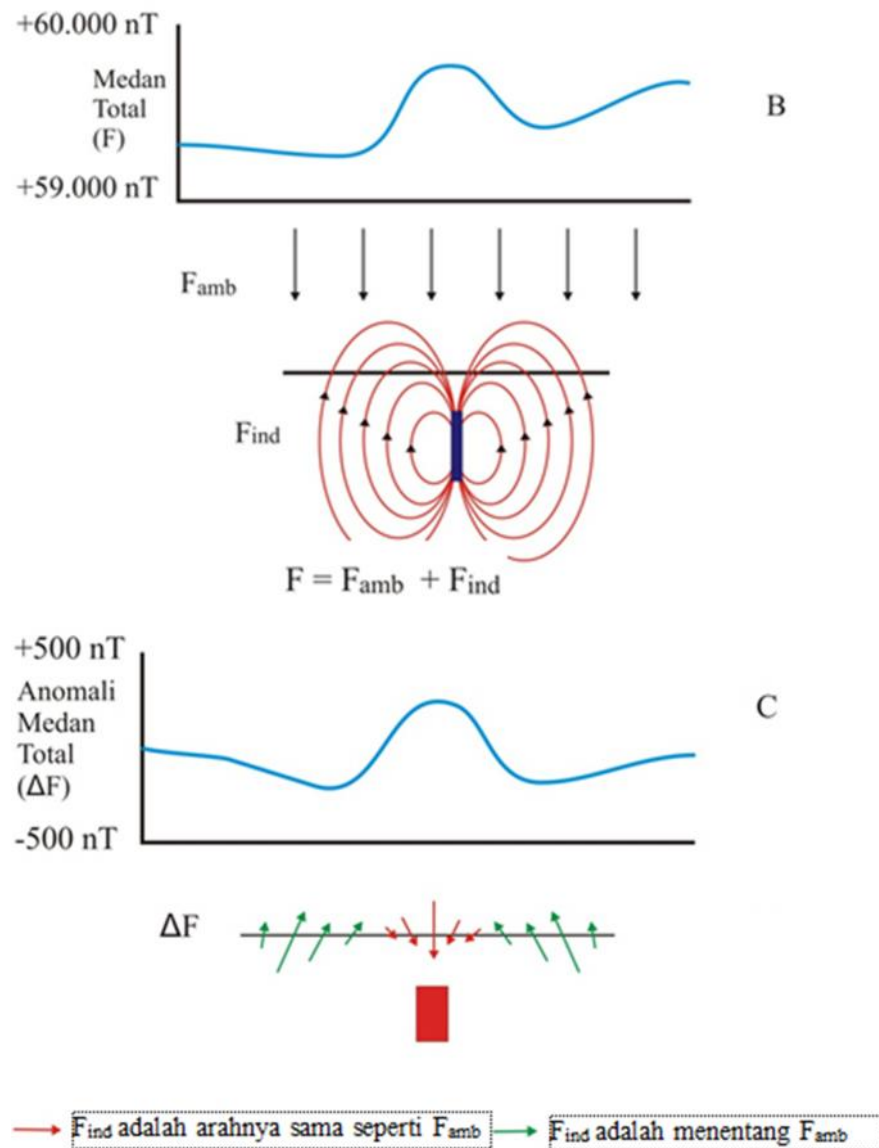
$$F_{ind} = F - F_{amb} \quad (27)$$

Maka total anomali ΔF adalah pengurang medan magnet total (F) dengan medan magnet kerak bumi (F_{amb}),

$$\Delta F = F - F_{amb} \quad (28)$$

dimana, F adalah total medan magnet, F_{amb} adalah medan magnet kerak pada lokasi tertentu, F_{ind} adalah induksi medan magnet.





Gambar 14. Total anomali medan magnet dihasilkan dari body lokal magnet, (a). F_{amb} memiliki harga ribuan nT, (b). Sebuah body memiliki induksi magnet (F_{ind}) dengan harga ratusan nT sehingga total medan magnet adalah jumlah (F_{ind}) dan (F_{amb}), (c). Profil anomali total $\Delta(F)$ dari pengurangan medan magnet total (F) oleh medan magnet kerak (F_{amb}) (Butler, 1992).

3.2.5. The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)

IGRF adalah nilai matematis standar dari medan magnet utama bumi akibat rotasi dan jari-jari bumi. IGRF merupakan upaya gabungan antara pemodelan medan magnet dengan lembaga yang terlibat dalam

pengumpulan dan penyebarluasan data medan magnet dari satelit, observatorium, dan survei di seluruh dunia yang setiap 5 tahun diperbaharui.

Medan magnet bumi terdiri dari 3 bagian :

1. Medan magnet utama (*main field*)

Medan magnet utama dapat didefinisikan sebagai medan rata-rata hasil pengukuran dalam jangka waktu yang cukup lama mencakup daerah dengan luas lebih dari 10^6 km^2 . Pada umumnya pengukuran medan magnet bumi dilakukan di atas permukaan tanah atau di daerah atmosfer. Apabila atmosfer dianggap merupakan isolator dan tidak bermagnet sehingga magnetisasi $\overline{M} = 0$ dan arus $j = 0$ maka:

$$\nabla^2 A = 0 \quad (29)$$

dan induksi medan magnetnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\overline{B} = -\vec{\nabla}A \quad (30)$$

2. Medan magnet luar (*external field*)

Pengaruh medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar *ultraviolet* dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat.

Medan magnet bumi ternyata tidak konstan, ia berubah-ubah menurut dua cara, yakni berubah secara periodik terhadap waktu (*time variation*) dan berubah tidak periodik dan tidak dapat diramalkan.

Perubahan secara periodik meliputi:

- a. *Variasi sekuler* : variasi medan utama dengan perioditas sekitar 960 tahun.
- b. *Variasi tahunan* : biasanya dalam aplikasi magnet bumi variasi ini diabaikan.
- c. *Variasi harian* dengan periode 24 jam dengan range 20^9 bervariasi sesuai ketinggian dan musim yang di kontrol oleh aktivitas matahari dan arus listrik pada ionosfer.

3. Medan magnet anomali

Medan magnet anomali sering juga disebut medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetit (Fe_3S_4), *titanomagnetite* (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi.

3.2.6. Anomali Magnetik

Dalam survei dengan metode magnetik yang menjadi target dari pengukuran adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan (anomali magnetik). Secara garis besar anomali medan magnetik disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnetik induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar terhadap magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetiknya serta berkaitan dengan peristiwa kemagnetan sebelumnya sehingga sangat rumit untuk diamati. Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah

medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar. Demikian pula sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnetik kurang dari 25% medan magnet utama bumi (Telford, 1990).

Suatu benda magnetik dapat dianggap sebagai sistem suatu *dipole* dan mempunyai sifat sangat tergantung pada peristiwa magnetisasi yang dialaminya. Besarnya intensitas magnet total disekitar batuan yang termagnetisasi adalah:

$$\Delta F = F_{obs} - F_{IGRF} \pm F_{Vh} \quad (31)$$

dimana:

ΔF = anomali magnet total

F_{obs} = medan magnet komponen total yang terukur

F_{IGRF} = medan magnet teoritis berdasarkan IGRF pada stasiun F_{obs}

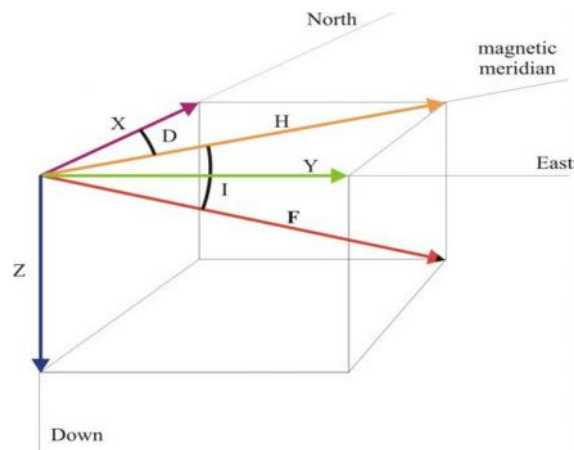
F_{Vh} = koreksi medan magnet akibat variasi harian

3.2.7. Kutub Geomagnetik

Geomagnetical pole (kutub geomagnetik/kutub *dipole*) adalah persimpangan sudut kutub geografis dari permukaan bumi dengan sumbu magnet batang hipotesis yang ditempatkan di pusat bumi dan diperkirakan sebagai bidang geomagnetik,. Ada semacam kutub masing-masing di belahan bumi dan kutub disebut sebagai "kutub utara geomagnetik" dan "kutub selatan geomagnetik".

Catatan : Bumi memiliki dua kutub yang sering dikenal sebagai “*Geomagnetic Poles*” yang merupakan kutub teoritis dimana sumbu magnet membentuk sudut $11,5^\circ$ dengan sumbu rotasi bumi, yaitu pada,

- a. Kutub utara magnet terletak di *Canadian Artic Island* dengan lintang : $75,5^\circ$ BT dan bujur : $100,4^\circ$ BB.
- b. Kutub selatan magnet terletak di *Coast of Antartica South of Tasmania* dengan lintang : $66,5^\circ$ LS dan bujur : 140° BT.



Gambar 15. 7 (tujuh) variabel magnetik : (F) adalah total intensitas, (H) adalah Horizontal Intensitas, (X) adalah *North Component*, (Y) adalah *East component*, (Z) adalah *Vertical Component*, (I) adalah Inklinasi Geomagnetik, (D) adalah Deklinasi Geomagnetik (Reynold, 1995).

Pada **Gambar 15.** menjelaskan mengenai prinsip metode magnetik yang diilustrasikan menggunakan sebuah objek berbentuk kubus, lalu komponen-komponen yang digunakan pada prinsip metode magnetik yaitu berpatokan untuk sumbu x (utara geografis) dan sumbu y (timur geografis), kemudian ditentukan arah meridian magnetik (**H**) yang mana untuk mendapatkan nilai sudut yang dibentuk dari arah utara geografis ke arah utara magnetik yaitu dengan menghitung nilai deklinasi, lalu ditentukan arah total intensitas (**F**)

yang mana untuk mendapatkan nilai sudut yang dibentuk dari arah meridian magnetik (**H**) terhadap total intensitas yaitu dengan menghitung nilai inklinasi, dan sumbu z berperan sebagai arah kedalaman.

3.2.8. Kontinuasi Keatas (*Upward Continuation*)

Suatu proses pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu bidang permukaan, menjadi data yang seolah-olah diukur pada bidang permukaan lebih ke atas disebut kontinuasi ke atas. Metode ini juga merupakan salah satu metode yang sering digunakan karena dapat mengurangi efek dari sumber anomali dangkal, yang diilustrasikan pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Ilustrasi kontinuasi ke atas (Telford, 1990)

Perhitungan harga medan potensial di setiap titik observasi pada bidang hasil kontinuasi (Z_0) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Telford, 1990):

$$Z(x, y, z) = \frac{|z|}{2\pi} \cdot \int_{-a}^a \int_{-a}^a \frac{Z(x', y', z')}{R^3} dx' dy' \quad (32)$$

Dimana, $Z(x, y, z)$ adalah harga medan potensial pada bidang kontinuasi (pengangkatan, z adalah jarak atau ketinggian pengangkatan, $Z(x', y', z')$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya ($z=0$), dan $R=(|x-x'|^2+|y-y'|^2+z^2)$. Dalam penerapan persamaan-persamaan yang masih dalam bentuk domain spasial sulit untuk diimplementasikan karena harus diketahui dengan pasti harga medan potensial disetiap titik pada bidang hasil pengangkatan.

3.2.9. Prinsip Pemodelan Inversi 3 Dimensi

Metoda inversi merupakan cara yang digunakan untuk memperkirakan model respon magnetik yang paling cocok dengan data observasi. untuk mencocokkan data tersebut dapat dinyatakan dengan fungsi objektif yang merupakan fungsi dari selisih antara teoritis dengan data observasi. Jika respon tersebut belum cocok maka harga parameter tersebut diubah sampai menghasilkan respon model yang cocok dengan respon data lapangan hingga diperoleh parameter yang diharapkan.

Setiap anomali magnetik yang diamati diatas permukaan dapat dievaluasi dengan menghitung proyeksi anomali medan magnet dari arah yang ditentukan. Sumber pada lokasi yang diteliti, di set kedalamannya sebuah *cell* ortogonal berupa mesh 3D (Li & Oldenburg, 1996). Mesh 3D diasumsikan mempunyai suseptibilitas di dalam masing-masing cell dan magnetik remanen diabaikan. Anomali magnetik (ΔT) pada suatu lokasi berhubungan dengan suseptibilitas (k) di bawah permukaan. Secara linier dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\Delta T = \underline{G} \underline{k} \quad (33)$$

Dimana G merupakan matriks dengan ukuran $i \times j$:

$$G = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1j} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ G_{i1} & G_{i2} & \cdots & G_{ij} \end{pmatrix} \quad (33)$$

i adalah jumlah data dan j adalah jumlah parameter model. Matriks G digunakan untuk memetakan suatu model dari data keseluruhan data pada proses inversi. Secara umum, inversi yang dilakukan pada medan anomali berbanding lurus terhadap variasi suseptibilitas pada skala linier.

Untuk mengakomodasi hal ini, digunakan lambang m yang umum untuk model. Setelah menggambarkan suatu model, selanjutnya membuat suatu fungsi objektif yang ketika diperkecil menghasilkan suatu model yang dapat diinterpretasi. Fungsi objektif diambil dari suatu sistem koordinat kartesian dengan x utara positif dan z bawah positif. Sehingga model fungsi objektif adalah (Li & Oldenburg, 1996):

$$\begin{aligned} \phi_n(m) = & \alpha_s \int_v w_s \{w(z)[m(r) - m_0]\}^2 dv + \alpha_x \int_v w_x \left\{ \frac{\partial w(z[m(r) - m_0])}{\partial x} \right\}^2 dv + \\ & \int_v w_y \left\{ \frac{\partial w(z[m(r) - m_0])}{\partial y} \right\}^2 dv + \int_v w_z \left\{ \frac{\partial w(z[m(r) - m_0])}{\partial z} \right\}^2 dv \end{aligned} \quad (34)$$

Dimana fungsi w_s , w_x , w_y , dan w_z bergantung pada spasial fungsi *weighting* dan mempunyai pengaruh penting terhadap komponen yang berbeda. Dapat ditulis juga sebagai: $\phi_m(m) = \phi_{ms} + \phi_{mv}$ yang bersifat fleksibel sehingga dapat membuat banyak model yang berbeda. Model acuan m adalah model

yang diperkirakan dari penyelidikan sebelumnya. Dari sudut pandang inversi magnetik, pendekatan ini dapat membuat suatu model bumi yang menggunakan informasi yang ada.

Dalam inversi diperlukan suatu minimalisasi $\|m - m_0\|^2 = \int (m - m_0)^2 dv$ untuk mencocokkan data yang akan menghasilkan suseptibilitas. Selanjutnya menentukan inversi dengan mendefinisikan pengukuran misfit yang menggunakan normalisasi:

$$\phi_d = \|W_d(\Delta T - \Delta T^{obs})\|^2 \quad (35)$$

Dimana W_d sebagai acuan matrik diagonal pada elemen i adalah $1/\sigma_i$, yang mana σ_i adalah standar deviasi pada datum i dengan membuat variabel *chi-squared* yang terdistribusi dengan derajat kebebasan N , berdasarkan formula $E[X^2] = N$ sebagai syarat target misfit untuk inversi.

Masalah inversi dapat diselesaikan dengan menentukan model $\mathbf{m}$ yang diminimalisasi ϕ_m dan data misfit oleh jumlah yang belum ditentukan. Hal ini dipenuhi oleh minimalisasi $\phi_n(m) = \phi_n + \lambda^{-1}(\phi_{\Delta T} + \phi_{\Delta T})$ dimana $\phi_{\Delta T}$ adalah targer misfit dan λ adalah perkalian *lagrangian* untuk membuat solusi numerik. Langkah awal dengan mendiskritisasi fungsi objektif pada persamaan (32) menggunakan pendekatan beda hingga pada mesh untuk menentukan model suseptibilitas. Dengan hasil model (Li & Oldenburg, 1996):

$$\phi_n(m) = \phi_{ms} + \phi_{mv} = (m - m_0)^T W_s^T W_s (m - m_0) (m - m_0)^2 \\ (W_x^T W_x + W_y^T W_y + W_z^T W_z (m - m_0))$$

$$\begin{aligned}
&= (m - m_0)^T W_m^T W_m (m - m_0) \\
&= \|W_m(m - m_0)\|^2
\end{aligned} \tag{36}$$

Dimana m dan m_0 adalah panjang vektor M , matriks W_s , W_x , W_y , W_z dapat dihitung secara langsung oleh mesh dan ditentukan fungsi *weighting* W_s , W_x , W_y , W_z , kemudian matrik komulatif $W_m^T W$ terbentuk, matrik W_m tidak dihitung tetapi matrik ini tetap digunakan untuk menghasilkan persamaan akhir. Masalah inversi dipecahkan dengan minimalisasi ϕ_m dengan teknik yang tepat.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2016, dan bertempat di laboratorium Geofisika Universitas Lampung.

Tabel 2. Jadwal penelitian

No	Kegiatan	Bulan I	Bulan II	Bulan III	Bulan IV	Bulan V
1	Kajian pustaka					
2	Pengolahan data					
3	Penyusunan laporan					

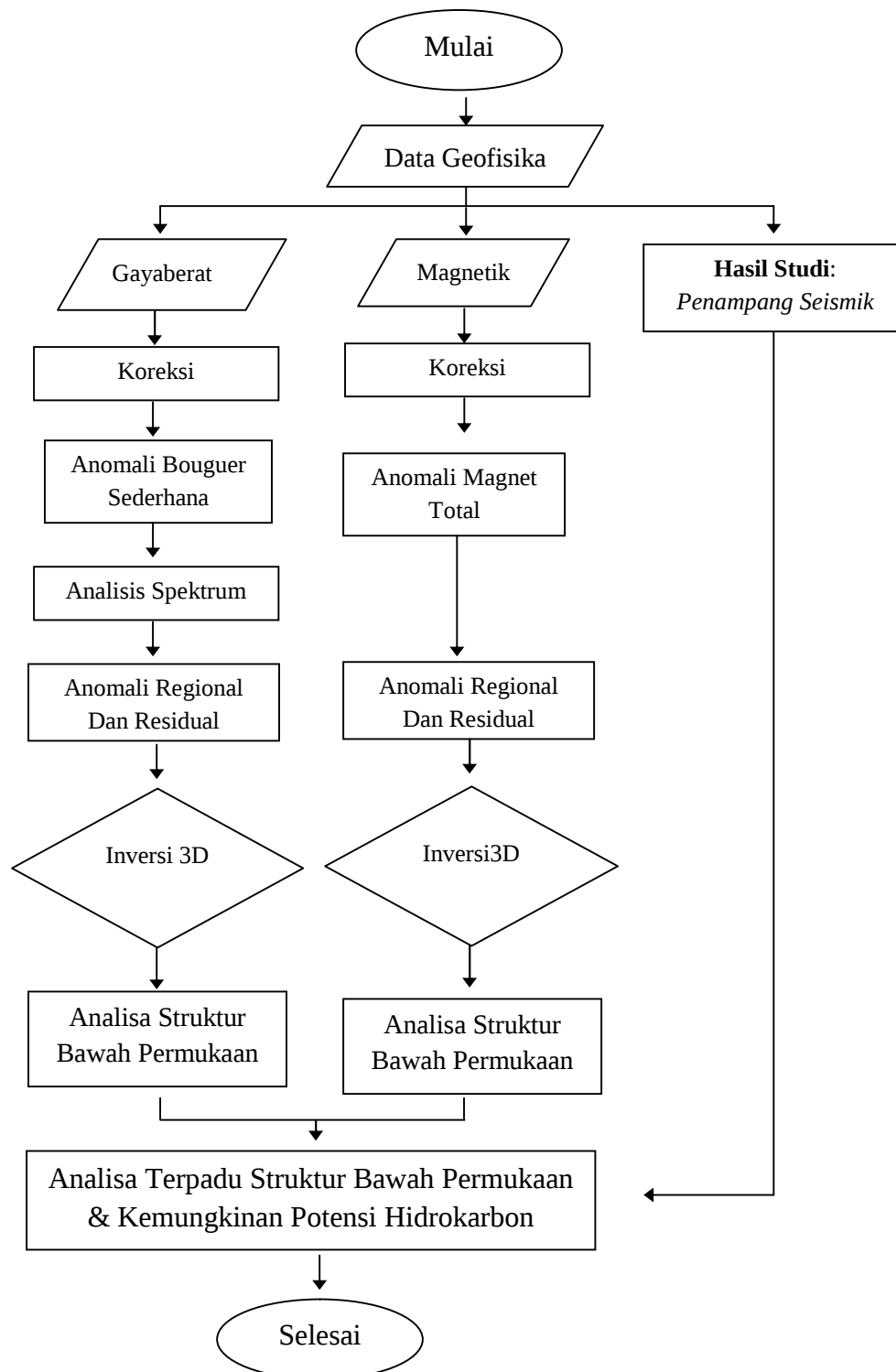
4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peta Geologi Lembar Bojonegoro dan Rembang
2. Satu set perangkat komputer yang dilengkapi dengan *software*: Surfer version 10, Microsoft Office 2010, Matlab 2013, Fortran Power Station 4.0, Numeri, MG3D, MagPick, Global Mapper v.15, Map Source 6.14, Google Earth, dan Grav3D.
3. Printer dan Peralatan tulis.

4.3 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 17. Diagram Alir Penelitian

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pemodelan 3D data anomali gayabarat dan anomali magnetik menunjukkan kedalaman regional daerah penelitian berada pada kedalaman ± 2300 m dari permukaan daerah penelitian. Hasil ini menunjukkan bahwa anomali yang terbentuk pada penampang seismik KWG-5, KWG-7, dan KWG-9 bukanlah suatu *noise multiple* melainkan suatu pola *basement* yang ada pada daerah penelitian.
2. Berdasarkan model 3D anomali residual gayabarat dan anomali residual magnetik menunjukkan pola antiklin dan pola struktur patahan yang sesuai dengan penampang seismik KWG-5, KWG-7, dan KWG-9.
3. Pola yang diduga sebagai reservoir hidrokarbon ditunjukan oleh anomali rendah pada kedua model 3D anomali residual. Harga densitas rendah hasil model 3D anomali residual gayabarat berkisar antara 2.16 s.d. 2.33 g/cm^3 dan harga suseptibilitas hasil model 3D anomali residual magnetik sebesar 0.418 s.d. 0.484 SI. Berdasarkan tabel variasi batuan, harga rata-rata yang paling mendekati yaitu batuan pasir (*sandstone*).

6.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang diberikan penulis untuk penelitian lebih lanjut pada daerah ini.

1. Diperlukan data yang lebih rapat pada data magnetik untuk dapat menghasilkan model yang lebih akurat.
2. Diperlukan kontrol data lain seperti data log sumur agar analisa pada penelitian ini lebih akurat.
3. Pada penelitian tahapan lebih lanjut, data magnetik dan gayaberat perlu ditambah stasiun pengukurannya dengan spasi *grid* yang lebih rapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, Van. 1949. The Geology of Indonesia. *General Geology of Indonesia*, The Hague. Netherlands. Vol. IA
- Butler, R.F. 1992. *Paleomagnetism: Magnetic Domains To Geologic Terranes*. Blackwell Scientific Publications, Boston.
- Blakely, R.J. 1996. *Potential Theory in Gravity & Magnetic application*. Cambridge University Press.
- Darman, H dan Sidi, F.H, 2000. An Outline of The Geology of Indonesia. *IAGI Vol. 20th*. Indonesia.
- Irawan. 2010. *Sekilas Tentang Lapangan Minyak Kawengan Pertamina – CEPU*. <http://irawan-opinion.blogspot.co.id/2010>. Bekasi, Jawa Barat. Diakses pada 10 November 2015.
- Kemendagri. 2012. *Peta Administratif Jawa Timur*. Situs Pemetaan Potensi Ekonomi Daerah Koridor Wilayah Jawa. Jakarta Selatan. Diakses pada 17 Februari 2016.
- Li, Y., and Oldenburg, D.W. 1996. *3D Inversion of Magnetic Data*. Geophysics, 61, 394-408.
- Malam, J,. 2001, *Planet Bumi*, Marshall Publishing, UK.
- Moehadi, M., 2010, *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*, Universitas Indonesia, Depok.

- Pertamina – Laporan Akhir. 2007. *Kawengan MT Final Report*. Pertamina Internal Report.
- Pringgoprawiro, H. 1983. *Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dan Paleogeografinya*: sebuah pendekatan baru, Disertasi Doktor. ITB.
- Pringgoprawiro, H, dan Sukido. 1992. *Peta Geologi Lembar Bojonegoro, Jawa Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Reynolds, J.M., 1995. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Mold, Clwyd, North Wales. United Kingdom.
- Robinson, E., and Coruh, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Rosid, Syamsul. 2005. *Gravity Method in Exploration Geophysics*. Lecture Notes. Geophysics Program studi Department of Physics, University of Indonesia.
- Satyana, A. H., dan Purwaningsih, M. E. M. 2003. Oligo-Miocene Carbonates of Java: Tectonic Setting and Effects of Volcanism. *Proceedings of Joint Convention IAGI & HAGI*, Jakarta.
- Satyana, A. H. 2008. Mud Diapirs and Mud Volcanoes in Depressions of Java to Madura: Origins, Natures, and Implications to Petroleum System. *Proc. Indonesian Petroleum Association*. IPA08-G-139.
- Sutopo, Heri. 2008. *Aplikasi Metoda Gayabarat Mikro Pada Daerah Panasbumi Ulubelu*, Skripsi. Universitas Lampung, Lampung.
- Telford, W.M. Geldart, L.P. Sheriff, R.E. Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Yudha. 2003. *Integrasi dan Optimalisasi Data sebagai dasar Penyusunan Model Geologi dan Karakteristik Reservoir serta Implikasinya pada Formasi Ngrayong Struktur Kawengan*. Pertamina Daerah Operasi Hulu Jawa Bagian Timur: Jawa Timur.