PEMODELAN 2D GAYA BERAT UNTUK MENDELINEASI SUB – CEKUNGAN SALAWATI DI WILAYAH SORONG

(Skripsi)

Oleh

NIAR AMALIA

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

ABSTRACT

2D GRAVITY MODELLING TO DELINEATION SUB – SALAWATI BASIN IN THE SORONG AREA

By

NIAR AMALIA

The research has been done with the theme "2D Gravity Modelling To Delineation Sub – Salawati Basin In The Sorong Area". The aim of this research is to know the gravity anomaly pattern of Sorong area, to know how the pattern of sub-basin anomaly gravity, fracture pattern, rifting, height of residual anomaly, get the subsurface information through 2D modelling, and analyze SVD to decide the type of study location. The method of data processing carried out in this study (i) exercising gravity correction to produce a Complete Bouguer Anomaly, (ii) exercising spectrum analyzes to obtain regional and residual depth estimation and filtering window widths, (iii) exercising separation of regional and residual anomaly by moving average filter, (iv) performing Second Vertical Derivative analysis, (v) constructing a 2D forward-surface geological section, (vi) performing qualitative and quantitative interpretations.The results showed that the pattern of Complete Bouguer Anomalies research area on the southern part was dominated by low anomaly with value from 58 to 76 mGal. Whereas high anomaly dominate the north area with value 88 to 106 mGal. The residual depth is about 2,7 km below surface and the regional depth is about 10 km below the surface. The residual anomaly of the study area has anomalous value of -9 to 10 mGal. The regional anomalies of the study area has anomalies of 60 to 100 mGal. Based on qualitative and quantitative interpretation, there are one sub-basin in the research area located on the Arar nose. The direction of migrating hydrocarbons originates from west to east follows fault structures. Based on this research, it is assumed that Sorong's Main Fault is not only type of a strike slip fault but also a normal fault.

Keywords: Gravity Method, Spectrum Analysis, Sub-basin Delineation, Forward Modelling, Salawati.

ABSTRAK

PEMODELAN 2D GAYA BERAT UNTUK MENDELINEASI SUB – CEKUNGAN SALAWATI DI WILAYAH SORONG

Oleh

NIAR AMALIA

Telah dilakukan penelitian dengan tema "Pemodelan 2D Gaya Berat Untuk Mendelineasi Sub – Cekungan Salawati Di Wilayah Sorong". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola anomali gaya berat wilayah Sorong, mengetahui pola anomali gaya berat sub–cekungan, pola patahan, bukaan (rifting), tinggian dari anomali residual, mendapatkan informasi bawah permukaan melalui pemodelan 2D, dan melakukan analisis SVD untuk menentukan jenis struktur lokasi penelitian. Metode pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah (i) melakukan koreksi gaya berat hingga didapatkan Anomali Bouguer Lengkap, (ii) melakukan analisis spektrum untuk mendapatkan estimasi kedalaman regional dan residual serta lebar jendela penapisan, (iii) melakukan pemisahan anomali regional dan residual dengan filter *moving average*, (iv) melakukan analisis *Second Vertical Derivative*, (v) membuat penampang geologi bawah permukaan secara 2D (*forward modelling*), (vi) melakukan interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa pola Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian pada bagian selatan didominasi oleh anomali rendah dengan nilai 58 hingga 76 mGal. Sedangkan anomali tinggi mendominasi bagian utara dengan nilai 88 hingga 106 mGal. Kedalaman residual sekitar 2,7 km di bawah permukaan sedangkan kedalaman regional sekitar 10 km di bawah permukaan. Anomali residual daerah penelitian memiliki nilai anomali -9 hingga 10 mGal. Anomali regional daerah penelitian memiliki nilai anomali 60 hingga 100 mGal. Berdasarkan interpretasi kualitatif dan kuantitatif menunjukkan bahwa terdapat satu sub-cekungan pada daerah penelitian yang terletak pada Arar *nose*. Arah migrasi hidrokarbon berasal dari arah Barat ke Timur mengikuti struktur patahan. Berdasarkan penelitian ini, diasumsikan bahwa Sesar Utama Sorong tidak hanya berupa jenis sesar geser namun juga merupakan jenis sesar normal.

Kata Kunci: Gaya berat, Analisis Spektrum, Delineasi sub-cekungan, *Forward Modelling*, Salawati.

PEMODELAN 2D GAYA BERAT UNTUK MENDELINEASI SUB – CEKUNGAN SALAWATI DI WILAYAH SORONG

Oleh

NIAR AMALIA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung

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

Judul Skripsi : **PEMODELAN 2D GAYA BERAT UNTUK MENDELINEASI SUB – CEKUNGAN SALAWATI DI WILAYAH SORONG**

Nama Mahasiswa : Niar Amalia

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215051041

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.	**Karyanto, S.Si., M.T.**
NIP 19720928 199903 1 001	NIP 19691230 199802 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. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** .....

Sekretaris : **Karyanto, S.Si., M.T.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **5 Juni 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali 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, 5 Juni 2017

Niar Amalia
NPM. 1215051041

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Karang pada tanggal 28 September 1993 yang merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan (Alm.) Abu Hurayrah dan Tjahaya Nila Kesuma.

Penulis mengawali pendidikan di TK Kartini 2 Bandarlampung pada tahun 1999, kemudian melanjutkan pendidikan di SDN 2 Palapa Bandarlampung pada tahun 2000, kemudian melanjutkan di jenjang sekolah menengah pertama di SMPN 25 Bandarlampung pada tahun 2006. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di jenjang sekolah menengah atas SMA YP UNILA Bandarlampung pada tahun 2009.

Setelah melewati jenjang sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung pada tahun 2012. Kemudian penulis mengambil konsentrasi dalam bidang *well logging* dan kemudian melakukan penelitian tugas akhir dengan menggunakan metode gaya berat untuk mendelineasi sub-cekungan di wilayah Sorong, Papua Barat.

Where there's a will, there's a way

Allahumma laa sahla illaa maa ja'altahu sahlan, wa anta taj'alul hazna idzaa syi'ta sahlan

"Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali apa yang Engkau jadikan mudah. Sedang yang susah bisa Engkau jadikan mudah, apabila Engkau menghendakinya"

[HR. Ibnu Hibban]

Jadilah cukup kuat untuk berjalan sendiri, cukup pandai untuk tahu kapan perlu bantuan, dan cukup berani untuk meminta pertolongan

–rintisan-

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Pemodelan 2D Gaya Berat Untuk Mendelineasi Sub – Cekungan Salawati di Wilayah Sorong*. Salam dan shalawat semoga selalu tercurah pada Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wassalam.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tentu saja penulis melibatkan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., atas kesediaannya memberikan bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.
2. Bapak Karyanto, S.Si., M.T., atas kesediaannya memberikan bimbingan serta motivasi yang sangat dibutuhkan selama proses penyempurnaan skripsi ini.
3. Bapak Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., atas kesediaannya memberikan saran dan kritiknya untuk membangun isi daripada skripsi ini.
4. Bapak. Noor Muhammad Indragiri, S.T., M.T., selaku pembimbing dalam penelitian tugas akhir di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementrian ESDM.

5. Kedua orang tuaku (Alm.) Abu Hurayrah dan Tjahaya Nila Kesuma yang tiada henti membimbing dan menyayangi penulis.
6. Ketiga kakakku Alan Oktoriza, Lutfan Kasyidi, dan Rizka Rahmita yang terus memberikan semangat dan bimbingan kepada penulis.
7. Teman-teman berbagi canda tawa dan tangis Azis, Vee, Andina, Elen, Gita, Vivi, Nana, dan Lita.
8. Bagas Setyadi yang banyak memberi saran dan dukungan dalam berbagai hal.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Geofisika 2012 yang banyak membantu penulis, berbagi suka dan duka selama masa perkuliahan.
10. Seluruh civitas akademika Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 5 Juni 2017

Niar Amalia

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR TABEL vii

I. PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Tujuan Penelitian 3
1.3. Batasan Masalah 4

II. TINJAUAN PUSTAKA
2.1. Lokasi Penelitian..... 5
2.2. Geologi Regional daerah Penelitian..... 5
2.2.1. Tektonik Regional 9
2.2.2. Stratigrafi 10
2.2.3. *Petroleum System* Cekungan Salawati 16
2.2.4. Fokus Migrasi Cekungan Salawati 18
2.2.5. Rekonstruksi Jalur Migrasi 20
2.2.6. Mekanisme Migrasi 21

III. TEORI DASAR
3.1. Metode Gaya Berat 24
3.2. Konsep Dasar Gaya Berat 25
3.2.1. Teori Gaya Berat 25
3.2.2. Potensial Gaya Berat 25
3.2.3. Percepatan Gaya Berat 28
3.3. Koreksi – Koreksi dalam Metode Gaya Berat 29
3.3.1. Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*) 29
3.3.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*) 30
3.3.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*) 30
3.3.4. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)..... 31
3.3.5. Koreksi Bouguer (*Bouguer Corretion*) 31
3.4. Anomali Bouguer Lengkap 31

3.5. Analisis Spektrum 32
3.6. Pemisahan Anomali Regional dan Residual 35
3.7. *Moving Average* 36
3.8. *Second Vertical Derivative* (SVD) 37
3.9. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 39

IV. METODE PENELITIAN
4.1. Lokasi, Waktu dan Tema Peneletian 42
4.2. Alat dan Bahan 42
4.3. Pengolahan Data 43
4.3.1. Perhitungan dan Koreksi – Koreksi Bouguer 43
4.3.2. Anomali Bouguer Lengkap 43
4.3.3. Analisis Spektrum 44
4.3.4. Pemisahan Anomali Regional dan Residual 45
4.3.5. Analisis *Second Vertical Derivative* 46
4.3.6. Pemodelan Bawah Permukaan 46
4.4. Diagram Alir Penelitian 47

V. HASIL DAN PEMBAHASAN
5.1. Topografi Daerah Peneletian 48
5.2. Anomali Bouguer Lengkap 49
5.3. Analisis Spektrum 51
5.4. Anomali Regional 56
5.5. Anomali Residual 58
5.6. Interpretasi 60
5.6.1. Interpretasi Kualitatif 60
5.6.2. Interpretasi Kuantitatif 63
5.6.3. Migrasi Hidrokarbon 73

VI. KESIMPULAN DAN SARAN
6.1. Kesimpulan 76
6.2. Saran 77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Lokasi penelitian 6
2. Peta geologi regional daerah Sorong 7
3. Struktur regional Cekungan Salawati 11
4. Stratigrafi Cekungan Salawati 12
5. Fokus migrasi Cekungan Salawati 18
6. Jalur migrasi Cekungan Salawati 20
7. Mekanisme migrasi Cekungan Salawati 22
8. Pengaruh patahan pada migrasi di Cekungan Salawati 23
9. Gaya tarik menarik antara dua benda 25
10. Potensial massa tiga dimensi 27
11. Kurva *ln a* terhadap *k* 34
12. Efek gaya berat poligon menurut Talwani 41
13. Diagram alir penelitian 47
14. Peta topografi dan titik pengukuran dearah penelitian..... 48
15. (a) Pola Anomali Bouguer Lengkap (ABL) 50
    (b) *Overlay* pola ABL dengan Peta Geologi Sorong 50
16. Sayatan pola Anomali Bouguer Lengkap untuk dilakukan FFT 51
17. Grafik K vs ln A lintasan 1 53

18. Grafik K vs ln A lintasan 3 54

19. Grafik K vs ln A lintasan 8 54

20. Pola anomali regional 57

21. *Overlay* pola anomali regional dengan peta geologi Sorong 58

22. (a) Pola anomali residual 59
(b) *Overlay* pola anomali residual Dengan Peta Geologi Sorong 59

23. Pola struktur daerah Sorong berdasarkan anomali residual 61

24. Anomali SVD residual f*ilter* Elkins..... 62

25. (a) Lintasan penampang *forward modelling* (2D) anomali residual..... 64
(b) Overlay Lintasan penampang *forward modelling* (2D) anomali 64

26. Penampang 2D lintasan AA' 68

27. Penampang 2D lintasan BB' 72

28. (a) Fokus migrasi lokasi penelitian 74
(b) Overlay dengan kontur anomali residual daerah penelitian..... 74

29. (a) Arah migrasi lokasi penelitian 75
(b) Overlay dengan kontur anomali residual daerah penelitian 75

30. Grafik K vs ln A lintasan 2 82

31. Grafik K vs ln A lintasan 4 82

32. Grafik K vs ln A lintasan 5 82

33. Grafik K vs ln A lintasan 6 83

34. Grafik K vs ln A lintasan 7 83

35. Grafik K vs ln A lintasan 9 83

36. Grafik K vs ln A lintasan 10 84

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Operator Elkins filter SVD 38

2. Kedalaman Bidang Diskontinuitas Penampang Lintasan 55

3. Bilangan Gelombang dan Lebar Jendela Penampang Lintasan 56

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi secara signifikan yang terjadi di Indonesia, khususnya sumber energi minyak dan gas, menyebabkan eksplorasi sumber daya alam perlu semakin diefektifkan. Salah satu bagian eksplorasi adalah menggambarkan karakter reservoir secara kuantitatif maupun kualitatif, karena hal ini penting untuk manajemen reservoir. Dalam suatu eksplorasi minyak dan gas bumi (hidrokarbon), informasi tentang karakter reservoir mutlak diperlukan. Pengetahuan tentang karakter reservoir dari segi geometri, bodi, dan aspek fisis reservoir yang berkembang, dapat membantu dalam menemukan dan mengembangkan wilayah yang memiliki prospek minyak dan gas bumi (Sukmono dalam Nur dan Lantu, 2015).

Kawasan Indonesia Timur berdasarkan peta cekungan sedimen (BPMIGAS-LAPI ITB, 2008) terdapat 46 cekungan dari 86 cekungan sedimen. Pada kawasan tersebut hanya terdapat 5 cekungan produksi minyak dan gas bumi, yaitu Cekungan Salawati, Bintuni, Seram, Banggai dan Bone. Dalam penelitian ini yang menjadi objek penelitian ialah Cekungan Salawati yang terletak di bagian Barat Kepala Burung Irian Jaya. Salawati telah menghasilkan minyak pertama kali pada tahun 1936 dengan ditemukannya lapangan minyak Klamono.

Seperti halnya yang telah dilakukan oleh Petro China *International*

(Bermuda) Ltd. berhasil menemukan cadangan gas dan kondensat di North Klalin, di area sekitar Sorong, Papua Barat. Penemuan cadangan baru tersebut akan menambah jumlah produksi gas yang dihasilkan PetroChina dari Blok Kepala Burung PSC, yang saat ini besarnya sekitar 7 ribu setara barel minyak per hari (*barrel oil equivalent per day*/BOEPD). Penemuan tersebut juga sekaligus akan menambah jumlah produksi gas dan minyak nasional, terutama menambah pasokan atas kebutuhan gas regional yang kian meningkat.

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk eksplorasi hidrokarbon yaitu metode gaya berat. Metode ini didasarkan pada pengukuran variasi percepatan gravitasi bumi akibat variasi rapat massa (densitas) batuan. Dengan menggunakan metode ini kita dapat mengetahui kondisi geologi bawah permukan, baik perubahan lateral maupun vertikal.

Metode gaya berat telah terbukti dapat digunakan dalam ekplorasi hidrokarbon di Indonesia maupun di luar negeri. Seperti yang ditulis oleh Lutfia dkk., 2012, pada penelitiannya di perairan Blok Ambalat, metode gaya berat digunakan untuk memberikan pengetahuan dalam mengeksplorasi potensi sumber daya mineral khususnya minyak dan gas bumi sehingga, dapat diketahui bentuk serta volume cekungannya. Contoh lain dari penelitian untuk eksplorasi hidrokarbon menggunakan metode gaya berat di Indonesia, yaitu menurut jurnal yang ditulis oleh Saultan dan Subagio, 2014. Penelitian dilakukan di wilayah Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara. Penelitian ini bermaksud untuk menemukan lapangan-lapangan minyak dan gas bumi baru berdasarkan perkiraan telah terbentuknya perangkap-perangkap struktur dan stratigrafi. Sedangkan contoh lain dari penggunaan metode geofisika yang telah dilakukan di luar negeri seperti

pada jurnal yang ditulis oleh Badmus dkk., 2011. Penelitiannya dilakukan di Giforn, Bagian Utara Jerman dengan maksud untuk eksplorasi geofisika mengenai struktur kompleks dari kubah garam dalam ekplorasi hidrokarbon yang sulit untuk diinterpretasikan dengan menggunakan metode seismik.

Menurut beberapa hal yang telah dipaparkan diatas, maka pada penelitian ini penulis melakukan identifikasi terhadap data gaya berat yang telah dilakukan di wilayah Sorong pada tahun 2016 untuk mendapatkan informasi mengenai struktur bawah permukaan dengan melakukan delineasi pada Sub–cekungan Salawati. Mengenai jumlah dan keberadaan Sub-cekungan Salawati sendiri masih belum ada data yang kongkrit sebagai acuan. Pengolahan dan pemodelan geologi bawah permukaan pada penelitian kali ini dimaksudkan untuk mengetahui struktur sub-cekungan, pola tinggian (*basement high*), struktur bawah permukaan melalui pemodelan secara dua dimensi, dan mengetahui letak reservoir berpotensi hidrokarbon. Berdasarkan informasi tersebut diharapkan nantinya dapat membantu dalam mempermudah kegiatan eksplorasi lanjut di lokasi penelitian ini.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat peta anomali gaya berat wilayah Sorong.
2. Mengetahui pola anomali gaya berat sub–cekungan, pola patahan, bukaan (rifting), dan tinggian dari anomali residual.
3. Melakukan interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif informasi bawah permukaan melalui pemodelan 2D (*forward modelling*) berdasarkan estimasi kedalaman yang didapat dari hasil proses analisis spektrum.
4. Melakukan analisis SVD untuk menentukan jenis struktur lokasi penelitian.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penentuan estimasi kedalaman anomali residual serta lebar jendela penapisan didapatkan dari hasil analisis spektrum.
2. Proses dekomposisi anomali regional–residual hanya menggunakan *filter moving average*.
3. Pemodelan geologi bawah permukaan dalam studi ini hanya terbatas sampai model dua dimensi (*forward modelling*).
4. Penentuan jenis struktur bawah permukaan dilakukan dengan filter SVD (*Second Vertical Derivative*).
5. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan pola anomali gaya berat sub–cekungan, pola patahan, bukaan (rifting), dan tinggian dari anomali residual pada Sub–Cekungan Salawati di wilayah Sorong.

II. TINJAUAN PUSTAKA

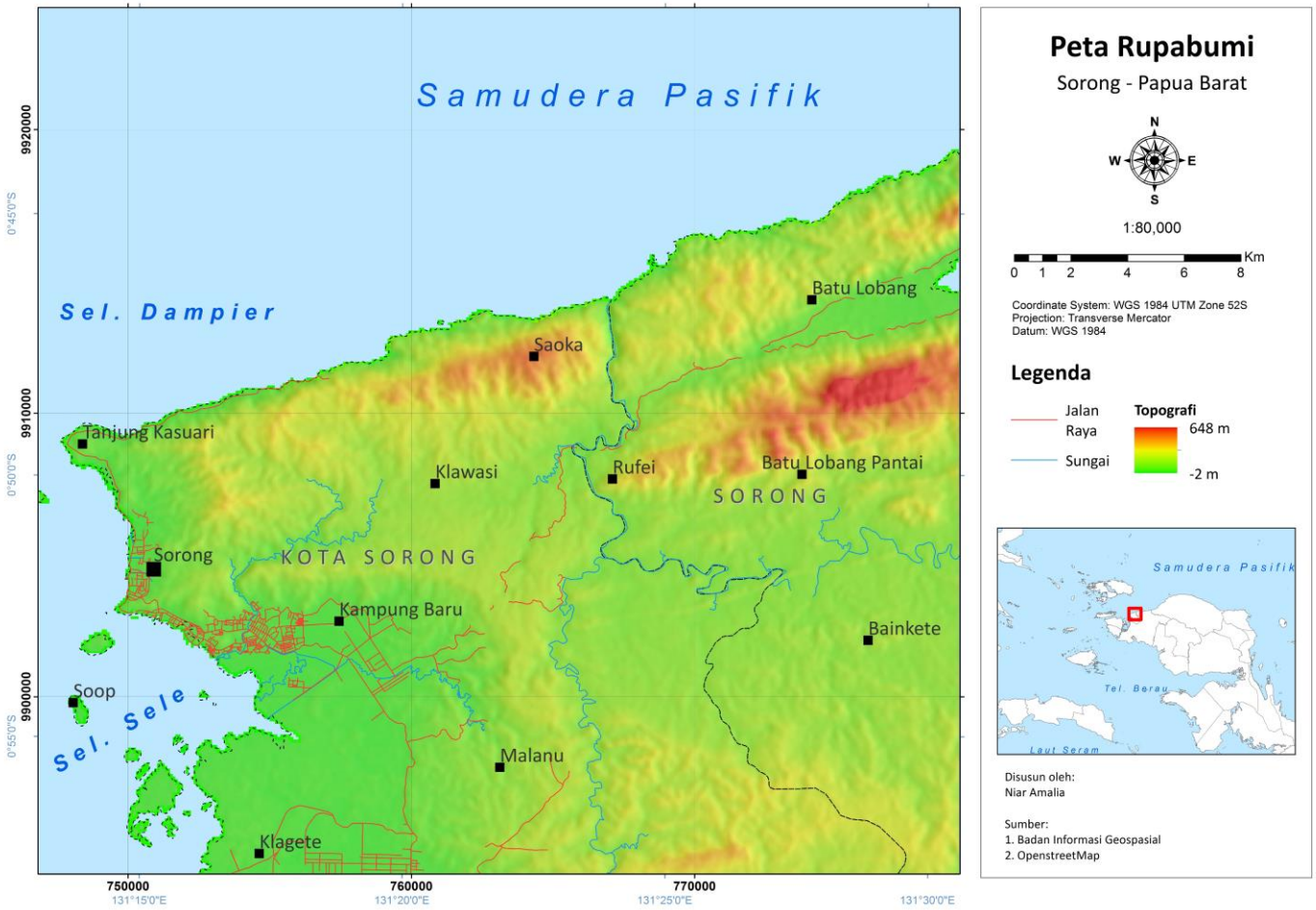
2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada koordinat $0^o45'$- 1° LS dan $131^o15'$- 131^o30 BT sedangkan dalam UTM WGS84 terletak pada 748000 – 782500 mE dan 9888500 – 9918000 mS termasuk kedalam zona -52S. Wilayah tersebut termasuk dalam daerah Kota Sorong yang secara administratif termasuk ke dalam Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat. Lokasi penelitian dapat dilihat dari peta yang terdapat pada Gambar 1.

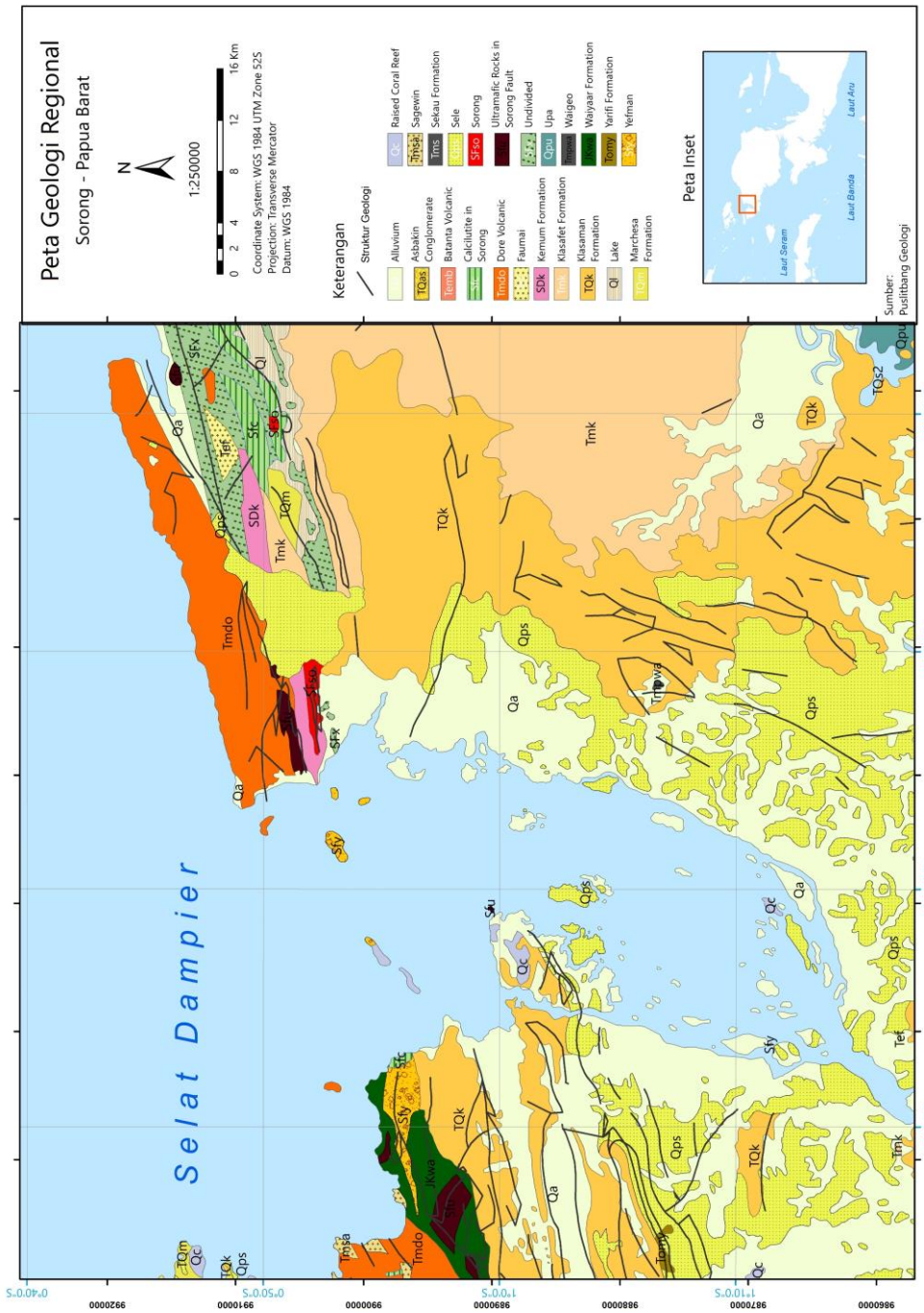
2.2. Geologi Regional daerah Penelitian

Secara geografis Kota Sorong berada di sebelah Barat Laut dari Provinsi Papua Barat. Informasi geologi Sorong ini diperoleh dari publikasi peta geologi lembar Sorong, Papua Barat skala 1 : 250.000 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Amri, dkk., 1990) serta dari beberapa sumber lain.

Cekungan Salawati masih tergolong sebagai suatu cekungan sedimentasi yang relatif muda karena mulai terbentuknya baru pada kala Miosen Tengah dan cekungannya mengalami penurunan yang sangat internsif pada Kala Pliosen hingga Pleistosen yang diasumsikan sebagai akibat dari aktifnya pergerakan sesar mendatar Sorong (Pireno, 2008). Peta geologi regional wilayah Sorong dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian (BIG, 2016).



Gambar 2. Peta geologi regional daerah Sorong (Amri, dkk., 1990).

Cekungan Salawati merupakan salah satu cekungan sedimentasi yang terletak di wilayah Papua Barat, yang sudah dikenal sebagai cekungan Tersier penghasil minyak yang besar di kawasan Indonesia Bagian Timur. Cekungan ini berarah Timur – Barat terletak di batas Utara Lempeng Benua Australia yang bergerak ke arah Utara sebagai *passive margin* yang berbatasan dengan Lempeng Samudera Pasifik yang bergerak relatif ke arah Barat dan dibatasi oleh adanya sesar mendatar regional yaitu Sesar Sorong. Cekungan Salawati berkembang di sebelah Selatan Sesar Sorong dan perkembangan cekungannya dikontrol oleh pergerakan sesar besar mendatar ini (Hamilton, 1979).

Cekungan Salawati merupakan salah satu cekungan potensial yang ada di Indonesia Timur. Batuan sumber cekungan ini berasal dari *marine shales* Formasi Klasafet dengan reservoir utamanya berada di Formasi Kais. Eksplorasi di Cekungan Salawati memiliki *target play* baru berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh JOB Pertamina – Petrochina Salawati. Target ini berupa *Naturally Fractured Reservoir* (NFR) yang berada pada batuan kristalin yang mendasari Cekungan Salawati. Dalam perkembangannya, Cekungan Salawati di bagian Utara dibatasi oleh patahan mendatar besar yaitu Sesar Sorong yang juga merupakan batas antara Lempeng Benua Australia dengan Lempeng Samudera Pasifik. Di bagian Timur, cekungan ini di batasi oleh paparan Ayamaru pada daerah tinggian Kemum dan di bagian Selatan di batasi oleh adanya pengangkatan geantiklin Misool – Onin.

Cekungan Salawati yang terletak di Kepala Burung dari Pulau Irian Jaya, merupakan cekungan *foreland* asimetris yang memiliki arah Timur – Barat dan berlokasi pada batas Utara Lempeng Indo – Australia. Cekungan Salawati merekam sejarah stratigrafi dan tektonik dari Paleozoik hingga sekarang (Satyana, 2009).

2.2.1. Tektonik Regional

Lokasi penelitian terletak pada cekungan salawati, dalam tatanan kerangka tektonik regional cekungan Salawati terletak pada komplek tektonik daerah Indonesia bagian Timur pada bagian Kepala Burung yang dipengaruhi oleh tiga lempeng besar yaitu: Lempeng Benua Eurasia berupa batuan metamorf yang sudah sangat terdeformasi sebagai hasil interaksi dari Lempeng Autralia dan Lempeng Pasifik, Lempeng Samudra Pasifik yang tersusun oleh ofiolit dan kompleks vulkanik busur kepulauan dan Lempeng Benua Australia yang terdiri dari endapan sedimen.

Elemen – elemen Cekungan Salawati secara umum didominasi oleh struktur patahan dan lipatan yang berarah Timur – Barat. Hampir seluruh patahan berkembang sebagai sesar normal ekstensional. Di bagian utara terdapat beberapa patahan mendatar berupa *shear* dari sesar geser Sorong. Sabuk ini berakhir oleh sesar geser kontinental berarah Barat – Timur yang dikenal dengan nama zona Sesar Tarera – Aiduna pada bagian Leher Burung. Pada wilayah Leher Burung didominasi oleh struktur lipatan yang berarah Utara sampai Baratlaut yang dikenal dengan nama Lengguru *Fold Belt*. Pada sabuk lipatan ini sebagian besar struktur didominasi oleh sistem sesar yang berarah Barat – Timur. Kemudian evolusi tektonik regional di wilayah Kepala Burung berlangsung sejak awal Paleozoikum. Gerakan tektonik yang cukup intensif terjadi pada kala Plio – Pleistosen paska pengendapan fasies batugamping terumbu yang berumur Miosen.

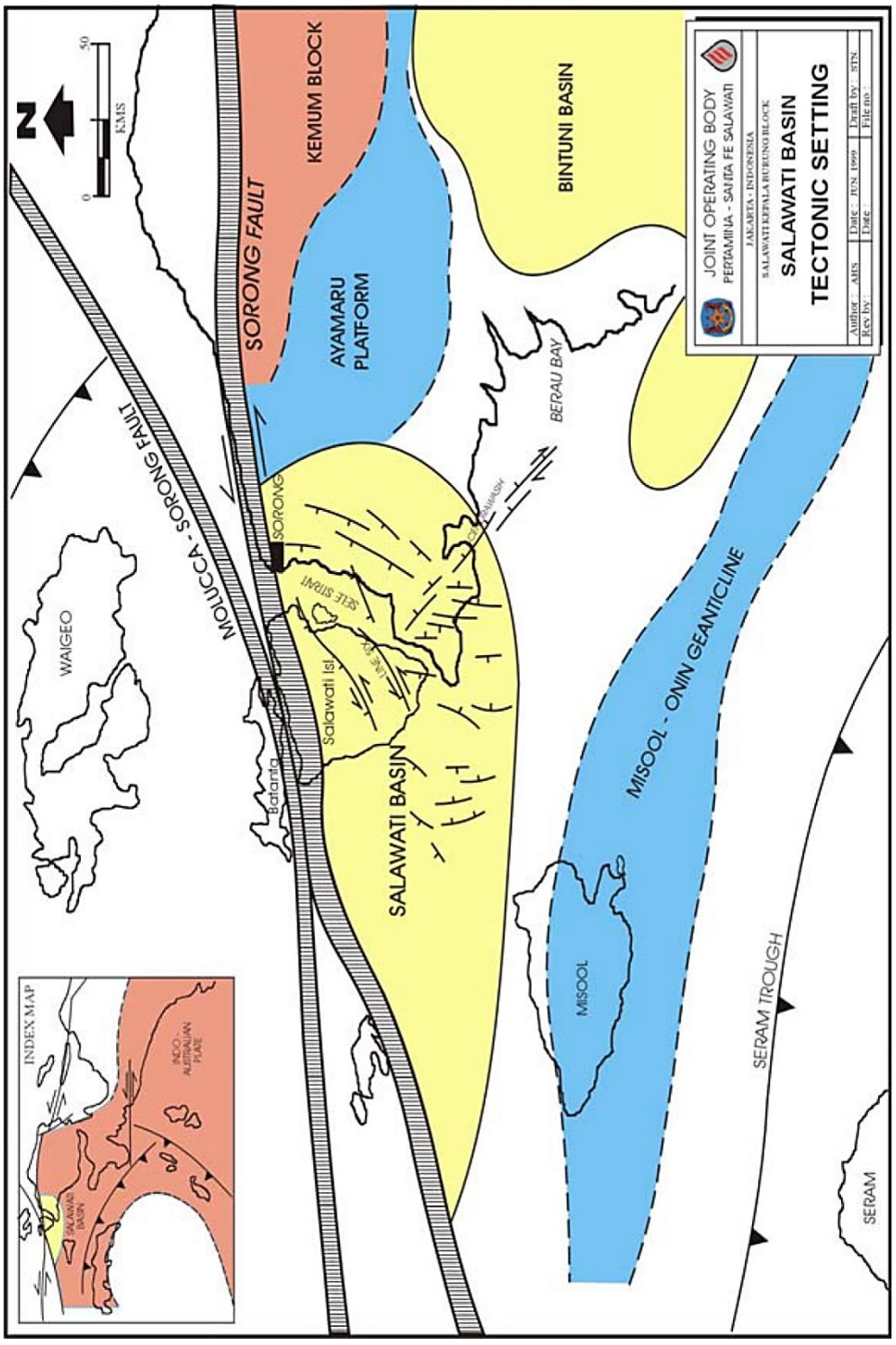
Visser dan Hermes (dalam Satyana dan Herawati, 2011) memetakan Patahan Zona Sorong mencolok di sekitar Baradaya melalui Kota Sorong. Zona ini ditandai dengan tumpukan kacau berupa blok dari berbagai jenis satuan batuan. Sayatan

yang terdiri dari potongan, lensa, dan lempengan, semua ukuran sampai 10 km, dari beragam batuan mafik dan ultramafik, dengan umur Jurassic sampai Miosen dalam- dan dangkal-air batuan sedimen, dan beberapa batu yang bersifat asam sampai menengah dan batuan metamorf, diatur dalam matriks. Patahan dengan skala besar jelas terjadi, sehingga menimbulkan apa yang mungkin terbaik menjadi gambaran sebagai breksi tektonik besar. Breksi ini telah bersatu di bawah nama Jefman breksi. Kiri-tabrakan lateral-tergelincir disimpulkan dari solusi fokus gempa bumi terjadi di sepanjang Sistem Sesar Sorong. Lebar dari zona sesar bervariasi antara 4 dan 10 km; secara lokal, bagaimanapun, sistem sesar dapat mencakup daerah yang lebih luas. Froidevaux menempatkan zona sesar seluas 8-13 km di daerah Salawati Utara.

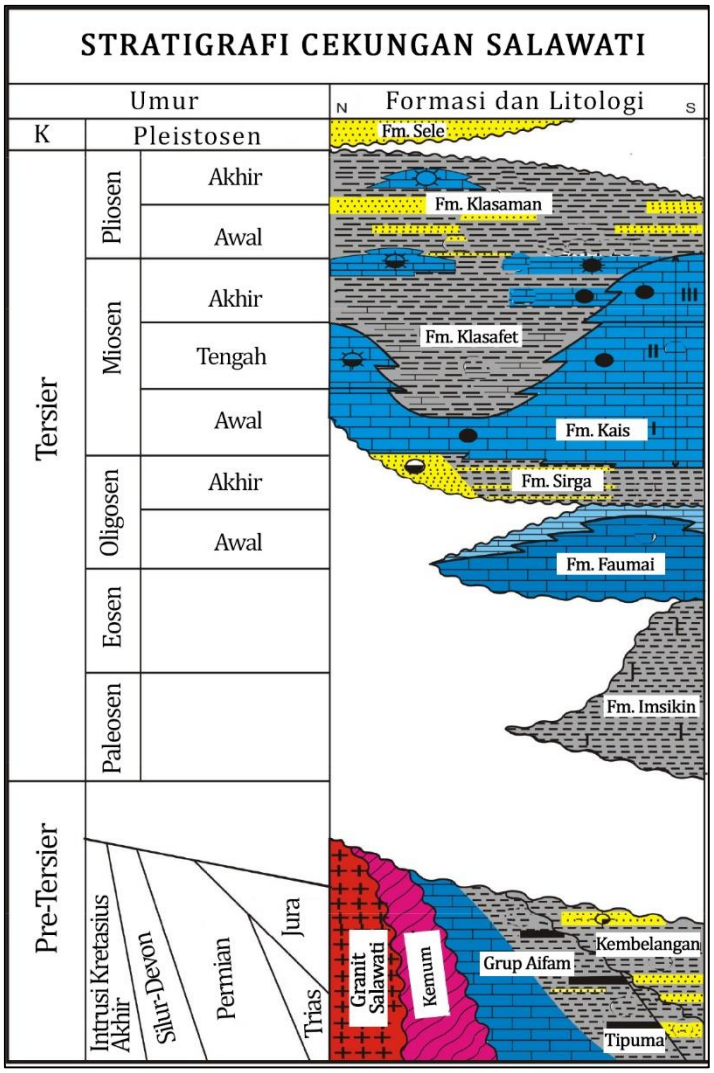
Cekungan Salawati yang menempati bagian sudut utara dari lempeng Benua Australia dengan batas sebelah utaranya adalah Zona Patahan Sorong yang terbentuk akibat persinggungan lempeng tersebut dengan Lempeng Samudra Pasifik. Cekungan ini di sebelah selatan dibatasi oleh jalur lipatan geantiklin Misol – Onin, di sebelah barat dibatasi oleh kelanjutan dari jalur patahan Sorong dan di bagian timur berbatasan dengan Dataran Tinggi Ayamaru, dapat dilihat pada Gambar 3.

2.2.2. Stratigrafi

Mneurut jurnal yang ditulis oleh Satyana, 2009, beliau menggeneralisasi Startigrafi regional Cekungan Salawati berdasarkan umur dan litologi batuan yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Struktur regional Cekungan Salawati (Satyana, 2009).



Gambar 4. Stratigrafi Cekungan Salawati (Satyana, 2009).

Urutan stratigrafi Cekungan Salawati dari tua ke muda dibagi menjadi 10 formasi (Mefri, 2012) dengan penjelasan masing-masing sebagai berikut:

1. Batuan Dasar Kemum (Devon, 406.5 – 262.5 juta tahun)

Di daerah Kepala Burung atau Cekungan Salawati – Bintuni, batuan dasar yang berumur Pra-Tersier terutama tersingkap di sebelah timur Kepala Burung yang dikenal sebagai Tinggian Kemum, serta di sekitar Gunung Bijih *Mining Access* (GBMA) yaitu di sebelah Baratdaya Pegunungan Tengah. Batuan Dasar tersebut disebut Formasi Kemum yang tersusun oleh batusabak,

filik dan kuarsit. Formasi ini di sekitar Kepala Burung diintrusi oleh granit yang berumur Karbon disebut sebagai Anggi Granit pada Trias. Oleh sebab itu Formasi Kemum ditafsirkan terbentuk pada sekitar Devon sampai Awal Karbon.

2. Formasi Aifam (Perm, 290 - 250 juta tahun)

Formasi Kemum ditindih secara tidak selaras oleh Group Aifam. Di sekitar Kepala Burung *group* ini dibagi menjadi 3 Formasi yaitu Formasi Aimau, Aifat dan Ainim yang terdiri dari suatu seri batuan sedimen yang tak – termalihkan dan terbentuk di lingkungan laut dangkal sampai fluvio-deltaik. Satuan ini di daerah Bintuni ditutupi secara tidak selaras oleh Formasi Tipuma yang berumur Trias.

3. Formasi Kembelengan (Jura Akhir – Kapur Akhir, 152 – 66.5 juta tahun)

Formasi Kembelengan, pada bagian bawah merupakan endapan paralis-laut dangkal yang terdiri dari batupasir, batulempung, mudstone dan batubara berumur Jurasik Tengah sedangkan pada bagian atas merupakan endapan laut dangkal-dalam terdiri dari mudstone dan serpih berumur Kapur. Endapan dengan umur Mesozoikum berkembang di bagian Selatan Cekungan Salawati, karena pada saat pengendapan sedimen tersebut cekungan terbuka ke arah Selatan.

4. Formasi Waripi (Paleosen, 66.5 – 54 juta tahun)

Formasi Waripi terutama tersusun oleh karbonat dolomitik, dan batupasir kuarsa diendapkan di lingkungan laut dangkal yang berumur Paleosen sampai Eosen.

5. Formasi Faumai (Eosen, 54 – 36 juta tahun)

Formasi Faumai terletak secara selaras di atas Formasi Waripi yang juga merupakan sedimen yang diendapkan di lingkungan laut dangkal. Formasi ini teridir dari batugamping berlapis tebal (sampai 15 meter) yang kaya fosil foraminifera, batugamping lanauan dan perlapisan batupasir kuarasa dengan ketebalan sampai 5 meter, tebal seluruh formasi ini sekitar 500 meter.

6. Formasi Sirga (Oligosen, 36 – 25.2 juta tahun)

Kemudian secara selaras di atas Formasi Faumai diendapkan Formasi Sirga. Formasi ini berumur Oligosen, formasi ini dipengaruhi oleh regresif pada Oligosen Tengah menyebabkan terbentuknya daratan yang luas, Transgresi yang terjadi pada kala Oligosen Akhir telah berperan dalam proses pengendapan batuan sedimen klastik berupa batupasir, lanau, serpih gampingan serta sedikit batugamping yang berasal dari Tinggian Kemum di sebelah Utara.

7. Formasi Kais (Miosen Awal – Miosen Tengah, 25.2 – 10.2 juta tahun)

Formasi Kais didominasi oleh litologi batugamping, secara umum Formasi Kais terdiri atas dua tipe karbonat utama, yaitu batugamping terumbu dan batugamping paparan. Batugamping paparan Formasi Kais diendapkan pada Miosen Awal – Miosen Tengah dan diatas paparan karbonat Formasi Kais berkembang batugamping terumbu Formasi Kais, semakin ke arah Tinggian Kemum batuan karbonat Formasi Kais berubah fasies menjadi sedimen klastik pembentuk Formasi Klasafet. Fasies batugamping terumbu hanya berkembang setempat-setempat di daerah tinggian, sedangkan fasies batugamping klastik berkembang hingga daerah dalaman. Umumnya

batugamping terumbu ini berkembang selama fase muka air laut naik atau selama muka air laut tertinggi. Formasi Kais merupakan reservoir yang berkembang baik di Cekungan Salawati.

8. Formasi Klasafet (Miosen Akhir, 10.2 – 5.2 juta tahun)

Formasi Klasafet terdiri dari sedimen klastik, yaitu berupa batu lempung gampingan dan batugamping serpihan. Formasi Klasafet merupakan beda fasies dengan batugamping terumbu Formasi Kais.

9. Formasi Klasaman (Pliosen, 5.2 – 1.65 juta tahun)

Pengangkatan dalam periode Mio – Pliosen sepanjang zona sesar Sorong di Utara dan Dataran Tinggi Ayamaru di Timur, membagi Cekungan Salawati di Barat dan Cekungan Bintuni di Timur. Peristiwa pengangkatan ini mengakibatkan pengendapan sedimen klastik yang terdiri dari batu lempung dengan sisipan tipis batulanau dan batugamping. Formasi Klasaman berumur Pliosen.

10. Formasi Sele (Pleistosen, 1.65 juta tahun)

Lalu pada kala Pliosen – Pleistosen setelah pengangkatan regional cekungan, diendapkan sedimen *fluvial* Formasi Sele yang berumur Pleistosen berupa batupasir dan konglomerat diendapkan secara tidak selaras diatas formasi – formasi yang lebih tua.

Cekungan Salawati mencatat sejarah stratigrafi dari waktu *Paleozoic* ke *Pleistocene*. Suksesi stratigrafi tertua ialah Siluro-Devonian Kemum *metasediments-metamorphics* yang menyusun *Basement* benua. Di atas *Basement* terdapat *Carboniferous*-Permian tepi kontinen batuan Aifam (tidak tepat diidentifikasi dan umurnya sejauh ini di Cekungan Salawati), dan batuan sedimen

Mesozoic (Tipuma dan kelompok Kembelangan), terutama terdistribusi di daerah bagian Selatan. Kapur Akhir untuk periode *Paleocene* adalah periode non-deposisi karena terjadi pengangkatan daerah. Sedimentasi tersier dimulai dengan Eosen akhir hingga Oligosen awal deposisi transgresif karbonat Faumai. Faumai dilapisi oleh karbonat Oligosen akhir, lingkungan delta hingga *shallow-marine* siliklastika dan karbonat pada Sirga. Lempeng transgresif dan *reefal* karbonat yang tebal pada Formasi Kais disimpan dan dikembangkan selama Miosen. Serentak dengan karbonat deposisi Kais, adalah pengendapan Miosen *lagoonal* Klasafet berupa *marly shale*. Klasaman serpih berumur Pliosen dan pasir merupakan lapisan tertebal dan termuda pada masa Tersier dalam urutan stratigrafi cekungan ini. Sedimen yang diendapkan bersamaan dengan cekungan yang mengalami *subsidence* ke Utara-Baratlaut. Urutan stratigrafi berakhir pada umur Pleistosen dengan terkumpulnya *molassic* dari konglomerat Sele akibat terkikis dari terangkatnya dan deformasi Zona Sesar Sorong (Satyana, 2009).

2.2.3. *Petroleum System* Cekungan Salawati

Dalam jurnal yang ditulis oleh Mefri, 2012, *petroleum system* pada Cekungan Salawati dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. **Batuan Induk (*Source Rock*)**

   Batuan klastik halus dari formasi - formasi yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal berupa batuan sedimen batupasir, lanau, serpih gampingan dari Formasi Sirga dapat bertindak sebagai batuan induk hidrokarbon yang ditemukan dalam fasies batugamping terumbu Formasi Kais.

2. **Batuan Reservoir (*Reservoir Rock*)**

   Batuan yang berpotensi sebagai batuan reservoir di daerah telitian adalah

batuan karbonat pada *reef build up* Formasi Kais. Hasil studi fasies batugamping Formasi Kais di Cekungan Salawati (JOB Pertamina – Santa Fe,2000) terdapat lima fasies utama, yaitu: Patch Reefs Over Arar High, Lagoonal Mud/Reef Mounds, Ridge Over Salawati, Lagoonal Pinnacle Reefs dan Patch Reefs Over Walio Bank. Lapangan Klamono dan sekitarnya termasuk dalam Lagoonal Deeper Carbonates Facies. Secara umum terdiri dari *lime mudstone* berwarna abu – abu kecoklatan yang berbutir halus dan *wackstone* pada beberapa tempat terdapat *argillaceous* dengan material skeletal berkisar 8 – 25 % yang terdiri dari foraminifera *plankton* dan sedikit foraminifera bentonik.

3. Batuan Penutup (*Seal Rock*)

Batuan yang bertindak sebagai lapisan penutup yang baik pada daerah telitian adalah sedimen klastik yang terdiri dari batu lempung dengan sisipan tipis batulanau dan batugamping dari Formasi Klasafet dan Formasi Klasaman.

4. Jebakan Hidrokarbon (*Trap of Hydrocarbon*)

Perangkap umum secara regional di daerah telitian adalah jebakan stratigrafi. Jebakan stratigrafi adalah adanya fasies terumbu dari Formasi Kais yang *porous*. Perangkap Formasi Kais pada umumnya didominasi oleh batugamping berumur Miosen Awal – Miosen Tengah. Batugamping Formasi Kais di daerah Klamono diendapkan di lingkungan lagoonal hingga *carbonate reef bank*. Sehingga reservoir pada umumnya terbentuk dari *patch reef* atau *reef bank*. Pola sturktur *carbonate build-up* pada umumnya mempunyai orientasi Timurlaut - Baratdaya, sejajar dengan orientasi garis

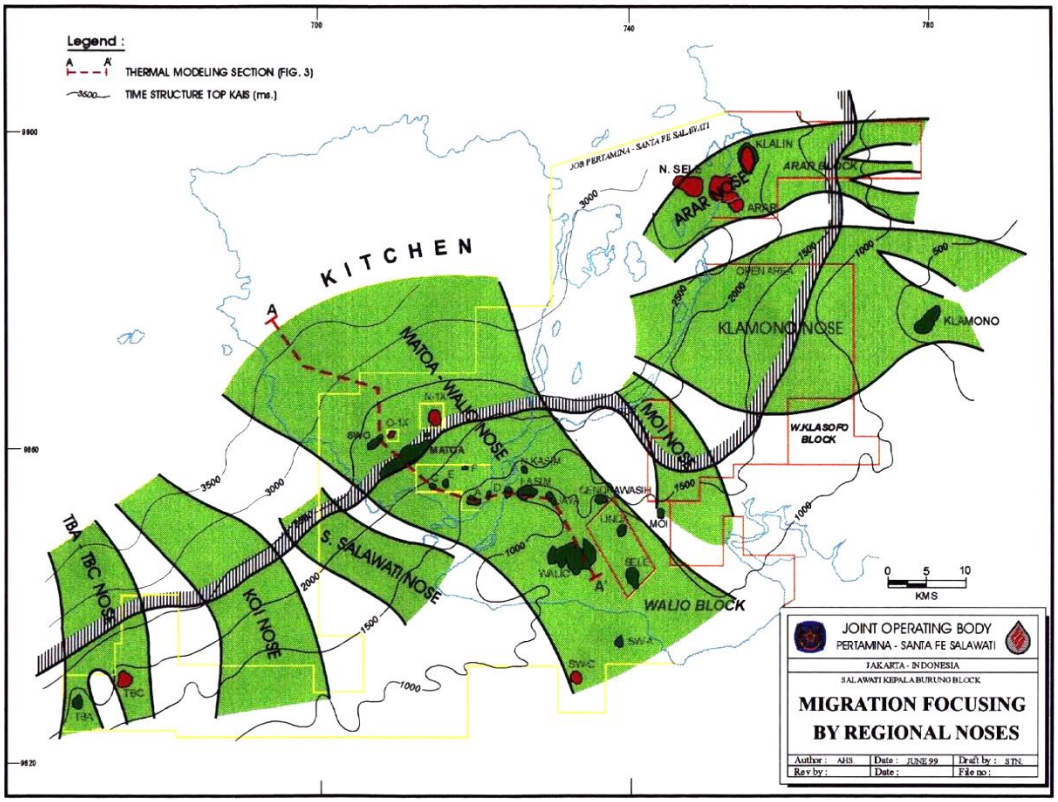
pantai pada saat pengendapan. Perangkap - perangkap tersebut berkembang sejak awal hingga akhir pembentukan Formasi Kais.

5. Migrasi Hidrokarbon (*Migration of Hydrocarbon*)

Pola migrasi minyak dan gas di daerah telitian, mengikuti jalur migrasi lateral melewati media batuan porous yang dikontrol oleh slope lapisan ke arah tinggian serta jalur patahan.

2.2.4. Fokus Migrasi Cekungan Salawati

Evaluasi daerah peta struktur Kais memberikan pengakuan bahwa terdapat beberapa hidung yang luas dari daerah Kais yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fokus migrasi Cekungan Salawati (Satyana, 1999).

Hidung regional ini diperoleh dari penyederhanaan peta struktur waktu Kais melalui pembesaran interval kontur dan mengembalikan Kontur ke dalam kondisi

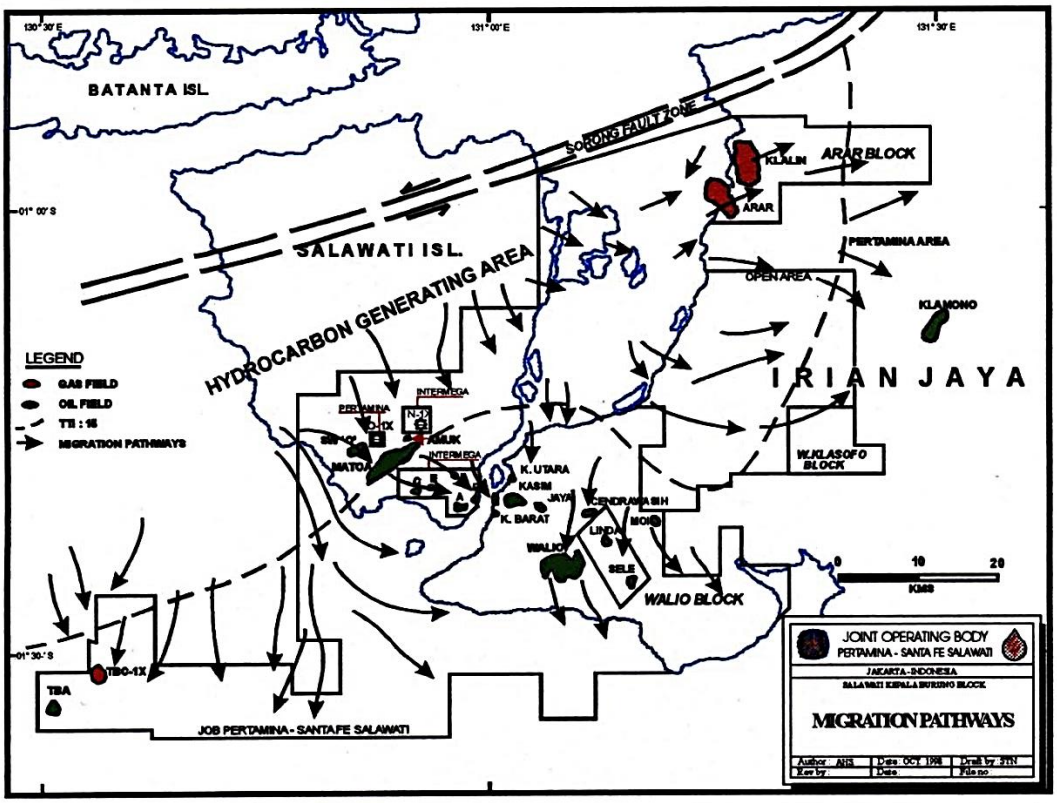
pra-strukturisasi. Dalam studi ini dikenali tujuh daerah struktural paralel Hidung Kais yang membentang dari daerah *updip* Cekungan Salawati dan terjun ke dapur hidrokarbon. Ketujuh hidung tersebut yaitu, dari barat daya ke timur laut: (1) TBA - TBC, (2) Koi, (3) Salawati Selatan, (4) Matoa - Walio, (5) Moi, (6) Klamono, dan (7) daerah Arar. Pada bagian Selatan Salawati dan hidung Moi merupakan hidung-hidung kecil dan dianggap sebagai *splites* yang mengapit hidung yang lebih besar yaitu Matoa - Walio. Hidung regional ini ada sejak zaman Pliosen. Kombinasi daerah hidung struktural ini memiliki kecenderungan patahan terhadap fokus migrasi hidrokarbon kedalam perangkap. *Interplay* ini telah menghasilkan luasan migrasi yang unik di dalam Cekungan Salawati. Jalur migrasi terkonsentrasi di sepanjang hidung struktural dan jauh dari lapisan bawah struktur yang mengapit. Hidrokarbon yang dihasilkan pada konsentrasi yang pertama kali berada disekitar daerah Hidung yang landai, aliran *updip* dan akhirnya jalur migrasi dikontrol dan ditingkatkan oleh patahan.

Fakta menarik tentang migrasi ini terfokus pada semua hidung dimana ladang minyak dan gas Cekungan Salawati terletak di dalamnya. Hampir 70% dari cadangan hidrokarbon cekungan ini berada di wilayah hidung Matoa-Walio. Daerah yang mengapit hidung daerah bersifat regional daerah rendah / sinkronal, sebagian besar sumur kering di Cekungan Salawati terletak di daerah dataran rendah ini. Jalur migrasi akan jauh dari struktur daerah rendah dan area ini tidak akan berisi hidrokarbon. Efisiensi migrasi, terkendali dengan kehadiran hidung struktural regional dan tren gangguan terkait, adalah didefinisikan untuk setiap area migrasi yang terfokus. Peta menunjukkan bahwa di luar area dapur, efisiensi

migrasi tertinggi terjadi di dua wilayah, Koi dan Matoa - Walio dimana Interaksi antara patahan dan hidung struktural terbaik terdapat pada daerah tersebut. TBA-TBC, Klamono, dan Arar memiliki efisiensi sedang karena migrasi hidrokarbon di daerah ini disebabkan karena struktur hidung dan daerah yang kekurangan migrasi dan penambahan patahan. Daerah struktural rendah di sebelah timur Blok Walio Memiliki efisiensi terendah karena tidak ada keduanya daerah hidung dan migrasi akibat patahan (Satyana, 1999).

2.2.5. Rekonstruksi Jalur Migrasi

Jalur migrasi pada Cekungan Salawati dapat dilihat pada Gambar 6.



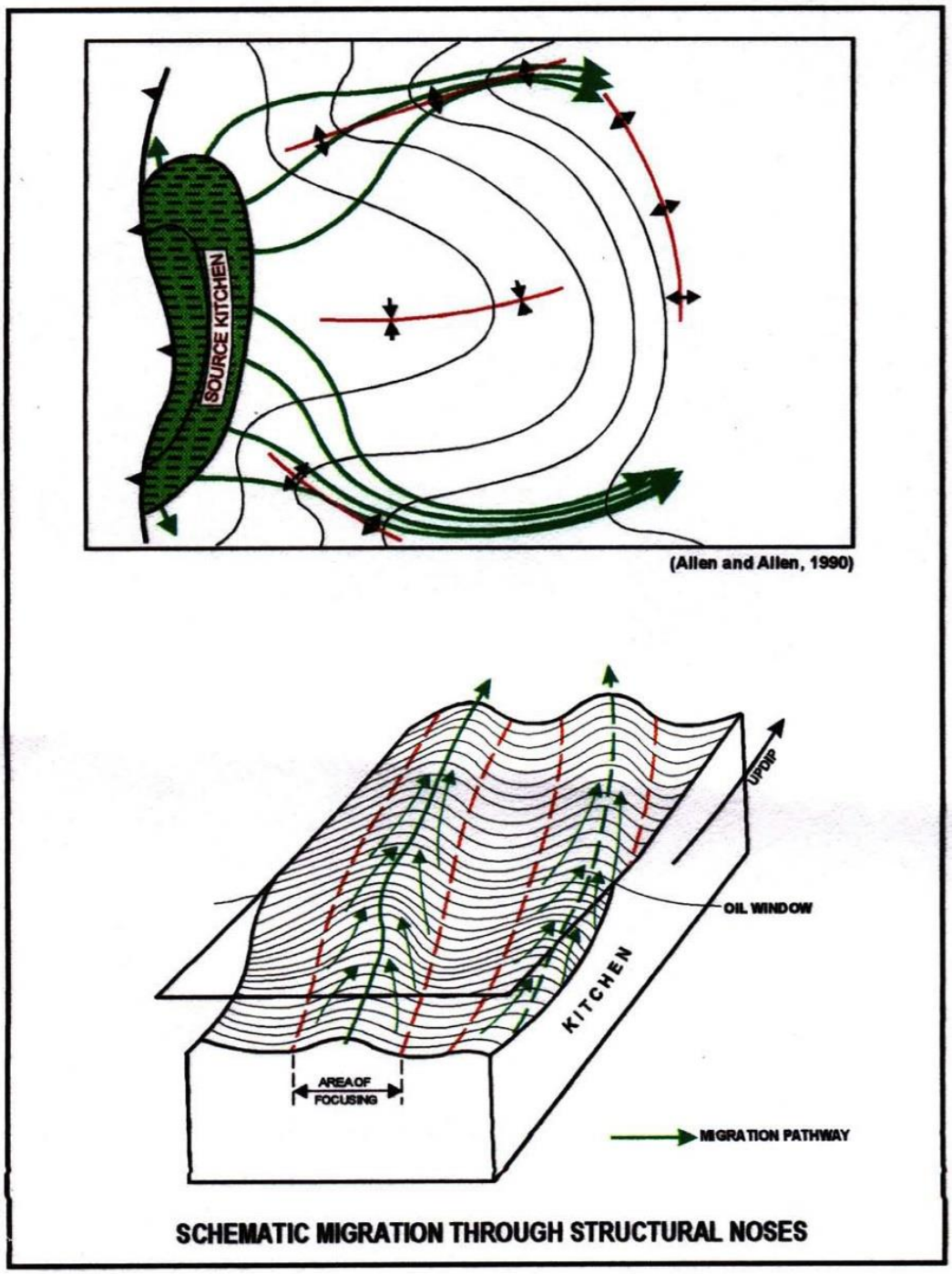
Gambar 6. Jalur migrasi Cekungan Salawati (Satyana, 1999).

Setelah memperoleh pola migrasi hidrokarbon, penting bagi migrasi peta

direkonstruksi untuk memahami sebelumnya jalur migrasi *isopaching* memungkinkan produksi peta *paleostructure* yang membantu pemodelan rute paleomigrasi. Pemodelan termal menunjukkan bahwa migrasi besar di DAS Salawati telah terjadi Sejak 3,4 Ma (waktu intra-Pliosen). Peta *isopach* dari penanda intra-Klasaman (umur penanda ini adalah kira-kira 3.5 Ma) ke atas dimana formasi Kais yang akan mengakomodasi persyaratan ini (Satyana, 1999).

2.2.6. Mekanisme Migrasi

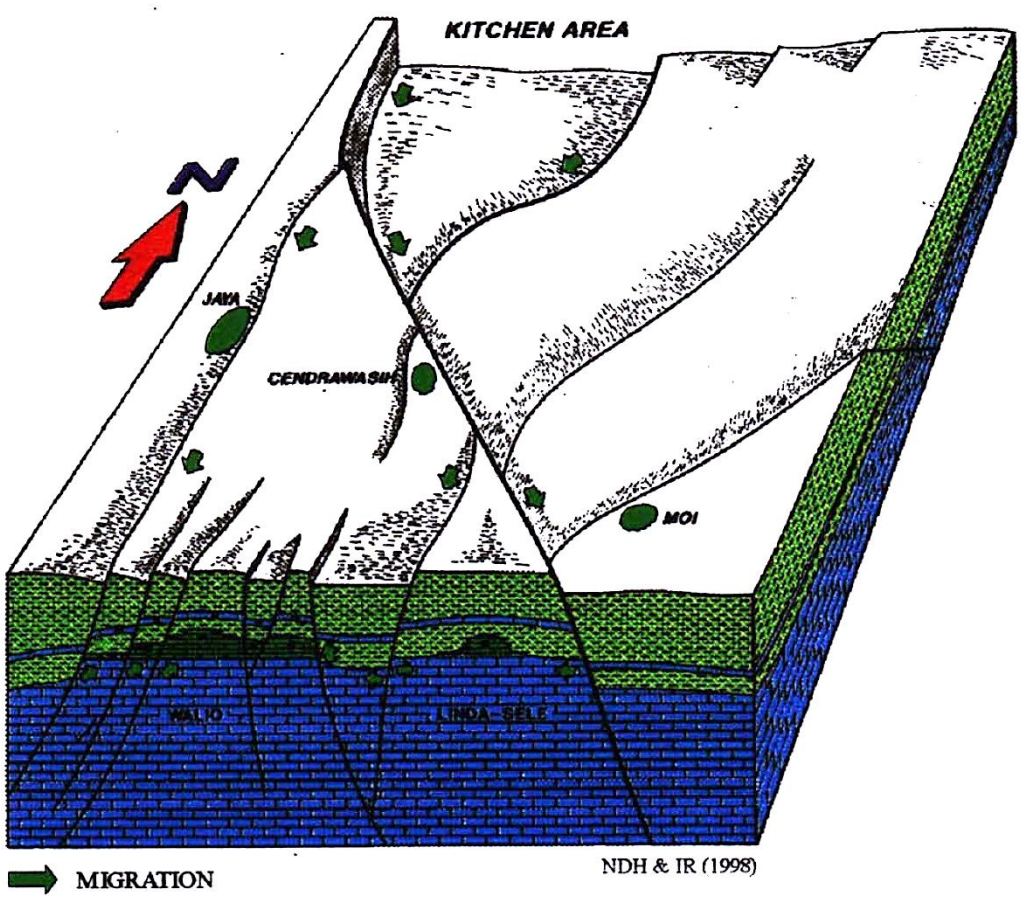
Gerakan hidrokarbon didorong oleh dua kekuatan: (1) daya apung dan (2) aliran airtanah / hidrodinamika. Daya apung adalah gaya yang diarahkan vertikal yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan/tekanan antara minyak, gas dan air pori tempat pembawa. Gradien tekanan apung/pori mencoba untuk memindahkan semua cairan pori (air dan minyak bumi) ke daerah dengan daya apung yang lebih tinggi dan lebih rendah tekanan. Daerah ini adalah updip dari dapur. Jalur migrasi minyak bumi dapat dipandang sebagai sungai atau sungai yang dibatasi dan segera terkonsentrasi di bawah permukaan penyegelan di bagian atas tempat pembawa. Minyak bumi cenderung bergerak dalam keadaan homogen dari tempat pembawanya di arah lereng curam. Tegak lurus terhadap kontur strukturalnya, yaitu, di arah kemiringan yang benar. Garis ditarik pada sudut kanan (Ortogonal) terhadap kontur struktural bagian atas sesar mempengaruhi migrasi sumber-ke-perangkap, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme migrasi Cekungan Salawati (Satyana, 1999).

Fraktur tensional berkembang di zona *crestal*, struktur antiklin memungkinkan migrasi minyak bumi. Zona patahan bisa bertindak sebagai saluran (*non-sealing*) dan penghalang (*sealing*) terhadap migrasi sekunder tergantung pada berbagai faktor seperti *stress* normal melintasi suatu patahan. Sifat permukaan sesar

dan strata yang dipotong oleh patahan. Sebuah studi baru-baru ini menunjukkan bahwa perkembangan patahan, dari diskontinuitas yang sudah ada sampai ke zona breksi, menciptakan jalur permeabilitas yang meningkatan aliran hidrokarbon. Di tempat pembawa karbonat atau endapan *calsi*-klastik, adanya patahan menghubungkan sumber dapur dengan perangkap akan mengakomodasi migrasi hidrokarbon (Satyana, 1999). Patahan yang mempengaruhi perangkap untuk migrasi di Cekungan Salawati dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh patahan pada migrasi di Cekungan Salawati (Satyana, 1999).

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gaya berat

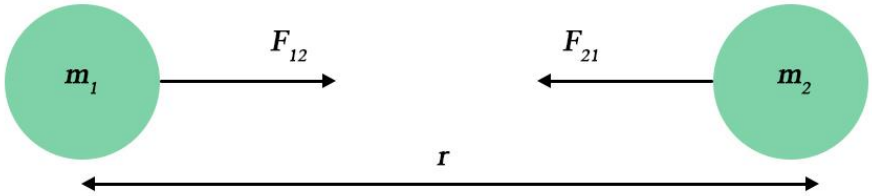
Metode gaya berat adalah salah satu metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran medan gaya berat. Pengukuran ini dapat dilakukan di permukaan bumi, di kapal maupun di udara. Dalam metode ini yang dipelajari adalah variasi medan gaya berat akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan medan gaya berat dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. Metode gaya berat umumnya digunakan dalam eksplorasi jebakan minyak (*oil trap*). Disamping itu metode ini juga banyak dipakai dalam eksplorasi mineral dan lainnya (Kearey dkk., 2002).

Prinsip pada metode ini mempunyai kemampuan dalam membedakan rapat massa suatu material terhadap lingkungan sekitarnya. Dengan demikian struktur bawah permukaan dapat diketahui. Pengetahuan tentang struktur bawah permukaan ini penting untuk perencanaan langkah-langkah eksplorasi baik minyak maupun mineral lainnya. Untuk menggunakan metode ini dibutuhkan minimal dua alat gaya berat, alat yang pertama berada di base sebagai alat yang digunakan untuk mengukur pasang surut gaya berat, alat yang kedua dibawa pergi ke setiap titik pada stasiun mencatat perubahan gaya berat yang ada. Biasanya dalam pengerjaan pengukuran gaya berat ini dilakukan secara *looping* (Supriyadi, 2009).

3.2. Konsep Dasar Gaya Berat

3.2.1. Teori Gaya Berat

Teori yang paling mendasar dalam metode gaya berat adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antara benda dengan masa tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gaya tarik menarik antara dua benda (Rosid, 2005).

Kedua benda tertentu yang dipisahkan oleh jarak tertentu akan memiliki gaya tarik menarik yang besarnya dinyatakan oleh persamaan berikut (Reynolds, 1997):

$$F = G\frac{M \times m}{R^2} \quad (1)$$

dimana :

F : gaya tarik menarik (N)

G : konstanta gaya berat Universal (6,67 x 10^{-11} Nm^2kg^{-2})

M : massa bumi (kg)

m : massa benda (kg)

R : jarak antara dua buah benda (m)

3.2.2. Potensial Gaya Berat

Potensial Gaya Berat 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 disekitarnya. Dimana

medan potensial bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gaya berat tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya bergantung pada posisi awal dan akhir (Rosid, 2005).

Gaya berat merupakan sebuah vektor yang arahnya sepanjang garis yang menghubungkan pusat dari dua buah massa. Gaya ini menimbulkan suatu medan yang konservatif yang dapat diturunkan dari suatu potensial skalar dengan hubungan sebagai berikut.

$$g = \nabla U(\vec{r}) \tag{2}$$

Persamaan diatas mengikuti konvensi oleh Kellog tahun 1953, yang menyatakan potensial gaya berat ialah usaha yang dilakukan oleh medan gaya berat pada partikel uji dan negatif dari energi potensial partikel. Beberapa buku menetapkan potensial gaya berat sebagai usaha yang dilakukan partikel uji, sehingga dalam persamaan (2) ditulis:

$$g = -\nabla U(\vec{r}) \tag{3}$$

Fungsi U pada persamaan di atas disebut potensial gravitasi, sedangkan percepatan gaya berat g merupakan medan potensial. Tanda minus menandakan bahwa arah gaya berat menuju ke titik yang dituju. Dengan mengasumsikan bumi dengan massa *M* bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari *R*, potensial gravitasi di permukaan dapat didefinisikan dengan persamaan:

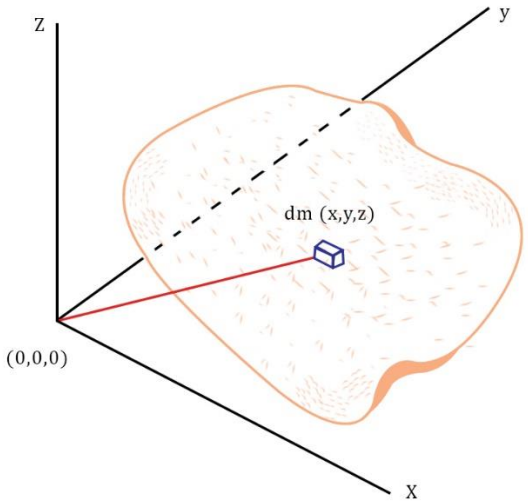
$$\nabla U(\vec{r}) = -\frac{F(r)}{m_2} = -g(\vec{r}) \tag{4}$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^{r} (\nabla U)\,.\,dr = -\int_{\infty}^{r} g\,.\,dr \tag{5}$$

$$U(r) = -Gm\int_{\infty}^{r}\frac{dr}{r^2} = G\frac{m}{r} \tag{6}$$

Potensial total gaya berat bersifat penjumlahan sedangkan potensial gaya

berat distribusi massa yang kontinu atau benda yang berdimensi yaitu dalam ruang bervolume *V* dengan rapat massa dengan rapat massa yang konstan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Potensial massa tiga dimensi (Telford dkk.,1990)

Berdasarkan Persamaan (6), potensial yang disebabkan oleh elemen massa *dm* pada titik (x, y, z) dengan jarak *r* dari *P(0, 0, 0)* adalah:

$$dU = G\frac{dm}{r} = G\rho\frac{dxdydz}{r} \quad (7)$$

dimana:

ρ (x,y,z) adalah densitas

$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

Potensial total dari massa adalah:

$$U = G\int_x\int_y\int_z \frac{\rho}{r}dx\,dy\,dz \quad (8)$$

karena *g* adalah percepatan gaya berat pada sumbu *z* (arah vertikal) dan dengan asumsi ρ konstan, maka:

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G\rho\int_x\int_y\int_z \frac{z}{r^3}dx\,dy\,dz \quad (9)$$

3.2.3. Percepatan Gaya Berat

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$F = m \times g \tag{10}$$

Dimana g adalah percepatan yang indentik dengan percepatan gaya berat di bumi, sehingga Persamaan (1) dapat ditulis :

$$F = G\frac{M \times m}{R^2} = m \times g \tag{11}$$

Besarnya medan gaya berat benda m akibat massa M yang berjarak R adalah:

$$g = G\frac{M}{R^2} \tag{12}$$

Terlihat bahwa besarnya gaya berat g berbanding lurus dengan massa m, dan berkebalikan dengan luas radius bumi R. Dalam kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat, tetapi berbentuk elipsoid (agak pepat pada kutubnya). Dengan demikian, variasi gaya berat di setiap titik permukaan bumi dipengaruhi oleh 4 faktor, yaitu:

1. Lintang
2. Topografi
3. Pasang surut
4. Variasi rapat massa bawah permukaan

Pengukuran percepatan gaya berat pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan (Octonovrilna, 2009):

1 Gal = 1 cm/s^2 = 10^{-2} m/s^2

Satuan anomali gaya berat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde miligal

(mGal) :

1 mGal = 10^{-3} Gal

1 μGal = 10^{-3} mGal = 10^{-6} Gal = 10^{-8} m/s^2

Dalam satuan m.k.s, gaya berat diukur dalam g.u.(gravity unit) atau μm/s^2:

mGal = 10 g.u. = 10^{-5} m/s

3.3. Koreksi – Koreksi dalam Metode Gaya Berat

Dalam memproses data metode gaya berat, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi *noise-noise* yang ditimbulkan, adapun koreksi-koreksi tersebut antara lain :

3.3.1. Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi Pasang Surut (tidal) adalah koreksi yang disebabkan oleh efek tarikan massa yang disebabkan oleh benda-benda langit, terutama bulan dan matahari. Harga koreksi ini berubah-ubah setiap waktu secara periodik tergantung dari kedudukan benda-benda langit tersebut. Koreksi ini merupakan gaya tarik bulan dan matahari pada permukaan bumi maka harga tersebut ditambahkan pada harga baca dan pengamatan, jika koreksi tersebut merupakan lawan dari gaya tarik maka perlu dikurangkan. Koreksi tersebut dihitung berdasarkan perumusan Longman yang telah dibuat dalam sebuah paket program komputer. Gaya berat terkoreksi tidal dapat ditulis sebagai berikut :

$$g_{st} = g_s + t \tag{13}$$

Dimana g_{st} adalah nilai bacaan alat gravimeter terkoreksi tidal (mGal), g_s adalah nilai pada bacaan pada alat gravimeter (mGal), dan t adalah nilai koreksi tidal (mGal).

3.3.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perubahan kondisi alat (*Gravimeter*) terhadap nilai pembacaan. Koreksi apungan muncul karena gravimeter selama digunakan untuk melakukan pengukuran akan mengalami goncangan, sehingga akan menyebabkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat tersebut. Koreksi ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan metode *looping*, yaitu dengan pembacaan ulang pada titik ikat (*base station*) dalam satu kali *looping*, sehingga nilai penyimpangannya diketahui. Besarnya koreksi *drift* dirumuskan sebagai berikut :

$$DC = \frac{g_{A'} - g_A}{t_{A'} - t_A}(t_n - t_A) \quad (14)$$

dimana :

DC : *Drift Correction* pada titik acuan pengamatan

g_A : harga gaya berat di titik acuan waktu awal

$g_{A'}$: harga gaya berat di titik acuan waktu akhir

t_A : waktu awal pengambilan data

$t_{A'}$: waktu akhir pengambilan data

t_n : waktu pengamatan di titik pengamatan ke-n

3.3.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi lintang digunakan untuk mengoreksi gaya berat di setiap lintang geografis (*spheroid* dan Geoid) karena gaya berat tersebut berbeda,yang disebabkan oleh adanya gaya sentrifugaldan bentuk elipsoid (akibat bentuk bumi yang tidak bulat). Koreksi lintang dapat dilakukan dengan 2 cara yakni dengan menggunakan diferensi IGRF67 (untuk derajat lintang/latitude) atau IGRF84 (Untuk radian).

IGRF 84:

$$g_{\varphi} = 978032{,}7\ (1 + 0{,}0053024\ sin^2\varphi - 0{,}0000058\ sin^2 2\varphi) \quad (15)$$

dimana, φ adalah lintang (Radian) pada titik pengukuran (Joenil, 1990).

3.3.4. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghitung perubahan nilai gaya berat akibat perbedaan ketinggian sebesar *h* dari pusat bumi dengan mengabaikan adanya massa yang terletak diantara titik amat dengan *spheroid* referensi. Adapun persamaan dari koreksi udara bebas adalah :

$$G_{fa} = 0{,}3087\ \times h\ mGal \quad (16)$$

3.3.5. Koreksi Bouguer (*Bouguer Corretion*)

Koreksi yang digunakan untuk menghilangkan perbedaan ketinggian dengan tidak mengabaikan massa di bawahnya sehingga harga gaya berat akibat massa di antara referensi antara bidang referensi muka air laut sampai titik pengukuran sehingga nilai G – observasi bertambah. Adapun persamaan koreksi bouguer :

$$BC = 0{,}04193\ \times \rho\ \times h\ mGal \quad (17)$$

Massa jenis diatas dapat kita asumsikan sementara dengan nilai 2,67 gr/cc, dan dengan menggunakan metode Parasnis dan Netletton kita diharapkan dapat mengestimasi densitas untuk menentukan massa jenis sebenarnya sehingga koreksi bouguer dan terrain dapat dilakukan, sehingga nilai Anomali Bouguer Lengkap dapat kita dapatkan.

3.4. Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer adalah selisih antara harga gaya berat pengamatan dengan harga gaya berat teoritis yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada

bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. Anomali Bouguer Lengkap dinyatakan sebagai anomali udara bebas dikurangi dengan reduksi lempeng Bouguer dan reduksi Terrain yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta g(x,y,z) = g_{obs} - (g_{(\varphi)} - FAC + BC - TC) \quad (18)$$

Peta Anomali CBA lazim digunakan untuk eksplorasi sumber daya alam seperti cebakan mineral ekonomis, eksplorasi minyak dan gas bumi dalam rangka memperlajari tatanan mineralisasi, cekungan sedimenter dan juga untuk mempelajari geotektonik secara regional dan lain-lain.

3.5. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali gaya berat. Analisis spektrum merupakan transformasi Fourier dari lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur Anomali Bouguer Lengkap. Secara umum, suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000).

Untuk analisis lebih lanjut, amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut ditampilkan 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:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (19)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$.

Pada metode gaya berat, spektrum diturunkan dari potensial gaya berat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut (Blakelly, 1996):

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi\frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \tag{20}$$

dimana $z_1 > z_0$, $|k| \neq 0, U$ adalah potensial gaya berat, adalah anomali rapat masa, γ adalah konstanta gaya berat dan *r* adalah jarak. Percepatan gaya berat dihubungkan pada potensial gaya berat oleh persamaan $g = \nabla U$. Gerak vertikal gaya berat yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan *derivative* dari potensial gaya beratnya:

$$g_z = Gm\frac{\partial}{\partial_z}\frac{1}{r} \tag{21}$$

$$F(g_z) = GmF\left(\frac{\partial}{\partial_z}\frac{1}{r}\right) \tag{22}$$

$$F(g_z) = Gm\partial_{\partial_z}F\left(\frac{1}{r}\right) \tag{23}$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)} \ , \ z_1 > z_0 \tag{24}$$

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

$$A = C\ e^{|k|(z_0-z_1)} \tag{25}$$

dimana A adalah amplitudo dan *C* adalah konstanta. Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z_1$) dilakukan dengan logaritma pada persamaan $A = C\ e^{|k|(z_0-z_1)}$, sehingga bilangan gelombang *k* berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

$$lnA = ln2\pi Gme^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (26)$$

$$ln\ A = (z_0 - z_1)|k| + ln\ C \quad (27)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (28)$$

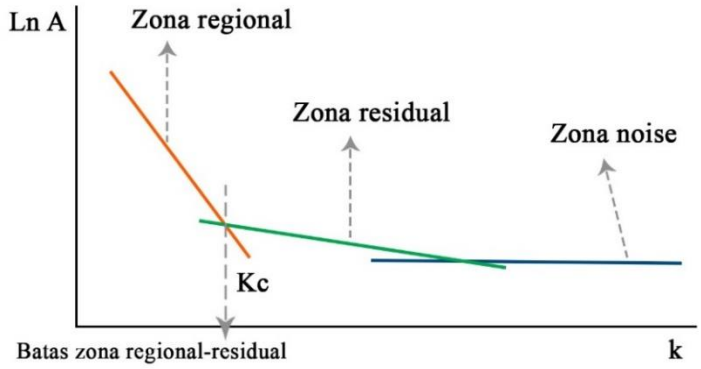
dimana *ln A* sebagai sumbu *y*, $|k|$ sebagai sumbu *x*, dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu *x* didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle*/meter, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \times \Delta x} \quad (29)$$

Nilai λ sama dengan Δx, ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta penggali, sehingga $\lambda = \mathrm{N} \times \Delta x$, konstanta *N* didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \times \Delta x} \quad (30)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan *kc* adalah bilangan gelombang *cutoff*.



Gambar 11. Kurva *Ln A* terhadap *k* (Fitriana, 2011).

Semakin besar nilai *k*, maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah

$$k = 2\pi f \tag{31}$$

frekensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.

3.6. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali gaya berat yang terukur dipermukaan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan dimana salah satu nya merupakan target *event* dari eksplorasi. Sehingga untuk kepentingan interpretasi, target *event* harus dipisahkan dari target lain nya. Jika target *event* adalah anomali resiudal, maka target lainnya adalah anomali regional dan *noise*. Secara sederhana, dari segi lebar anomali, *noise* akan memiliki lebar anomali lebih kecil dari target (residual), sedangkan regional lebih besar dari residual berdasarkan kedalaman, *noise* akan lebih dangkal dari residual, sedangkan regional lebih dalam (Sarkowi, 2011).

Pada dasarnya metode pemisahan dilakukan untuk memisahkan anomali-anomali berdasarkan frekuensi yang berhubungan dengan kedalaman sumber anomali tersebut. Anomali residual berhubungan dengan frekuensi tinggi, sedangkan anomali regional berhubungan dengan frekuensi rendah. Tujuan dilakukan proses pemisahan ini adalah untuk memeroleh nilai anomali residual dan regional yang representative dengan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya (Sari, 2012).

3.7. *Moving Average*

Penurunan dengan metode ini adalah secara tidak langsung karena keluaran dari *moving average* adalah regionalnya. Sehingga residual didapat dengan mengurangkan regional nya terhadap anomali hasil pengukuran nya (data ini sebagai input dalam prosesnya). Karakter dari teknik *moving average* jika dianalisis dari spektrum nya, mirip dengan *low pass filter*, sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali bouguer yang memperlihatkan anomali regionalnya. Selanjutnya anomali residual dihasilkan dengan mengurangkan anomali regional terhadap Anomali Bouguer–nya. Pemisahan anomali menggunakan *moving average* bersifat menapis anomali gelombang frekuensi tinggi (*high frequency filter*), dia tidak menggeser fase dan merupakan filter bersegi siku (*rectangular filter*) sehingga memenuhi persyaratan untuk memproses data gaya berat daerah telitian.

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalinya. Hasil perata-rataan ini merupakan anomali regionalnya, sedangkan anomali residualnya diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gaya berat dengan anomali regional. Secara matematis persamaan moving average untuk satu dimensi adalah sebagai berikut :

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n)+\cdots+\Delta g(i)+\cdots+\Delta g(i+n)}{N} \quad (32)$$

dimana, *i* adalah nomor stasiun, *N* adalah lebar jendela, *N* adalah nilai bilangan *N* dikurangi satu dan dibagi dua dan Δg_{reg} adalah besarnya anomali regional. Sedangkan penerapan *moving average* pada peta dua dimensi, harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi

dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harganya. Misalnya *moving average* dengan lebar jendela 3, maka:

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9}\sum_{N}^{9} = 1\Delta g_{(n)} \quad (33)$$

Nilai anomali residual Δg_{res} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta g_{reg} = \Delta g - \Delta g_{res} \quad (34)$$

dimana Δg adalah anomali Bouguer total (Diyanti, 2014).

Berdasarkan karakter spektrum dari *filter* ini, lebar window *NxN* 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 meyebabkan harga regional nya mendekati anomali bouguernya.

Masalah utama menggunakan moving average adalah lebar jendela penapisan, makin besar jendela yang digunakan, makin lebar panjang gelombang yang diloloskan. Sebagai contoh, (Yasoki, dalam Bath, 1974) mencoba penapisan menggunakan bermacam-macam jendela menghasilkan penyusun yang berbeda-beda. Dengan demikian terlihat bahwa masalah utama pada pemisahan anomali menggunakan metode *moving average* adalah :

1. Menentukan panjang gelombang anomali yang terdapat di daerah penelitian.
2. Menentukan lebar jendela optimum sebagai jendela penapisan yang efektif.

3.8. *Second Vertical Derivative* (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian, sehingga filter ini dapat menyelesaikan anomali residual

yang tidak mampu dipisahkan dengan metode pemisahan regional-residual yang ada. Secara teoritis, metode ini diturunkan dari persamaan Laplace's (Telford dkk., 1976):

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \text{ dimana } \nabla^2 \Delta g = \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \quad (35)$$

Sehingga persamaannya menjadi:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = 0 \quad (36)$$

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = -\left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2}\right] \quad (37)$$

Dari persamaan-persamaan di atas dapat diketahui bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari *derivative* dapat melalui derivative orde dua horizontalnya yang lebih praktis dikerjakan. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan filter SVD hasil perhitungan Elkins (1951). Filter *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan operator Elkins filter 2D ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Operator Elkins filter SVD (Elkins, 1951)

Operator Filter SVD menurut Elkins (1951)				
0	-0.0833	0	-0.0833	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0334	1.0668	-0.0334	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0833	0	-0.0833	0

Kemampuan SVD untuk memisahkan efek residual dari pengaruh efek regional menjadikan hal tersebut sangat penting dalam interpretasi gayaberat.

Artinya proses ini dapat memperjelas anomali residual yang tumpang tindih dengan anomali regional. Dengan demikian keberadaan struktur geologi di lokasi penelitian tidak menimbulkan ambiguitas tetapi memberikan gambaran yang lebih jelas terhadap bentuk-bentuk anomali penting dalam eksplorasi migas.

Arah kemiringannya kurva SVD dapat menunjukkan jenis sesar, diketahui dari perbandingan antara harga mutlak SVD maksimum dan minimum yang diberikan oleh:

1. Untuk patahan naik

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{maks} < \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{\min}\right| \tag{38}$$

2. Untuk patahan turun

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{maks} > \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{\min}\right| \tag{39}$$

3.9. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

Pemodelan ke depan (*forward modelling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah-permukaan tertentu. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok atau fit dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah-permukaan di tempat pengukuran data (Grandis, 2009).

Menurut Talwani (1959), pemodelan ke depan untuk menghitung efek gaya berat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon bersisi *n* dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon:

$$g_z = 2G\rho \oint z\, d\theta \tag{40}$$

Integral garis tertutup tersebut dapat dinyatakan sebagai jumlah integral garis tiap sisinya, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$g_z = 2G\rho \sum_{i=1}^{n} g_i \tag{41}$$

Model benda anomali sembarang oleh Talwani didekati dengan poligon-poligon dimana sistem koordinat kartesian yang digambarkan seperti di atas. Untuk benda poligon sederhana seperti pada Gambar 7, dapat ditunjukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_i = \int_b^c \frac{a_i tan\theta_i}{tan\theta_i - tan\theta}\, d\theta \tag{42}$$

sehingga diperoleh:

$$g_i = a_i sin\emptyset_i cos\emptyset_i \left\{(\emptyset_i + \emptyset_{i+1}) ln\left(\frac{cos\theta_1(tan\theta_1 - tan\emptyset_i}{cos\theta_{i+1}(tan\theta_{i+1} - tan\emptyset_i)}\right)\right\} \tag{43}$$

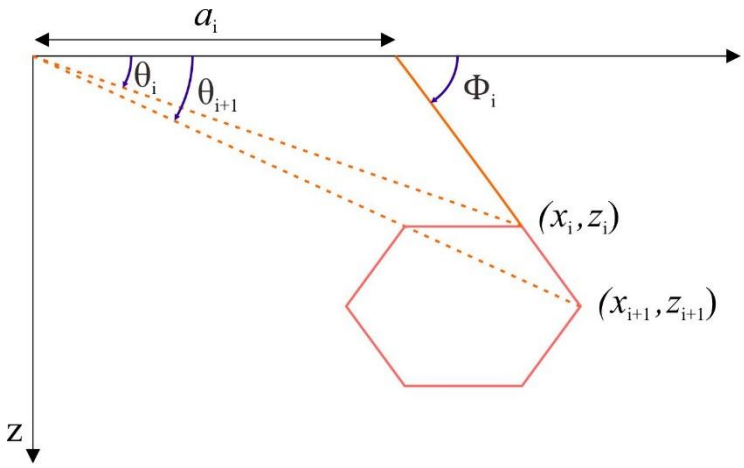
dimana,

$$a_i = x_{i+1} - z_{i+1} cot\emptyset_i = x_{i+1} - z_{i+1}\left(\frac{x_{i+1}+x_i}{z_{i+1}-z_i}\right) \tag{44}$$

$$\theta_i = tan^{-1}\left(\frac{z_i}{x_i}\right) \qquad \emptyset_i = tan^{-1}\left(\frac{z_{i+1}+z_i}{x_{i+1}-x_i}\right) \tag{45}$$

Untuk keperluan komputasi, Persamaan (33) ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana, dengan mensubstitusikan harga-harga *sin* ∅, *cos* ∅, *tan* ∅ dengan koordinat titik poligon dalam *x* dan *z* sebagai berikut:

$$Z_i = \frac{a_i c}{c^{2+1}}\left\{\theta_i - \theta_{i+1} + \frac{1}{2} c\left(\frac{x_{i+1}^2 - z_{i+1}^2}{x_i^2 - z_i^2}\right)\right\} \tag{46}$$



Gambar 12. Efek gaya berat poligon menurut Talwani (Talwani, 1959).

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi, Waktu dan Tema Peneletian

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di :

Tempat : Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Alamat : Jl. Diponegoro No. 57, Bandung 40122, Indonesia.

Tanggal : 19 September – 16 November 2016.

Tema : Pemodelan 2D Gaya Berat Untuk Mendelineasi Sub–Cekungan Salawati Di Wilayah Sorong.

4.2. Alat dan Bahan

Penulis menggunakan data sekunder pengukuran gaya berat yang diperoleh dari Badan Geologi Kementrian ESDM, Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung. Data merupakan hasil survei pengukuran gaya berat di daerah Sorong pada tahun 2016, yang berjumlah 209 titik data pengukuran. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Laptop
2. Data gaya berat daerah Sorong.
3. Peta administrasi daerah Sorong.
4. Peta geologi daerah Sorong.

5. *Software* Surfer 13
6. *Software* Geosoft Oasis Montaj 6.4
7. *Software* Global Mapper 14
8. *Software* Numeri
9. *Software* TideLongman
10. *Software* ArcMap 10.4
11. *Software* Microsoft Word dan Microsoft Excel

4.3. Pengolahan Data

4.3.1. Perhitungan dan Koreksi-koreksi Bouguer

Data gaya berat dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang belum dilakukan koreksi, sehingga untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap perlu dilakukan beberapa perhitungan dan koreksi gaya berat menggunakan *software* Microsoft Excel. Sebelum melakukan perhitungan dan koreksi gaya berat penulis melakukan konversi nilai baca alat ke dalam mGal. Langkah berikutnya dilakukan perhitungan seperti menghitung nilai Gnormal dengan cara menjumlahkan nilai koreksi tide dengan nilai bacaan skala yang telah terkoreksi, menghitung nilai baca mGal terkoreksi, menghitung nilai Gaya berat Observasi (Gobs), dan menghitung Gaya Berat Normal menurut WGS84. Sedangkan, koreksi gaya berat yang dilakukan yaitu koreksi pasang surut menggunakan software TideLongman, melakukan koreksi Drift, koreksi Udara Bebas, koreksi Bouguer, sehingga didapatlah Anomali Bouguer Lengkap dari data pengukuran.

4.3.2. Anomali Bouguer Lengkap

Data gaya berat dalam penelitian ini adalah data gaya berat sekunder atau

data gaya berat yang telah melalui berbagai koreksi-koreksi, sehingga diperoleh Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Langkah pertama pada penelitian ini adalah membuat peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL), proses ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak Surfer 13.

4.3.3. Analisis Spektrum

Proses analisis spektrum bertujuan untuk mengestimasi nilai kedalaman suatu anomali dan untuk mengetahui lebar jendela optimal yang akan digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Analisis spektrum dilakukan dengan transformasi Fourier dari lintasan yang telah ditentukan. Untuk analisis spektrum penulis membuat 10 lintasan pada peta ABL. Ketujuh lintasan diproses menggunankan perangkat lunak Surfer, sehingga menghasilkan data jarak dan Anomali Bouguer pada setiap lintasan.

Data jarak dan Anomali Bouguer selanjutnya dilakukan proses FFT dalam domain spasial (Δx) tertentu. Hasil dari proses FFT yang dilakukan menggunakan *software* Numeri adalah nilai riil dan imajiner dari setiap lintasan yang selanjutnya akan diproses dengan menggunakan perangkat lunak Ms.Excel untuk mendapatkan nilai amplitudo (A), *ln A*, frekuensi dan nilai bilangan gelombang k. Nilai amplitudo (A) dihasilkan dengan cara menghitung akar kuadrat dari nilai real dan imajiner. Nilai *ln A* dihasilkan dengan cara melakukan logaritma pada nilai amplitudo (A). Perhitungan nilai frekuensi bergantung pada domain spasial (Δx) yang telah ditentukan sebelumnya.

Nilai gelombang k diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 27 pada halaman 29. Setelah semua nilai diperoleh selanjutnya akan diplot grafik antara *ln A* (sumbu y) dan k (sumbu x). Dari grafik akan didapatkan

dua gradien, gradien atau kemiringan garis dari grafik *ln A* terhadap *k* adalah kedalaman bidang batas residual dan regional. Gradien yang bernilai besar mencerminkan bidang diskontinuitas dari anomali regional dan gradien yang bernilai kecil adalah bidang diskontinuitas dari anomali residual. Perpotongan antara kedua gradien adalah bilangan gelombang *Kc* (*cutoff*) yang merupakan dasar dalam menentukan lebar jendela. Nilai kedalaman rata-rata hasil regresi linear residual dan regional akan digunakan pada pemodelan struktur bawah permukaan.

4.3.4. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer pada metode gaya berat disebabkan oleh perbedan densitas batuan, baik yang berada dekat dengan permukaan bumi maupun yang jauh dari permukaan bumi. Efek yang berasal dari batuan pada daerah dangkal disebut dengan anomali residual sedangkan efek yang berasal dari batuan yang dalam disebut dengan anomali residual. Dalam penelitian menggunakan metode gaya berat ini semua anomali diamati, baik yang berasal dari daerah dangkal maupun daerah dalam, oleh karena itu perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dari Anomali Bouguer. Pada penelitian ini penulis menggunakan pemisahan dengan *filter Moving Average*. Prinsip *Moving Average* yaitu merupakan perata-rataan dari data anomali gaya berat, hasil dari metode ini adalah anomali regional, dan untuk anomali residual diperoleh dari selisih antara Anomali Bouguer dengan anomali residual. Perangkat lunak yang digunakan untuk proses ini adalah parangkat lunak Surfer, proses pemisahan anomali dimulai dengan menginputkan data Anomali Bouguer ke dalam perangkat lunak Surfer lalu nilai lebar jendela optimal yang didapatkan pada proses analisis

spektrum dimasukkan sebagai nilai input pemisahan.

4.3.5. Analisis *Second Vertical Derivative*

Setelah mendapatkan peta anomali residual, selanjutnya dilakukan analisis *Second Vertical Derivative* dari peta residual untuk memperlihatkan jenis patahan serta melihatkan batas litologi pada daerah penelitian. Anomali rendah dari peta menunjukkan adanya sub-cekungan yang menandai adanya batuan sedimen di daerah tersebut, sedangkan anomali tinggi menunjukkan tinggian atau batas sub-cekungan satu dengan yang lain. Dari grafik analisis SVD kita dapat mengetahui apakah struktur patahan yang ditemui berupa patahan naik atau turun dengan mengamati nilainya. Jika nilai maksimum lebih besar dari nilai minimumnya maka hal tersebut dapat dikataka adanya patahan turun. Dan sebaliknya, jika nilai maksimum kurang dari nilai minimum maka hal tersebut dapat dikatakan adanya patahan naik. Pada penelitian ini penulis menggunakan filter SVD jenis Elkins karena kontur yang dihasilkan paling baik dibandingkan dengan filter SVD lainnya. Analisis ini perlu dilakukan untuk membantu dalam pembuatan model 2D.

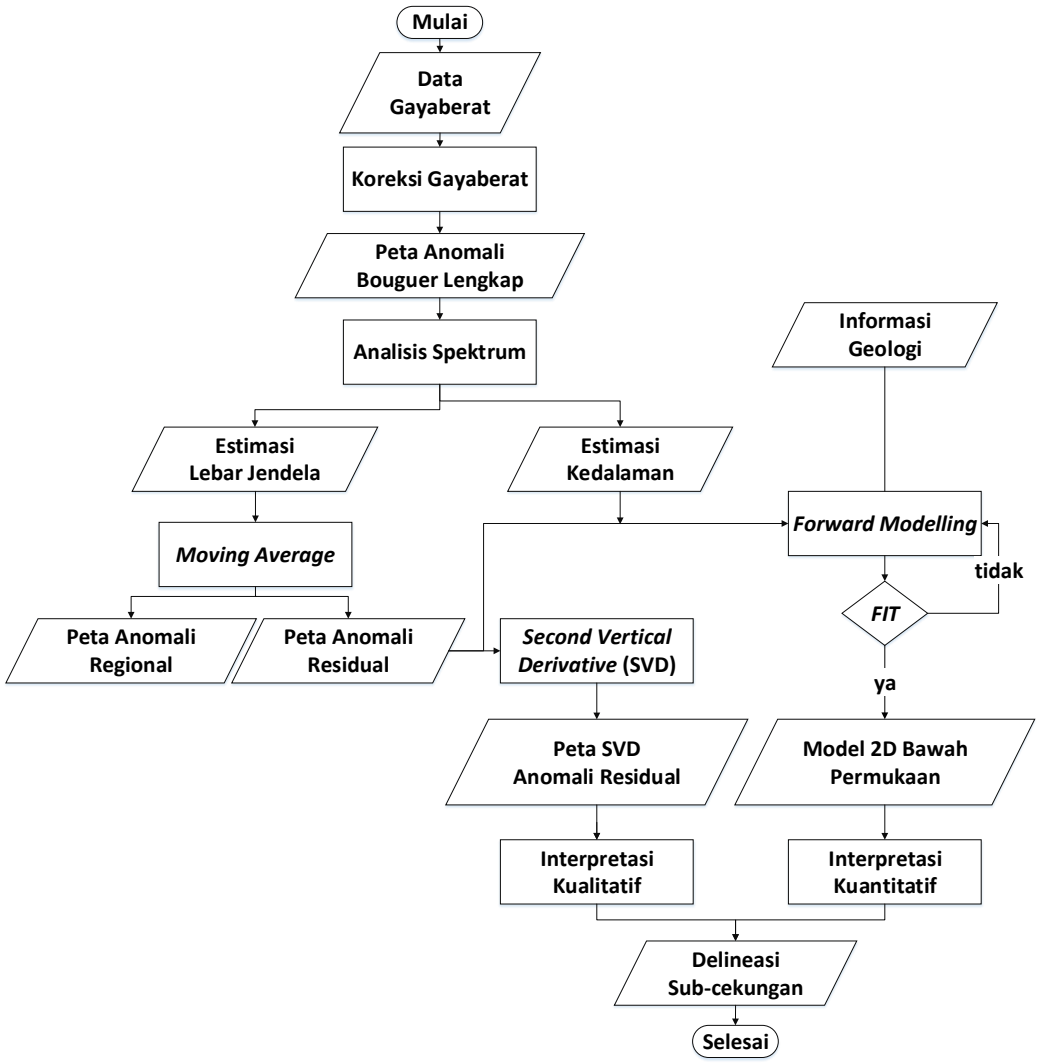
4.3.6. Pemodelan Bawah Permukaan

Berdasarkan peta anomali residual, ditentukan lokasi-lokasi yang diduga sebagai sub cekungan lalu dilakukan *slicing* untuk mendapatkan penampang bawah permukan. Pemodelan *forward modelling* dilakukan dengan menggunakan *software* Geosoft pada menu Gm-sys. Maka akan ditampilkan garis putus putus berwarna hitam yang merupakan respon dari anomali gaya berat dari lintasan yang dibuat, garis hitam merupakan respon dari model yang akan kita buat, dan garis

merah merupakan nilai eror dari model yang di buat. Kemudian melakukan pencocokkan dengan data geologi untuk mengetahui lapisan batuan bawah permukan beserta nilai densitasnya.

4.4. Diagram Alir Penelitian

Prosedural penelitian dalam sub-bab 4.3. dapat direpresentasikan dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 13:



Gambar 13. Diagram alir penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Pola anomali Bouguer daerah Sorong memiliki rentang nilai anomali dari rendah ke tinggi dengan rentang anomali dari 58 hingga 106 mGal. Anomali rendah dengan nilai 58 hingga 76 mGal tersebar di daerah Selatan daerah penelitian dengan arah relatif Barat - Timur. Anomali sedang tersebar relatif dengan arah Barat ke Timur dan diapit oleh anomali tinggi dan rendah kisaran anomali dari 78 hingga 86 mGal. Sedangkan anomali tinggi mendominasi daerah pada bagian Utara Sorong dengan nilai anomali berkisar dari 88 hingga 106 mGal yang tersebar memanjang arah Barat – Timur diduga akibat adanya aktifitas Sesar Utama Sorong.
2. Pola anomali rendah yang diduga merupakan pola sub-cekungan sedimen dari lokasi penelitian berjumlah 1 sub-cekungan dimana posisinya terletak diantara kecamatan Kampung Baru, Klagete, dan Malanu, Batu Lobang Pantai dan Bainkete.
3. Kedalaman rata-rata anomali residual di daerah Sorong berdasarkan analisis spektrum adalah 2,7 km, dan rata-rata kedalaman anomali

regional adalah 10 km.

4. Menurut hasil penampang pemodelan bawah permukaan 2D terdapat beberapa lapisan yang dilalui oleh kedua lintasan penampang, yaitu Kel.Endapan Aluvium dan Litoral, Kel. Endapan Danau, F. Konglomerat Sele, F. Marchesa, F. Klasaman, F. Klasafet, F. Kais, F. Sirga, Kelompok Ultramafik, Kel. Kalsilutit, Kel. Batuan Gunung Api Dore, Kel. Bancuh, Kel. Granit Sorong, dan F. Kemum dengan jenis batuan sabak sebagai batuan dasar yang juga ikut tersingkap ke permukaan.
5. Sub-cekungan daerah penelitian berada pada Arar *nose* dalam fokus migrasi Cekungan Salawati dengan arah migrasi hidrokarbon dari Barat ke Timur.
6. Berdasarkan kontur anomali bouger lengkap daerah penelitian diasumsikan bahwa Sesar Utama Sorong tidak hanya berupa jenis sesar geser namun juga merupakan jenis sesar normal.

6.2. Saran

1. Sebaiknya dilakukan pengambilan data tambahan pada lokasi-lokasi yang belum diakuisisi di sekitar daerah penelitian agar informasi yang didapat akan lebih akurat.
2. Untuk mendapatkan informasi bawah permukaan yang lebih tepat sebaiknya dikorelasikan dengan data bor daerah setempat.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, CH., Sanyoto, P., Hamonangan, B., Supriatna, S., Simanjuntak, W., dan Pieters, P.E., 1990, *Geologi Lembar Sorong Irian Jaya*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Badan Informasi Geospasial (BIG), 2016, *Peta Rupabumi Sorong Papua Barat skala 1:80,000*.

Badmus, B. S., Sotona, K., dan Krieger, M., 2011, Gravity Support for Hydrocarbon Exploration at the Prospect Level, *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS) 2 (1): 1-6.*

Bath, M., 1974, *Spectral Analysis in Geophysics*, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford.

Blakley, RJ., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge: Cambridge University Press.

Cady, J.W., 1980, Calculation of Gravity and Magnetic Anomalies of Finite-Length Poligonal Prisms, Cambridge: Cambridge University, *New Geophysics*, Volume 51. 1494-1498.

Diyanti, A., 2014, *Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat*, Bandung: Prodi Fisika FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia (Skripsi).

Fitriana, I., 2011, *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Data Gayaberat*, Depok: Geophysics Program Study Departement of Physics, University of Indonesia.

Grandis, H., 2009., *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Jakarta: HAGI.

Hamilton, W., 1979, *Tectonics of the Indonesian region*, Denver: United States, *Geological Survey Professional Paper* No. 1078.

Kadir, W.G.A., 2000, *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*, Bandung: Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumian dan Teknologi Mineral, ITB.

Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I., 2002, *An Introduction to Geophysical*

exploration, London: Blackwell Science.

Lutfia P.I.A., Mahmud M.,, Mukhtashor, dan Syaiful B., 2012, Eksplorasi Parameter Fisik Cekungan Migas di Perairan Blok Ambalat Dengan Metode Gravitasi, *Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1.*

Nur N.T., dan Lantu, S.A., 2015, *Karakterisasi Reservoar Karbonat Menggunakan Analisis Seismik Atribut Dan Inversi Impedansi Akustik (Ai) Pada Formasi Kais, Lapangan "Nnt" , Cekungan Salawati, Papua*, Makassar: Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin.

Octonovrilna, L., 2009, Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007), Jakarta*: Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol.10 No.1:AMG.

Pertamina, 1999, *Salawati Basin Tectonic Setting*, Jakarta: Pertamina – Santa FE Salawati.

Pireno, G.E., 2008, *Potensi Formasi Sirga Sebagai Batuan Induk Di Cekungan Salawati Papua*, Bandung: Skripsi S-1 Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung.

Mefri, S., 2012, *Peran Wellsite Geologist Pada Aktivitas Pemboran Eksplorasi Di Lapangan "Melia" Cekungan Salawati Kabupaten Sorong, Papua Barat,* Yogyakarta: *Jurnal Ilmiah Magister Teknik Geologi UPN "Veteran"*, Vol. 5, No. 2.

Reynolds, M., 1997, *An introduction to applied and environmental geophysic* New York: John Wiley & Sons Ltd.

Rosid, S., 2005, *Gravity Method in Exploration Geophysics*, Depok: Universitas Indonesia.

Sari, I.P., 2012, *Study Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Regonal dan Residual Dari Data Anomali Bouger*, (Skripsi) Prodi Fisika FPMIPA. Depok: Universitas Indonesia.

Sarkowi, M., 2011, *Diktat Kuliah: Metode Eksplorasi Gayaberat*, Bandar Lampung: Universitas Lampung.

Satyana, A.H., Salim, Y., dan Demarest, J.,M., 1999, Significance Of Focused Hydrocarbon Migration In The Salawati Basin : Controls Of Faults And Structural Noses, *Proceedings, Indonesian Petroleum Association.*

Satyana, A.H., 2009, Emergence Of New Petroleum System In The Mature Salawati Basin: Keys From Geochemical Biomarkers, *Proceedings, Indonesian Petroleum Association.*

Satyana, A.H., dan Herawati, N., 2011, Sorong Fault Tectonism And Detachment Of Salawati Island:Implications For Petroleum Generation And Migration In Salawati Basin, Bird's Head Of Papua, *Indonesian Petroleum Association Thirty-Fifth Annual Convention & Exhibition.*

Saultan P., dan Subagio, 2014, Pola Anomali Gayaberat Daerah Taliabu-Mangole Dan Laut Sekitarnya Terkait Dengan Prospek Minyak Bumi Dan Gas, *Jurnal Geologi Kelautan Volume 12, No. 2*

Setiadi, I., Setyanta B., dan Widijono, B.S., 2010, Delineasi Cekungan Sedimen Sumatra Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat, *Geo-Sciences JSDG Vol. 20 No. 2*

Supriyadi, 2009, Studi Gaya Berat Relatif di Semarang, *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, Vol.5, No.1*.

Talwani, M., Worzel, J.L., dan Ladisman, M., 1959, Rapid Gravity Computation for Two Dimensional Bodies with Application to The Medicino Submarine Fractures Zone, *Journal of Geophysics Research*, Vol. 64 No.1.

Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge: Cambridge University Pres.

Walidah, I.F., 2011, *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa Dan Pemodelan Data Gayaberat Untuk Melihat Potensi Hidrokarbon Pada Daerah "FW1807" Cekungan Jawa Timur Utara*. Depok: Universitas Indonesia.