

PEMODELAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN ZONA WADATI BENIOFF SELATAN PULAU JAWA TENGAH

Hijrah Saputra¹

¹⁾Ilmu Fisika Program Studi Geofisika Universitas Gadjah Mada

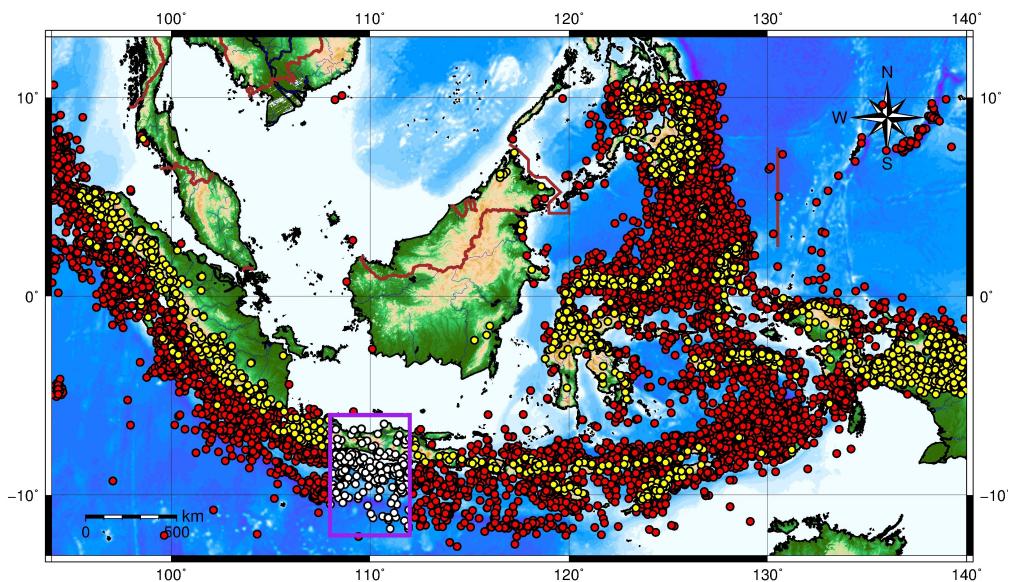
10 Oktober 2017

1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang dilewati oleh beberapa lempeng yang cukup aktif. Dimulai dari bagian barat sumatera menuju ke selatan pulau jawa, bali, NTB, NTT merupakan lempeng Indo Australia yang masuk ke bawah lempeng Eurasia. Zona subduksi tersebut merupakan sumber utama terjadinya gempa yang ada di indonesia. Selain menjadi sumber gempa, konsekuensi dari adanya zona subduksi tersebut juga mengakibatkan adanya barisan gunungapi aktif.

Pada gambar 1 terlihat indonesia di penuhi kejadian gempa bumi di daerah zona subduksi. Distribusi gempa terjadi mulai dari barat sumatera menuju ke selatan jawa, bali, NTB, NTT, Papua dan naik ke daerah sulawesi. Zona subduksi telah menghasilkan struktur-struktur tektonik seperti palung, busur *non* vulkanik, cekungan besar depan, busur gunngapi dan cekungan belakang busur.

Deretan gunungapi di Indonesia khususnya di pulau jawa sangat dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang berada di sebelah selatan pulau jawa. Aktivitas tektonik tersebut terjadi di zona subduksi, dimana lempeng samudera menunjam



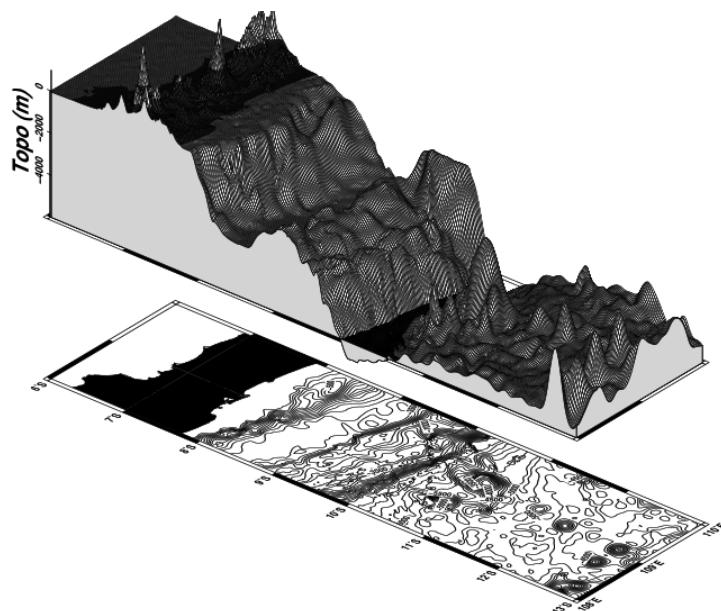
Gambar (1). Distribusi gempa bumi di lingkar zona subduksi

masuk ke lempeng benua. Penunjaman tersebut mengakibatkan gesekan antar susunan komponen batuan penyusunnya. Akibat gesekan yang ditimbulkan tersebut sehingga akan terjadi perubahan susunan penyusun kimianya. Gesekan yang semakin lama dan terus menerus akan mengakibatkan perubahan tekanan dan temperatur sehingga akan meleleh. Lelehan tersebut akan berpindah dengan cara menekan naik ke atas melalui zona lemah dan akan membentuk dapur magma. Seiring waktu yang sangat lama proses naiknya magma ke permukaan tersebut akan membentuk deretan gunungapi (Whittaker dkk, 2007).

Zona subduksi dapat dikatakan sebagai tempat sumber proses perubahan penyusun maeterial lempeng sampai menghasilkan magma naik ke atas dan terbentuk kerak. Penelitian-penelitian di zona subduksi telah banyak dilakukan untuk mencari informasi aktivitas fisis yang terjadi di dalamnya. Kontras densitas dan aktivitas seismik merupakan salah satu aktivitas fisis yang dapat dilihat di zona subduksi (Silvennoinen dkk, 2010).

Kontras densitas pada zona subduksi dapat dilihat melalui profil anomaliya,

dimana profil anomali gravitasi negatif akan memiliki potensi terjadinya seismik tektonik tinggi, maupun sebaliknya (Song dan Simons, 2003). Terjadinya seismik tektonik akan berpotensi mempengaruhi aktivitas erupsi gunungapi (Watt, dkk, 2009). Aktivitas tersebut sangat dipengaruhi oleh gesekan antar lempeng dimana banyak faktor yang akan mempengaruhinya, diantaranya adalah geometri slab subduksi, tekanan, suhu, sifat fisis penyusun material serta keberadaan *fluida* (Campione dan Gian, 2013).



Gambar (2). Model Topografi Tiga Dimensi pulau Jawa Tengah sampai selatan

Pada gambar 2 dapat dilihat model topografi tiga dimensi dimana pola penunjaman cukup jelas terlihat pada kedalaman sekitar 5 Km dari permukaan laut. Model struktur di bawah laut terlihat seperti anak tangga sehingga model ini nantinya salah satunya bisa digunakan sebagai gambaran pemodelan struktur bawah permukaan.

Dari beberapa penelitian yang telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Widiantoro tahun 1999 untuk mengetahui struktur tektonik busur sunda. Dimana penelitian tersebut menghasilkan bahwa struktur lempeng yang menunjam ke bawah

busur sunda di bagian timur lebih dalam jika dibandingkan dengan struktur lempeng yang menunjam dibawah busur sunda bagian barat. Penelitian mengenai pola kegempaan pada zona subduksi menggunakan metode segmen irisan vertikal juga telah dilakukan oleh Anis tahun 2014. Dari latar belakang tersebut maka tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui model struktur zona subduksi di bawah permukaan menggunakan metode gravitasi dan menemukan pola kegempaan di zona subduksi menggunakan data gempa.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana model struktur bawah permukaan zona subduksi berdasarkan dari medan anomali gravitasi.
2. Bagaimana pola zona subduksi dibawah permukaan dengan sudut penunjangannya menggunakan distribusi gempa.

Sedangkan tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Pemetaan *anomali free air*, *anomali bouguer lengkap regional* dan *residual* di daerah jawa tengah.
2. Pemodelan pola distribusi gempa di zona wadati benioff.
3. Interpretasi struktur bawah permukaan daerah jawa tengah sampai ke zona subduksi.

2 Pembahasan

2.1 Tinjauan Pustaka

Telah banyak penelitian-penelitian dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan sehingga akan memperoleh informasi dinamika maupun mekanisme yang terjadi di dalam zona subduksi serta akibat yang ditimbulkannya. Berbagai macam metode atau pendekatan telah dilakukan baik pendekatan secara geologi

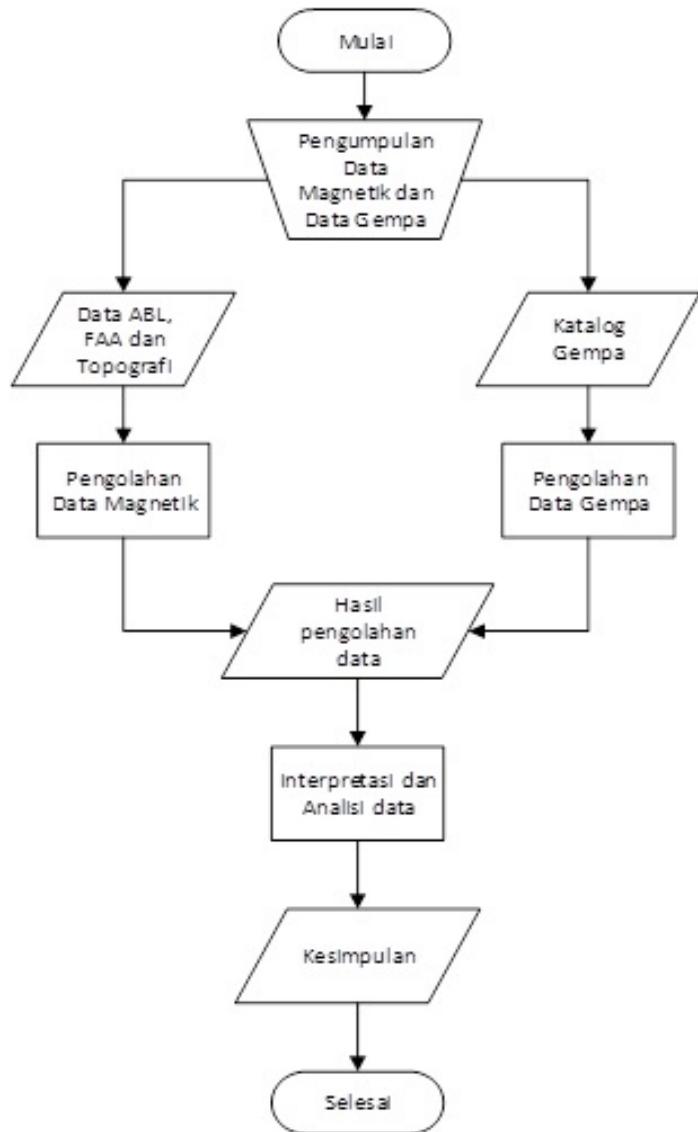
maupun geofisika. Pendekatan yang dilakukan di penulisan ini adalah menggunakan pendekatan geofisika.

Widyantoro dkk tahun 1996 melakukan pencitraan tomografi di bawah busur Sunda, menunjukkan bahwa slab litosfer menembus mantel bumi bagian bawah dan mantel bagian atas yang ada kemungkinan terputus di bawah sumatera dan slab mantel atas menyempit di bawah pulau Jawa. Penelitian skala lokal juga telah dilakukan oleh Kulakov dkk (2007) untuk mengetahui tomografi struktur kecepatan gelombang P dan S kerak bumi dan mantel bagian atas pulau Jawa bagian tengah. Hasilnya adalah model struktur kecepatan gelombang P dan S dengan anomali kecepatan rendah yang sangat kuat dikenal dengan nama Merapi-Lawu Anomali (MLA) pada interval kedalaman 5 km sampai 45 km.

Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Song dan Simons (2003), yang menyelediki variasi gravitasi yang cukup lebar daerah palung atau *trench parallel gravity anomaly* (TPGA) untuk memprediksi perilaku seismik di zona subduksi. Hasilnya menunjukkan bahwa gempa-gempa yang terjadi dengan magnitudo besar banyak terjadi pada daerah TPGA negatif yang sangat besar, sedangkan pada daerah dengan TPGA positif relatif memiliki sifat sebaliknya. Hal ini dapat dikatakan bahwa TPGA yang sangat negatif berasosiasi dengan gaya gesekan yang kuat, tetapi sebaliknya TPGA yang positif berasosiasi dengan gaya gesekan yang lemah. Seiring dengan penelitian Song dan Simons, Gravemeyer dan Virendra (2006) menemukan anomali bouguer positif yang sangat mencolok di lepas pantai selatan jawa yang tidak seperti anomali pada daerah palung umumnya yaitu cenderung bersifat negatif. Hal tersebut diduga sebagai keberadaan suatu material dengan nilai densitas yang besar pada kedalaman yang dangkal. Material tersebut diperkirakan merupakan busur depan mantel pada kedalaman dangkal.

2.2 Tahapan

Secara umum penulisan ini menggunakan dua metode geofisika yaitu metode gravitasi dan metode seismik. Penggeraan dua metode tersebut dilakukan secara



Gambar (3). Diagram alir penulisan

terpisah kemudian hasilnya di bandingkan untuk di interpretasikan.

Tahapan penulisan penelitian ini secara garis besar akan dibagi menjadi dua diagram alir metode yaitu *flowchart* metode gravitasi untuk mendapatkan pemodelan di bawah permukaan zona subduksi, dan metode seismik dengan data gempa untuk menggambarkan distribusi gempa di daerah zona *wadati benioff*.

Untuk mengolah data gravitasi penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari lembaga internasional yaitu *Bureau Gravimetrique Internationale* (BGI). Pada penelitian ini fokus lokasi penelitiannya adalah sebagian besar Jawa Tengah dengan koordinat lokasi penelitiannya *Latitude* -3° sampai -113° dan *Longitude* 108° sampai 112° . Spasi data pengukuran 2 menit. Sedangkan untuk pengolahan data seismik menggunakan data gempa dari USGS mulai dari tahun 2010 – 2017 dengan magnitude minimal 4 dan maksimal 9. Jumlah data gempa yang didapatkan sebanyak 1221 *event* gempa. Kedalaman gempa yang terjadi mulai dari kedalaman 0.1 km – 500 km.

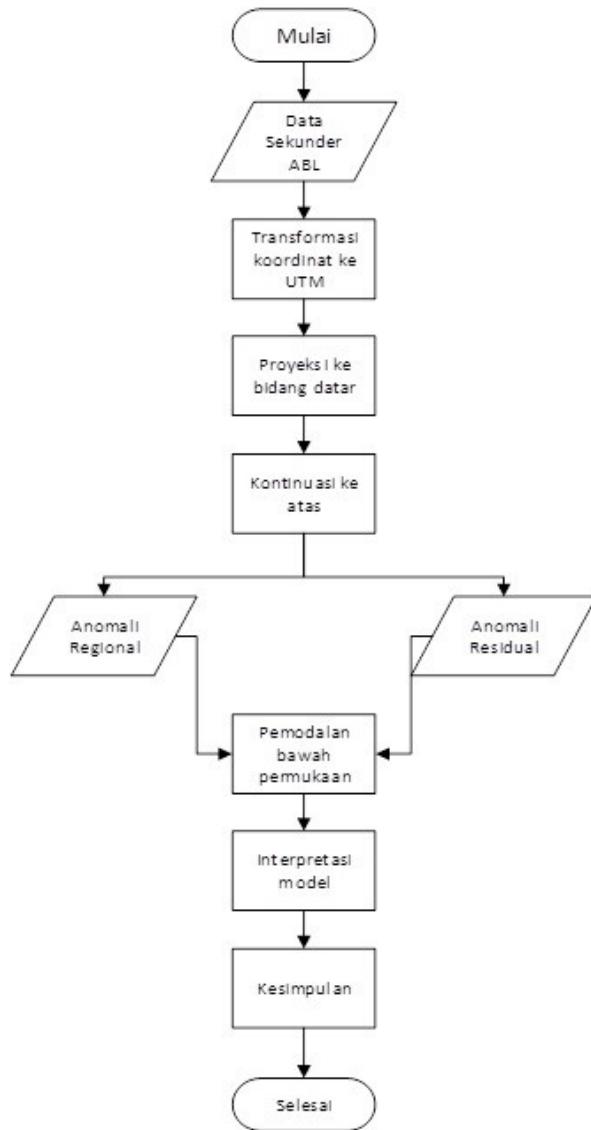
3 Metode pengolahan data

3.1 Metode pengolahan data gravitasi

Pengolahan data anomali gravitasi ini bertujuan untuk mendapatkan spektrum gravitasi sebagai fungsi spasial. Setelah itu baru dilakukan pemodelan data anomali gravitasi seperti pada gambar *flowchart*.

Pada gambar 3 merupakan diagram alir untuk pengolahan data gravitasi untuk mendapatkan pemodelan dibawah permukaan zona subduksi menggunakan metode gravitasi. Tahapan awalnya adalah mengkonversi koordinat geografis menjadi koordinat UTM. Kemudian dilakukan reduksi ke bidang datar. Setelah mendapatkan kontur anomali hasil dari reduksi ke bidang datar tersebut dilakukan tahap selanjutnya yaitu kontinuasi ke atas dengan merubah nilai ketinggian sampai mendapatkan kontur yang stabil. Setelah itu akan mendapatkan dua anomali yaitu Anomali Regional dan Anomali Residual. Setelah mendapatkan anomali Regional pada ketinggian tertentu barulah dilakukan pemodelan. Karena target pemodelan yang akan dicari adalah model struktur di bawah permukaan yang cukup luas, sehingga kontur anomali hasil pengangkatan ke atas yang digunakan adalah Regional.

Pada gambar 4 merupakan gambar diagram alir pemodelan distribusi gempa. Data yang digunakan adalah katalog gempa dengan menggunakan software GMT dapat memodelkan distribusi gempa.

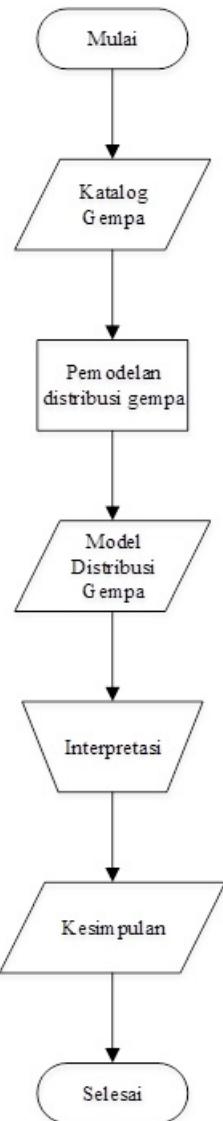


Gambar (4). Diagram alir metode gravitasi

4 Hasil dan pembahasan

Pengolahan data ini menggunakan data sekunder yang terdiri dari data anomali gravitasi udara bebas (FAA), anomali gravitasi Bouguer lengkap (ABL), dan topografi yang di *download* dari BGI.

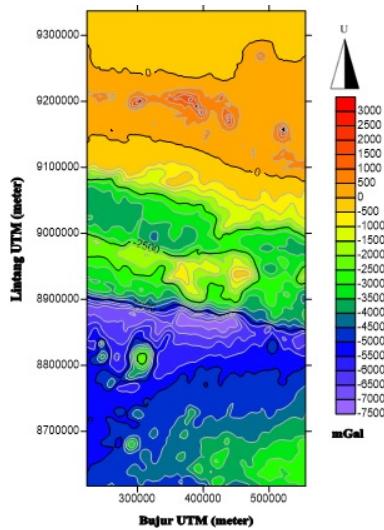
Nilai anomali hasil perhitungan gravitasi di suatu titik pengukuran yang diko-



Gambar (5). Diagram alir pemodelan distribusi gempa

reksi terhadap ketinggian pengukuran merupakan anomali gravitasi udara bebas. Sedangkan nilai anomali dari hasil perhitungan anomali udara bebas yang dikoreksi dengan koreksi atmosfer, koreksi Bouguer dan medan (*terrain*) merupakan anomali bouguer lengkap. Dalam penulisan ini dilakukan konversi koordinat geografis menjadi koordinat UTM. Hasil pemetaan kontur FAA, ABL dan topografi

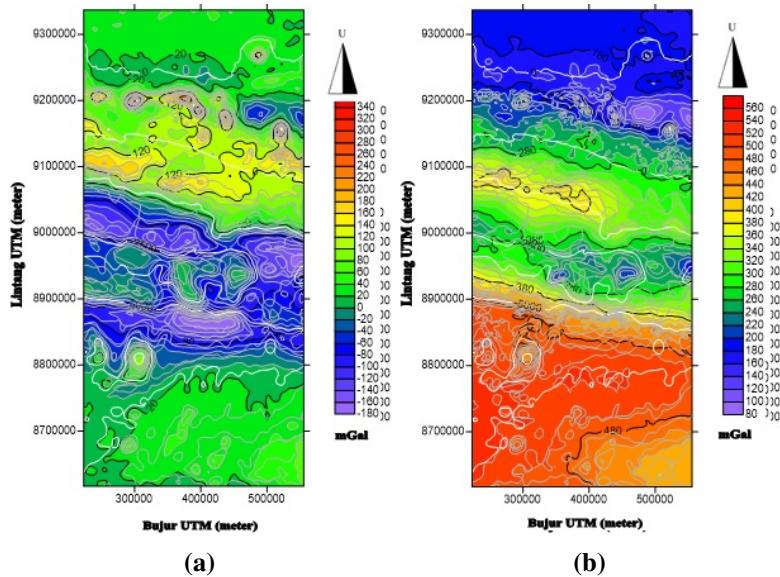
dalam kordinat UTM diperoleh peta kontur dalam satuan meter. Koordinat penelitian berada pada zona 49S dan dilakukan konversi koordinat geografis menjadi koordinat UTM menggunakan *software Surfer*. Hasil peta kontur peta FAA dan ABL dalam koordinat UTM di *overlay* dengan peta topografi yang dapat dilihat seperti pada gambar 6.



Gambar (6). Topografi dalam koordinat UTM

4.1 Proyeksi ke bidang datar dengan grid teratur

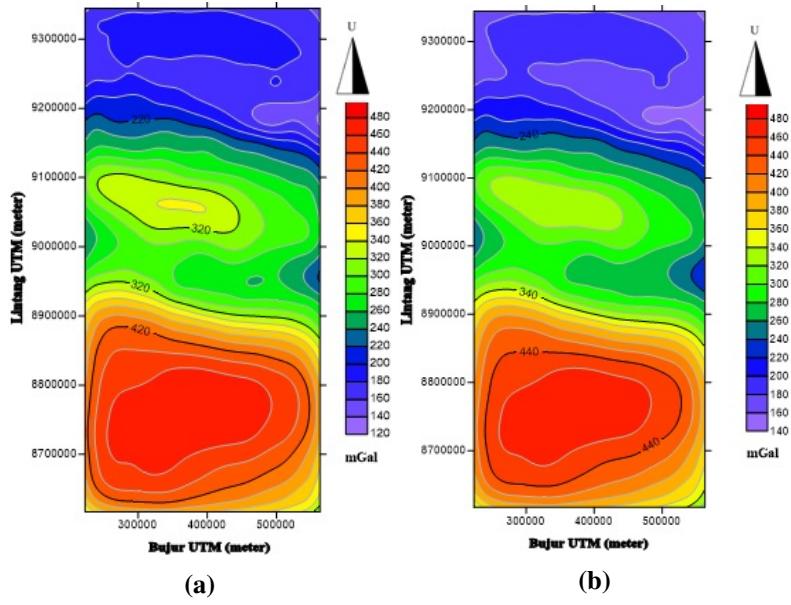
Peta kontur anomali bouguer lengkap yang sudah dikonversi ke UTM harus dibawa ke bidang datar. Proses proyeks ke bidang datar ini dilakukan dengan interval stasiun adalah 3700 m dengan ketinggian maksimum topografinya adalah 2707 m. Untuk kedalaman bidang ekivalen titik massa antara 12000 m sampai 24000 m. Proyeksi ke bidang datar dilakukan pada kedalaman 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000, dan 24000. Hasil proyeksi ke bdang datar tersebut dibuatkan peta kontur anomalinya. Setelah itu dilihat konsistensi dari peta anomalinya yang sudah tidak mengalami perubahan dari ketinggian satu ke ketinggian lainnya. Pada ketinggian 14000 sudah didapatkan peta kontur anomali yang sudah tidak mengalami perubahan. Peta kontur anomali tersebut digunakan untuk pemisahan anomali



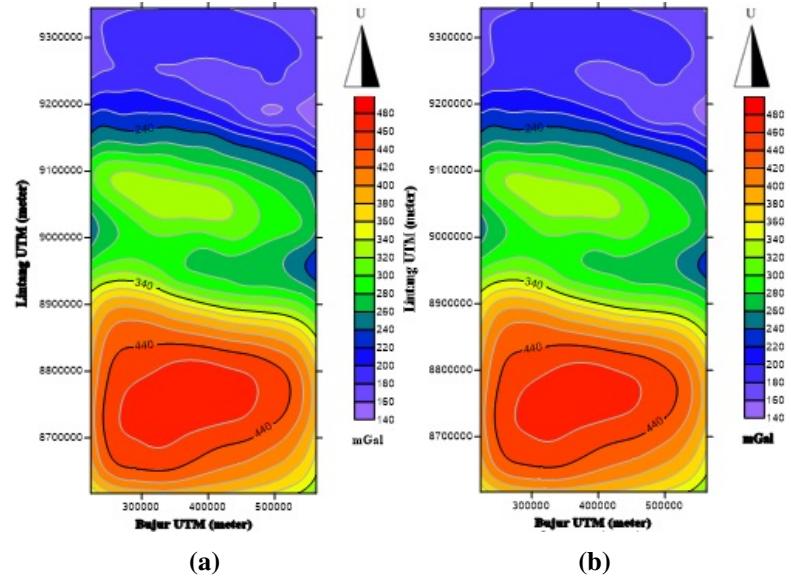
Gambar (7). Kontur Anomali Gravitasi dalam UTM (a) *Free Air Anomali* dan (b) Anomali Bouguer Lengkap

regional dengan residual. Hasil proyeksi ke bidang datar mulai dari 12000 sampai 24000 dan peta kontur anomali yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual pada ketinggian 14000 dapat dilihat seperti pada gambar 8, 9, 10, dan 11. Serta gambar kontur anomali yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual pada ketinggian 14000 dapat dilihat seperti pada gambar 8(b).

Pada gambar 8(b) dapat dilihat bahwa range nilai anomali berada pada nilai 140 mGal sampai 480 mGal. Secara kualitatif hasil proyeksi ke bidang datar tersebut dapat dibedakan nilai kontur anomalinya menjadi tiga bagian yaitu warna merah dengan nilai anomali yang tinggi, warna hijau dengan anomali sedang dan warna biru memiliki anomali rendah. Dearah batas antara anomali tinggi dengan anomali sedang diinterpretasikan sebagai zona subduksi Indo-Australia sedangkan batas antar anomali sedang dengan anomali rendah merupakan batas pulau jawa dengan laut.



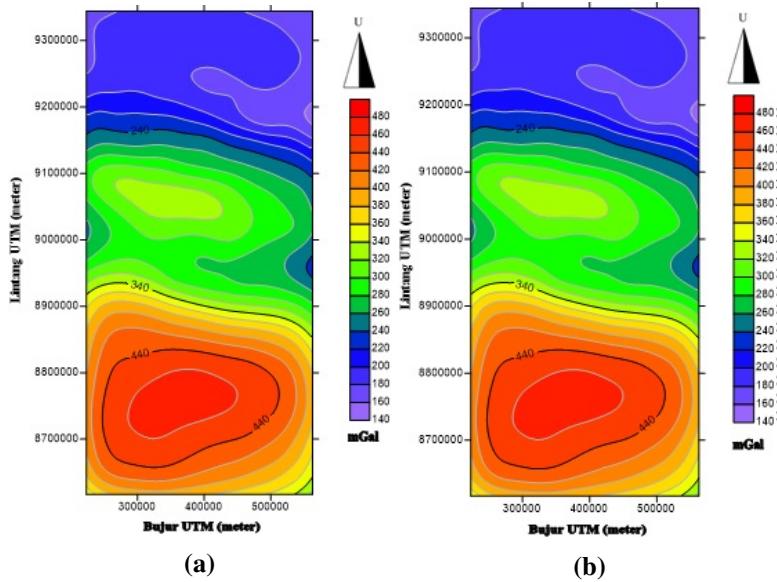
Gambar (8). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian (a) 12000 m dan (b) 14000.



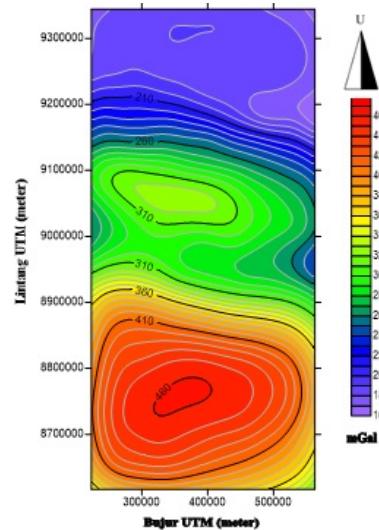
Gambar (9). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian (a) 16000 m dan (b) 18000.

4.2 Pemisahan anomali regional dengan anomali residual

Pemisahan ini dilakukan dengan proses kontinuasi ke atas. Proses yang digunakan pada pemisahan anomali regional dan residual ini adalah prinsip *filtering*

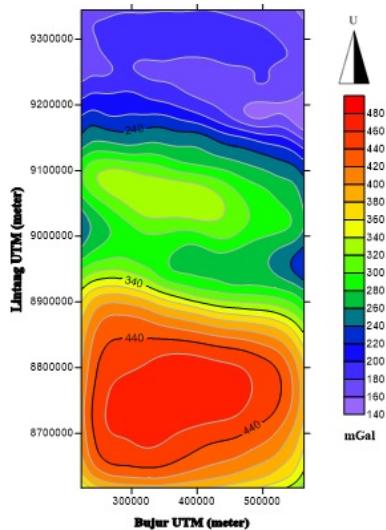


Gambar (10). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian (a) 20000 m dan (b) 22000.



Gambar (11). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian 24000 m

lowpass yang meloloskan frekuensi spasial rendah. Anomali regional diinterpretasikan sebagai keberadaan benda yang berada jauh dari permukaan sedangkan anomali residual merupakan selisih antara anomali ABL dengan anomali regional.

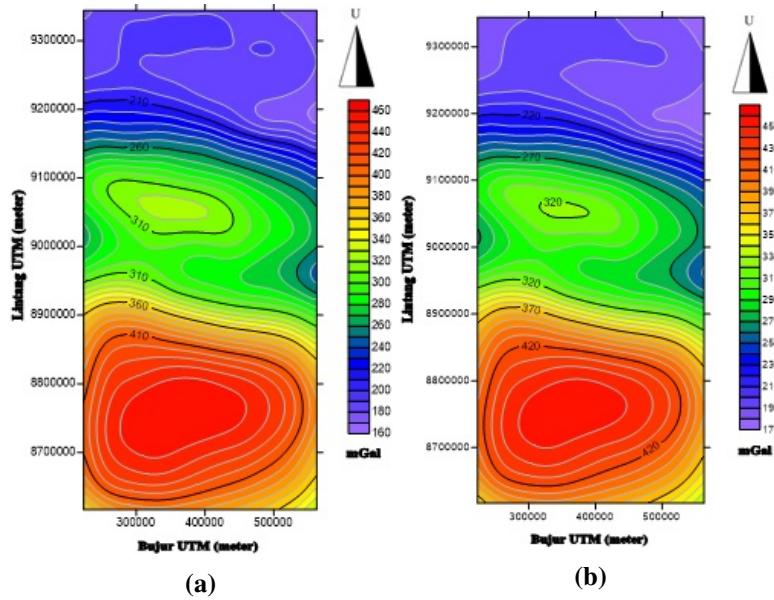


Gambar (12). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian 14000 m

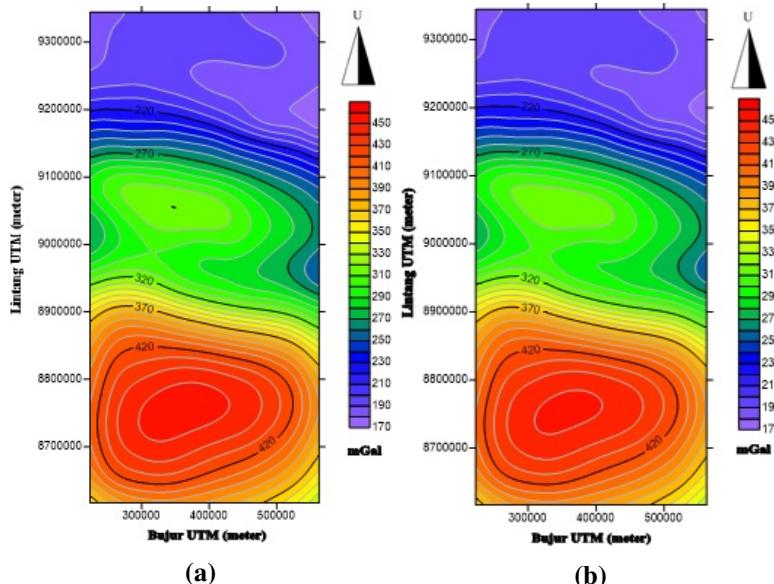
Spasi titik data pengukuran yang digunakan pada data gravitasi ini adalah 2 menit kali 2 menit sehingga menjadi kurang lebih spasinya 3700 m. Untuk melihat benda lokal menggunakan anomali residual tidak efektif dengan spasi yang cukup besar sehingga diperlukan spasi titik pengukuran yang lebih rapat. Sehingga penulisan ini lebih difokuskan pada anomali regional untuk melihat benda dibawah permukaan yang regional.

Proses pengangkatan ini dilakukan secara bertahap mulai dari ketinggian 12000 sampai 24000. Hasil dari pengangkatan tersebut dilihat nilai kontur anomalinya yang sudah relatif stabil. Pada pengangkatan ini didapatkan kontur anomali yang stabil pada ketinggian 18000 m. Kontur hasil pengangkatan pada ketinggian 18000 ini digunakan sebagai pemodelan bawah permukaan zona subduksi di selatan pulau jawa tengah. Hasil pengangkatan dari 12000 sampai 2400 dapat dilihat seperti pada gambar 13 sampai gambar 16.

Proses pengangkatan anomali yang memiliki kontur anomali yang stabil yang akan digunakan untuk pemodelan zona subduksi di selatan pulau jawa adalah pada ketinggian 18000 m. Gambar anomali regional pada ketinggian 18000 m dapat



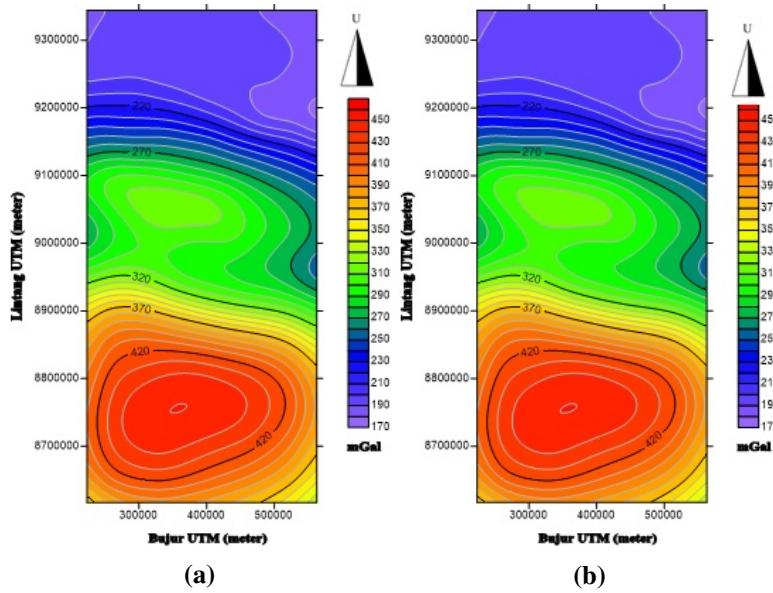
Gambar (13). Kontur Anomali Regional pengangkatan pada ketinggian (a) 12000 m dan (b) 14000.



Gambar (14). Kontur Anomali Regional pengangkatan pada ketinggian (a) 16000 m dan (b) 18000.

dilihat seperti pada gambar.

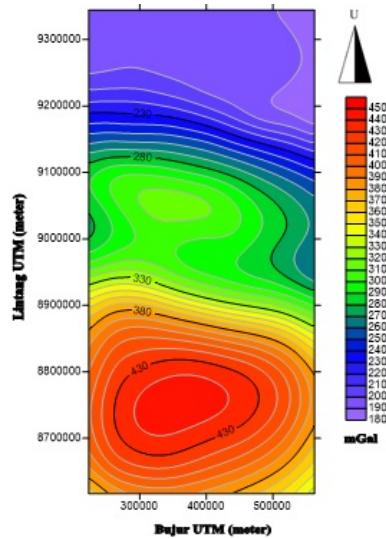
Setelah dilakukan pengangkatan ke atas pada ketinggian 18000 meter kemud-



(a)

(b)

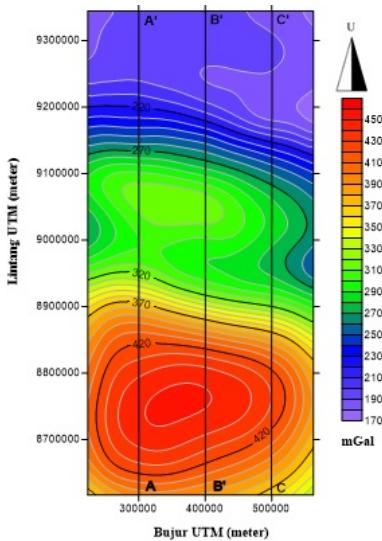
Gambar (15). Kontur Anomali Regional pengangkatan pada ketinggian (a) 20000 m dan (b) 22000.



Gambar (16). Kontur Anomali Regional pada proyeksi bidang datar di ketinggian 24000 m

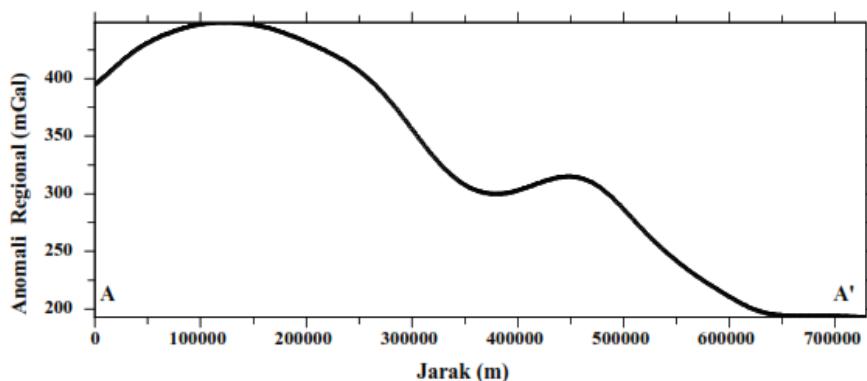
an dilakukan sayatan untuk mengetahui batas tepi lempeng samudera. Pada gambar 18, 19 dan 20 masing-masing merupakan hasil sayatan dari anomali regional pada ketinggian 18000 m. Gambar tersebut memiliki pola yang sama dimana ada

zona penunjaman yang menggambarkan lempeng samudera menunjam ke daratan 14(b).

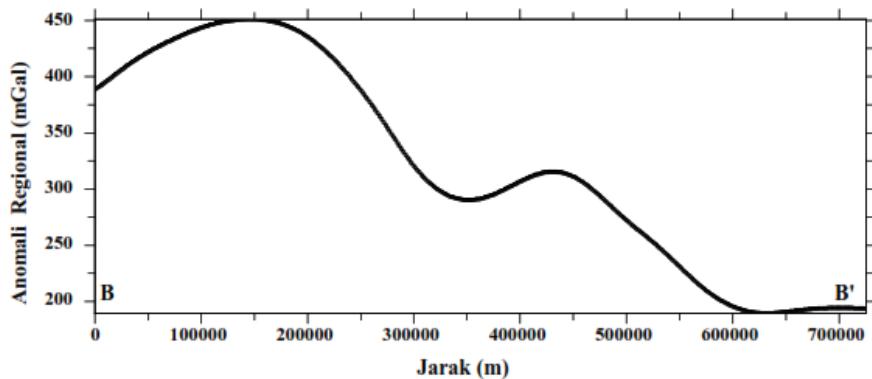


Gambar (17). Profil sayatan Kontur Anomali Regional pengangkatan pada ketinggian 18000 m

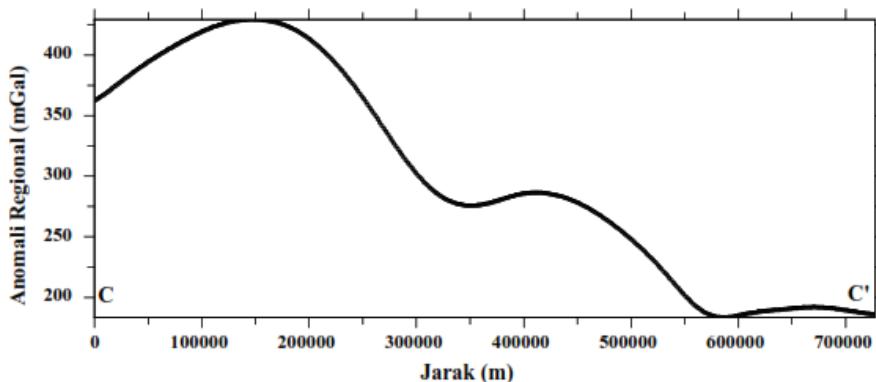
Hasil dari pengangkatan ke atas pada ketinggian 18000 m untuk anomali regional kemudian dibuat tiga sayatan untuk melihat profil lintasan yang memotong dari zona subduksi sampai utara pulau jawa tengah.



Gambar (18). Grafik profil anomali regional pada sayatan A-A'



Gambar (19). Grafik profil anomali regional pada sayatan B-B'

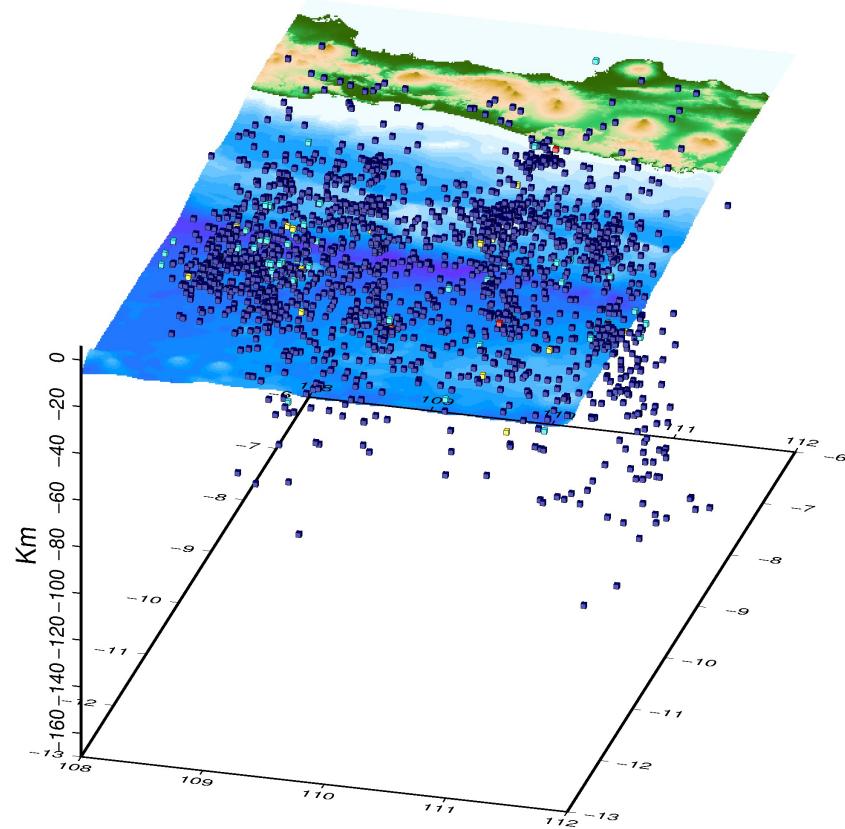


Gambar (20). Grafik profil anomali regional pada sayatan C-C'

4.3 Pemodelan Data Gempa

Pemodelan data gempa dimaksudkan untuk mengetahui pola distribusi gempa apakah memiliki pola dengan zona *wadati benioff* dan dikaitkan dengan model menggunakan data gravitasi. Jumlah gempa yang dimodelkan adalah sebanyak 1221 gempa. Gempa yang dimodelkan belum dilakukan relokasi. Pemodelan distribusi gempa ini menggunakan *software Generic Mapping Tools* (GMT). Pada gambar 21 terlihat pola distribusi gempa dengan azimuth 165 dan sudut elevasi 25 lebih dominan terjadi di sekitar *trench* atau di sekitar zona subduksi. Pengaruh pergerakan dari zona subduksi terhadap aktivitas gempa yang terjadi dapat dilihat pengaruh-

nya.



GMD 2017 Oct 10 14:58:46 | Pola Distribusi Gempa

Gambar (21). Pola Distribusi Gempa Tiga Dimensi

gambar 21 merupakan pola distribusi gempa yang dilihat dari azimuth dan elevasi yang berbeda. Dari gambar tersebut terlihat bahwa distribusi gempa lebih dominan berada pada zona subduksi.

Pada gambar 22 terlihat pola distribusi gempa yang terjadi pada kedalaman maksimum yaitu kurang lebih 150 km. Pola distribusi gempa yang dominan terjadi pada kedalaman 30 km. Pola distribusi gempa ini dilihat dari samping sebelah selatan. Sehingga dapat dikatakan bahwa zona subduksi memberi kontribusi yang besar terhadap aktivitas kegempaan akibat gesekan oleh dua lempeng.



Gambar (22). Pola Distribusi Gempa

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Peta kontur anomali bouguer lengkap tertinggi berada pada selatan pulau jawa atau di zona penunjaman, sedangkan yang terendah berada pada zona cekungan di jawa tengah
2. Berdasarkan pola distribusi gempa terlihat bahwa distrbusi gempa dominan terjadi pada kedalaman 25 sampai 35 Km yang dimungkinkan sebagai garis penunjaman dan diidentifikasi sebagai zona wadati benioff.