

STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH KEBUMEN BERDASARKAN ANALISIS POLA ANOMALI GAYA BERAT DAN GEOMAGNET

Subagio

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122

SARI

Pola anomali gaya berat daerah penelitian terbagi dua kelompok, kelompok anomali tinggi dan kelompok anomali rendah. Kelompok anomali tinggi mendominasi di bagian barat dan bagian timur daerah penelitian, berpola melingkar positif, bernilai 90 mgal hingga 145 mgal. Kedua kelompok anomali tinggi ini dipisahkan oleh kelompok anomali rendah di bagian tengah, yang mempunyai pola melingkar negatif, dan bernilai 52 mgal hingga 89 mgal. Pola anomali tinggi disebabkan oleh keberadaan batuan intrusi andesit di daerah Tinggian Karangbolong dan Tinggian Kulon Progo, serta keberadaan batuan Pratersier Luk Ulo di daerah Karangsambung. Tinggian anomali yang disebabkan oleh Komplek Luk Ulo bernilai relatif rendah (114 mgal), dibandingkan nilai anomali yang disebabkan oleh batuan intrusi andesit (145 mgal). Pola anomali negatif ditafsirkan sebagai cekungan sedimen. Sesar yang memisahkan Tinggian Karangbolong dan bagian cekungan adalah Sesar Karangbolong, sedangkan yang memisahkan Tinggian Kulon Progo dengan bagian cekungan adalah Sesar Purworejo.

Kata kunci : anomali gaya berat, pola melingkar positif, pola melingkar negatif, batuan intrusi andesit, cekungan sedimen, batuan pra-Tertier Luk Ulo, Sesar Karangbolong, Sesar Purworejo, Tinggian Karangbolong, Tinggian Kulon Progo

ABSTRACT

The Gravity anomaly pattern of research area is divided into two groups involving high and low anomalies. The high anomaly dominating at western and eastern area have positive circular pattern, and the value ranges from 90 mgal to 145 mgal. The east and west high anomalies are separated by low anomaly, having negative circular pattern, varies from 52 mgal to 89 mgal, and the low anomaly is located in the central area. The high anomaly patterns might be caused by andesite intrusive rocks in Karangbolong and Kulon Progo High areas, and Pratertier rock in Karangsambung area. Gravity value of Luk Ulo Complex (114 mgal) is lower than the value of intrusive rocks (145 mgal), meanwhile the negative anomaly indicates sedimentary basin. Karangbolong and Kulonprogo high and the basin are seperated by faults, such as Karangbolong and Purworejo Faults respectively.

Keywords : gravity anomaly, positive circular pattern, negative circular pattern, andesite intrusive rock, sedimentary basin, Luk Ulo Pratertier rocks, Karangbolong Fault, Purworejo Fault, Karangbolong High, Kulon Progo High.

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Pulau Jawa merupakan bagian sistem busur Sunda yang terbentuk sebagai hasil interaksi Lempeng Hindia-Australia yang bergerak ke arah utara dan Lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan. Kegiatan vulkanik, gempa yang intensif, dan rejim panas bumi yang terbentuk sepanjang busur, membuktikan bahwa zona ini secara tektonik sangat aktif (Widarto, 1998), dan keaktifan zona ini ditunjang pula oleh data yang menyatakan bahwa Lempeng Samudera Hindia menunjam dengan kecepatan antara 6.0 -7.5 cm/tahun (Hamilton, 1979).

Sejak akhir abad yang lalu, geologi Pulau Jawa banyak dipelajari para ahli geologi asing yang telah

memberikan dasar bagi para ahli geologi Indonesia dalam melakukan penelitian kebumian di wilayah ini. Hasil penelitian gaya berat terdahulu, telah membuka gagasan tektonik Jawa dan Kepulauan Indonesia pada umumnya, sehingga teori sistem busur kepulauan banyak digagas para ahli (Untung, 1982). Untung dan Wiriosudarmo (1975) telah membahas data gaya berat Jawa secara kualitatif, sehingga menghasilkan gambaran struktur yang penting bagi suatu penelitian yang sifatnya regional (Gambar 5).

Untuk keperluan penelitian ini digunakan data gaya berat hasil penelitian terdahulu, seperti Peta Anomali Bouguer Lembar Kebumen (Dibyantoro dan Sutisna, 1977) dan Survei Gaya Berat dan Geomagnetik

Daerah Pantai Selatan Kebumen, Jawa Tengah (Syarif dan Subagio, 2004). Dengan menggabungkan kedua kelompok data gaya berat ini, dihasilkan sebaran data gaya berat semi rinci, sehingga dapat menyajikan pola anomali Bouguer secara semi rinci pula (Gambar 6).

Hasil penelitian geologi Jawa menunjukkan bahwa di daerah Cihara dan Ciletuh (kedua-duanya terletak di Jawa barat), serta Karangsembung dan Bayat (di Jawa Tengah) ditemukan singkapan batuan Pratersier. Hasil penelitian tersebut merupakan suatu penemuan penting bagi pembelajaran sejarah Pratersier dan Tersier Awal Pulau Jawa. Daerah Kebumen (Karangsembung) di Jawa Tengah merupakan salah satu daerah tempat ditemukannya singkapan batuan berumur Pratersier tersebut. Daerah ini yang secara keseluruhan terletak di bagian selatan Jawa Tengah, merupakan daerah yang sangat dikenal oleh kalangan ahli kebumian seluruh dunia, karena keunikan kondisi geologinya. Khususnya di daerah Karangsembung (19 km dari Kebumen), tersingkap kelompok batuan Pratersier (Komplek Luk Ulo) yang tersusun oleh berbagai ragam batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf yang terbentuk di zona tunjaman (Asikin, 1992).

Struktur geologi wilayah Kebumen sebagian besar tersingkap di bagian utara daerah penelitian, sedangkan di bagian selatan, dan di sepanjang sungai besar yang tersingkap adalah endapan permukaan yang disusun oleh aluvium dan endapan pantai (Asikin, 1992). Di daerah tinggian Karangbolong dan Kulon Progo (juga terletak di bagian selatan) tersingkap beberapa struktur geologi berupa sesar, dan tubuh batuan intrusi andesit (Asikin, 1992; Rahardjo, 1995).

Pada dasarnya wilayah Kebumen ini merupakan sebuah graben yang dibatasi oleh tinggian Karangbolong di sebelah barat dan tinggian Kulon Progo di sebelah timur. Cekungan ini terbentuk akibat adanya sesar normal yang berkembang pada saat Oligosen Akhir, sebagai akibat adanya tumbukan antara Lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan dengan Lempeng Hindia yang bergerak ke utara (Suyanto dan Roskamil dr., 1977).

Mengingat daerah Kebumen dan sekitarnya terletak di wilayah selatan Pulau Jawa, yang merupakan daerah tepian benua, serta merupakan jalur busur vulkanik aktif sebagai akibat konvergensi antar lempeng samudera dengan lempeng benua

(Hamilton, 1979), serta memiliki singkapan batuan Pratersier di Karangsembung, maka sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Khususnya untuk dapat mengungkapkan struktur geologi yang kompleks (sebagian besar hanya tersingkap di bagian utaranya saja) sehingga informasi geologi di seluruh wilayah dapat diungkapkan secara lebih jelas.

Keterbatasan ilmu geologi dalam mengungkapkan data geologi di bawah permukaan tidak menjadi kendala bagi ilmuwan dalam melakukan penelitian di atas, karena ilmu geofisika dapat membantu untuk memperoleh informasi geologi tersebut. Survei geofisika pada dasarnya bertujuan melakukan penelitian sifat fisika batuan penyusun kerak bumi. Dalam hal ini, akan dilakukan penelitian gaya berat guna mencari anomali yang disebabkan oleh perubahan rapat massa batuan bawah permukaan. Sebaran rapat massa batuan ini merupakan cerminan dari struktur geologi bawah permukaan. Berhubung metode gaya berat tersebut mempunyai sifat ambiguitas yang tinggi pada proses penafsiran pola anomalnya, maka digunakan juga data geologi permukaan, data rapat massa batuan, dan data geomagnetik sebagai data pengikat.

Rumusan Masalah

Secara umum, daerah Kebumen dan sekitarnya adalah daerah Sub Cekungan Kebumen, yang merupakan bagian dari Cekungan Jawa Tengah Selatan yang lebih luas. Pada zaman Neogen, Cekungan Jawa Tengah Selatan berkembang menjadi Sub Cekungan Banyumas, Sub Cekungan Kebumen, dan Sub Cekungan Yogyakarta, masing-masing terpisahkan oleh Sesar Karangbolong dan Sesar Purworejo (Gambar 7) (Suyanto dan Roskamil, 1977).

Data geologi permukaan daerah Kebumen (Gambar 4) tidak dapat memperlihatkan keberadaan Sesar Karangbolong dan Sesar Purworejo seperti yang telah diutarakan di atas, karena wilayah selatan daerah penelitian (tempat kedua sesar tersebut berada), ditutupi oleh aluvium dan endapan permukaan (Asikin dr., 1992). Akan tetapi pola anomali gaya berat daerah penelitian menunjukkan nilai gradien yang relatif besar di bagian barat dan timur daerah penelitian (Gambar 6). Gejala ini merupakan refleksi dari kontras rapat massa batuan yang cukup tinggi, yang diakibatkan oleh keberadaan sesar normal yang berkembang di daerah tersebut. Data anomali

magnetik (Gambar 10) juga menunjukkan adanya kelurusan struktur di daerah tersebut, sehingga memperkuat dugaan keberadaan kedua sesar tersebut.

Disamping kelurusan sesar, fenomena lain yang dapat diidentifikasi dari pola anomali gaya berat dan geomagnetik adalah keberadaan batuan intrusi di daerah tinggian Karangbolong dan Kulon Progo. Fenomena geologi ini secara jelas dapat pula dilihat pada peta geologi Lembar Banyumas dan Yogyakarta. Kedua fenomena geologi di atas (kelurusan sesar dan batuan intrusi) merupakan permasalahan yang akan dibahas dalam makalah ini.

Kerangka Pemikiran

Metode gaya berat merupakan salah satu metode penelitian geofisika yang mampu membedakan rapat massa suatu material/batuan terhadap rapat massa material/batuan di sekitarnya. Variasi rapat massa tersebut dapat memberikan gambaran tentang struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian. Adanya variasi rapat massa batuan tersebut ditandai dengan kerapatan garis kontur anomali gaya berat dalam ukuran tertentu, sehingga dapat ditafsirkan sebagai gambaran struktur geologi yang tertentu pula.

Dalam penafsiran pola anomali gaya berat ini, diperlukan data penunjang berupa data geologi (peta geologi, tataan stratigrafi, struktur geologi) dan data geofisika lainnya, hasil penelitian terdahulu. Dalam hal ini digunakan data anomali magnetik dan data rapat massa batuan, sehingga dapat dipakai sebagai data pengikat dalam melakukan penafsiran pola anomali gaya berat.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui pola sebaran anomali gaya berat (anomali Bouguer) dan anomali magnetik daerah penelitian, sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui pola struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian.

Lokasi Penelitian

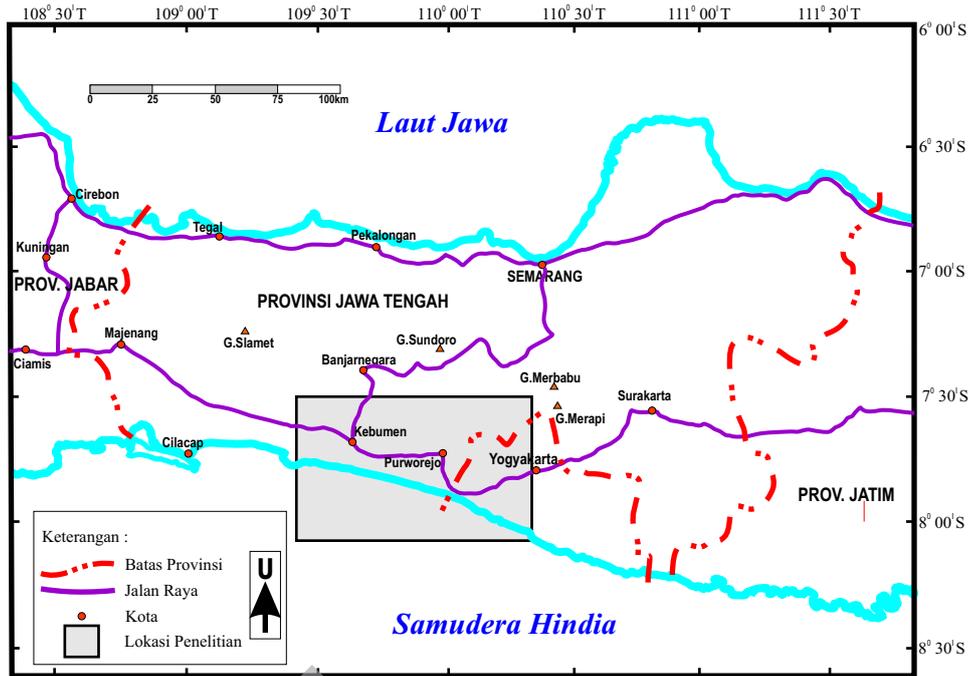
Lokasi penelitian terletak di daerah pantai selatan Jawa Tengah, yaitu di daerah Kebumen dan sekitarnya, berada dalam selang koordinat (Gambar 1) $109^{\circ} 25'$ - $110^{\circ} 10'$ BT dan $07^{\circ} 30'$ - $08^{\circ} 00'$ LS.

Secara administrasi, daerah penelitian termasuk ke dalam Kabupaten Banyumas, Kabupaten Kebumen, Kabupaten Wonosobo, Kabupaten Banjarnegara, dan Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah.

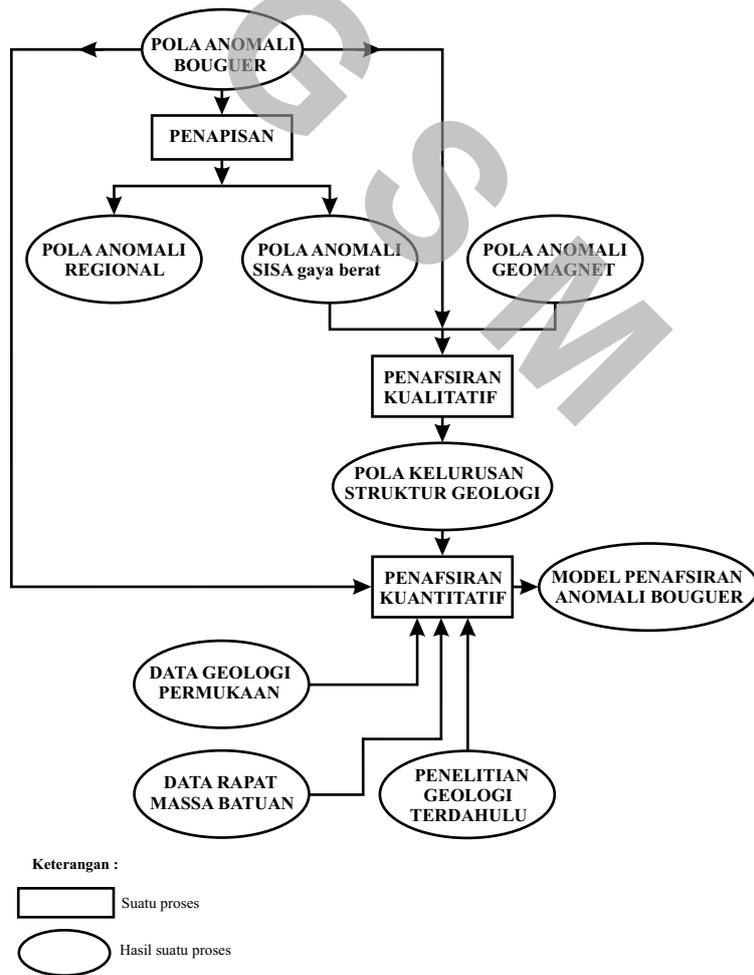
METODOLOGI

Seperti telah diutarakan di atas bahwa metode geofisika yang akan digunakan untuk memecahkan permasalahan penelitian adalah metode gaya berat. Metode penelitian geofisika ini mampu melakukan penafsiran tentang struktur geologi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa antara batuan satu dengan batuan lainnya (ke arah lateral). Namun demikian, kelemahan dari metode ini adalah mempunyai sifat ambiguitas (*ambiguous*) yang cukup tinggi, sehingga dapat menghasilkan penafsiran yang bersifat subjektif. Untuk mengatasi hal ini, maka sebagai data pengontrol digunakan data anomali magnetik, data geologi permukaan, data rapat massa batuan, serta data hasil penelitian geologi terdahulu.

Untuk lebih jelasnya, alur metodologi penelitian dapat diilustrasikan secara ringkas dalam Gambar 2. Sebagai data utama adalah data anomali Bouguer, sedangkan sebagai data tambahan adalah data geologi permukaan, data anomali geomagnet, data rapat massa batuan, serta data hasil penelitian geologi terdahulu. Untuk dapat mengetahui pola anomali sisa, perlu dilakukan proses pemisahan anomali melalui penapisan *surface fitting*, sehingga anomali sisa dan anomali regional dapat dipisahkan dari anomali Bouguer. Proses penafsiran kualitatif akan dilakukan terhadap pola anomali Bouguer, pola anomali sisa gaya berat, dan pola anomali geomagnet. Dari hasil penafsiran ini akan dapat ditentukan pola-pola kelurusan struktur, baik struktur geologi dangkal (diperoleh dari penafsiran pola anomali sisa dan geomagnet) maupun struktur geologi dalam (diperoleh dari penafsiran anomali Bouguer). Penafsiran kuantitatif akan dilakukan terhadap pola anomali Bouguer, dengan data ikat berupa data geologi permukaan, data rapat massa batuan, hasil penelitian geologi terdahulu, serta hasil penafsiran kualitatif terhadap pola anomali gaya berat dan pola anomali geomagnet. Dengan banyaknya data ikat terhadap penafsiran kuantitatif anomali Bouguer, diharapkan dapat dihasilkan penafsiran struktur geologi bawah permukaan yang akurat.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian.



Gambar 2. Bagan alir proses penafsiran pola anomali gaya berat.

GEOLOGI REGIONAL

Fisiografi

Secara fisiografi, bagian utara daerah penelitian termasuk ke dalam Lajur Pegunungan Serayu Selatan, sedangkan bagian selatannya termasuk ke dalam Lajur Lekukan Tengah. Daerah ini merupakan pemisah Lajur Pegunungan Selatan di Jawa Barat dengan di Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Geomorfologi

Morfologi yang berkembang di daerah penelitian terbagi ke dalam 4 (empat) satuan morfologi (Asikin, 1992), yaitu (Gambar 3) :

- Lereng kerucut gunungapi mempunyai ketinggian antara 600 m hingga 1040 m di atas muka laut, menempati bagian timur laut daerah penelitian, dan merupakan bagian lereng selatan kerucut Gunungapi Sumbing. Karena sifat batumannya yang keras dan tahan terhadap pengikisan, maka kenampakan reliefnya kasar, dengan kemiringan lereng sekitar 30° - 75°. Di daerah ini berkembang pola aliran dendrit, dengan lereng terjal, berbentuk V, serta lembahnya sempit
- Satuan perbukitan bergelombang mempunyai ketinggian antara 50 m hingga 650 m di atas muka laut, tersebar luas di daerah penelitian. Perbedaan kekerasan dan ketahanan batuan mengakibatkan terbentuknya topografi dengan

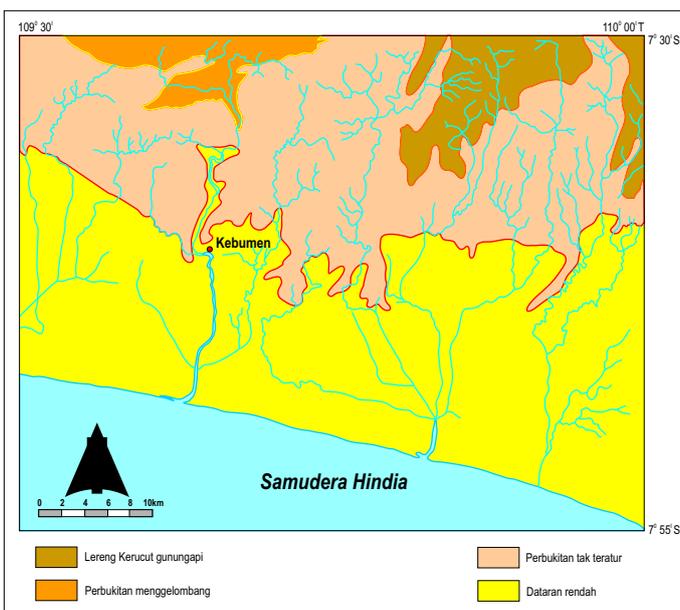
relief yang halus. Sebagian lembahnya sempit dan dalam, berbentuk V, mempunyai lereng yang terjal, disertai jeram.

- Satuan perbukitan takteratur menempati bagian utara daerah penelitian, mempunyai ciri berbentuk bentang alam yang beraneka ragam, seperti bukit yang terpisah-pisah oleh lembah yang sempit dan dalam. Bukit tersebut berbentuk bongkah batuan yang besar dan keras, serta dikontrol oleh sesar. Lembahnya dibentuk oleh batuan yang lebih lunak.
- Satuan dataran rendah, menempati bagian selatan daerah penelitian, dan dikenal sebagai Dataran Kedu Selatan atau Dataran Bagelen. Sungai yang terdapat dalam satuan ini pada umumnya dangkal dan agak lebar, di beberapa tempat berkembang kelokan sungai dan gosong pasir.

Stratigrafi

Menurut Asikin dr. (1992) batuan tertua di daerah ini berumur Pratersier dan Tersier awal yang tercampur aduk secara tektonik dalam masadasar batulempung kelabu yang terabak (*sheared*), ditafsirkan sebagai suatu bancuh (*melange*), dan disebut sebagai Komplek Luk Ulo. Satuan ini tertutup oleh sedimen parit (*pond deposits*) yang termasuk Formasi Karangsembung, berumur Eosen Tengah sampai Oligosen. Di atasnya menindih selaras Formasi Totogan yang berumur Oligosen sampai Miosen Awal. Kemudian selama Miosen Awal diendapkan Formasi Waturanda sebagai endapan turbidit jenis proksimal, dan beranggotakan Tuf. Selaras di atasnya terdapat Formasi Penosogan yang berumur Miosen Tengah. Di atasnya, menindih selaras Formasi Halang yang terbentuk oleh serangkaian sedimen turbidit yang berumur akhir Miosen Tengah sampai Pliosen Awal, mempunyai anggota breksi. Formasi Peniron yang berumur Pliosen, dan beranggotakan sedimen turbidit, merupakan formasi yang paling muda di daerah ini.

Endapan gunungapi muda dijumpai di sudut timur laut lembar, berumur Kuartar, dan kedudukannya tak selaras di atas semua batuan yang lebih tua. Sedimen paling muda ialah aluvium dan endapan pantai, yang menindih tak selaras semua satuan yang lebih



Gambar 3. Fisiografi daerah penelitian.

tua. Batuan beku terobosan yang dijumpai di daerah ini adalah diabas yang berupa retas lempeng, berumur akhir Miosen Tengah (Asikin, dr., 1992). Disamping itu, di daerah Kulon Progo juga tersingkap batuan intrusi andesit dan dasit yang diperkirakan berumur Miosen Awal (Rahardjo, dr., 1995), sedangkan di daerah Karangbolong tersingkap batuan intrusi andesit yang berumur Miosen Awal (Asikin, 1992).

Berdasarkan kesamaan rapat massa batuan (Telford dr., 1988, dan Parasnis, 1986), setiap satuan batuan dalam satu formasi tertentu dapat dikelompokkan ke dalam satu satuan batuan tertentu. Hal ini penting dilakukan, mengingat metode gaya berat hanya dapat mendelineasi batuan berdasarkan perbedaan rapat massa batuan saja. Oleh sebab itu, untuk keperluan penelitian ini dilakukan pengelompokan jenis batuan atas dasar kesamaan rapat massa batuan. Untuk daerah Kebumen, batuan dapat dikelompokkan menjadi :

- batuan sedimen Kuartar (rapat massa : $\rho = 1,68 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan sedimen Tersier ($\rho = 2.10 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan gunungapi Kuartar ($\rho = 2.30 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan gunungapi Tersier ($\rho = 2.45 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan intrusi Tersier diabas ($\rho = 2.50 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan intrusi Tersier andesit ($\rho = 2.80 \text{ gr/cm}^3$)
- batuan intrusi Tersier dasit ($\rho = 2.58 \text{ gr/cm}^3$)
- Komplek Luk Ulo ($\rho = 2.85 \text{ gr/cm}^3$)

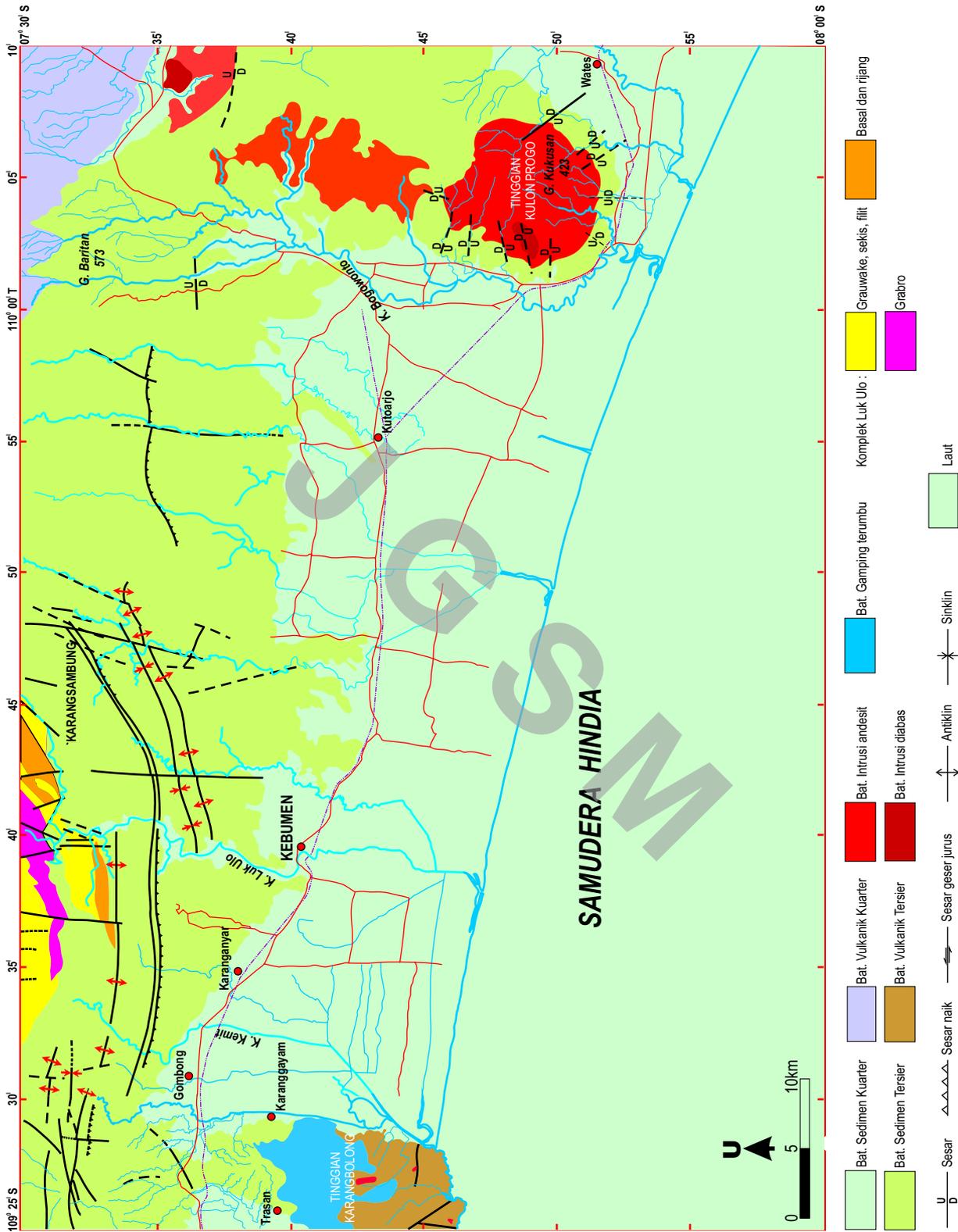
Struktur Geologi dan Tektonik

Data geologi permukaan daerah penelitian dapat menjelaskan struktur geologi yang tersingkap di lapangan dan tektonik secara regional (Asikin dr., 1992, dan Rahardjo dr., 1995). Struktur geologi berupa lipatan, sesar, dan kekar, dijumpai pada batuan yang berumur Kapur hingga Pliosen. Pada umumnya, lipatan di daerah ini berarah hampir barat-timur. Di bagian tengah, sumbu lipatan membelok menjadi arah barat daya-timur laut. Di bagian timur dan selatan, struktur lipatan pada umumnya berupa monoklin, dengan kemiringan lapisan ke arah selatan. Sumbu-sumbu antiklin dan sinklin hampir sejajar, dan terpotong oleh sesar. Antiklin besar adalah Antiklin Karangsembung yang merupakan antiklin tak setangkup, dengan sumbu berarah hampir barat-timur, menunjam ke timur, sumbunya melalui daerah Baniara, Prapatan, dan

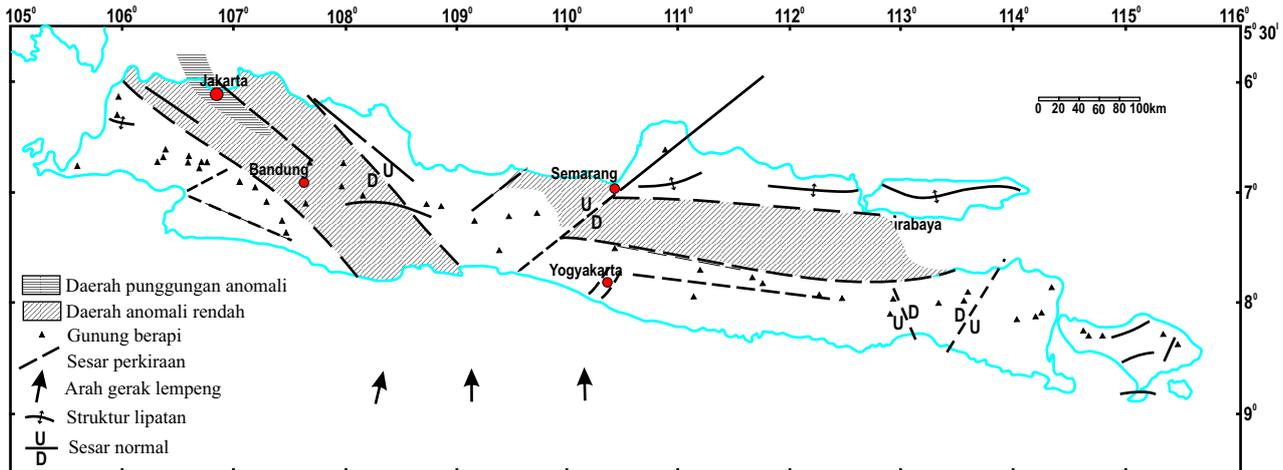
menerus ke arah Banyumas. Antiklin besar lainnya adalah Antiklin Eragumiwang, yang juga taksetangkup, dengan sumbu berarah barat daya-timur laut, hampir sejajar dengan sinklin Gunung Pencil, dan terpotong oleh sesar di bagian barat dan timurnya. Beberapa antiklin dan sinklin yang lebih kecil terdapat di bagian utaranya.

Sesar yang dijumpai berupa sesar naik, sesar geser-jurus, dan sesar turun. Sesar Karanggayam merupakan sesar naik yang besar di daerah ini, yang membentang dari Karanggayam sampai daerah Wadasmalang di sebelah timur Karangsembung. Sesar naik yang lebih kecil dijumpai di Jatibungkus, di daerah K. Bedegolan, dan di daerah K.Kejaban. Sesar geser-jurus yang dijumpai berarah hampir utara-selatan, dan beberapa diantaranya berarah baratlaut-tenggara, atau timur laut-barat daya. Jenisnya ialah sesar geser manganan dan mengiri, pada umumnya memotong lipatan, dan diduga terjadi segera setelah pelipatan. Contoh sesar geser mengiri adalah Sesar Kedunggramat dan Sesar Rebung, sedangkan yang termasuk sesar geser manganan adalah Sesar Kedunglesung. Sesar turun yang dijumpai hampir berarah utara-selatan, atau utara-timur laut -selatan-barat daya, contoh : Sesar Kalianget yang melalui Kali Bedegolan, dan sesar yang melalui Kedungbiru.

Perkembangan tektonik dan cekungan pengendapan diduga berhubungan erat dengan pertumbukan antara Lempeng Benua Asia Tenggara dengan Lempeng Hindia-Australia, sejak Kapur Akhir, atau Tersier Awal. Pada Kapur Awal, atau mungkin sampai Kapur Tengah, sebelum terjadi tumbukan, di dasar samudera telah terendapkan kelompok batuan ofiolit (basal, gabro, batuan ultramafik) dan sedimen pelagos (batugamping merah, dan rijang radiolaria). Pada tektonik Kapur Akhir, terjadi tumbukan antara Lempeng Hindia-Australia yang bergerak ke arah utara, dengan Lempeng Benua Asia Tenggara, disusul oleh penekukan dan penyesaran ke bawah dari lempeng samudera, sehingga terbentuk palung. Batuan kerak samudera terseret ke dalam palung, yang di dalamnya juga terendapkan sedimen flysch yang bahannya bersumber dari daratan di utara. Percampuran batuan secara tektonik berlangsung sampai Paleosen dan menghasilkan Komplek Luk Ulo (Asikin, 1975). Proses tektonik berlangsung terus, hingga terbentuk geologi sekarang (Asikin, dr., 1992).



Gambar 4. Peta geologi daerah Kebumen dan sekitarnya (disederhanakan dari Asikin dr., 1992; Rahardjo dr., 1995).



Gambar 5. Struktur-struktur besar Jawa dan Madura, berdasarkan pola anomali Bouguer (Untung & Wiriosudarmo, 1975).

METODE GAYA BERAT DAN GEOMAGNET

Metode Gaya Berat

Metode gaya berat merupakan salah satu dari metode geofisika yang berdasarkan kepada teori potensial. Metode ini mempunyai kemampuan untuk membedakan variasi rapat massa suatu material/batuan dengan rapat massa material/batuan di sekitarnya (ke arah lateral). Dengan demikian, penggunaan metode penelitian ini diharapkan mampu untuk melakukan penafsiran struktur geologi bawah permukaan yang menjadi objek penelitian ini.

Informasi gaya berat (*gravity*) banyak digunakan dalam bidang geofisika untuk memprediksi struktur geologi dan densitas batuan penyusun kerak bumi. Dalam aplikasi praktisnya, informasi spasial gaya berat biasanya disajikan dalam bentuk data anomali gaya berat, yaitu perbedaan nilai gaya berat pengamatan yang telah direduksi ke bidang acuan, dengan nilai gaya berat teoritik. Tergantung bagaimana cara pereduksiannya, dikenal beberapa jenis anomali gaya berat, antara lain anomali Bouguer yang dapat digunakan dalam interpretasi struktur geologi bawah permukaan.

Sistem nilai gaya berat di Indonesia beracuan kepada IGSN 1971 (*International Gravity Standardization Network 1971*), dengan titik-titik referensinya tersebar secara merata di seluruh wilayah Kepulauan Indonesia (Adkins, 1978). Anomali gaya berat pada dasarnya merupakan besarnya simpangan nilai gaya berat tereduksi dengan nilai gaya berat teoritis. Nilai gaya berat tereduksi adalah nilai gaya berat ukuran

yang sudah direduksi ke bidang acuan pengukuran (geoid). Reduksi gaya berat ukuran dilakukan dengan memberikan beberapa koreksi berupa koreksi pasang surut, koreksi apungan alat, koreksi Bouguer, koreksi udara bebas, dan koreksi medan. Secara matematis, Anomali Bouguer (=AB) dapat dihitung menurut formula :

$$AB = g_o - g_n + KG + KM = g_o - g_n + 0,1967 h + KM$$

g_o adalah gaya berat ukuran, g_n adalah gaya berat normal, KG adalah koreksi gabungan antara koreksi Bouguer dengan koreksi udara bebas, KM adalah koreksi medan, dan h adalah ketinggian titik ukur di atas muka laut rata-rata.

Metode Geomagnetik

Metode geomagnetik didasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi, yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi batuan termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi medan magnetik tersebut dapat pula disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan bumi, sehingga pola anomali yang terbentuk dapat digunakan untuk penafsiran struktur geologi tersebut. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur (medan anomali) kemudian ditafsirkan dalam bentuk sebaran bahan magnetik di bawah permukaan, sehingga dijadikan dasar dalam penafsiran kondisi geologi daerah penelitian.

Metode magnetik memiliki kesamaan dengan metode gaya berat, yaitu kedua-duanya didasarkan kepada teori potensial. Ditinjau dari besaran fisika yang terlibat, keduanya mempunyai perbedaan yang mendasar. Dalam metode magnetik, harus dipertimbangkan variasi arah dan besar vektor magnetisasi, sedangkan pada metode gaya berat hanya ditinjau variasi besar vektor percepatan gravitasi. Dengan demikian, metode geomagnetik ini lebih kompleks permasalahannya dibandingkan metode gaya berat.

Medan magnetik bumi secara umum dapat dipandang sebagai medan dipol, akibatnya garis medan magnet akan mengikuti pola dipol. Medan magnet bumi dibangkitkan oleh batang magnet raksasa pada pusat bumi, atau disebabkan oleh magnetisasi bola bumi yang sempurna. Medan magnet berupa garis-garis gaya magnet di permukaan, berawal dari kutub selatan menuju kutub utara, berarah vertikal di kutub utara dan selatan, serta berarah horizontal di sekitar ekuator. Medan magnet yang tercatat di alat ukur merupakan komponen yang berasal dari medan utama dan medan luar. Medan magnet utama berasal dari sumber di dalam bumi, yang disebabkan oleh sirkulasi arus di luar inti bumi. Medan magnet luar berhubungan dengan arus yang mengalir dalam lapisan ionosfer akibat pemanasan sinar matahari.

Pada dasarnya besaran intensitas medan magnet bumi H_p yang teramati terdiri atas medan magnet bumi rata-rata di titik pengamatan (H_0), medan magnet gangguan dari luar bumi (Δp), dan medan anomali (Δt). Beberapa koreksi yang diberikan terhadap data magnet adalah koreksi variasi harian, dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Besaran koreksi harian KH ditentukan dengan mengurangkan besaran IGRF terhadap nilai bacaan alat setiap saat (I_i).

$$KH = I_i - IGRF$$

IGRF pada dasarnya merupakan model matematik dari medan magnetik utama bumi, yang dikembangkan sejak tahun 1968, dan secara periodik diperbaharui. Nilai koreksi IGRF ini dapat didekati dengan harga rata-rata intensitas medan magnet bumi di daerah penelitian.

Medan anomali magnetik dihitung berdasarkan formula :

$$\Delta H = H_p - KH - IGRF$$

ΔH adalah medan anomali magnetik, H_p adalah intensitas medan magnet teramati, KH adalah koreksi harian, dan IGRF adalah nilai medan magnet bumi acuan.

PEMBAHASAN

Penafsiran kualitatif pola anomali Bouguer

Secara umum, anomali Bouguer daerah Kebumen dan sekitarnya berpola melingkar positif dan negatif, dengan kisaran nilai dari 60 mgal hingga 145 mgal. Anomali tinggi (100-145mgal) menempati wilayah barat (di sekitar Tinggian Karangbolong) dan wilayah timur (daerah Tinggian Kulon Progo), sedangkan anomali rendah (60-99mgal) menempati bagian tengah hingga timur laut daerah penelitian (Gambar 6).

Anomali tinggi di wilayah barat berkaitan dengan keterdapatan batuan Pratersier yang tersingkap di Luk Ulo (Asikin, 2003), dan tubuh batuan intrusi andesit di daerah Karangbolong (Asikin, 1992). Komplek Luk Ulo merupakan salah satu dari tiga singkapan batuan Pratersier di Jawa, lainnya adalah Ciletuh (Jawa Barat) dan Bayat (Pegunungan Jiwo, Jawa Tengah). Komplek Luk Ulo diyakini sebagai satuan *melange*, yang merupakan percampuran antara batuan metamorfik (sekis, filit), batuan beku (batuan ofiolit yang tersusun dari lava bantal, gabro, peridotit, serpentinit), dan batuan sedimen (*greywacke*). Ofiolit merupakan batuan yang mempunyai rapat massa tinggi ($2,85-3,12 \text{ gr/cm}^3$) (Dobrin, 1986), bahkan salah satu mineral yang terkandung di dalamnya (jadeit, nephrite) mempunyai rapat massa $3,2-3,4 \text{ gr/cm}^3$ (Ansori, 2000), sehingga dalam gaya berat batuan ini mempunyai anomali tinggi. Akan tetapi batuan ofiolit di sekitar Kampus Karangsambung LIPI ini hanya menimbulkan efek anomali gaya berat sebesar 105 mgal saja, tidak setinggi di sekitar Ciletuh yang mencapai 180-212 mgal (Untung dan Wiriosudarmo, 1975). Menurut Kamtono (1995), batuan ofiolit yang terdapat di daerah Karangsambung terdapat pada kedalaman kurang lebih 700 m (di bawah muka laut) dengan sebaran yang tidak luas. Data ini memberikan gambaran bahwa sebaran batuan ofiolit di Karangsambung tidak seluas dan sebesar sebaran di Ciletuh. Pola anomali tinggi di wilayah timur berkaitan dengan keberadaan batuan intrusi (batuan andesit) di Tinggian Kulon Progo yang diperkirakan berapat massa relatif tinggi ($2,4-2,8 \text{ gr/cm}^3$) (Telford, 1988).

Kelompok anomali rendah menempati wilayah tengah hingga bagian timur laut daerah penelitian, diperkirakan daerah ini merupakan Sub Cekungan Kebumen bagian dari Cekungan Jawa Selatan (Suyanto dan Roskamil, 1977) (Gambar 6).

Antara anomali rendah dan tinggi ini dipisahkan oleh pola kontur melajur, berarah hampir utara-selatan, dengan gradien tinggi sekitar 7,4 mgal/km untuk di bagian barat, dan gradien anomali sekitar 6,4 mgal/km untuk di bagian timur. Perubahan nilai anomali secara tiba-tiba tersebut disebabkan oleh adanya kontras rapat massa batuan yang besar di sekitar pola kontur yang rapat ini. Fenomena ini kemungkinan merupakan sesar. Di bagian barat diduga sebagai Sesar Karangbolong (AB), dan di bagian timur Sesar Purworejo (OP) (Gambar 6).

Disamping kedua sesar di atas, terdapat kelurusan lainnya, yaitu CD, EF, GH, IJ, KL, dan MN, yang ditafsirkan sebagai kelurusan sesar.

Penafsiran kualitatif pola anomali sisa gaya berat

Pola tinggian anomali Bouguer yang terdapat di bagian barat daerah penelitian (Tinggian Karangbolong) dan di bagian timur (Tinggian Kulon Progo) mempunyai kesamaan pola pada tinggian anomali sisa (Gambar 8). Pola tinggian anomali sisa di bagian barat bertepatan dengan lokasi tersingkapnya batuan intrusi andesit di daerah Tinggian Karangbolong, sedangkan pola tinggian anomali sisa di bagian timur daerah penelitian bersesuaian dengan lokasi tersingkapnya batuan intrusi andesit di sekitar Kulon Progo (Rahardjo, 1995). Dengan demikian dapat ditafsirkan bahwa batuan intrusi di kedua tempat tersebut berasal dari struktur bawah permukaan yang menerus hingga tersingkap di permukaan.

Disamping fenomena batuan intrusi, kenampakan kelurusan sesar pada anomali sisa sama dengan pola kelurusan pada anomali Bouguer. Misalnya kelurusan AB dan kelurusan OP pada pola anomali Bouguer bersesuaian dengan pola kelurusan pada pola anomali sisa. Kedua kelurusan tersebut diperkirakan sebagai Sesar Karangbolong dan Sesar Purworejo.

Penafsiran kualitatif pola anomali geomagnet

Berbeda dengan pola anomali gaya berat yang menggambarkan pola anomali tidak ber-kutub

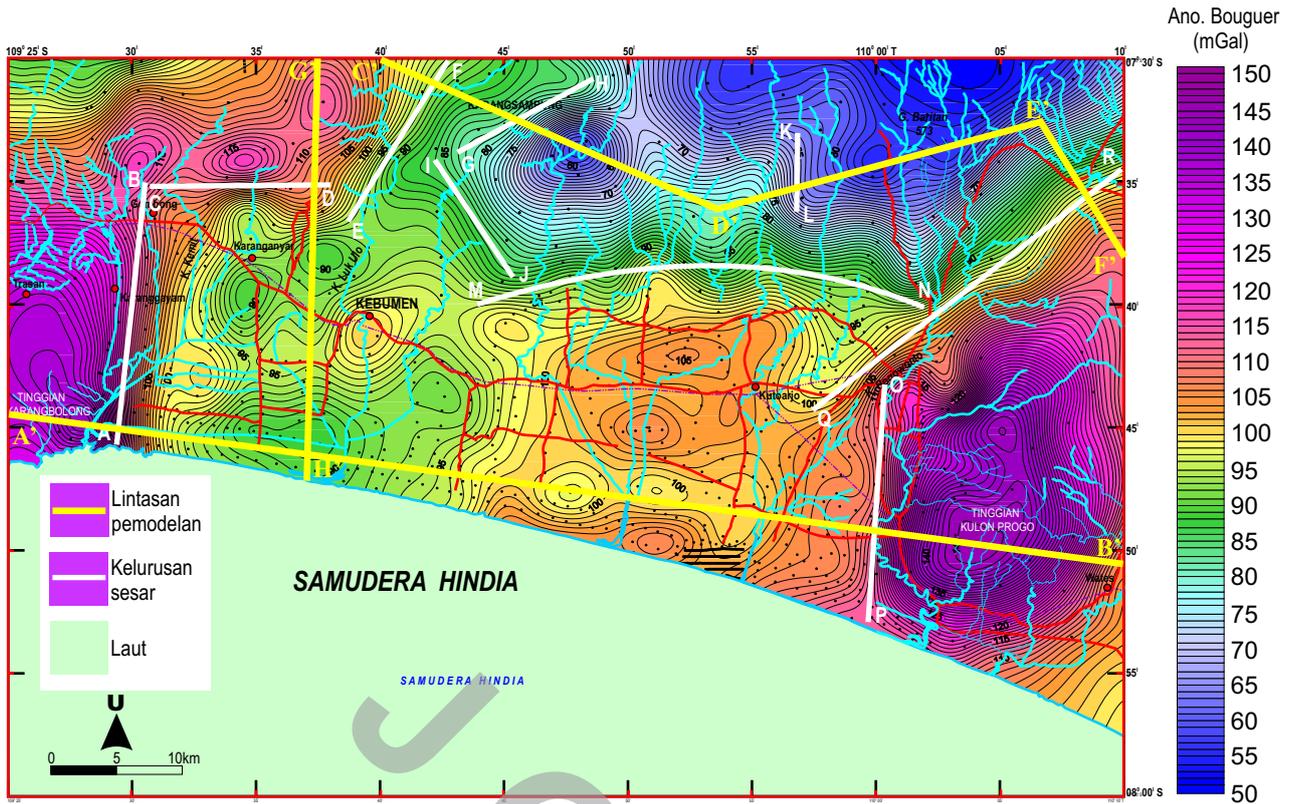
(*monopole*), anomali geomagnet menggambarkan pola anomali dua kutub (*dipole*) sehingga diperlukan keahlian khusus dalam melakukan penafsirannya. Data ini sangat penting dalam mengindikasikan matreal magnetik pada batuan, khususnya dalam hubungannya dengan struktur geologi bawah permukaan. Atas dasar itu, dapat ditarik beberapa kelurusan struktur sesar menurut pola anomali dua kutub, seperti: Sesar Karangbolong, Sesar Karanggayam, Sesar Kedungramat, Sesar Kedunglesung, Sesar Kalianget, Sesar Rebung, dan Sesar Purworejo (Gambar 10).

Penafsiran kuantitatif pola anomali Bouguer

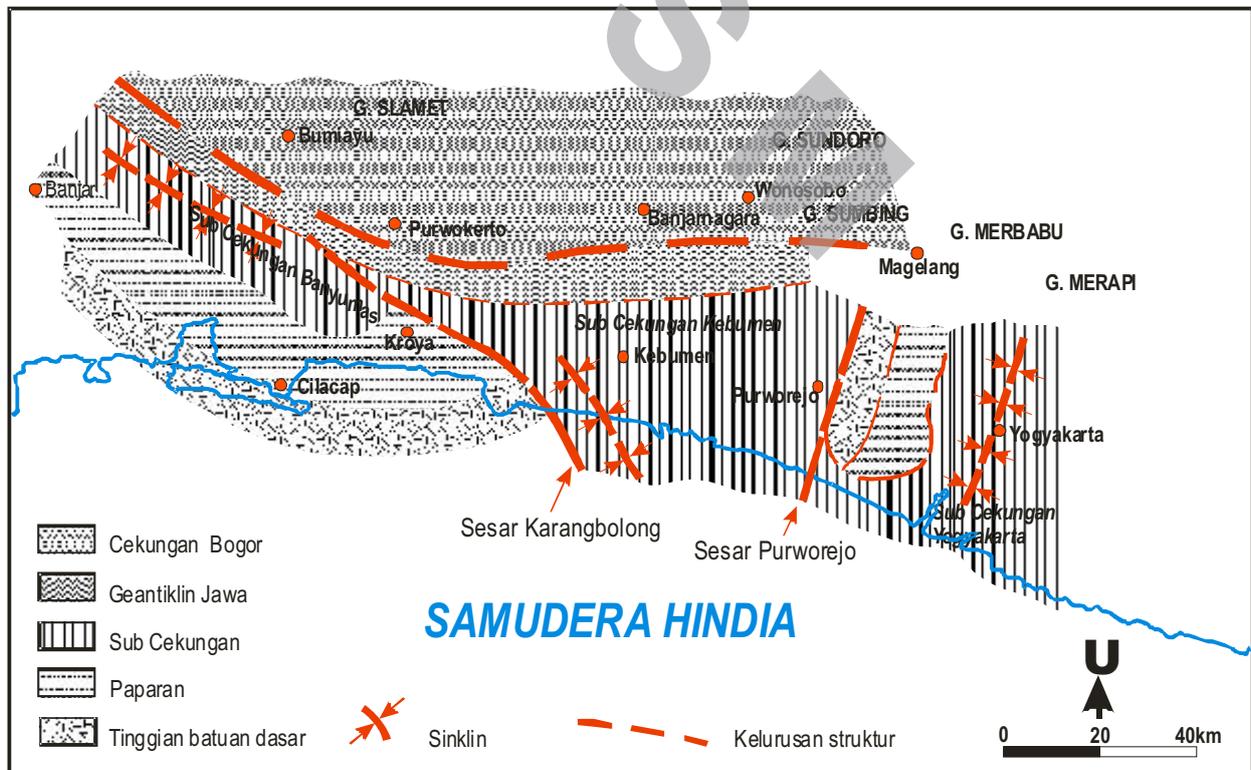
Penafsiran kuantitatif dilakukan terhadap pola anomali Bouguer sepanjang lintasan penampang berarah barat-timur AB, CDEF, dan sepanjang lintasan penampang berarah utara-selatan GH. Penampang CDEF dan GH ditarik memotong kompleks Luk Ulo dengan tujuan untuk mengetahui geometri kompleks tersebut, sedangkan penampang AB melalui batuan intrusi andesit di Tinggian Karangbolong dan batuan intrusi andesit di Tinggian Kulon Progo. Seluruh penampang pemodelan memotong sesar, sehingga dapat ditentukan jenis sesar tersebut.

Penampang pemodelan A'B'

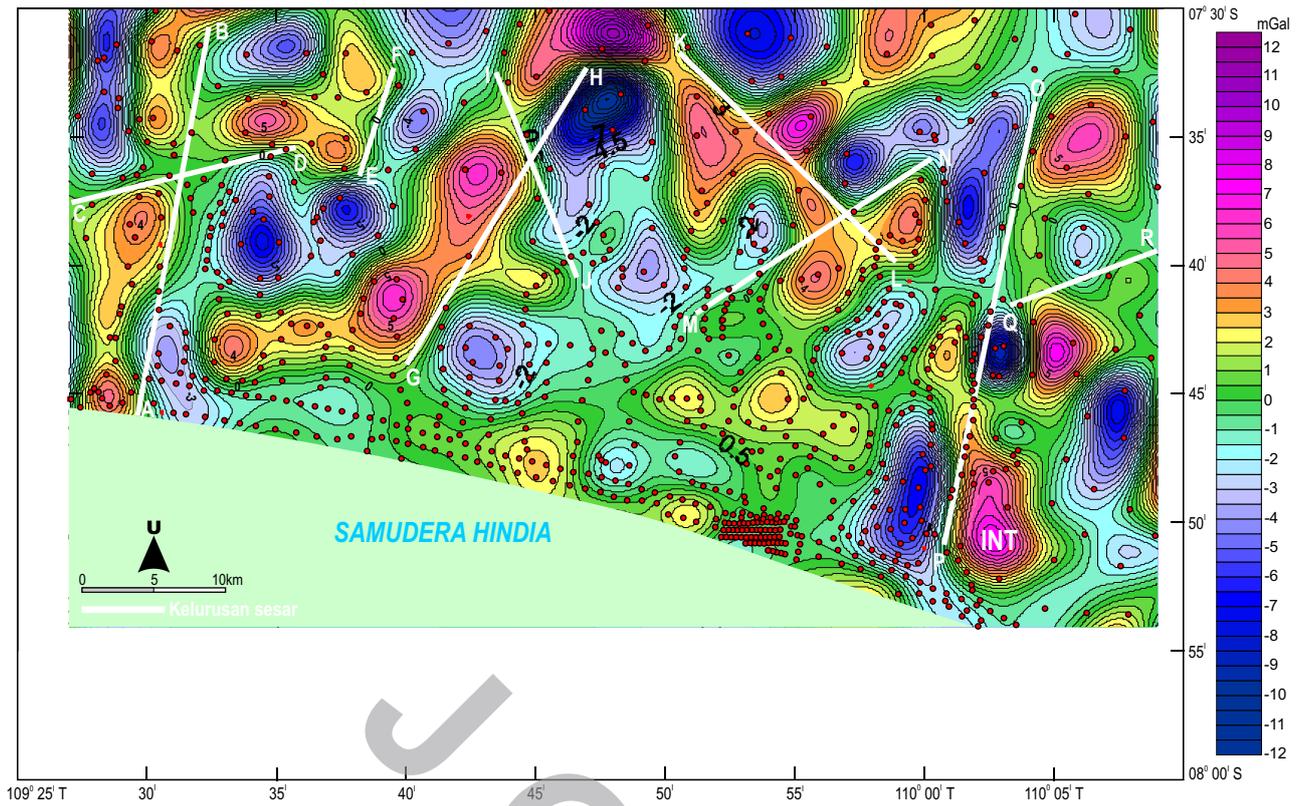
Anomali tinggi yang mencapai nilai maksimal hingga 141 mgal di Tinggian Karangbolong merupakan refleksi dari batuan intrusi andesit yang diperkirakan mempunyai rapat massa batuan 2.80 gr/cm^3 . Dari puncak anomali ini ke arah timur, nilai anomali merendah secara tajam dengan gradien 7,4 mgal/km. Kondisi ini merefleksikan terjadinya perubahan (kontras) rapat massa batuan yang cukup tinggi. Fenomena ini diduga sebagai akibat adanya sesar normal berarah hampir utara-selatan pada posisi km 4,8. Dari Km18 hingga Km 60 nilai anomali berubah secara perlahan dari 88,8 hingga 108.5 mgal. Kenampakan ini diperkirakan sebagai gambaran homogenya rapat massa batuan. Dari Km 60 hingga Km70 terjadi kenaikan nilai anomali secara tiba-tiba, dengan gradien sekitar 6.4 mgal/km. Kenampakan ini menunjukkan terjadinya perubahan (kontras) rapat massa batuan yang cukup tinggi, sebagai akibat keberadaan sesar normal berarah hampir utara-selatan pada posisi Km 64 (Gambar 11).



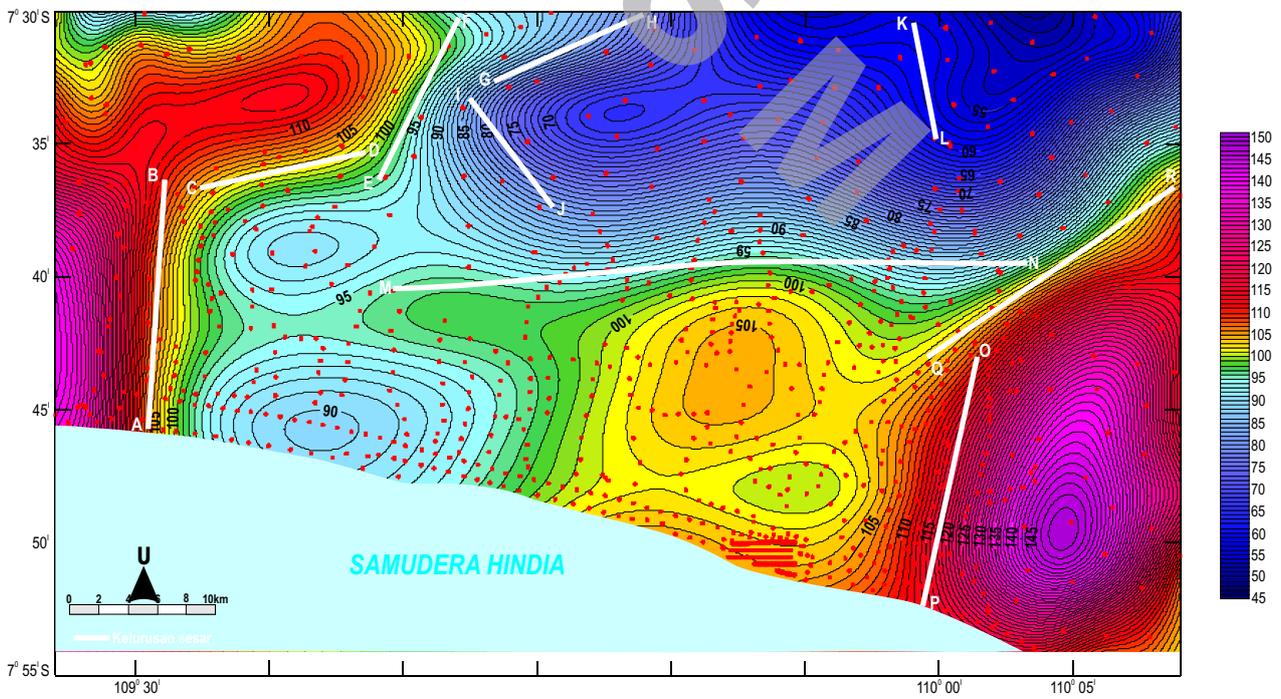
Gambar 6. Pola anomali Bouguer dan kelurusan sesar - daerah Kebumen dan sekitarnya.



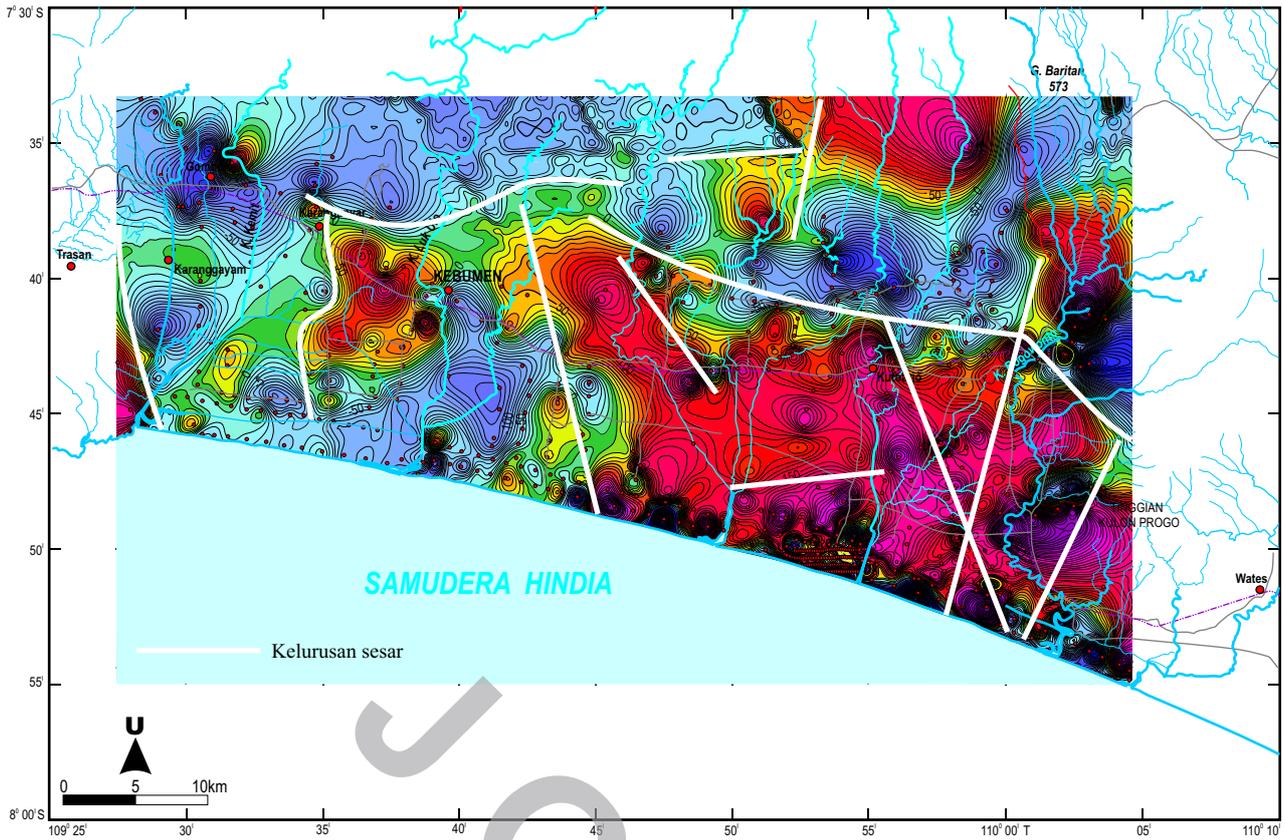
Gambar 7. Konfigurasi cekungan Miosen Jawa Tengah Selatan (Suyanto dan Roskamil 1977)



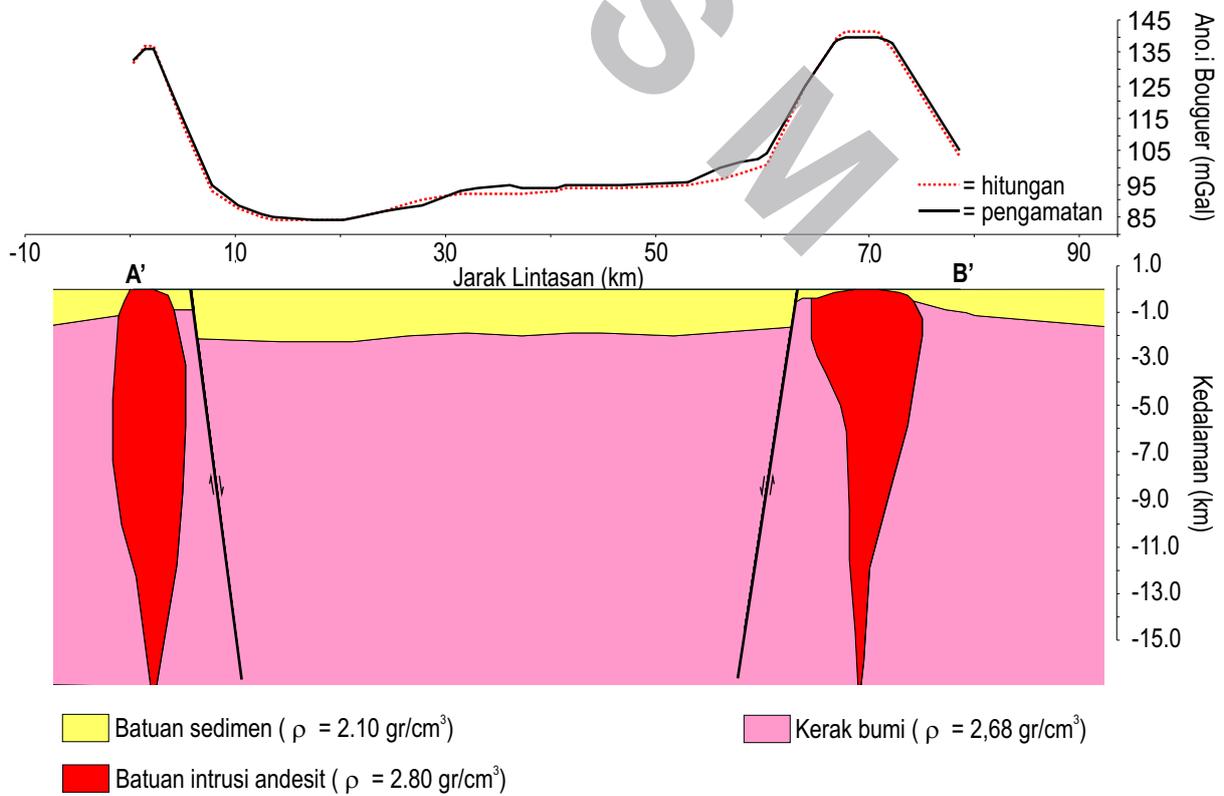
Gambar 8. Pola anomali sisa daerah Kebumen dan sekitarnya.



Gambar 9. Pola anomali regional Daerah Kebumen dan sekitarnya.



Gambar 10. Pola anomali geomagnet daerah Kebumen dan sekitarnya.



Gambar 11. Penampang pemodelan Anomali Bouguer - Lintasan A' B'.

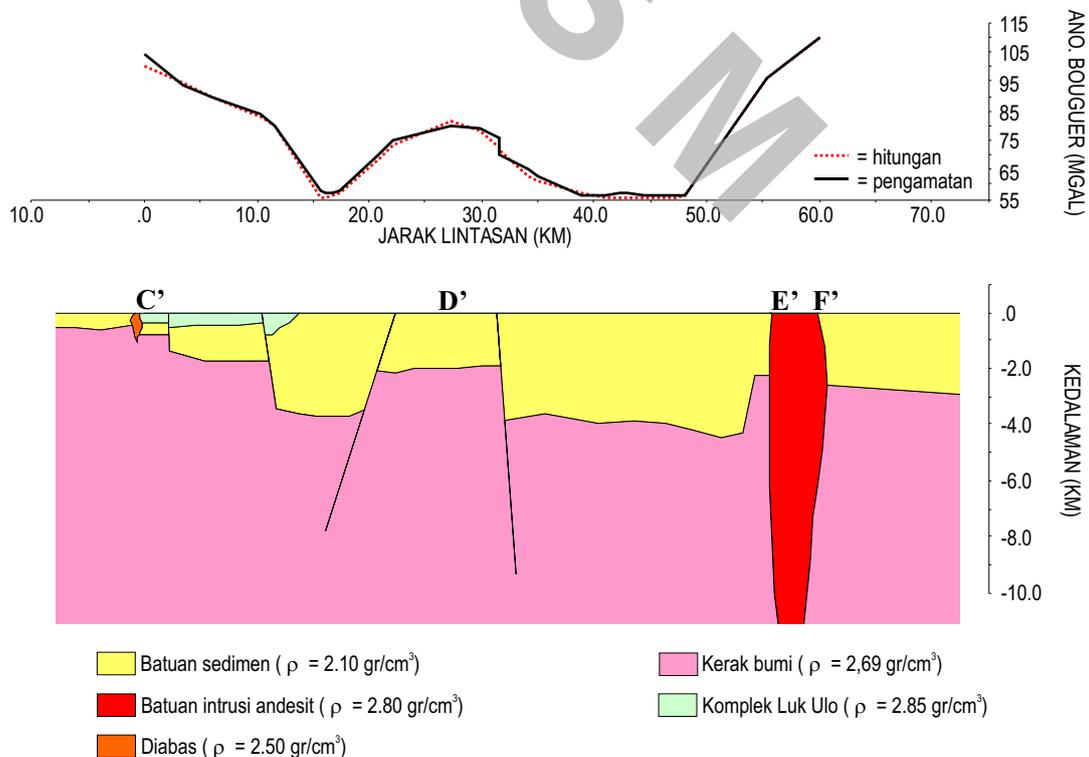
Penampang pemodelan C'D'E'F'

Penampang ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui geometri dari Komplek Luk Ulo ke arah barat-timur, dan hubungannya dengan kondisi geologi di sekitarnya. Penampang pemodelan sepanjang lintasan ini menggambarkan pola anomali yang bergelombang secara sinusoida. Tingginya nilai anomali di bagian barat penampang (114 mgal) diduga sebagai akibat keberadaan Komplek Luk Ulo (rapat massa 2,85 mgal/cm³) yang menumpang di atas lapisan kerak bumi (rapat massa 2,68 mgal/cm³). Di beberapa tempat, kompleks batuan ini terpotong oleh beberapa sesar. Tinggihan anomali di bagian timur penampang yang mencapai nilai hingga 110 mgal diakibatkan oleh terobosan batuan andesit (rapat massa 2,80 mgal/cm³) di daerah Kulon Progo. Menurunnya nilai anomali hingga nilai 56-57 mgal di bagian tengah penampang diakibatkan oleh turunnya blok batuan kerak bumi pada Km 10 - Km 22 dan Km 31 - Km 55 hingga membentuk graben di tempat-tempat tersebut.

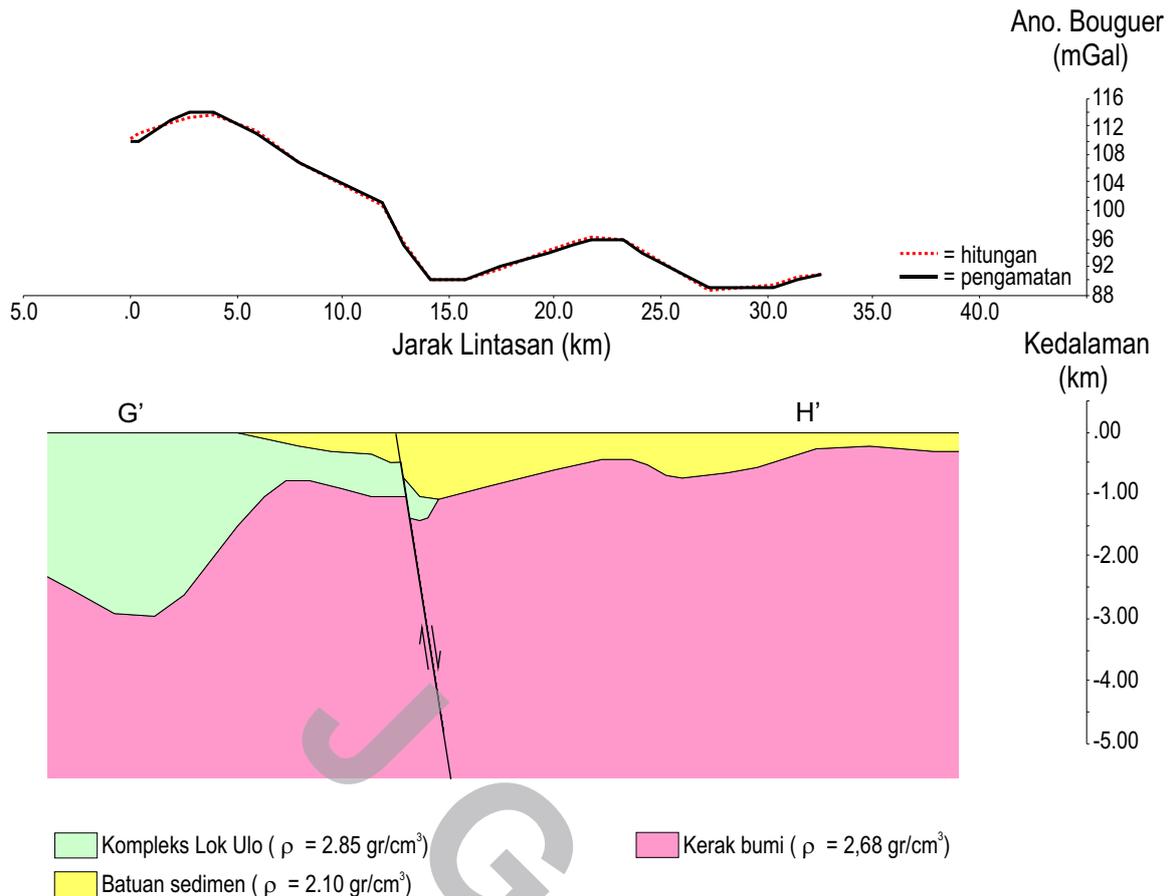
Penampang pemodelan G'H'

Penampang pemodelan ini ditarik dari tempat tersingkapnya Komplek Luk Ulo di daerah Karangsambung hingga ke pantai selatan Kebumen,

berarah hampir utara-selatan (Gambar 6). Tujuannya adalah untuk mengetahui kedudukan Komplek Luk Ulo relatif terhadap daerah di sekitarnya. Secara umum pola anomali sepanjang penampang ini adalah berbentuk grafik menurun dari utara ke selatan. Tingginya nilai anomali di utara penampang yang mencapai nilai 114 mgal diakibatkan oleh keberadaan Komplek Luk Ulo yang menumpang di atas lapisan kerak bumi. Pada Km 12, nilai anomali secara tiba-tiba menurun hingga mencapai nilai 90 mgal, gejala ini merefleksikan tingginya kontras rapat massa batuan di daerah tersebut sebagai akibat keberadaan Sesar Karanggayam yang berarah barat-timur (Asikin dr., 1995). Fenomena sesar tersebut ditandai dengan nilai gradien anomali sebesar 4,9 mgal/km. Pola anomali kemudian menaik kembali secara perlahan hingga mencapai nilai puncak sekitar 96 mgal di Km 23, lalu menurun kembali hingga 89 mgal (Km 27-30), yang akhirnya menaik kembali hingga 91 mgal pada Km 32.5. Rendahnya nilai anomali dalam selang Km 12 - 32,5 disebabkan oleh tebalnya lapisan batuan sedimen di daerah ini (Gambar 13).



Gambar 12. Penampang pemodelan Anomali Bouguer - Lintasan C' D' E' F'.



Gambar 13. Penampang pemodelan anomali Bouguer - Lintasan G' H'.

DISKUSI

Menurut Suyanto dan Roskamil (1977), sesar Karangbolong yang memisahkan Sub Cekungan Kebumen dengan Tinggian Karangbolong berarah barat laut-tenggara, sedangkan Sesar Purworejo yang memisahkan cekungan tersebut dengan Tinggian Kulon Progo berarah barat daya - timur laut. Hasil penelitian tersebut ternyata mempunyai perbedaan dengan hasil penelitian penulis yang dilakukan berdasarkan analisis kualitatif anomali Bouguer dan anomali sisa. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa Sesar Karangbolong dan Sesar Purworejo berarah timur laut-barat daya. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh rendahnya kerapatan sebaran data gaya berat yang digunakan Suyanto dan Roskamil (1977) dalam melakukan penafsiran. Sebaran data gaya berat yang digunakan penulis dalam melakukan analisis arah sesar tersebut sangat rapat, sehingga akurasi hasil analisisnya lebih tinggi. Alasan yang sama juga dapat digunakan untuk menjawab perbedaan yang ada mengenai batas

delineasi Sub Cekungan Kebumen. Hasil penafsiran Suyanto dan Roskamil (1977) menunjukkan bahwa areal cekungan berbentuk memanjang barat-timur, sedangkan hasil penelitian penulis menunjukkan bahwa cekungan tersebut berbentuk memanjang dengan sumbu berarah barat daya-timur laut.

Sesar Karangbolong dan Sesar Purworejo yang termasuk kedalam struktur bawah permukaan ternyata tidak dapat diidentifikasi pada peta geologi. Fenomena ini disebabkan kedua sesar tersebut tertutup oleh aluvial dan endapan pantai, dan di bagian utaranya sebagian besar ditutupi oleh batuan sedimen. Di wilayah ini, tersingkap beberapa patahan, yaitu Sesar Karanggayam, Sesar Kedungramat, Sesar Kedunglesung, Sesar Kalianget, Sesar Rebung, serta beberapa sesar lainnya yang tidak bernama. Sesar-sesar ini dengan jelas dapat diidentifikasi pada anomali Bouguer dan anomali sisa. Jadi sesar-sesar tersebut merupakan sesar bawah permukaan yang menerus hingga di permukaan.

Menurut Asikin dr. (1992), Sesar Karanggayam merupakan sesar naik, akan tetapi berdasarkan penafsiran kuantitatif, sesar tersebut merupakan sesar normal. Jenis sesar ini dapat diidentifikasi pada Km 12,5 penampang GH, grafik anomali mulai km tersebut menukik turun secara tajam, sehingga bagian ini dapat ditafsirkan sebagai blok turun. Blok batuan yang turun ini merupakan bagian dari graben (Sub Cekungan) Kebumen yang sebagian besar diisi oleh lapisan batuan sedimen.

Komplek Luk Ulo yang tersingkap di sekitar Karangasambung diperkirakan mengontrol tingginya nilai anomali Bouguer. Menurut Kamtono (1995), nilai anomali Bouguer yang ditimbulkan oleh kelompok batuan Pratersier ini adalah sekitar 98mgal. Berdasarkan hasil penafsiran kuantitatif diperkirakan kelompok batuan Pratersier tersebut mempunyai kedalaman hingga 700 meter di bawah permukaan laut, namun nilai gaya berat cukup tinggi yaitu sebesar 114 mgal, sehingga diduga kedalaman maksimal batuan Pratersier ini sekitar 2 km di bawah permukaan laut. Perbedaan nilai anomali tersebut kemungkinan diakibatkan oleh perbedaan nilai acuan gaya berat, Kamtono menggunakan acuan di titik pangkal I (Hotel Ambarukmo, Yogyakarta), sedangkan penulis menggunakan acuan yang sudah terikat kepada IGSN'71, yaitu DG.0 (Museum Geologi, Bandung).

KESIMPULAN

- Sesar Karanggayam adalah sesar normal yang merupakan salah satu batas dari graben (Sub Cekungan) Kebumen. Sesar lainnya yang juga menjadi batas dari graben tersebut (serta

ACUAN

- Adkins, J., Sukardi, S., Said, H., and Untung, M., 1978. *A Regional Base Station Network for Indonesia*, Publikasi Teknik Seri Geofisika No. 6, Geological Survey of Indonesia.
- Ansori, C., Sujatmiko, dan Permana, H., 2000. Giok Jawa dari Kawasan Karangasambung, Kebumen, Jawa Tengah, dan Pemanfaatannya, *Proceeding of Indonesian Association of Geologists, The 29th Annual Convention*, (2) :157-163, Bandung
- Asikin, S., 1975. *Geologi Struktur Indonesia*, Diktat Kuliah KBK Geologi Dinamis, Jurusan Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., dan Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Asikin, S., 2003. *Geologi dan Evolusi Tektonik daerah Karangasambung, Kebumen, Jawa Tengah*, Acara Purnabakti, Departemen Teknik Geologi ITB.
- Curray, J.R., Shor, Jr., G.G., Raitt, R.W., and Henry, M., 1977. Seismic Refraction and Reflection Studies of Crustal Structure of The Eastern Sunda and Western Banda Arc, *Journal Geophysics*, p. 82

merupakan sesar normal) adalah Sesar Karangbolong, dan Sesar Purworejo.

- Sesar-sesar yang dinyatakan sebagai sesar geser pada peta geologi daerah penelitian, ternyata berdasarkan analisis kuantitatif pola anomali Bouguer merupakan sesar turun (Sesar Kedungramat, Sesar Rebung, Sesar Kedunglesung)
- Sub Cekungan Kebumen merupakan suatu graben, yang memanjang dengan sumbu berarah barat daya - timur laut, dan kedalaman 1,5km di sebelah selatan (di sekitar garis pantai) dan 4 km di sebelah utaranya.
- Tubuh batuan intrusi andesit yang tersingkap di daerah Karangbolong dan Kulon Progo mempunyai kedalaman kurang lebih 17 km.
- Komplek Luk Ulo menimbulkan nilai anomali (114 mgal) yang relatif lebih rendah dibandingkan nilai anomali yang diakibatkan oleh batuan intrusi andesit (145 mgal). Gejala ini menunjukkan bahwa volume tubuh batuan Pratersier tersebut tidak sebesar volume batuan intrusi (rapat massa kedua batuan tersebut relatif hampir sama).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditunjukkan kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat melakukan penelitian gaya berat di daerah Kebumen dan sekitarnya. Disamping itu, ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Koordinator Kelompok Program P2D yang telah memberikan bantuan berupa penyediaan basis data gaya berat regional daerah penelitian.

- Dibyantoro, H., dan Sutisna, S., 1977. *Peta Anomali Bouguer Lembar Kebumen, Jawa*, Direktorat Geologi, Bandung
- Dobrin, M.B., And Savit, C.H., 1986. *Introduction to Geophysical Prospecting*, Fourth Edition, McGraw Hill International Editions, p.498-749
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonic of the Indonesian Region*, U.S. Geological Survey, Washington, p. 345.
- Hamilton, W. B., 1979. *Map of Sedimentary Basins of The Indonesian Region*, U.S. Geological Survey, Washington
- Kamtono, 1995. Penafsiran Penampang Gaya Berat Dua Dimensi dan Implikasinya Terhadap Kedudukan Blok-blok Melange Luk Ulo, Karangasambung Jawa Tengah, Thesis S-2 Geofisika Terapan, Program Pasca Sarjana ITB
- Rahardjo, W., Rumidi, S., dan Rosidi, H.M.D., 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Syarif, N., dan Subagio, 2004. Survei Gaya Berat dan Geomagnetik, Daerah Pantai Selatan Cekungan Kebumen, Jawa Tengah, Pusat Survei Geologi, tidak diterbitkan.
- Suyanto, F.X., Dan Roskamil, 1997. The Geology and Hydrocarbon Aspects of Southern Central Java, *Geologi Indonesia, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, (4) 1: 61-71
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A., 1976. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, p.7-103
- Untung, M., Dan Hasegawa, H., 1975. Penyusunan dan Pengolahan Data beserta Penafsiran Peta Gaya Berat Indonesia, *Geologi Indonesia, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, (2) 3 :11-17
- Untung, M., dan Wiriosudarmo, G., 1975. Pola Struktur Jawa dan Madura sebagai Hasil Penafsiran Pendahuluan Data Gaya Berat, *Geologi Indonesia, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, (2) 1: 5-24
- Untung, M., 1982. Sebuah Rekonstruksi Paleogeografi Pulau Jawa, *Geologi Indonesia, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, (9) 2 : 15-24
- Widarto, D.S., Arsadi, E.M., Mogi, T., dan Nishimura, S., 1998. *Citra Tahanan Jenis Kerak Bumi memotong Busur Sunda dan Implikasinya terhadap Vulkanisme dan Tektonik*, Penerapan Metode Geofisika di Indonesia 1977-1997, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Bandung, P. 67-83.

Naskah diterima : 9 Juli 2008
Revisi terakhir : 24 Nopember 2008