

INDIKASI FENOMENA STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH RENCANA TAPAK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR GUNUNG API GENUK DAN SEKITARNYA, JEPARA, JAWA TENGAH

S. Panjaitan dan Subagio

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122

SARI

Umumnya anomali gayaberat di daerah penelitian terbagi atas dua kelompok yakni anomaly tinggi dengan kisaran nilai dari 37 mgal hingga 43 mgal dan anomali rendah dengan variasi nilai dari 10 mgal hingga 37 mgal. Anomali tinggi disebabkan oleh keberadaan batuan vulkanik Kuartar dan anomali rendah mengindikasikan keberadaan cekungan sedimen. Analisis kuantitatif, anomali tinggi merefleksikan keberadaan batuan vulkanik Kuartar dengan rapatmassa $2,8 \text{ gr/cm}^3$ yang relatif lebih tinggi dibanding rapatmassa batuan di sekitarnya. Selain itu di daerah rencana tapak di Ujung Lemahabang ini menunjukkan tidak dijumpai struktur patahan. Selanjutnya dalam radius 5 km dari daerah penelitian diperkirakan tidak terdapat *capable fault*. Dalam area radius 25 km, terdapat dua patahan yang terletak di lepas pantai dan tiga buah patahan lainnya terletak di sebelah barat daerah penelitian.

Kata kunci : Lemahabang, anomali gaya berat, cekungan sedimen dan patahan

ABSTRACT

Generally, gravity anomaly pattern in research area is divided into two groups, high anomaly with the value ranges from 37 mgal to 43 mgal, and low anomaly, varies from 10 mgal to 37 mgal. The high anomaly group might be caused by the existing volcanic Quaternary rocks, and the low anomaly group indicates a sedimentary basin. Based on the result of quantitative analysis, the high anomaly group reflects the existing volcanic Quaternary rocks with density 2.8 gr/cm^3 relatively higher than surrounding. Analysis also shows in the site plan of Ujung Lemahabang the predicted faults are not encountered. The area in radius 5 km from research area, predicted the capable fault not exist in radius 25 km, found two faults offshore and three faults in western part of investigation area.

Keywords : Lemahabang, gravity anomaly, sedimentary basin arc fault

PENDAHULUAN

Penelitian Geofisika telah dilaksanakan Awal Mei dan bulan Nopember tahun 2007 selama 40 hari di daerah Gunung api Genuk dan sekitarnya. Penelitian ini merupakan Studi Tapak PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) oleh BATAN (Badan Tenaga Atom Nasional) Jakarta. Untuk kegiatan tersebut telah dilakukan pengukuran gaya berat dalam rangka evaluasi dan analisis struktur geologi bawah permukaan di daerah ini.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian geofisika di daerah sekitar Gunung api Genuk adalah untuk menambah dan melengkapi data gaya berat yang telah terukur sebelumnya (tahun 1997) sehingga dapat terkumpul

data dengan sebaran rinci. Sedangkan tujuannya adalah untuk melokalisir daerah intrusi, menentukan kedalaman batuan dasar, ketebalan batuan kuartar serta lapisan-lapisan batuan bawah permukaan yang tertutup oleh vulkanik kuartar Gunung api Muria dan Gunung api Genuk. Kemudian hasil penelitian gaya berat diharapkan dapat memperkirakan daerah antiklin-sinklin maupun struktur patahan bawah permukaan yang terkait dengan permasalahan dan penyiapan tapak PLTN sesuai rekomendasi IAEA 1997-2005.

Permasalahan

Dari 62 butir permasalahan yang harus dilaksanakan sesuai rekomendasi IAEA 1997-2005 maka penelitian gaya berat dapat berperan serta pada beberapa hal yaitu:

- Butir 14. Interpretasi geofisika untuk vulkanologi, integrasi final data struktur menjadi sebuah model yang *reliable*.
20. Integrasi data daratan dan lepas pantai dengan korelasi stratigrafi dan struktur dengan penggabungan data gaya berat darat dengan laut.
21. Kompilasi data di daerah Tapak dan sekitarnya menunjukkan ketidak adaan bahaya geologi seperti patahan permukaan dan lain lain.
23. Sebagai pembandingan dari laporan NEWJEC dan NTT yang menyebutkan radius 5 km dari tapak tidak ada capable fault.
24. Analisis tentang kemungkinan tidak terdeteksinya patahan pada radius 5 km dari tapak ke arah laut.
27. Koreksi minor table -2 NTT tentang patahan pada radius 25 km sebelum dimasukkan ke dalam model seismotektonik.
28. Penambahan bahasan patahan laporan final NTT mengenai patahan lepas pantai pada radius 25 km.
30. *Possible extension* patahan U-S hingga 5 km ke lepas pantai semenanjung Muria.

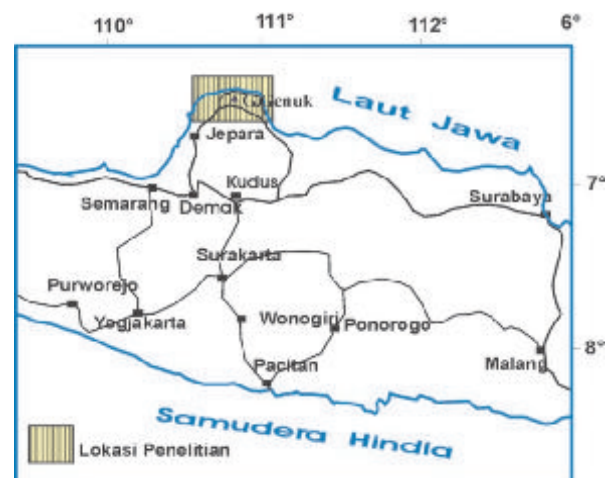
Obyek Penelitian

Daerah penelitian terletak di sekitar daerah Gunung Api Genuk (Gambar 1) yang mencakup rencana lokasi bangunan reaktor nuklir di Desa Balongan Ujung Lemahabang dan sekitarnya. Di sekitar daerah Tapak tersebut sebaran titik pengukuran gaya berat (Gambar 2) dilakukan secara acak berjarak ± 500 hingga 700 meter, titik pengukuran berupa lintasan berjarak ± 500 meter. Jarak pengamatan tergantung kondisi di lapangan, jika nilai pengamatan konstan dan hanya sedikit perubahan anomali, maka jarak titik pengukuran akan diperpanjang sedangkan di daerah-daerah tertentu yang memotong struktur, jarak pengukuran diperrapat. Pengukuran semi rinci sepanjang lintasan A - B dilakukan di utara Gunung Api Genuk dengan arah barat-timur yang diduga memotong struktur berarah utara-selatan hingga semenanjung lepas pantai. Dua lintasan penampang pemodelan gaya berat berjarak ± 15 km telah dilakukan di sebelah utara (lintasan A-B), dan di sebelah barat Gunung Api Genuk (lintasan C-D). Penelitian ini telah dikorelasikan dengan data gaya

berat laut yang diambil dari basis data satelit yang ada di Pusat Survei Geologi Bandung. Penelitian ini diharapkan dapat menafsirkan struktur lokal dan regional serta hubungannya dengan struktur geologi di lepas pantai.

Metode Penelitian

Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gaya berat yaitu berdasarkan pengukuran adanya perbedaan kecil dari medan gaya berat. Perbedaan ini disebabkan karena adanya distribusi massa batuan yang tidak merata dikerak bumi, sehingga menyebabkan tidak meratanya distribussi massa jenis batuan. Adanya perbedaan massa jenis dari satu tempat ke tempat lain akan menimbulkan medan gaya berat yang tidak merata pula dan perbedaan inilah yang terukur dipermukaan bumi. Pengukuran yang dilakukan menggunakan 1 (satu), perangkat Gravimeter La Coste & Romberg Type G 816 dengan nilai pembacaan 0 - 7000 mgal dengan ketelitian 0.01 mgal dan apungan rata-rata kurang dari 1 mgal setiap bulannya, sehingga alat tersebut layak untuk dipakai. Sebelum melakukan pengukuran di lapangan harus terlebih dahulu dilakukan pembacaan di DGO Museum Geologi Bandung. Kemudian dilakukan pengukuran di stasiun rujukan (*base station*) lapangan yang dianggap permanen sebagai titik pangkal utama dan berfungsi sebagai acuan titik-titik lainnya. Pengolahan data lapangan dilakukan dengan mereduksi data ukuran yaitu dengan mengubah dan memberikan berbagai koreksi seperti: koreksi pasang surut, koreksi apungan, koreksi medan, koreksi lintang, koreksi udara bebas hingga memperoleh nilai anomali Bouguer.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian yang terletak disekitar Gunung Api Genuk (Gambar 3) termasuk kedalam lembar peta gaya berat Kudus, di utara lembar ini dibatasi oleh Laut Jawa, di barat oleh Lembar Semarang, di selatan oleh Lembar Salatiga dan di timur oleh Lembar Rembang. Morfologi daerah ini termasuk satuan kerucut gunung api dengan pola aliran sungai radial, lembah sempit dengan tebing terjal ditempati hasil kegiatan Gunung Api Muria dan Gunung Api Genuk berupa lava, breksi, tuf dan batupasir. Kelompok Gunung Api Genuk terletak di luar busur gunung api Kuartar Jawa, tepatnya terletak di dalam cekungan busur belakang yang biasanya merupakan tempat pengendapan batuan sedimen. Menurut Edwards, dr. (1991) batuan kelompok Gunung Api Muria, Gunung Api Genuk dan Gunung Api Rahtau saat ini telah padam, merupakan hasil dari proses bersama antara proses supra tunjaman (*supra-subduction processes*) dan proses dalam lempeng (*within plate processes*) yang aktif saat ini di selatan Pulau Jawa. Pemunculan gunung api ini diduga dan dikontrol oleh struktur geologi yang dalam. Kedalaman *Benioff* di busur gunung api Kuartar Jawa berkisar 100-200 km, sedangkan di daerah Gunung Api Muria kedalamannya kurang lebih 400 km (Hamilton, 1979).

Satuan batuan yang paling tua di daerah ini, adalah Formasi Ngrayong terdiri atas perselingan napal berlapis kurang baik, batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping pasiran arah jurus barat daya - timur laut. Kemiringan perlapisan batuan antara 10° - 15° berumur Miosen Tengah dengan ketebalan berkisar 100 - 300 m tertindih selaras oleh Formasi Bulu. Formasi Bulu terdiri atas batugamping bersisipan batugamping pasiran dan batugamping lempungan. Batugamping berwarna putih abu-abu berlapis antara 4 - 15 cm, sedangkan batulempung tebal perlapisan 5 - 10 cm dengan tebal seluruhnya diduga berkisar 100 - 300 meter dan terdapat di sekitar Gunung Api Genuk berumur Miosen Akhir.

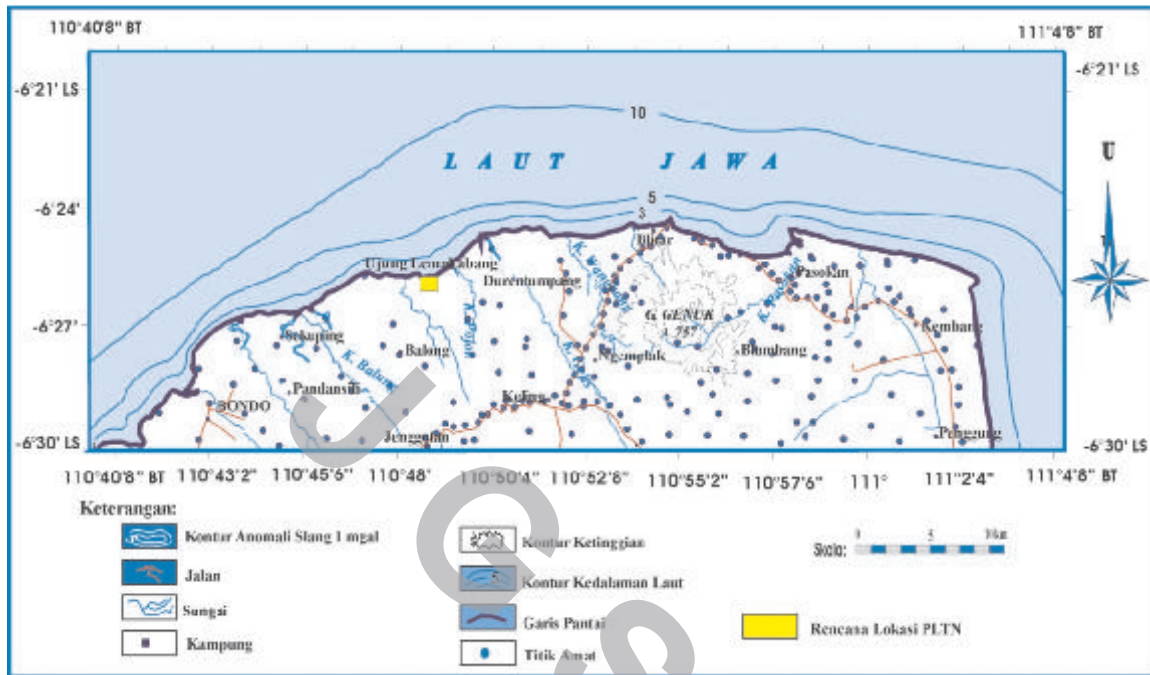
Formasi Patiayam terdiri atas perselingan batupasir tufaan dan konglomerat tufaan dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi vulkanik. Di sekitar Gunung Api Genuk bagian utara dijumpai lapisan bersusun dalam batupasir, konglomerat dan batupasir yang tersebar di sekitar Patiayam sebelah tenggara Gunung Api Muria berumur Pliosen. Ketebalan lapisan lebih 100 m, dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Batuan Gunung Api Genuk terdiri atas lava, breksi gunung api dan tuf

dimana lava bersusunan basal dan andesit hasil pentarikan K-Ar dari andesit-trakit menunjukkan umur 0,75 - 0,11 juta tahun atau Plistosen Tengah-Plistosen Akhir dan sebarannya terdapat di sekitar Gunung Api Genuk. Tuf Muria berwarna kuning berlapis kurang baik, tebal 5 m dan tuf pasiran sampai lempungan ukuran lapili sampai halus sering dijumpai lapisan bersusun sebagai sisipan dalam tuf dengan ketebalan antara 0,1 - 3,0 m. Umur satuan ini diperkirakan sama dengan Lava Gunung Api Muria Plistosen-Holosen. Lava Muria terdiri atas lava basal, andesit, leusit-teprit, leusitit, trakit dan sienit. Batuan ini secara umum memperlihatkan tekstur porfiritik dengan fenokris dari mineral piroksin, plagioklas dan biotit dengan masa dasar dibentuk oleh mikrolit felspar dan kaca gunung api. Lava basal, porfiritik, dengan fenokris terdiri atas augit, diopsit, hipersten dan biotit dalam masadasar mikrolit felspar, piroksin dan kaca gunung api. Lava andesit berkomposisi mineral augit, hipersten, hornblende, biotit, plagioklas, ortoklas dan bijih sedangkan batuan leusit-teprit dan leusitit komposisinya hampir sama. Leusitit mengandung plagioklas lebih sedikit sedangkan leusit-teprit terdapat fenokris plagioklas. Trakit bersusunan mineral plagioklas, sanidin, ortoklas, sedikit hornblende atau biotit sienit bersusunan plagioklas, ortoklas, augit dan biotit. Batuan beku ini dijumpai cukup banyak baik berupa lava maupun kepingan dalam breksi, sebarannya terdapat di Gunung Api Pusan dan Gunung Api Regas. Satuan batuan ini merupakan hasil kegiatan Gunung Api Muria yang terjadi antara 0,64 - 0,03 juta tahun sampai 1,11 - 0,06 juta tahun atau Plistosen-Holosen. Batuan terobosan adalah retas basal dan andesit, retas leusit-teprit dan leusit, serta retas sienit, batuan terobosan ini diduga berumur Plistosen Tengah dan di beberapa tempat menerobos lava Gunung Api Muria dan batuan Gunung Api Genuk.

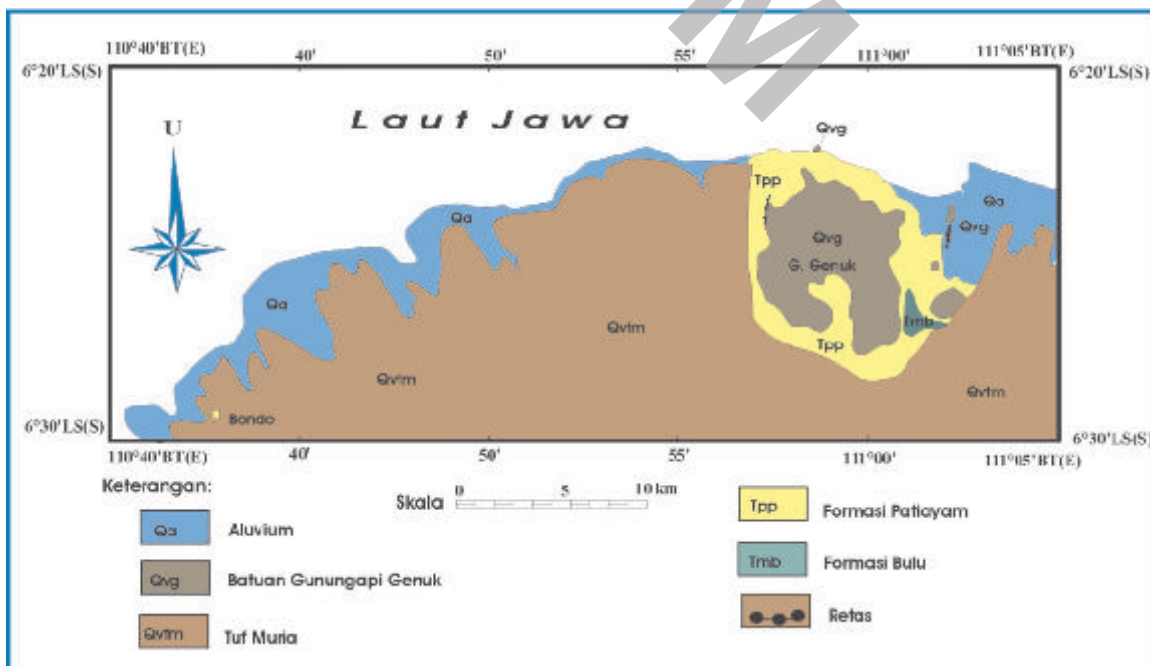
Struktur geologi yang terdapat di daerah ini adalah sesar dan kubah yaitu sesar normal dengan arah timur laut - barat daya yang menyasarkan batugamping Formasi Bulu. Kelurusan di jumpai di Gunung Api Genuk utara, Gunung Api Muria. Di Gunung Api Muria kelurusan menunjukkan berbagai arah yang tidak teratur dari foto udara ditafsirkan struktur kubah diapir di jumpai di daerah Patiayam. Perkembangan Struktur dan tektonik maupun sejarah geologi di daerah ini dimulai pada Kala Miosen Tengah, pada saat itu daerah ini merupakan cekungan laut dangkal dan terbentuk Formasi Ngrayong. Cekungan ini menerus ke arah timur pada lembar Rembang dan ke selatan pada lembar

Salatiga, kemudian pada Kala Miosen Akhir di endapkan Formasi Bulu. Cekungan tersebut terangkat lemah oleh orogenesis pada Akhir Miosen sampai Pliosen yang diikuti dengan pengendapan Formasi Patiayam. Di daerah ini terjadi pengkubahan kecil dan Formasi Patiayam terangkat hingga kepermukaan. Kegiatan gunung api Kuartar

yang bersumber dari Gunung Api Genuk dan Gunung Api Muria menghasilkan batuan gunung api serta diikuti dengan retas-retas batuan beku dan setempat berasosiasi dengan batugamping. Pada Zaman Kuartar di Lajur Rembang pada lembar ini daerahnya merupakan morfologi dataran rendah yang mengendapkan aluvium.



Gambar 2. Lokasi titik pengamatan yang rapat membentuk lintasan berselang antara 500 - 1000 m dan titik amat secara acak berselang 500 - 2000 m daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 3. Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa Tengah. Sukardi, T dan Wikarno, R. 1992 daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa

Anomali Bouguer

Pola anomali Bouguer (Gambar 4) mencerminkan kombinasi efek bawah permukaan lokal dan regional. Anomali Bouguer di daerah penelitian mempunyai kisaran nilai dari 10 mgal hingga 42 mgal. Secara umum dapat dibedakan menjadi:

- Anomali gaya berat tinggi dengan nilai berkisar antara 37 hingga 43 mgal ditafsirkan sebagai cerminan keberadaan batuan vulkanik Kuartar dan batuan Gunung Api Genuk.
- Anomali gaya berat 10 hingga 37 mgal sebagai anomali rendah diduga disebabkan oleh tebalnya batuan sedimen yang terendapkan dalam cekungan di daerah tersebut.

Anomali tinggi tercermin pada peta anomali Bouguer yang mencapai hingga 43 mgal terdapat di sekitar Gunung Api Genuk (warna merah), membentuk klosur memanjang ke arah lepas pantai. Tingginya anomali tersebut diakibatkan timbunan material batuan vulkanik Kuartar, yang membentuk perbukitan terjal. Anomali rendah di bawah 31 mgal terdapat di sebelah barat di daerah Bondo dan di timur di daerah Grogolan. Bentuk anomali tersebut memanjang ke arah utara (warna biru muda) membentuk sinklin. Secara umum kelurusan arah kontur anomali yang terbentuk di daerah ini adalah arah barat daya - timur laut yang mencerminkan struktur regional.

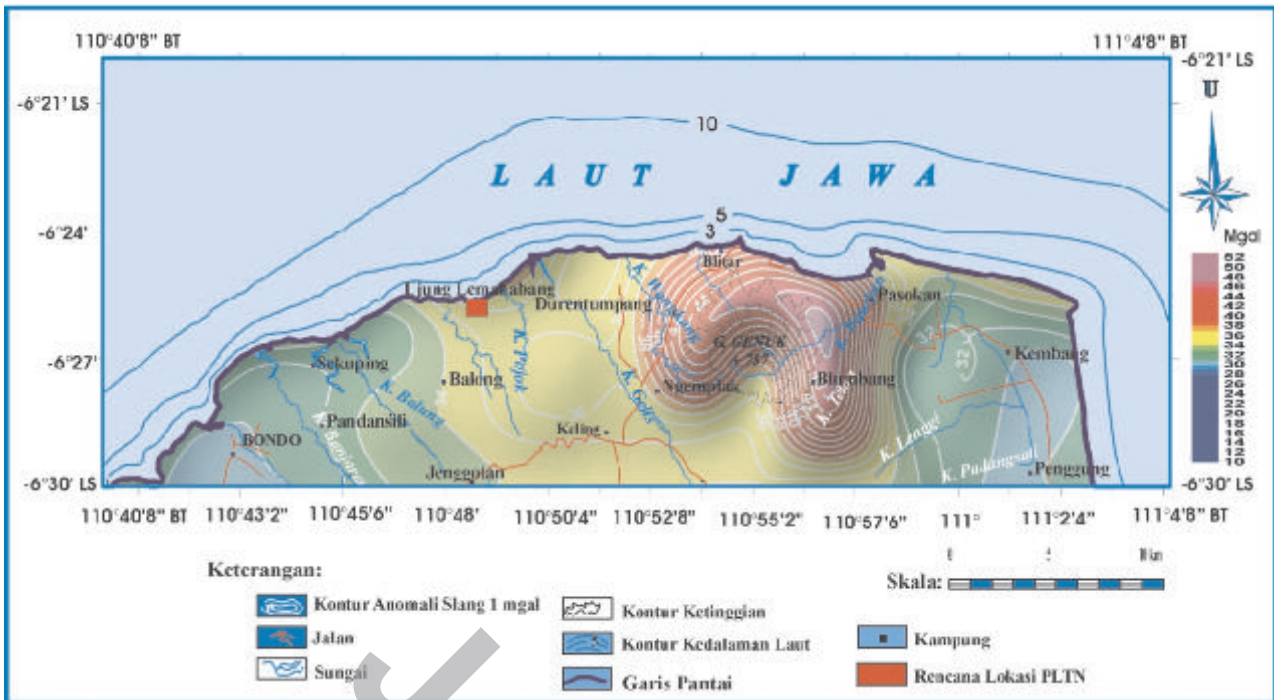
Anomali Regional

Anomali regional didapatkan dari pengurangan anomali Bouguer terhadap anomali sisa (Gambar 5) yang membentuk kontur anomali membentang arah timur-barat antara 28 mgal hingga 40 mgal (warna merah). Anomali tersebut dibentuk oleh rapat massa batuan yang besar di utara Gunung Api Genuk hingga ke lepas pantai. Anomali tinggi dijalar tersebut kemungkinan besar diakibatkan adanya jalur magma membeku di bawah permukaan arah barat-timur. Sedangkan ke arah selatan anomali regional semakin mengecil (warna kuning). Adanya anomali membulat tinggi pada anomali Bouguer maupun anomali sisa yang terbentuk di sekitar Gunung Api Genuk adalah diakibatkan oleh anomali lokal bukan diakibatkan anomali regional karena anomali regional justru terbentuk di utara lepas pantai dan tidak terbentuk di bawah Gunung Api Genuk. Anomali lokal yang terbentuk di pipa kepundan diakibatkan oleh pembekuan magma di bawah permukaan. Diduga retas pipa kepundan miring ke arah selatan yang

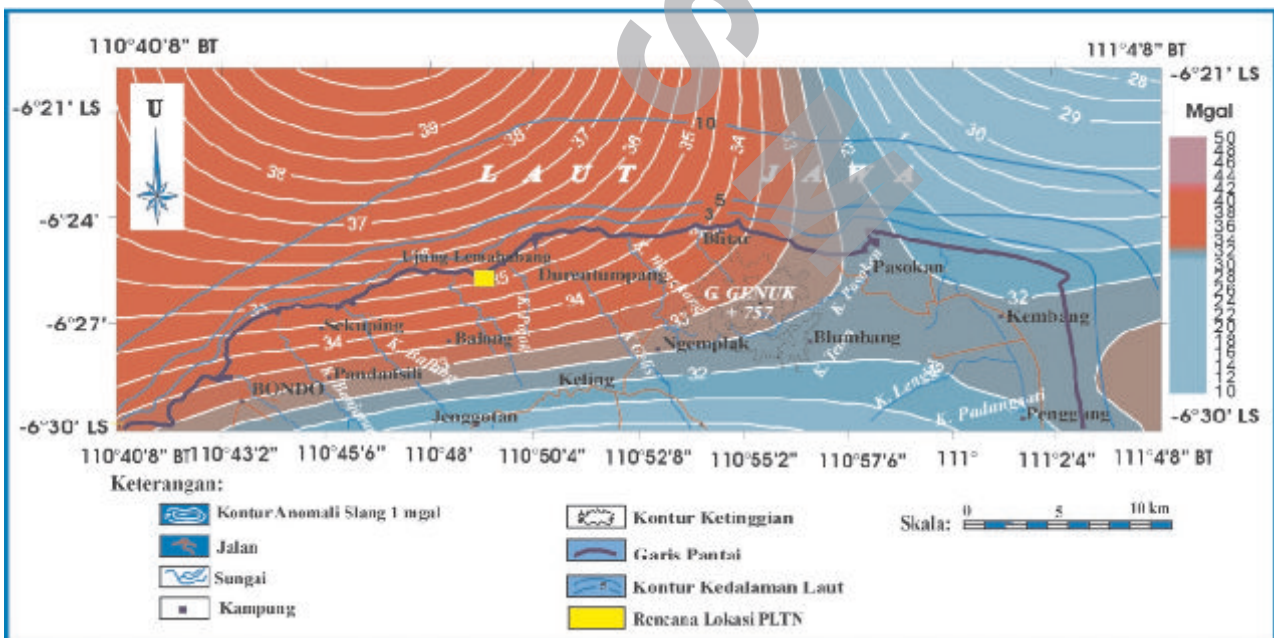
bersumber dari anomali regional sedangkan sumber magma kemungkinan besar berbentuk corong kecil ke arah atas menghasilkan batuan vulkanik mengambang di atas permukaan, dimana fenomena tersebut dapat dilihat pada penampang anomali sisa. (Gambar 8).

Anomali Sisa

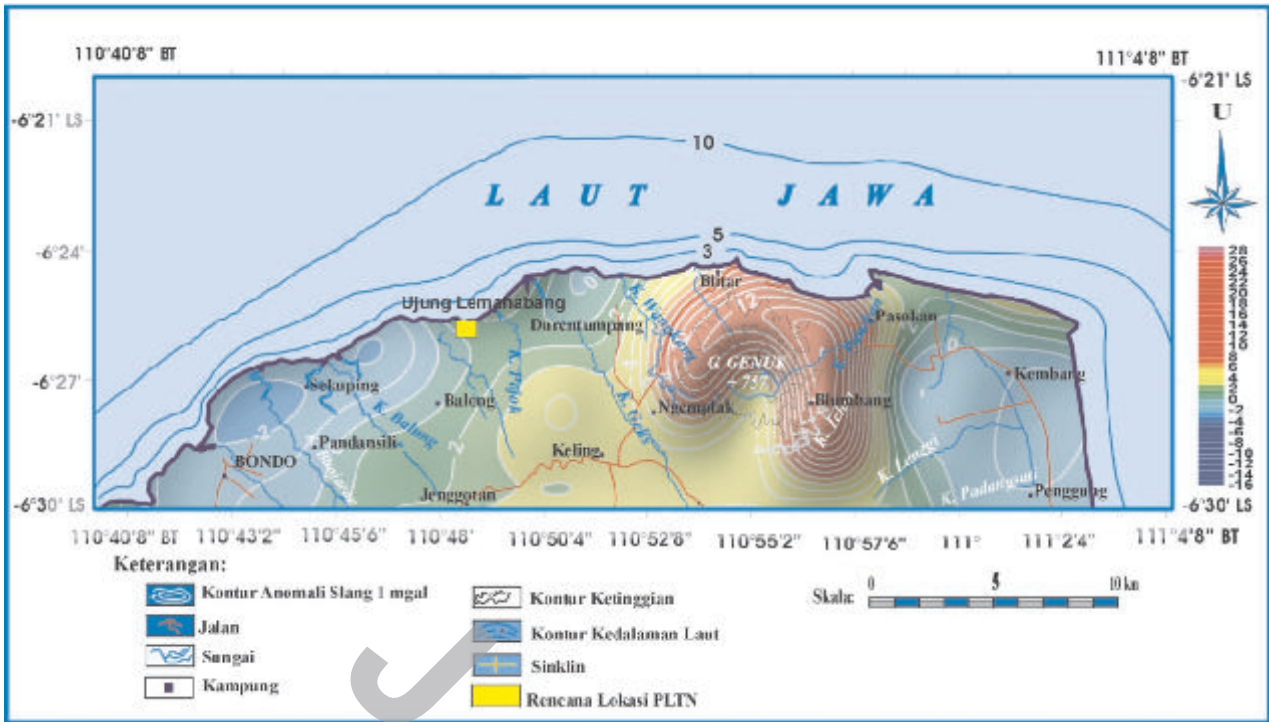
Anomali sisa didapatkan dari pengurangan anomali Bouguer terhadap anomali regional dan merupakan efek anomali lokal saja. Anomali sisa ini diperlukan untuk menganalisis struktur lokal batuan di permukaan. Tampilan anomali sisa (Gambar 6) tampak sederhana, memberi kesan bahwa struktur dan batuan yang terbentuk di daerah ini tidak begitu kompleks. Anomali di Gunung Api Genuk berbentuk bulat hingga 12 mgal menerus ke arah pantai utara (warna merah) bila dikorelasikan dengan peta geologi maka anomali di atas merupakan efek dari batuan vulkanik Gunung Api Genuk. Anomali yang mengecil di luar Gunung Api Genuk hingga 3 mgal (warna kuning) merupakan sebaran batuan sedimen dari Formasi Patiayam yang sebarannya hingga pesisir pantai. Anomali yang lebih kecil (warna biru-hijau) hingga -2 mgal merupakan cerminan dari lapisan atas batuan vulkanik Gunung Api Muria dan terbentuk di daerah sinklin memanjang ke arah utara. Menyikapi rekomendasi IAEA untuk mengetahui korelasi stratigrafi di darat maupun struktur ke arah lepas pantai, dapat dilihat dari peta anomali sisa ke arah lepas pantai (Gambar 7). Sebaran nilai anomali sisa yang hampir sama berkisar 0-2 mgal terbentuk di selatan dan di utara Gunung Api Genuk mencerminkan satuan batuan yang terbentuk tidak jauh berbeda dari susunan batuan di darat maupun di laut, yaitu batuan vulkanik Gunung Api Muria atau Gunung Api Genuk. Anomali sebelah timur mempunyai nilai yang sama dengan anomali di Gunung Api Genuk sebesar 11.5 mgal. Anomali tinggi di lepas pantai ditafsirkan sebagai akibat terbentuknya gunung api yang kemungkinan besar sudah padam menyerupai Gunung Api Genuk atau kemungkinan terdapat rapat massa batuan dari intrusi batuan beku. Tampilan dari ketiga anomali tersebut dapat dilihat pada blok diagram (Gambar 10) yang mengindikasikan perbedaan antara anomali tinggi dan rendah cukup mencolok bernilai antara 11.5 hingga 12 mgal. Dari ciri khas anomalnya daerah tersebut dipisahkan oleh struktur, dimana anomali rendah pada sisi barat dan timur di utara lepas pantai membentuk daerah subsinklin dan graben.



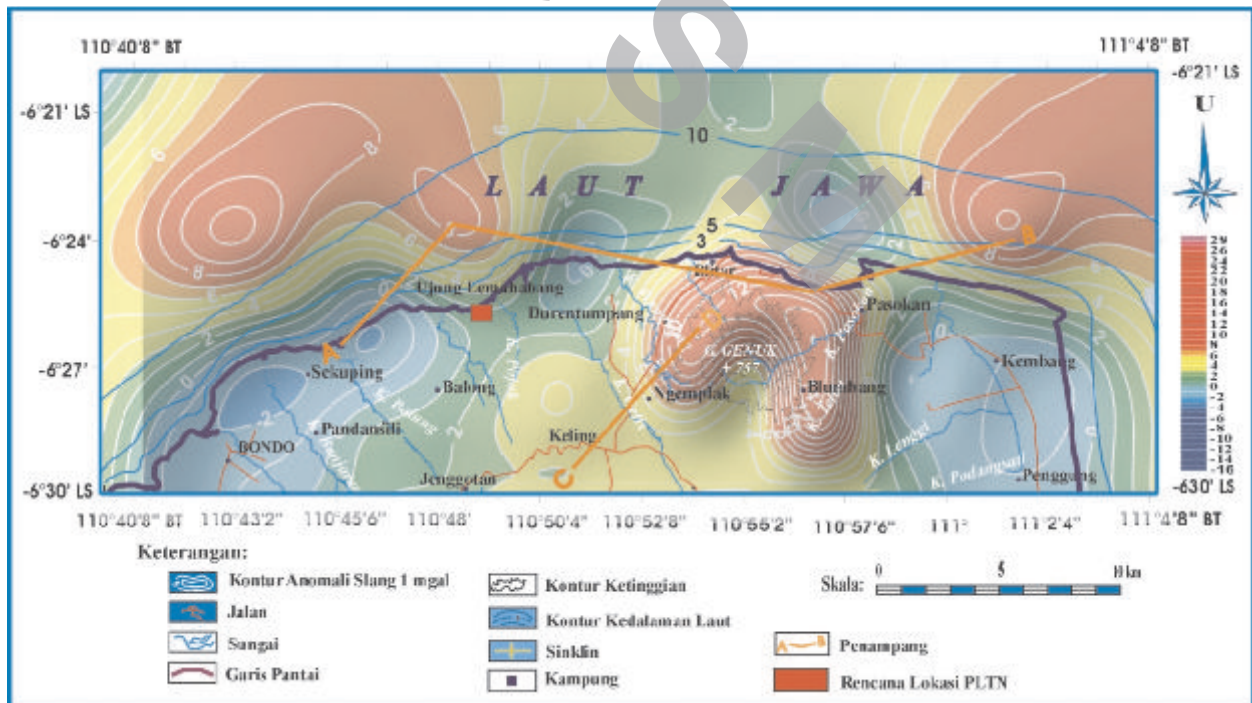
Gambar 4. Peta anomali bouguer memperlihatkan tinggian anomali 47 mgal dibentuk Gunung Api Genuk. Anomali rendah di selatan dan timur membentuk sinklin kelurusan anomali bouguer ke arah timur laut dan barat laut mencerminkan arah struktur regional ke arah tersebut di daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 5. Peta anomali regional memperlihatkan tinggian anomali di utara lepas pantai (warna merah) sedangkan anomali bouguer 47 mgal tidak tampak terbentuk di bawah Gunung Api Genuk. Melainkan justru terbentuk di utara. Anomali lebih rendah terdapat di utara lepas pantai hingga 26 mgal, sehingga tinggian anomali di Gunung Api Genuk terbentuk mengambang di atas permukaan dan diduga magma bersumber dari utara lepas pantai di daerah Gunung Api Genuk, Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 6. Peta anomali sisa memperlihatkan pola anomali hampir sama dengan anomali bouguer. Tinggian anomali hingga 14 mgal dibentuk Gunung Api Genuk dan rendahan anomali sebelah barat dan timur membentuk sinklon di daerah Gunung Api Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 7. Peta image anomali sisa sekitar Gunung Api Genuk hingga lepas pantai memperlihatkan tinggian anomali 14 mgal mencerminkan kubah Gunung Api Genuk dan gunung api di laut sebesar 10 mgal. Rendahan anomali sebelah timur dan barat membentuk sinklin di daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.

Analisis Penampang A - B

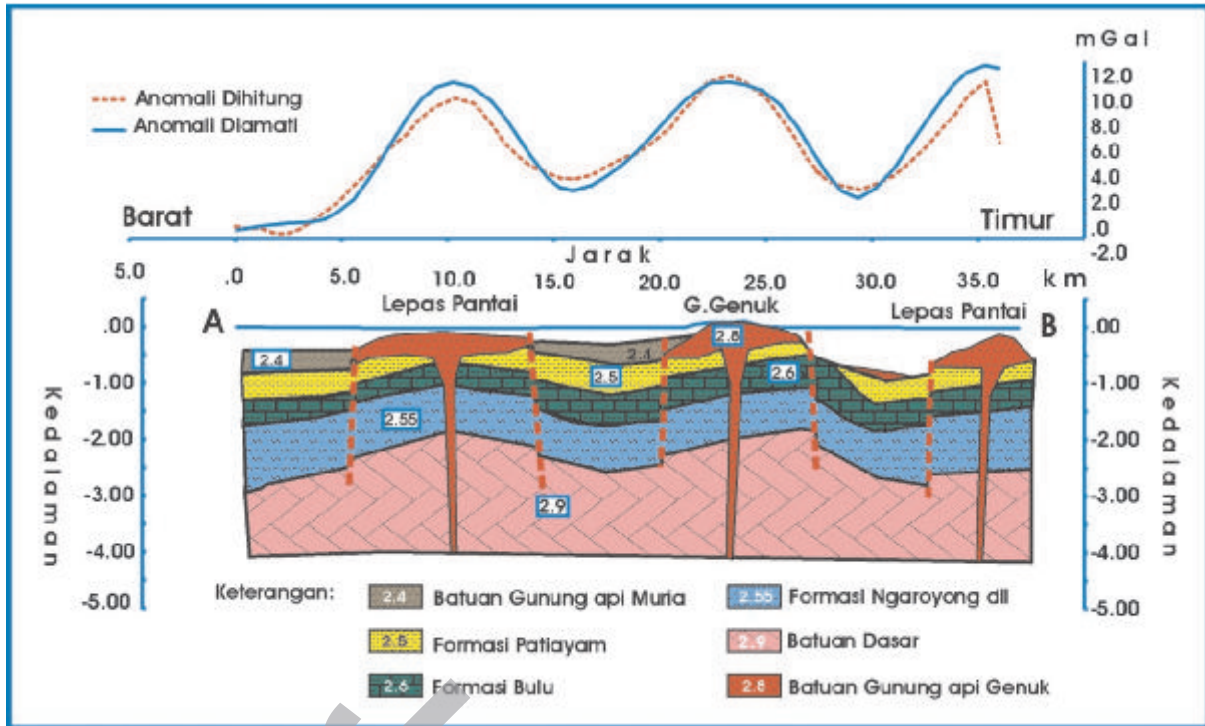
Panjang lintasan penampang berkisar 35 km arah barat-timur (Gambar 8) dimulai dari sinklin Bondo di barat kemudian ke lepas pantai di daerah Lemahabang terus berlanjut ke daerah Gunung Api Genuk dan berakhir di lepas pantai sebelah utara Rembang (Gambar 7). Penentuan rapat massa batuan sebagian diambil dari penelitian gaya berat tahun 1997 di daerah Gunung Api Muria dan sebagian lagi diambil dari literatur dengan cara mengkorelasikan jenis batuan dari satu formasi dengan tabel nilai rapat massa batuan yang telah ada. Secara berurutan dari atas ke bawah lapisan-lapisan batuan dikelompokkan berdasarkan kesamaan rapat massa serta mengkorelasikannya dengan keadaan geologi setempat.

- Lapisan pertama mempunyai rapat massa batuan $2,4 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas batuan Gunung Api Muria berumur Plistosen-Holosen disusun oleh lava, tuf, lahar dan tufa pasir. Sebaran batuan ini sangat luas hingga ke lepas pantai dan menempati sekitar 85 % dari seluruh daerah penelitian. Singkapan batuan ini terbentuk di lapisan paling atas, dengan ketebalan lapisan bervariasi antara 200 - 400 m.
- Lapisan ke dua mempunyai rapat massa $2,5 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas Formasi Patiayam berumur Pliosen, disusun oleh perselingan batupasir tufaan dan konglomerat tufaan dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi. Batuan ini tersingkap hanya di sekitar Gunung Api Genuk dan ke arah selatan Gunung Api Muria menerus hingga ke lepas pantai dengan ketebalan sekitar 300 - 400 m pada kedalaman $\pm 1000 \text{ m}$.
- Lapisan ke tiga mempunyai rapat massa $2,6 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas Formasi Bulu berumur Miosen Akhir, terdiri atas batugamping bersisipan batugamping pasir dan batugamping lempungan. Batuan ini hanya sedikit muncul di sebelah timur Gunung Api Genuk dan diduga tersingkap karena tersesarkan. Singkapan yang sangat luas terdapat di daerah tenggara lembar peta, ketebalan lapisan batuan ini mungkin sekitar 400 - 600 m pada kedalaman $\pm 1600 \text{ m}$.

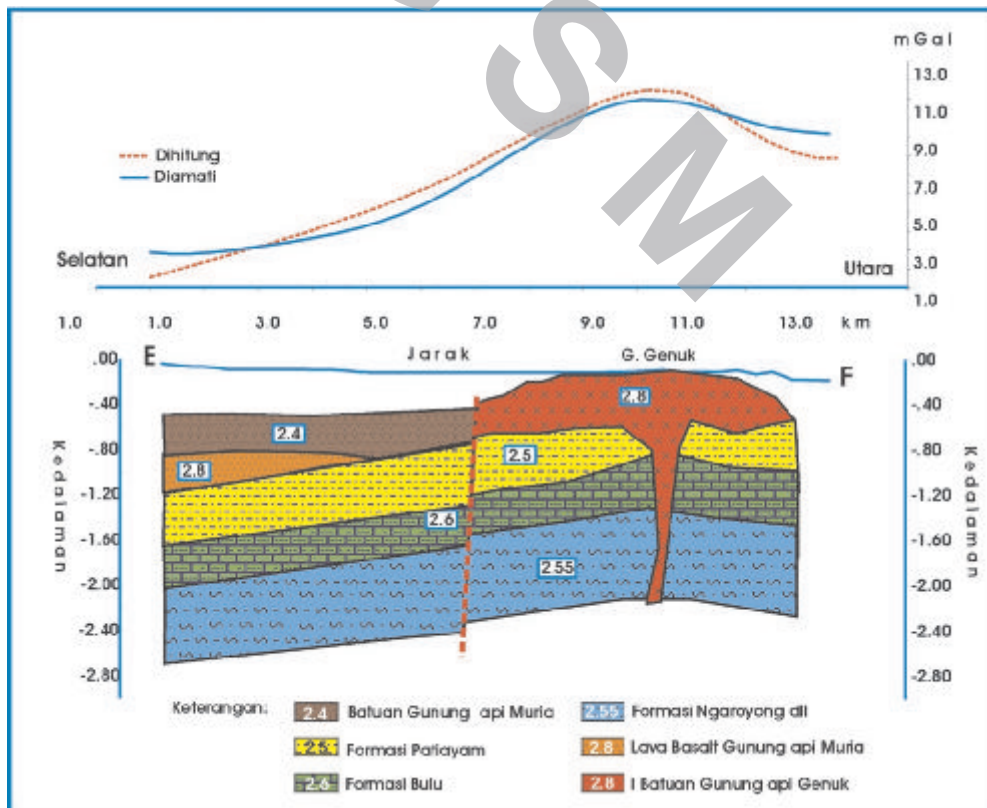
- Lapisan ke empat terdiri atas Formasi Ngaroyong berumur Miosen Tengah mempunyai rapat massa $2,55 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas perselingan napal, batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping pasir dengan lipatan landai antara $10 - 15^\circ$.
- Lapisan ke lima mempunyai rapat massa $2,9 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas batuan metamorf terbentuk antara kedalaman 2500-3000 m sebagai batuan dasar. Kedalaman batuan dasar dapat dibandingkan dengan lintasan seismik di Cekungan Jawa Barat bagian Utara yang umumnya terbentuk pada kedalaman yang hampir sama di bawah batuan vulkanik Jatibarang. Batuan dasar tersebut menerus ke timur, hingga ke Cekungan Jawa Timur dan ke barat hingga ke cekungan minyak bumi di daerah Bekasi Jawa Barat. Batuan dasar tersebut ditandai homogenitas gelombang seismik di lapisan paling bawah, seperti yang dijumpai di daerah Cepu, Rembang Zone dan Randublatung Zone. Di bawah lapisan batuan metamorf mungkin masih terdapat batuan beku berbentuk batolit ataupun dengan bentuk lain.

Analisis Penampang C - D

Panjang lintasan C - D berkisar 13 km arah barat daya - timur laut (Gambar 9), pada umumnya susunan batuan pada penampang ini tidak jauh berbeda dengan penampang A-B. Lapisan paling atas terbentuk di sebelah barat penampang yaitu dengan rapat massa batuan $2,4 \text{ gr/cm}^3$ berumur Plistosen-Holosen terdiri atas tuf, lahar, tufa pasir dengan ketebalan antara 300-400 m. Rapat massa $2,8 \text{ gr/cm}^3$ terdapat di lapisan bawahnya diduga bersumber dari lava Gunung Api Muria. Batuan vulkanik yang terdapat di sekitar Gunung Api Genuk, susunan batuanya sama dengan penampang di atas. Batuan dasar pada penampang tidak dapat dianalisis dengan baik karena panjang lintasan sangat pendek sehingga pemodelan kedalaman maksimum antara anomali dihitung dan diamati hanya berkisar 2 km.



Gambar 8. Penampang A - B daerah Gunung Api Genuk dan lepas pantai memperlihatkan beberapa patahan yang tercermin dari kelurusan anomali sisa dari 2-4 mgal (gambar6). Anomali tinggi di Gunung Api Genuk dan lepas pantai membentuk gunung api, sedangkan anomali rendah membentuk subsinklin lokal yang terkait dengan pematahan bongkah pada batuan dasar hingga ke permukaan daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 9. Penampang C-D memperlihatkan patahan dengan kelurusan anomali 4 mgal pada anomali sisa barat laut - tenggara, patahan inipun tercermin pada citra landsat di Kali Gelis selatan Gunung Api Jepara, Jawa Tengah.

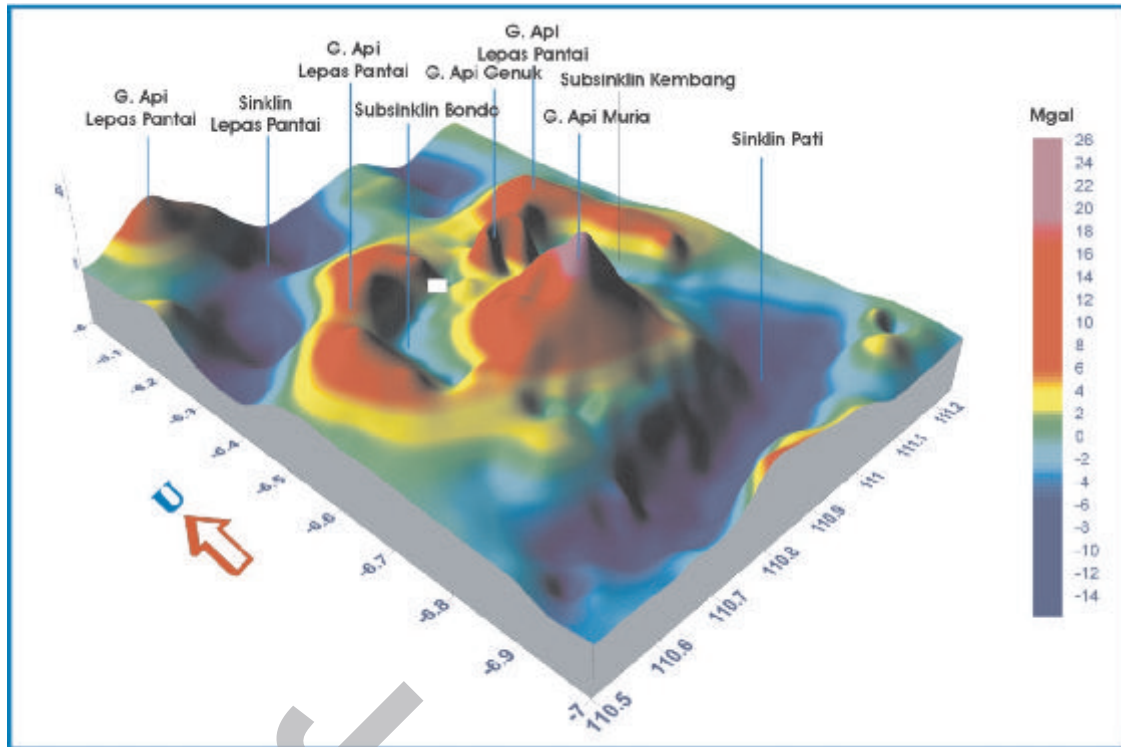
Blok Diagram Tiga Dimensi

Tampilan anomali sisa pada blok diagram sangat baik ditafsirkan oleh ahli vulkanologi untuk menjawab point 14. Gambar 10 memperlihatkan sebaran pola anomali tinggi dan rendah. Anomali tertinggi muncul disekitar Gunung Api Muria mencapai nilai 26 mgal, sedangkan anomali rendah tersebar di daerah lepas pantai utara dan di daerah sebelah selatan Gunung Api Muria yang mencapai nilai -14 mgal. Anomali di daerah Gunung Api Genuk dan di lepas pantai membentuk pola memanjang dan mengerucut seolah-olah membentuk Gunung Api Maars yang pada bagian tengah tumbuh Gunung api Strato. Anomali rendah antara -2 hingga -14 mgal membentuk sinklin yang besar terdapat di lepas pantai, sedangkan sinklin di selatan Gunung Api Muria membentuk Sinklin Pati arah barat daya - timur laut. Dimensi sinklin lebarnya 10 km dan panjang 35 km fenomena sinklin yang besar tersebut juga tampak pada peta geologi Lembar Rembang. Sedangkan subcekungan yang terbentuk di sisi Gunung Api Genuk luasnya berkisar 7 km kali 13 km sehingga sinklin yang terdapat di daerah ini jauh lebih kecil, kemungkinan terbentuk akibat runtuhnya dinding kaldera. Anomali rendah sebelah timur Gunung Api Genuk kemungkinan membentuk subsinklin arah utara-selatan berlawanan dengan arah struktur regional yang terbentuk di daerah ini. Penyebab arah subsinklin tersebut adalah adanya dua fenomena perioda tektonik yang berbeda fase atau kemungkinan robohnya dinding kawah yang besar membentuk subsinklin. Tampilan anomali gaya berat yang terbentuk di daerah ini secara regional sangat jauh berbeda dengan tampilan anomali di daerah sebelah timur Sinklin Pati yaitu daerah Zona Rembang. Arah Struktur antiklin dan sinklin yang terbentuk di Zona Rembang adalah timur-barat dengan sesar-sesar arah barat daya - timur laut yang dikenal sebagai penghasil minyak bumi/gas alam.

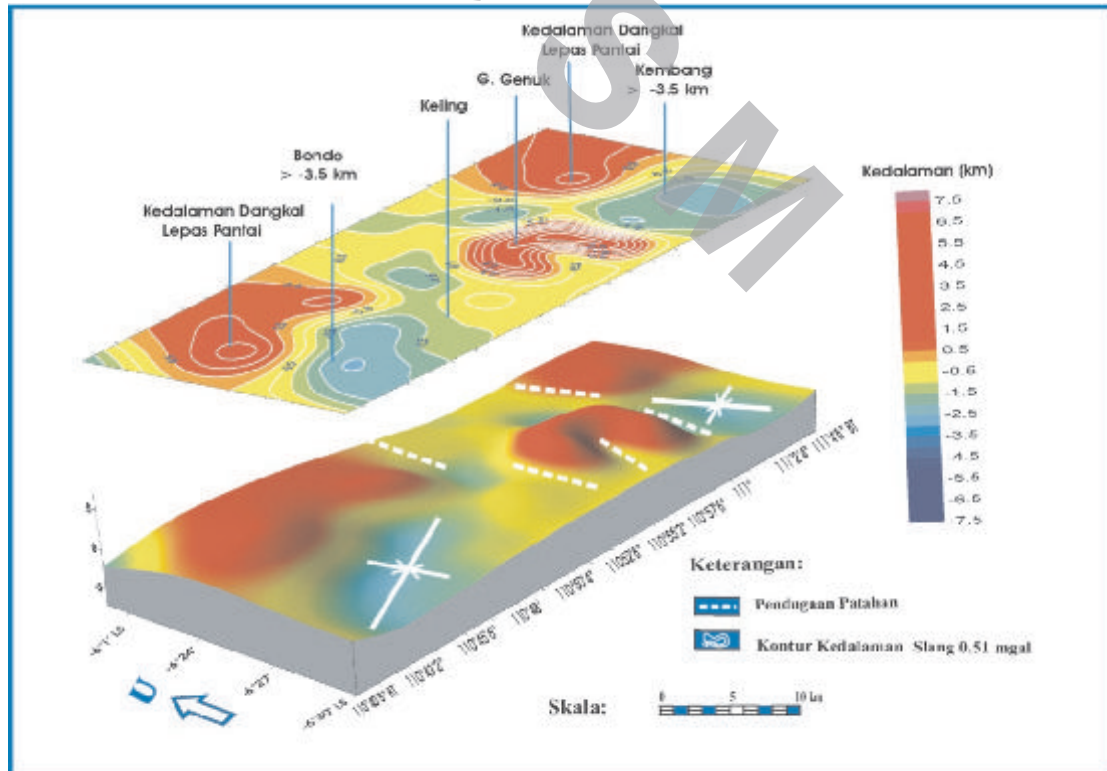
Konfigurasi Batuan Dasar

Bentuk tiga dimensi dari kedalaman batuan dasar dapat dilihat pada (Gambar 11). Kontur kedalaman batuan dasar dibuat berdasarkan kedalaman penampang kemudian di grid kembali. Di sekitar Gunung Api Genuk batuan dasar menunjukkan nilai pada kedalaman 2200 hingga 2900 m dari permukaan. Pada kedalaman tersebut kontur menerus

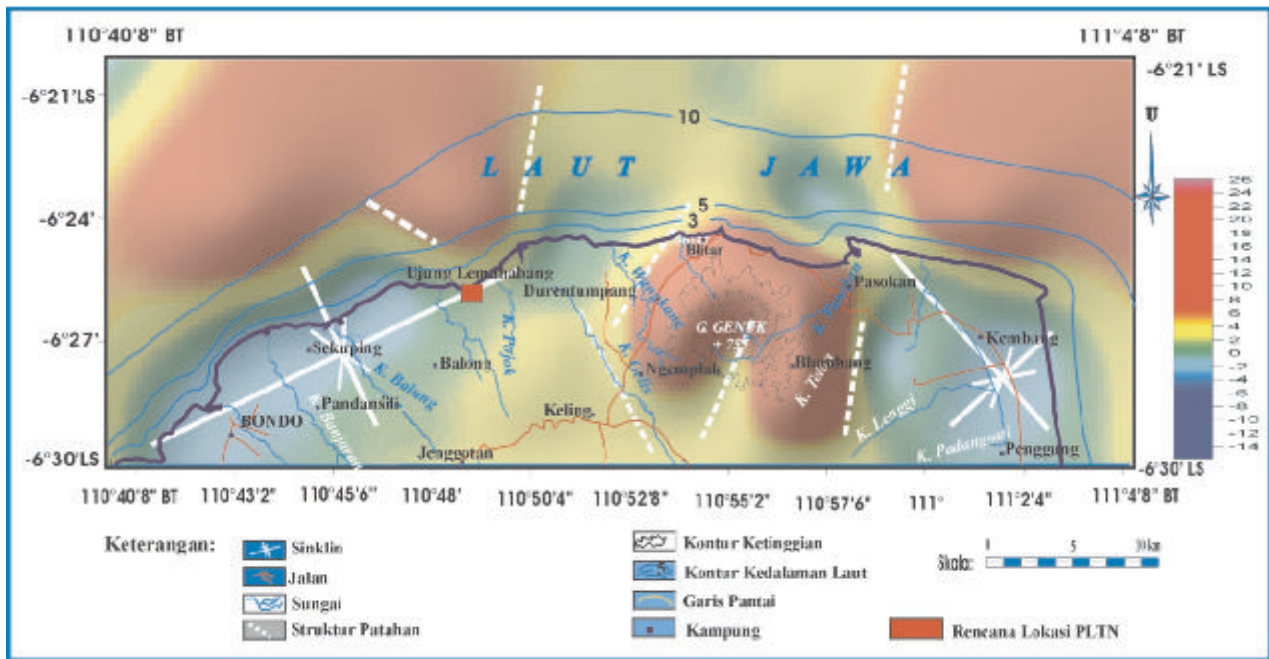
hingga ke gunung api di lepas pantai. Sedangkan di sebelah barat pantai, batuan dasar terbentuk pada kedalaman 2000 hingga 2900 m (warna merah). Kedalaman batuan dasar di daerah sinklin Bondo terbentuk lebih dalam, sedangkan di daerah subsinklin sebelah timur terbentuk pada kedalaman > 3500 m. Pada gambar tersebut patahan diduga membentuk kelurusan-kelurusan ke beberapa arah yang menunjukkan hampir sama dengan kelurusan anomali Bouguer. Beberapa sesar yang terbentuk pada penampang mungkin membentuk sesar mendatar mengangan (Sidarto, dr. 1999) sesar tersebut dicirikan oleh kelurusan anomali sisa. Antara batuan dasar di sebelah barat dengan timur dipisahkan oleh rendahan batuan yang lebih dalam, kemungkinan membentuk subsinklin (warna biru). Pada kedalaman tersebut ada jalur pemisah berupa struktur patahan seperti yang tercermin pada penampang A-B. Kelurusan tiga dimensi identik dengan anomali Bouguer membentuk beberapa patahan menerus hingga ke batuan dasar. Pematahan bongkah pada batuan dasar menyebabkan terjadinya subsinklin dan patahan. Anomali tinggi di daerah ini disebabkan oleh timbunan batuan vulkanik dari lava, breksi dan tuf. Atau akibat pembekuan magma membentuk corong kecil dari pipa kepundan pada akar batuan vulkanik. Batuan dasar terbentuk pada kedalaman antara 2500 - 3000 m diduga terdiri atas batuan metamorf, kemungkinan batuan dasar yang sebenarnya adalah batuan beku dengan rapat massa lebih besar dibanding batuan metamorf. Struktur patahan dan sinklin diduga terbentuk dalam dua kelompok yaitu arah barat daya - timur laut dan barat laut - tenggara menerus hingga ke batuan dasar. Analisis batuan dasar dapat dilihat pada lapisan ke lima yang mempunyai rapat massa $2,9 \text{ gr/cm}^3$ ditafsirkan sebagai batuan metamorf, yang terbentuk antara kedalaman 2500-3000 m. Kedalaman batuan dasar tersebut dapat dibandingkan dengan lintasan seismik di Cekungan Jawa Barat bagian utara di bawah batuan vulkanik Jatibarang hingga ke Cekungan Minyak bumi di daerah Bekasi. Batuan dasar tersebut diduga menerus hingga ke Cekungan Jawa Timur (daerah Cepu, Rembang Zone dan Randublatung Zone) di bawah Formasi Kujung ditandai oleh homogenitas gelombang seismik di lapisan paling bawah.



Gambar 10. Blok diagram tiga dimensi anomali sisa antara 6 – 26 mgal memperlihatkan bentuk Gunung Api Muria, Genuk dan Gunung Api Lepas Pantai. Tampilan anomali tersebut cenderung membentuk Maar atau Kaldera dan pada bagian tengah seolah-olah membentuk Gunung Api Strato. Anomali rendah mencapai -2 - 14 mgal di utara dan selatan Gunung Api Muria membentuk sinklin Pati dan sinklin di lepas pantai sedangkan anomali rendah sebelah barat dan timur Gunung Api Genuk membentuk subsinklin Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 11. Bentuk tiga dimensi batuan dasar dan kontur kedalaman memperlihatkan batuan dasar ke dalam dangkal antara 1.5 - 3 km (warna merah) di daerah Gunung Api Genuk dan lepas pantai. Batuan dasar terdalam > 3 km terbentuk di daerah subcekungan Bonda dan Kembang. Gambar bawah memperlihatkan morfologi batuan dasar mirip dengan anomali sisa yang mencerminkan patahan regional dan sinklin menerus hingga ke batuan dasar daerah Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.



Gambar 12. Peta struktur bayangan tiga dimensi dikorelasikan dengan peta batuan dasar (Gambar 11) memperlihatkan daerah kelurusan anomali mencerminkan sesar regional dan sinklin mempunyai lokasi yang hampir sama sehingga struktur yang terbentuk diakibatkan pematangan bongkah pada batuan dasar (Gambar 9) menerus hingga ke permukaan. Struktur patahan yang terbentuk di darat dan di laut sebanyak lima buah, sinklin dua buah dan secara umum berarah Barat Laut - Tenggara, Barat Daya - Timur Laut Gunung Api Genuk Jepara, Jawa Tengah.

Peta Struktur

Perkembangan struktur dan tektonik maupun sejarah geologi di daerah ini dimulai pada Kala Miosen Tengah, pada saat itu merupakan cekungan laut dangkal yang membentuk Formasi Ngrayong. Cekungan tersebut menerus ke arah timur pada Lembar Rembang dan Salatiga (Kadar, D. dan Sujiono, 1994). Cekungan terangkat lemah oleh orogenesis pada Akhir Miosen sampai Pliosen yang diikuti dengan pengendapan batuan. Kemudian di daerah ini terjadi pengkubahan kecil dan Formasi Patiayam terangkat hingga ke permukaan. Kegiatan Gunung api Kuartar bersumber pada Gunung Api Genuk dan Gunung Api Muria yang menghasilkan batuan vulkanik serta diikuti dengan retas-retas batuan beku setempat. Pemunculan kelompok Gunung Api Genuk dan gunung api di lepas pantai tidak terletak dalam busur gunung api Kuartar Jawa, tetapi terletak di dalam cekungan busur belakang. Menurut Edwards, dr. (1991) batuan kelompok Gunung Api Muria, Gunung Api Genuk, Gunung Api Rahtau saat ini telah padam. Kedalaman Zona Benioff di busur Gunung api Kuartar Jawa berkisar 100-200 km, sedangkan di daerah Gunung Api Muria kedalamannya kurang lebih 400 km (Hamilton, 1979) sehingga pemunculan gunung api ini diduga dikontrol oleh struktur geologi yang dalam.

Pada peta bayangan struktur (Gambar 12) terdapat beberapa patahan regional diantaranya tiga buah sesar di lepas pantai, satu buah arah Baratlaut-Tenggara dan dua buah arah barat daya - timur laut. Sedangkan di darat sekitar Gunung Api Genuk terdapat empat buah sesar, diantaranya tiga buah arah barat daya - timur laut dan satu buah arah barat laut - tenggara. Sesar sejajar Kali Gelis sebelah barat Gunung Api Genuk lokasi dan arahnya hampir sama dengan lokasi patahan hasil analisis dari Citra landsat (Sidarto, dr.1999) sesar lokal juga diduga masih ada terbentuk di daerah ini. Perbedaan antara anomali rendah dan tinggi serta kelurusan-kelurusan anomali oleh sesar, membentuk graben di utara lepas pantai Gunung Api Genuk. Sebaran batuan sedimen dan vulkanik sangat luas hingga ke utara lepas pantai (warna kuning) dibatasi oleh sesar pada kedua sisinya. Daerah subsinklin dicirikan anomali rendah memanjang bernilai -2 mgal, di daerah ini (tepatnya di Balongan Ujung Lemahabang) direncanakan akan didirikan lokasi PLTN. Lokasi tersebut berada pada jalur subsinklin yang lebih dangkal dengan nilai anomali sisa 2 mgal dengan kedalaman 3400 m. Di daerah Grogolan sebelah timur juga terdapat subsinklin memanjang ke arah utara yang memisahkan anomali tinggi Gunung Api Genuk dengan anomali tinggi sebelah timur lepas pantai yang dipisahkan oleh sesar mendatar. Struktur sesar

yang terbentuk di darat pada umumnya tidak menerus ke laut dan panjang sesar berkisar 5 km kecuali sesar di Kali Gelis sekitar 7 km. Pola struktur yang terbentuk di daerah ini dikenal sebagai Tinggian Muria, secara umum Sinklin Pati dan sinklin di Lepas pantai dibentuk oleh gaya-gaya perlipatan arah barat laut - tenggara yang membentuk sinklin barat daya - timur laut. Tektonik di daerah ini sangat berbeda dengan tektonik sebelah timur lembar peta pada Zona Rembang. Dimana bentuk antiklin dan sinklin hampir berarah timur - barat. Demikian juga sesar-sesar yang terbentuk umumnya berarah barat daya - timur laut sesuai dengan arah tektonik regional Pulau Jawa akibat adanya subduksi di selatan Laut Jawa. Tektonik yang berkembang di daerah ini tidak begitu kuat, terbukti dari Formasi Ngaroyong berumur Miosen kemiringannya hanya sekitar 10° - 15° . Hal tersebut bisa dilihat pada penampang anomali sisa, bahwa kemiringan batuan sedimen relatif landai. Adanya anomali tinggi yang terbentuk pada penampang diduga tidak diakibatkan oleh perlipatan batuan yang kuat, tetapi semata-mata disebabkan oleh pengaruh batuan vulkanik dan lava yang mengambang lalu membeku di atas permukaan (lihat gambar 8-9).

KESIMPULAN

Anomali Bouguer di daerah penelitian mempunyai nilai dari 10 mgal hingga 42 mgal, dikorelasikan dengan geologi setempat dapat di bedakan menjadi:

- Anomali gaya berat tinggi dengan nilai sekitar 37 mgal hingga 43 mgal ditafsirkan sebagai tinggian batuan vulkanik Kuartar.
- Anomali gaya berat rendah 10 hingga 37 mgal diperkirakan sebagai cerminan subsinklin dari batuan sedimen.
- Anomali sisa hingga 14 mgal terbentuk melingkar pada Gunung Api Genuk, sedangkan anomali yang sama juga didapatkan di lepas pantai sebelah barat dan timur. Anomali tinggi tersebut diduga bagian dari gunung api sejenis dengan Gunung Api Genuk hanya saja tidak tampak di permukaan karena tergenang oleh air laut.
- Dapur magma di Gunung Api Genuk di duga miring ke selatan dan massa anomali tinggi bersumber dari utara lepas pantai. Kenampakan anomali regional (Gambar 4) hingga 40 mgal tidak tampak di bawah Gunung

Api Genuk, melainkan anomali tinggi tersebut justru terbentuk memanjang arah Barat-Timur di lepas pantai. Cerminan dari penampang anomali tinggi adalah bersifat lokal dan bukan diakibatkan oleh pembekuan magma yang besar di bawah permukaan. Pembekuan magma pada pipa kepundan relatif kecil dan mengambang di atas permukaan bersama-sama batuan vulkanik.

- Batuan dasar terbentuk pada kedalaman antara 2500 - 3000 m diduga terdiri atas batuan metamorf, kemungkinan batuan dasar yang sebenarnya adalah batuan beku dengan rapat massa yang lebih besar di bawah batuan metamorf. Struktur patahan dan sinklin terbentuk dalam dua kelompok yaitu arah barat daya - timur laut dan barat laut - tenggara menerus hingga ke batuan dasar. Analisis batuan dasar dapat dilihat pada penampang (Gambar 8) lapisan ke lima yang mempunyai rapat massa $2,9 \text{ gr/cm}^3$ diduga terdiri atas batuan metamorf, terbentuk antara kedalaman 2500 - 3000 m. Kedalaman batuan dasar tersebut dapat dibandingkan dengan lintasan seismik di Cekungan Jawa Barat bagian Uura di bawah batuan vulkanik Jatibarang hingga ke Cekungan Minyak bumi di daerah Bekasi. Ciri khas batuan dasar tersebut adalah sama hingga ke Cekungan Jawa Timur daerah Cepu, Zona Rembang dan Zona Randublatung di bawah Formasi Kujung. Umumnya batuan dasar ditandai oleh homogenitas gelombang seismik di lapisan paling bawah.

Dari pemodelan Kuantitatif dari penampang diperoleh hasil sebagai berikut:

- Lapisan pertama mempunyai rapat massa batuan $2,4 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas batuan Gunung Api Muria yang berumur Plistosen-Holosen disusun oleh lava, tuf, lahar dan tufa pasir.
- Lapisan ke dua mempunyai rapat massa batuan $2,6 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas Formasi Patiyam berumur Pliosen, disusun oleh perselingan batupasir tufaan dan konglomerat tufaan, dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi.
- Lapisan ke tiga mempunyai rapat massa $2,5 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas Formasi Bulu berumur Miosen Akhir, terdiri atas batugamping bersisipan batugamping pasir dan batugamping lempungan.

- Lapisan ke empat terdiri atas Formasi Ngaroyong berumur Miosen Tengah mempunyai rapat massa $2,55 \text{ gr/cm}^3$ terdiri atas perselingan napal, batupasir dan batulempung, dengan sisipan batugamping pasiran dengan kemiringan lapisan sekitar $10 - 15^\circ$.
- Lapisan ke lima mempunyai rapat massa $2,9 \text{ gr/cm}^3$ diduga terdiri atas batuan metamorf yang terbentuk antara kedalaman 2500 - 3000 m.

Sesuai dengan butir-butir rekomendasi IAEA 1997 - 2002, penyelidikan ini memberikan hasil sebagai berikut:

- Butir 14. Interpretasi geofisika untuk vulkanologi membentuk sebuah model yang *reliable* adalah: Pola anomali sisa lepas pantai. Gunung Api Genuk membentuk anomali tinggi hingga 26 mgal, yang diduga membentuk gunung api yang terendam di bawah muka air laut. Sumber anomali tinggi di Gunung Api Genuk diduga berasal dari anomali di utara lepas pantai, sehingga ditafsirkan sumber magma Gunung Api Genuk berasal dari anomali tinggi di lepas pantai dengan retas miring ke selatan. Batuan vulkanik terbentuk mengambang di atas permukaan menghasilkan anomali tinggi membulat.
- Butir 20. Integrasi data daratan dan lepas pantai dengan korelasi stratigrafi dan struktur dengan penggabungan data gaya berat darat dan laut adalah: Sebaran anomali sisa hingga ke lepas pantai berkisar antara 2 hingga -2 mgal (warna kuning, hijau) dibentuk oleh batuan sedimen laut dan batuan vulkanik Gunung Api Muria di daerah subsinklin. Anomali yang berharga antara 10 hingga 14 mgal di lepas pantai dan di daerah Gunung Api Genuk disebabkan oleh pembekuan kubah lava dari gunung api. Struktur yang terdapat di utara lepas pantai adalah dua buah patahan arah barat daya - timur laut membentuk graben (warna kuning) dibatasi oleh patahan pada sisi anomali tinggi sebelah barat dan timur.
- Butir 21. Kompilasi data tapak dan sekitarnya serta ketidak-adaan bahaya geologi di tapak seperti patahan permukaan dan lain-lain adalah: Rencana tapak di Ujung Lemahabang desa Balong adalah terbebas dari patahan yang memotong daerah tersebut, dua buah patahan dari arah laut bila ditarik garis lurus panjang patahannya tidak mencapai daerah tapak, demikian juga patahan dari arah darat. Pengukuran GPS perlu dilakukan di daerah subsinklin untuk memperkirakan apakah daerah tersebut aktif (mengalami penurunan).
- Butir 23. Peninjauan ulang NEWJEC dan NTT yang menyebutkan radius 5 kilometer dari tapak tidak ada *capable fault*. Pada radius 5 km dari tapak memang tidak ditemukan patahan karena patahan dari arah laut dan darat tidak menerus ke daerah tapak.
- Butir 24. Analisa tentang kemungkinan tidak terdeteksinya patahan pada radius 5 km ke arah laut adalah: Patahan yang terbentuk hingga batas 5 km ke arah laut dapat terlihat dengan jelas pada peta struktur. Patahan yang terbentuk berjumlah tiga buah di lepas pantai dan tidak terindikasi menerus hingga ke tapak.
- Butir 27. Koreksi minor table-2 NTT tentang patahan radius 25 km sebelum dimasukkan ke dalam model seismotektonik adalah: Patahan pada radius 25 km dari tapak terdapat lima buah yaitu dua buah patahan di lepas pantai, tiga buah patahan di sebelah barat dan beberapa patahan di sebelah timur jaraknya melebihi 25 km dari tapak.
- Butir 28. Penambahan bahasan patahan laporan final NTT mengenai patahan lepas pantai radius 25 km. Poin 28 hampir sama dengan jawaban poin 27.
- Butir 30. *Possible extension* patahan U-S hingga 5 km ke lepas pantai semenanjung Muria. Satu buah patahan sebelah barat G. Genuk arah barat daya - timur laut menerus ke arah pantai berkisar tiga kilometer, jaraknya dengan tapak di atas lima km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pimpinan Pusat Survei Geologi, tim editor Drs Indra Budiman M.Sc PSG dan Dr. Hendra Grandis Teknik Geofisika ITB, dewan redaksi serta semua pihak yang telah membantu hingga karya tulis ini dipublikasikan. Penulis menyadari atas kekurangannya, namun kedepan akan terus berusaha untuk memperbaikinya.

ACUAN

- Edwards, C. Menzies, M. dan Thirlwall. 1991. Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas, *Journal of Petrology*, 32 (1) : 555-592, Oxford University Press.
- Hamilton, W. 1979. *Tectonic of Indonesian Region*, Geo. Survey. Prof. Paper, U.S. Govt. Print. Office, Washington D.C.
- Kadar, D. dan Sujiono. 1994. *Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa, Skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Sukardi, T. dan Wikarno, R. 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa Tengah Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sukardi, T. dan Budhitrisona, T. 1984. *Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa Tengah, Skala 1 : 100.000*, Laporan Terbuka. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Sidarto, Suriono, dan Sanyoto, P. 1999. Sistem Sesar Pengontrol Pemunculan Kelompok Gunung Api Muria Hasil Penafsiran Citra Landsat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral Bandung*.

Naskah diterima : 19 Agustus 2008
Revisi terakhir : 13 Januari 2009