

# **Lekukan Struktur Jawa Tengah : Suatu Segmentasi Sesar Mendatar**

**Awang H. Satyana**

*Eksplorasi Pertamina MPS (Manajemen Production Sharing), Jakarta*

**Margaretha E.M. Purwaningsih**

*Departemen Geologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

## **ABSTRAK**

Garis pantai utara dan selatan Jawa Tengah menyempit masuk lebih ke dalam membentuk lekukan (indentasi) dibandingkan dengan garis pantai utara dan selatan Jawa Barat dan Jawa Timur. Hal ini telah mengundang keingintahuan tentang asal gejala geologi ini dan akibat yang telah ditimbulkannya.

Pemeriksaan data geologi yang meliputi data gayaberat, geologi permukaan, citra satelit, dan seismik didukung analisis struktur dan tektonik regional menggiring ke pendapat bahwa sepasang sesar mendatar besar yang saling berlawanan arah dan gerak pergeserannya telah berperan penting atas pembentukan gejala geologi ini.

Kedua sesar mendatar tersebut diperkirakan mewakili dua arah elemen tektonik Paleogen Indonesia Barat yaitu arah Sumatra (baratlaut – tenggara) dan arah Meratus (baratdaya – timurlaut). Kedua sesar besar tersebut bertemu di Jawa Tengah dan telah menyebabkan perubahan geologi yang berarti. Lekukan barat garis pantai Jawa Tengah di sekitar Cirebon ke arah baratlaut dipikirkan sebagai akibat sesar mendatar dekstral Pamanukan – Cilacap yang berarah baratlaut – tenggara. Lekukan timur garis pantai Jawa Tengah di sekitar Semarang ke arah timurlaut dipikirkan sebagai akibat sesar mendatar sinistral Muria – Kebumen yang berarah baratdaya – timurlaut.

Kedua sesar besar tersebut telah menimbulkan pembubungan isostatik akibat massa kerak Bumi yang terdorong dan tersempitkan menuju bagian selatan Jawa Tengah. Di kawasan Cilacap - Kebumen, telah terjadi pembubungan maksimum akibat penguncian tektonik oleh bertemunya dua sesar besar itu di sebelah selatan Nusa Kambangan. Kompensasi isostatik atas pembubungan ini terjadi di bagian utara Jawa Tengah dengan tenggelamnya kerak batuan di kawasan ini. Gejala tektonik ini dipikirkan telah menyebabkan lekukan garis pantai utara dan selatan Jawa Tengah, penyingkapan kompleks batuandasar Lok Ulo – Karangsembung di sebelah utara Kebumen, penenggelaman kerak utara Jawa Tengah, dan terputusnya Jalur Pegunungan Selatan di bagian selatan Jawa Tengah. *tektonik Jawa Tengah*

## ABSTRACT

Present coastlines of northern and southern Central Java indent significantly forming structural re-entrants compared to those of West Java and East Java. This has inspired a consideration on the origin of the indentation and its implications.

Examination on the available data comprising gravity, surface geology, landsat imageries, and seismic supported by structural analysis and regional tectonics leads to the thought that the presence of two major wrench faults with opposing trends and slips had been responsible for the structural indentation of Central Java.

The two wrench zones are considered to represent the two Paleogene tectonic elements of major shears in western Indonesia namely the Sumatran Trend directing northwest – southeast and the Meratus Trend directing southwest – northeast. These two faults met in Central Java and caused a significant geologic change. The western coastal indentation of Central Java around Cirebon to the northwest relates with the major Pamanukan – Cilacap dextral wrench fault trending northwest – southeast. The eastern indentation around Semarang to the northeast is considered to relate with the Muria – Kebumen sinistral wrench fault trending southwest - northeast.

The two faults had resulted in isostatic uplift of the area flanked by the faults to compensate the pushed and indented crustal mass of the dragged northern Central Java. The uplift was stronger more to the south as the two faults came closer and eventually reached their maximum uplift in the area of Cilacap – Kebumen where the two faults crossed to each other to the south of Nusa Kambangan. This juxtaposition had formed a tectonic locked area resulting in maximum uplift considered to have influenced the structural indentation of northern and southern coastlines of Central Java, exposure of the basement complex of Lok Ulo – Karang Sambung area to the north of Kebumen, isostatic subsidence of the northern Central Java, and the disappearance of the Southern Mountains to the south of Central Java. *tectonics of Central Java*

## PENDAHULUAN

Setiap orang tahu bahwa garis pantai utara dan selatan Jawa Tengah menyempit masuk lebih ke dalam membentuk lekukan/ indentasi dibandingkan dengan garis pantai Jawa Barat dan Jawa Timur (*gambar 1, 3*). Meskipun demikian, tidak ada satu pun penelitian lebih lanjut untuk memahami hal ini sejak Situmorang dkk (1976) dua puluh enam tahun yang lalu menyatakan bahwa lekukan garis pantai ini mungkin merupakan akibat struktur sesar mendatar.

Anomali garis pantai ini juga kelihatannya berhubungan dengan penyingkapan batuan tertua di Pulau Jawa yaitu kompleks batuan bancuh/ *melange* Lok Ulo-Karangsambung dan hilangnya fisiografi jalur Pegunungan Selatan di lekukan selatan Jawa Tengah. Berhubungan dengan hal-hal tersebut, posisi tektonik Jawa Tengah sebagai daerah paling depan (*frontal*) terhadap interaksi antar lempeng menjadi menarik untuk dipelajari.

Makalah ini meringkas hasil penelitian para penulis terhadap masalah-masalah di atas meliputi : (1) evaluasi regional tektonik dan struktur Pulau Jawa, (2) pemeriksaan keberadaan sesar mendatar besar pengapit lekukan Jawa Tengah berdasarkan data geologi permukaan, gayaberat, citra satelit, dan seismik, (3) analisis struktur sesar mendatar di Pulau Jawa dan struktur-struktur ikutannya, dan (4) implikasi geologi yang ditimbulkannya.

## **KERANGKA TEKTONIK DAN STRUKTUR PULAU JAWA**

Pulau Jawa menempati posisi tepi aktif interaksi lempeng-lempeng antara Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Hindia yang saling beradu sejak Kapur Akhir (*gambar 2*). Elemen tektonik utama sebagai akibat interaksi Lempeng Eurasia dan Hindia adalah jalur subduksi, jalur magmatik-vulkanik, jalur kerak akresi, dan cekungan belakang dan depan busur vulkanik Akibatnya, Pulau Jawa disusun oleh gabungan antara kerak benua Eurasia (sebagian besar Jawa Barat dan Jawa Tengah bagian utara), kerak hasil akresi antara dua lempeng (bagian selatan Jawa Barat dan Jawa Tengah, dan hampir seluruh bagian Jawa Timur), batuan beku magmatik dan vulkanik Jalur Gunungapi Jawa dan seluruh batuan sedimen yang berasal dari padanya. Dalam hal ini posisi Jawa Tengah menjadi unik karena wilayah ini menempati daerah transisi antara kerak benua dan kerak akresi.

Pola struktur Pulau Jawa telah banyak diteliti berdasarkan banyak data (geologi permukaan, gayaberat, magnetik, foto udara, citra satelit dan radar, seismik, sumur bor). Pulunggono dan Martodjojo (1994) menyebutkan bahwa terdapat tiga arah dominan pola struktur di Pulau Jawa yang disebut : (1) Arah Meratus (baratdaya-timurlaut), (2) Arah Sunda (utara-selatan), dan (3) Arah Jawa (barat-timur). Penafsiran data gayaberat (Untung, 1974; 1977; Untung dan Wiriosudarmo, 1975; Untung dan Hasegawa, 1975; Untung dan Sato, 1978) menyimpulkan bahwa terdapat arah lain di luar ketiga arah ini, yaitu Arah Sumatra (baratlaut-tenggara) (*gambar 3, 4*). Keberadaan struktur-struktur Arah Sumatra ini juga dibuktikan oleh data seismik di cekungan sedimen Jawa Baratlaut (Pramono dkk., 1990; Gresko dkk., 1995; Ryacudu dan Bachtiar, 2000). Struktur-struktur Arah Sumatra ini terutama terdapat di Jawa Barat dan menghilang di sebelah timur Jawa Tengah. Hal yang sebaliknya berlaku untuk struktur-struktur Arah Meratus yang sangat dominan di Laut Jawa sebelah utara Jawa Timur (Satyana dan Darwis, 2001) dan makin menghilang ke sebelah barat Jawa Tengah. Umur pembentukan keempat arah struktur ini dari tua ke muda adalah berturut-turut : Arah Meratus (Kapur Akhir) yang segera disusul Arah Sumatra (Kapur Akhir-Paleosen), Arah Sunda (Eosen-Oligosen Akhir), dan Arah Jawa (sejak Miosen Awal). Struktur-struktur Arah Meratus, Sumatra, dan Sunda umumnya berupa sesar normal dan sesar mendatar; sedangkan struktur Arah Jawa berupa jalur lipatan dan sesar naik.

Berdasarkan konsep struktur sesar mendatar (*wrench tectonism*) Moody dan Hill (1956) yang diterapkan terhadap aspek tektonik lempeng Pulau Jawa, Situmorang dkk. (1976) menyatakan bahwa kompresi utara-selatan oleh subduksi Lempeng Hindia telah menyebabkan terbentuknya struktur-struktur di Pulau Jawa yang semuanya dapat dikaitkan dengan proses pembentukan tektonik sesar mendatar. Keempat arah struktur dominan seperti diterangkan sebelumnya adalah ordo-ordo I – III tektonik sesar mendatar.

## **KEUNIKAN GEOLOGI JAWA TENGAH**

Dari uraian regional, cukup jelas bahwa Jawa Tengah menempati posisi penting dalam geologi Indonesia Barat karena wilayah ini menempati daerah *frontal* pada peralihan kerak penyusun batuan dasar maupun pola struktur (*gambar 2, 3*). Akibat posisi tektoniknya, di Jawa Tengah telah terjadi : (1) peralihan sifat batuan dasar dari kerak

benua granitik di Jawa Barat ke kerak akresi metasedimen di Jawa Timur, (2) pertemuan dua arah struktur besar di Indonesia Barat antara Arah Sumatra dan Arah Meratus, (3) penyingkapan batuan tertua di Pulau Jawa berumur Kapur Akhir berupa kompleks batuan bancuh/ *melange*, (4) hilangnya jalur Pegunungan Selatan yang semula menerus di bagian selatan Jawa Barat dan Jawa Timur, dan (5) lekukan/indentasi garis pantai yang mungkin berhubungan dengan gejala struktur akibat segmentasi sesar mendatar.

## **LEKUKAN GARISPANTAI JAWA TENGAH**

Garis pantai Jawa Tengah, baik di sebelah selatan dan terutama di sebelah utara, melekuk cukup jauh ke sebelah dalam (daratan) bila dibandingkan dengan garis pantai Jawa Barat dan Jawa Timur (*gambar 3*). Lekukan garis pantai yang sangat menonjol terdapat di wilayah antara Cirebon dan Semarang. Di sebelah selatan, lekukan garis pantai cukup dapat terlihat antara Teluk Pananjung Pangandaran dan Parangtritis Yogyakarta.

Pantai utara Pulau Jawa ditutupi oleh dataran aluvium sungai dan pantai. Di sebelah barat Cirebon, dataran sedimen Resen ini membuat jalur yang cukup lebar, begitu juga keadaannya di sebelah timur Semarang, tetapi menyempit di bagian utara Jawa Tengah. Garis pantai yang melebar di sebelah barat laut Cirebon antara lain disebabkan oleh pertumbuhan sedimentasi Delta Sungai Cimanuk, sedangkan Jazirah Muria di sebelah timur Semarang tumbuh oleh proses sedimentasi Resen antara Kudus dan Gunung Muria. Dengan demikian, lekukan garis pantai utara Jawa Tengah seolah-olah terlihat sebagai akibat proses kurangnya sedimentasi Resen di wilayah ini atau akibat Laut Jawa yang membentuk teluk besar di daerah lekukan (van Bemmelen, 1949). Benarkah demikian, atau ada proses geologi bawah permukaan yang menyebabkannya ?

Di sebelah selatan Jawa Tengah, fisiografi Jalur Pegunungan Selatan menghilang tepat di daerah lekukan antara Pangandaran – Parangtritis (*gambar 3*) dan tempatnya digantikan oleh daerah depresi yang diisi oleh morfologi kubah dan punggung (van Bemmelen, 1949). Di depresi ini pula tersingkap batuan tertua di Pulau Jawa, yaitu kompleks batuan bancuh (*melange*) Lok Ulo-Karangsambung yang berumur Kapur Akhir-Paleosen. Lenyapnya Pegunungan Selatan di daerah lekukan ini disebabkan penenggelaman pegunungan itu di bawah permukaan laut antara Nusa Kambangan dan muara Sungai Opak di Parangtritis (van Bemmelen, 1949).

## **SINGKAPAN KOMPLEKS BATUANDASAR**

Daerah Lok Ulo – Karangsambung (*gambar 3*) di sebelah utara Kebumen di bagian selatan Jawa Tengah sangat terkenal di dunia geologi Indonesia sebagai salah satu tempat penyingkapan kompleks batuan “fosil” subduksi Kapur Akhir di Indonesia Barat. Daerah ini telah sangat intensif dipelajari sejak zaman Junghuhn hampir 150 tahun yang lalu (1854) sampai saat ini. Daerah Lok Ulo-Karangsambung telah menjadi laboratorium geologi alam tempat pelatihan dan penelitian para mahasiswa dan ahli geologi.

Daerah Lok Ulo mempunyai susunan litologi yang bervariasi dengan struktur geologi yang rumit (Asikin, 1974; Harsolumakso, 2000). Satuan batuan tertua adalah *melange*

Lok Ulo. Satuan stratigrafi tektonik ini terdiri atas fragmen-fragmen batuan yang terkeping dalam massa dasar serpih dan lempung hitam, berumur Kapur Akhir-Paleosen. Fragmen-fragmen asing (alokton) terdiri atas sekis hijau-biru, rijang dan batugamping merah, serpentinit, amfibolit, gabro, peridotit, dasit, basal, dan lava bantal. Fragmen-fragmen asli (autokton) terdiri atas batupasir grauwacke turbiditik. Kumpulan batuan tersebut dianggap sebagai kompleks batuan bancuh/ *melange* karena jelas merupakan suatu percampuran secara tektonik yang melibatkan batuan-batuan asal kerak samudera dan benua (Asikin, 1974).

Di atas kompleks *melange* ini berturut-turut terdapat Formasi Karangsambung (konglomerat polimik dan lempung menyisik, dianggap sebagai olistostrom berumur Eosen Tengah-Eosen Akhir), Formasi Totogan (lempung breksi polimik, dianggap sebagai olistostrom berumur Oligosen Awal), Formasi Waturanda (breksi dan batupasir vulkanik turbiditik berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal), dan Formasi Penosogan (batupasir dan batulempung vulkanik karbonatan turbiditik berumur Miosen Tengah) (umur-umur formasi berdasarkan komunikasi tertulis dengan perusahaan minyak Coparex Banyumas B.V., 2002).

Struktur geologi daerah Lok Ulo-Karangsambung terbentuk akibat tektonisasi Kapur Akhir-Paleosen dan orogenesis Tersier. Struktur-struktur geologi seperti lipatan, kekar, dan sesar-sesar di daerah Karangsambung mempunyai dua arah umum, yaitu hampir baratdaya-timurlaut (Arah Meratus) untuk struktur-struktur pra-Tersier, dan barat-timur (Arah Jawa) untuk poros-poros lipatan (Bahagiarti K. dan Murwanto, 1994).

Tektogenesis kompleks bancuh Lok Ulo-Karangsambung terbagi menjadi dua pemikiran yaitu merupakan kompleks *melange* atau kompleks olistostrom. Pengungkapan kebenaran dua pendapat ini telah didekati berdasarkan petrologi dan struktur geologi. Bahagiarti K. dan Murwanto (1994) mendekati masalah ini berdasarkan analisis pengukuran arah kekar gerus pada fragmen dan matriks kompleks bancuh dan menyimpulkan bahwa di daerah ini baik *melange* maupun olistostrom sama-sama terjadi. Kompleks bancuh Lok Ulo-Karangsambung adalah *melange* yang terjadi oleh proses tektonisasi, sebagian mengalami penghancuran dan melengser (delapsional) membentuk olistostrom yang diendapkan baik di atas maupun di antara sembulan-sembulan *melange*, sehingga kedua satuan batuan tersebut didapatkan secara bersamaan dan berasosiasi.

Orogenesis sepanjang Tersier terutama selama Eosen Tengah (45 Ma), Oligosen Tengah (30 Ma), bagian tengah Miosen Awal (20 Ma), dan sejak Mio-Pliosen (5 Ma) berupa pengangkatan yang disertai aktivitas vulkanisme terjadi secara berkesinambungan di daerah ini (umur-umur periode orogenesis berdasarkan komunikasi tertulis dengan Coparex Banyumas B.V., 2002). Periode-periode orogenesis ini akhirnya menyingkapkan seluruh kompleks batuan di daerah ini. Daerah Lok Ulo-Karangsambung telah terangkat seluruhnya sejak Miosen Akhir.

## **SESAAR MENDATAR BESAR PENGAPIT LEKUKAN JAWA TENGAH**

Dua buah sesar atau kelurusan struktural berukuran regional mengapit lekukan utara Jawa Tengah (*gambar 1 – 4*). Kedua unsur struktur ini ditafsirkan sebagai sesar

mendatar yang di beberapa bagian di sepanjang jalurnya mempunyai sifat sebagai sesar normal maupun sesar naik. Kedua sesar mendatar ini masing-masing disebut sebagai Sesar Mendatar Dekstral Pamanukan-Cilacap dan Sesar Mendatar Sinistral Muria-Kebumen. Kedua sesar saling berlawanan arah, membuka di lekukan utara Jawa Tengah dan saling mendekat dan mungkin akhirnya berpotongan di bagian tengah lekukan selatan Jawa Tengah. Keberadaan kedua sesar besar ini pertama kali didasarkan kepada penafsiran data gayaberat (Untung, 1974; 1977; Untung dan Wiriosudarmo, 1975; Untung dan Hasegawa, 1975; Untung dan Sato, 1978). Kelurusan citra Landsat (Chotin dkk., 1984 *di dalam* Pulunggono dan Martodjojo, 1994 dan Geologi UGM, 1994), sesar permukaan (Kastowo, 1975; Martodjojo, 1994), dan data seismik (Pramono dkk., 1990; Sujanto dkk., 1994; Gresko dkk., 1995; Ryacudu dan Bachtiar, 2000) menunjukkan keberadaan kedua sesar ini meskipun tidak secara menerus tetapi bisa dikorelasikan secara regional.

Gejala-gejala gayaberat di Jawa Barat menunjukkan anomali Bouguer berarah baratlaut-tenggara (Arah Sumatra), sedangkan di beberapa bagian Jawa Tengah dan Jawa Timur diamati banyak anomali yang menjurus ke arah baratdaya-timurlaut (Arah Meratus) (Untung dan Wiriosudarmo, 1975). Anomali-anomali di Jawa Tengah mengecil dari + 100 mgal di lekukan selatan sampai -5 mgal di utara dan terbentang dari Jatibarang sampai Semarang. Bagian ini dibatasi di timur oleh sesar yang menjurus baratdaya-timurlaut yaitu dari kaki Gunung Muria sampai beberapa kilometer sebelah barat Kebumen dan melalui bagian utara daerah Lok Ulo-Karangsambung (ditafsirkan sebagai Sesar Mendatar Muria-Kebumen), dan di barat oleh sesar baratlaut-tenggara yaitu kira-kira dari Jakarta sampai Cilacap (Sesar Mendatar Pamanukan-Cilacap).

Sesar Mendatar Dekstral Pamanukan-Cilacap diperkirakan menerus ke arah baratlaut melalui Laut Jawa dan memotong Sumatra Selatan. North Seribu Fault, sesar normal besar di antara Cekungan Sunda dan Cekungan Asri di sebelah utara Kepulauan Seribu (Pramono dkk. 1990; Gresko dkk., 1995), dan sesar naik besar Lematang di Cekungan Sumatra Selatan (Pulunggono dkk., 1992) diperkirakan merupakan bagian dari Sesar Mendatar Pamanukan-Cilacap. Di Jawa Barat, sesar ini berasosiasi dengan Tinggian Gantar-Randegan (Ryacudu dan Bachtiar, 2000), tepi utara kompleks sesar naik Baribis (Martodjojo, 1994), dan sesar Kroya (Untung dan Sato, 1978). Sesar-sesar mendatar dekstral berarah baratlaut-tenggara di lembar pemetaan Majenang (Kastowo, 1975) adalah bagian dari sistem sesar Pamanukan-Cilacap. Jalur panjang sesar mendatar ini disebut Sesar Lematang-Kroya oleh Untung (1977) memanjang berarah baratlaut-tenggara bersifat dekstral. Sesar besar ini menurut Untung (1977) berperan dalam pemisahan Pulau Jawa dari Sumatra melalui peretakan di Selat Sunda.

Sesar Mendatar Sinistral Muria-Kebumen diperkirakan menerus ke arah timurlaut memotong Laut Jawa (Untung, 1974; Asikin, 1974; Situmorang dkk., 1976) sampai ke Pegunungan Meratus di Kalimantan Tenggara (Sikumbang, 1986). Kejadian sesar mendatar ini erat berkaitan dengan subduksi miring Lempeng Hindia terhadap bagian selatan-tenggara Daratan Sunda (bagian ujung Lempeng Eurasia) pada Kapur Akhir-Paleosen. Sesar besar ini telah mengakibatkan segmentasi batuan dasar di Laut Jawa sebelah timur (Satyana dan Darwis, 2001) dan merupakan batas tenggara Perisai Sunda yang memiliki inti benua berumur Paleozoikum (Fraser dan Ichram, 2000).

Seperti disebutkan di atas, kedua sesar mendatar besar ini saling mendekat di sekitar daerah Cilacap-Kebumen dan melihat pola pergeserannya yang berlawanan maka di daerah ini diperkirakan telah terjadi efek kompresi yang semakin membesar ke arah selatan dan akhirnya terjadi “penguncian tektonik” di titik perpotongan kedua sesar. Anomali gayabarat maksimum di Jawa Tengah sebesar +110 mgal diperkirakan terjadi berhubungan dengan ini, begitu juga dengan kejadian Tinggian Bumiayu-Lok Ulo oleh proses pembubungan akibat kompresi sesar-sesar ini. Sementara itu, semakin ke arah utara menuju lekukan utara Jawa Tengah, efek pembubungan semakin kecil dan ditandai dengan anomali gayabarat minimum (-5 mgal).

## **ANALISIS STRUKTUR SESAR MENDATAR**

Keberadaan sesar-sesar mendatar di Pulau Jawa dan struktur-struktur utama lainnya dianalisis dengan menggunakan konsep sesar mendatar mekanisme *strain ellipsoid* dari Wilcox dkk. (1973), Harding (1974), dan Christie-Blick dan Biddle (1985). Arah tegasan utama adalah utara-selatan (sekitar N 350° E – Bahagiarti K. dan Murwanto, 1994) sesuai dengan arah subduksi Lempeng Hindia sejak Kapur Akhir sampai sekarang. Situmorang dkk. (1976) telah menganalisis struktur-struktur ini berdasarkan konsep Moody dan Hill (1956) dan menyatakan bahwa Sesar Muria-Kebumen merupakan sesar mendatar orde pertama primer, sedangkan Sesar Pamanukan-Cilacap merupakan sesar mendatar orde pertama pelengkapannya (komplementer).

Kesimpulan yang mirip didapatkan pula dari analisis struktur berdasarkan *strain ellipsoid* (gambar 4). Sesar Mendatar Muria-Kebumen merupakan sesar mendatar utama sinistral (*master fault* atau “Y” *shear*) di Jawa, sedangkan Sesar Mendatar Pamanukan-Cilacap merupakan sesar mendatar antitetik (dekstral) (*antithetic* atau *conjugate* Riedel R’ *shear*). Komponen kompresi pada sistem *strain ellipsoid* ini berarah utara-selatan sejalan dengan kompresi karena subduksi Lempeng Hindia terhadap Jawa. Hal ini telah mengakibatkan terbentuknya struktur lipatan dan sesar naik yang didominasi arah barat-timur (Arah Jawa). Sementara itu, komponen ekstensi pada sistem ini berarah barat-timur sehingga telah menyebabkan dominasi retakan ekstensi (*extension fracture*) berarah utara-selatan (Arah Sunda) seperti di daerah lepas pantai utara Jawa Barat.

Jadi, berdasarkan analisis struktur baik dengan menggunakan konsep Moody dan Hill (1956), Wilcox dkk. (1973), Harding (1974) maupun Christie-Blick dan Biddle (1985), sesar-sesar mendatar besar pengapit lekukan struktur Jawa Tengah adalah logis keberadaannya.

## **IMPLIKASI GEOLOGI**

Keberadaan Sesar Mendatar Muria-Kebumen dan Pamanukan-Cilacap yang memotong Pulau Jawa di bagian tengah (mengapit Jawa Tengah) dengan ciri keduanya berarah dan bersifat berlawanan dan keduanya saling mendekat serta akhirnya berpotongan hampir di titik tengah poros selatan Pulau Jawa mempunyai implikasi penting terhadap evolusi geologi Jawa Tengah (gambar 3). Keunikan geologi Jawa Tengah seperti disebutkan di muka adalah implikasi keberadaan kedua sesar regional ini.

Peralihan sifat batuan dasar dari kerak benua granitik di Jawa Barat ke kerak akresi metasedimen di Jawa Timur (Satyana dan Darwis, 2001) diakomodasi oleh Sesar Mendatar Muria-Kebumen yang terbentuk berhubungan dengan subduksi miring Lempeng Hindia ke arah utara terhadap tepi selatan-tenggara Daratan Sunda. Di bawah sesar ini terjadi amalgamasi kerak batuan yang bersifat makin granitik menuju Jawa Barat dan bersifat makin transisi-oseanik menuju Jawa Timur.

Kedua sesar besar mendatar itu telah menenggelamkan bagian paling utara Jawa Tengah akibat kompensasi isostatik gayaberas oleh pembubungan isostatik maksimum di bagian selatan. Hal ini dibuktikan oleh nilai anomali Bouguer yang makin menurun dari +110 mgal di bagian selatan sampai -5 mgal di bagian utara Jawa Tengah. Penurunan atau penenggelaman kerak utara Jawa Tengah ini telah menimbulkan lekukan struktural besar garis pantai utara Jawa Tengah sehingga Laut Jawa menggenangi bagian ini jauh ke arah daratan (*gambar 3, 5*).

Di sebelah selatan, keadaan sangat terbalik. Kedua sesar mendatar besar saling mendekat dan gaya pergeserannya yang saling berlawanan telah menimbulkan kompresi yang semakin membesar ke arah selatan dan menimbulkan pembubungan (*uplift*) (*gambar 5*). Di titik pertemuan kedua sesar yang membentuk zone segitiga tektonik (tectonic triangle zone), gaya kompresi maksimum akan tercapai dan “terkunci” secara tektonik. Kompensasi isostatik akan membubungkan kerak terdeformasi secara maksimum. Proses pembubungan ini berjalan sepanjang periode orogenesis Tersier dan berdasarkan data gayaberas Untung dan Sato (1978) menaksir pengangkatan setinggi 2000 meter. Penyingkapan kompleks batuan tua melange Lok Ulo-Karangsambung di bagian timur Tinggian Bumiayu-Lok Ulo dipikirkan berhubungan dengan pembubungan maksimum oleh segmentasi kedua sesar mendatar ini.

Di sebelah luar dari daerah pertemuan kedua sesar mendatar ini adalah daerah turun. Kontras isostatik kedua terjadi tepat di sebelah selatan Tinggian Bumiayu-Lok Ulo, yaitu Rendahan Citanduy-Kroya-Kebumen (Sujanto dkk., 1994) yang meluas sampai ke daerah lepas pantai selatan Jawa Tengah. Kompensasi gaya isostatik *release tension* telah menyebabkan penurunan atau penenggelaman kerak batuan di sisi luar zone segitiga pembubungan maksimum. Hal ini telah menyebabkan merosotnya Jalur Pegunungan Selatan sampai di bawah laut di daerah antara Citanduy-Kebumen dan lekukan struktural garis pantai selatan Jawa Tengah. Zone Depresi Tengah Serayu Selatan (van Bemmelen, 1949) menggantikan wilayah lenyapnya Pegunungan Selatan ini. Cekungan Jawa Tengah Selatan (*Western Deep* dan *Eastern Deep*) (Bollinger dan de Ruyter, 1975) berkembang di sisi luar zone segitiga ini (*gambar 3*). Kedua dalaman ini dipisahkan oleh Tinggian Karangbolong yang merupakan ujung zone segitiga.

## **KESIMPULAN**

1. Dua buah sesar mendatar besar yang saling berlawanan, Sesar Mendatar Muria-Kebumen (baratdaya-timurlaut, Arah Meratus, sinistral) dan Sesar Mendatar Pamanukan-Cilacap (baratlaut-tenggara, Arah Sumatra, dekstral) memotong bagian tengah Pulau Jawa dan bertemu di bagian selatan Jawa Tengah. Keberadaan kedua sesar regional ini didasarkan kepada data gayaberas, geologi permukaan, citra satelit, dan seismik serta didukung oleh analisis struktur dan tektonik regional.



2. Dalam pergerakannya sepanjang periode orogenesis Tersier, kedua sesar mendatar besar tersebut telah menyebabkan : (1) lekukan/ indentasi struktur garsipantai utara dan selatan Jawa Tengah, (2) penyingkapan kompleks batuan tua *melange* Lok Ulo-Karangsambung melalui mekanisme pembubungan maksimum, dan (3) lenyapnya fisiografi Jalur Pegunungan Selatan di bagian selatan Jawa Tengah. Semua gejala ini berhubungan dengan kompensasi isostatik kerakbumi.
3. Penafsiran peta gayaberat akan banyak membantu penafsiran evolusi tektonik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

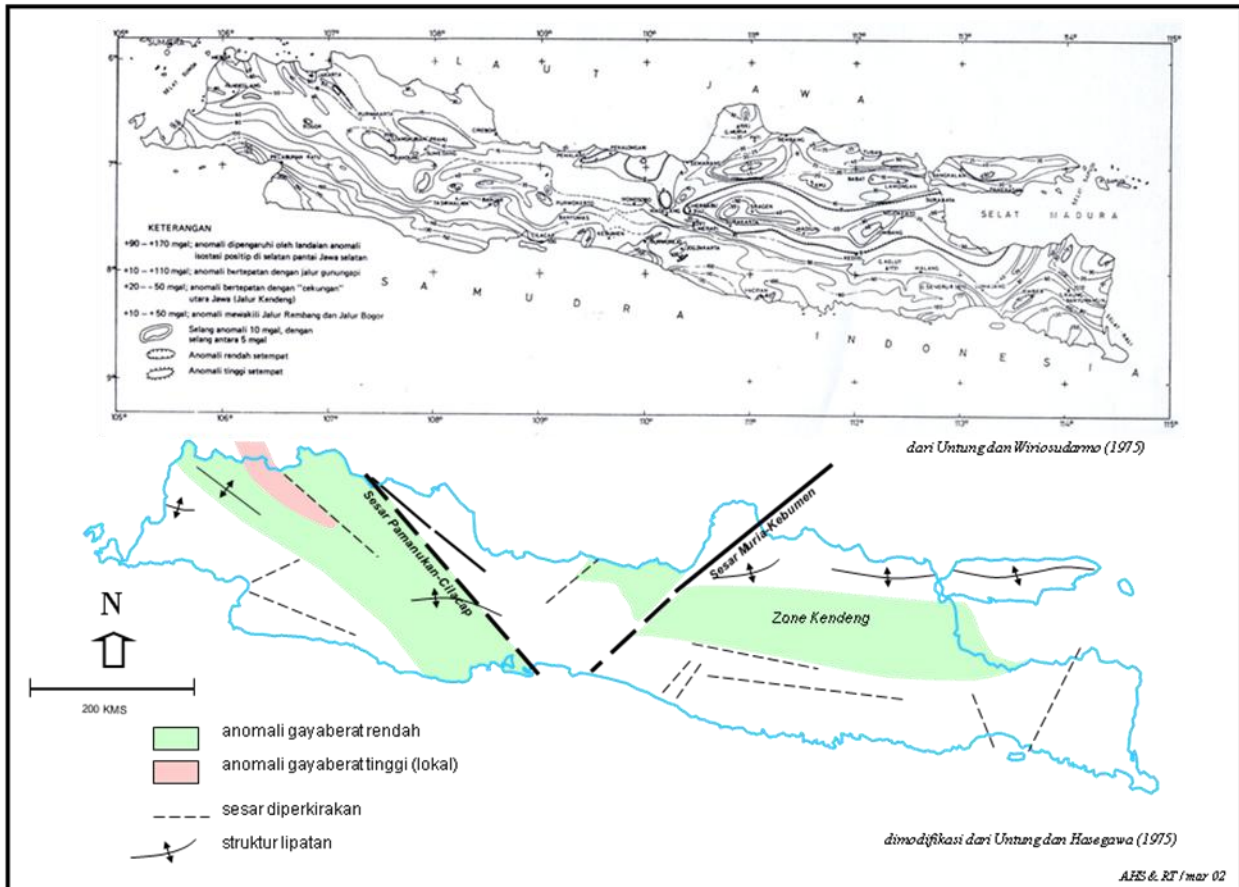
Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Bambang Priadi (ITB) yang telah meminjamkan beberapa makalah penting yang digunakan dalam studi ini, kepada Mr. Tom Kallan dan Dr. Peter Lunt (Coparex Banyumas B.V.) yang telah memberikan data kronologi formasi dan orogenesis di daerah lekukan selatan Jawa Tengah, kepada Tim Eksplorasi Jawa Pertamina Hulu (Bapak Rudy Ryacudu dan Bapak Tri Widyo Kunto) atas diskusi regional Jawa, dan kepada para penilai makalah serta panitia Buku "Geologi Yogyakarta dan Jawa Tengah" dari IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia) Pengda Yogyakarta dan Jawa Tengah yang telah memberikan kesempatan mempublikasikan makalah ini..

## REFERENSI

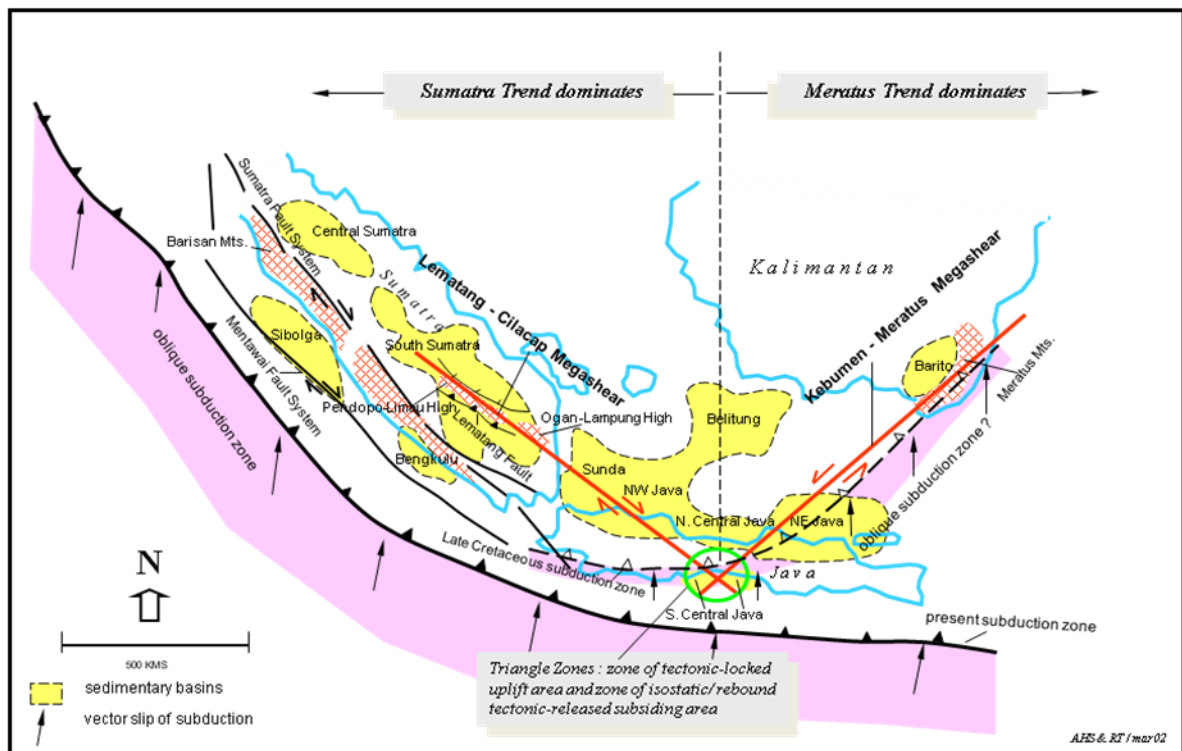
1. Asikin, S., 1974, **Evolusi Geologi Jawa Tengah dan Sekitarnya Ditinjau dari Segi Teori Tektonik - Dunia yang Baru**, disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung, Bandung, *tidak diterbitkan*.
2. Bahagiarti K., S. dan Murwanto, H., 1994, Penentuan tektonogenesis kompleks bancuh Karangsambung berdasarkan analisis kekar gerus, **Kumpulan Makalah Seminar Geologi dan dan Geotektonik Pulau Jawa sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar**, Jurusan Geologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 101 – 120.
3. Bollinger, W. dan de Ruiter, P.A.C., 1975, Geology of the South Central Java offshore area, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 4<sup>th</sup> Annual Convention**.
4. Christie-Blick, N. dan Biddle, K.T., 1985, Deformation and basin formation along strike-slip faults *dalam* Biddle, K.T. dan Christie-Blick, N., ed., **Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Special Publication of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM) 37**, hal., 1-34.
5. Cowan, D.R., Tompkins, L.A., dan Tyler, T., 2000, Understanding basement controls on basin development : constraints from gravity and magnetic data, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 27<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 633 – 639.
6. Fraser, T.H. dan Ichram, L.O., 2000, Significance of the Celebes Sea spreading centre to the Paleogene petroleum systems of the SE Sunda margin, Central Indonesia, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 27<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 431 – 442.

7. Geologi UGM, 1994, **Geologi Daerah Pegunungan Selatan : Suatu Kontribusi**, Pertemuan Ilmiah Ulang Tahun ke-10 Stasiun Lapangan Geologi “Prof. R. Soeroso Notohadiprawiro” Bayat, Klaten 3-4 Februari 1994.
8. Gresko, M., Suria, C. dan Sinclair, S., 1995, Basin evolution of the Ardjuna rift system and its implications for hydrocarbon exploration, offshore NW Java, Indonesia, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 24<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 147 – 161.
9. Harding, T.P., 1974, Petroleum traps associated with wrench faults, **American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin**, vol. 58, no. 7, hal. 1290-1304.
10. Harsolumakso, A.H., 2000, **Geologi Daerah Luk Ulo, Kebumen, Jawa Tengah**, Jurusan Teknik Geologi ITB, Bandung, *tidak diterbitkan*.
11. Kastowo, 1975, **Peta Lembar Majenang, Jawa, Skala 1 : 100.000**, Direktorat Geologi, Bandung.
12. Martodjojo, S., 1994, Data stratigrafi, pola tektonik dan perkembangan cekungan pada jalur anjakan-lipatan di P. Jawa, **Kumpulan Makalah Seminar Geologi dan dan Geotektonik Pulau Jawa sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar**, Jurusan Geologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 15 – 26.
13. Moody, J.D. dan Hill, M.J., 1956, Wrench fault tectonics, **Geological Society of America (GSA) Bulletin**, vol. 67, hal. 1207 – 1246.
14. Pramono, H., Wu, C.H.C., dan Noble, R.A., 1990, A new oil kitchen and petroleum bearing subbasin in the offshore NW Java area, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 19<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 253 – 278.
15. Pulunggono, A. dan Martodjojo, S., 1994, Perubahan tektonik Paleogen-Neogen merupakan peristiwa tektonik penting di Jawa, **Kumpulan Makalah Seminar Geologi dan dan Geotektonik Pulau Jawa sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar**, Jurusan Geologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 1 – 14.
16. Pulunggono, A., Haryo S., A. dan Kosuma, C.G., 1992, Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin : a study of SAR – maps, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 21<sup>st</sup> Annual Convention**, hal. 339 – 360.
17. Ryacudu, R. dan Bachtiar, A., 2000, The status of the OO-Brebes fault system and its implication to hydrocarbon exploration in the eastern part of NW Java Basin, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 27<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 223 – 234.
18. Santoso, H., Bermawi, A., dan Murhantoro, E., 1990, Combined interpretation of gravity with seismic and well data using stripping technique, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 19<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 131 – 146.
19. Satyana, A. H., dan Darwis, A., 2001, Recent significant discoveries within Oligo – Miocene carbonates of the East Java Basin : integrating the petroleum geology, **Proceedings 30<sup>th</sup> Annual Convention Indonesian Association of Geologists & 10<sup>th</sup> Geosea Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources**, hal. 42 – 46.

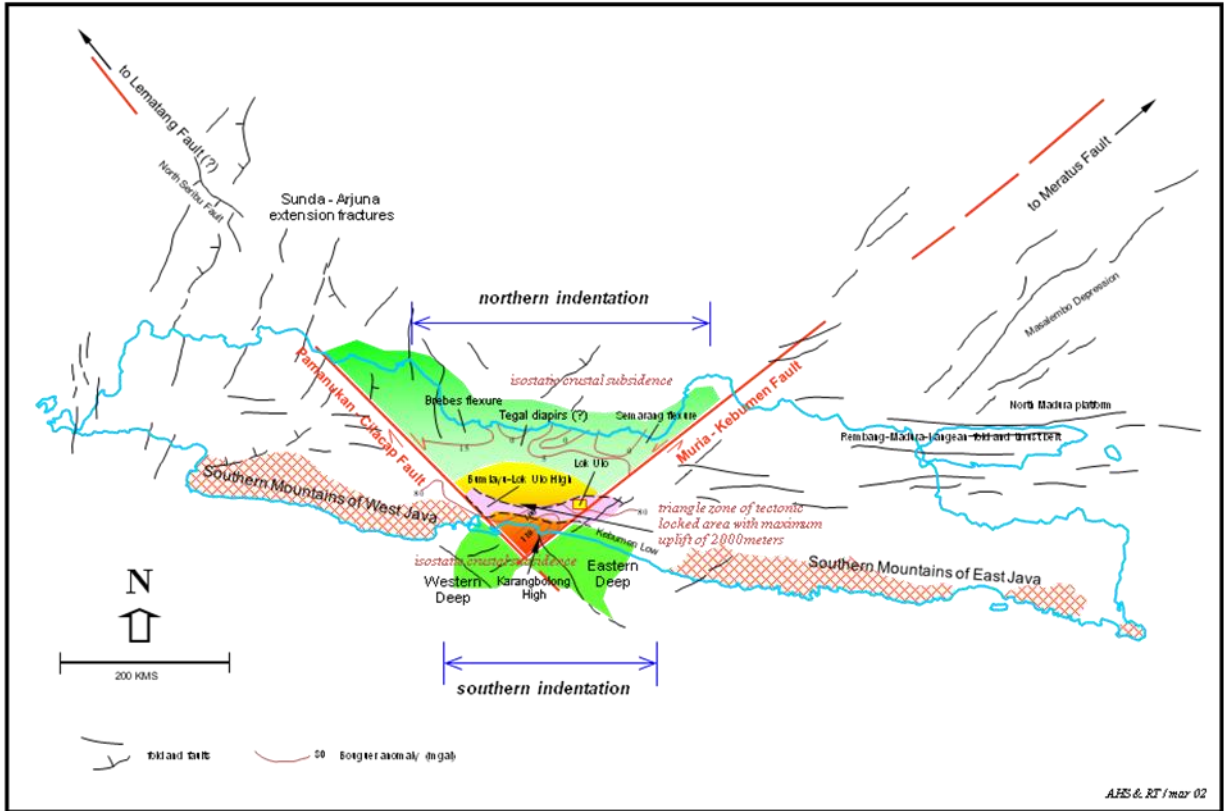
20. Sikumbang, N., 1986, **Geology and Tectonics of the Pre-tertiary Rocks in the Meratus Mountains, S.E. Kalimantan, Indonesia**, thesis doktor, University of London, London, *tidak diterbitkan*.
21. Situmorang, B., Siswoyo, Thajib, E., dan Paltrinieri, F., 1976, Wrench fault tectonics and aspects of hydrocarbon accumulation in Java, **Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 5<sup>th</sup> Annual Convention**, hal. 53 – 66.
22. Sujanto, F.X., Siwindono, T., Sahudi, K., dan Purnomo, E., 1994, Pandangan baru tektonik Neogen daerah sekitar Java axial ridge Banyumas-Kebumen, **Kumpulan Makalah Seminar Geologi dan dan Geotektonik Pulau Jawa sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar**, Jurusan Geologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 27 – 52.
23. Untung, M. (ed.), 1974, **Peta Anomali Bouguer Jawa dan Madura Skala 1 : 1.000.000**, Direktorat Geologi, Bandung.
24. Untung, M. dan Hasegawa, H., 1975, Penyusunan dan pengolahan data beserta penafsiran peta gaya-berat Indonesia, **Geologi Indonesia**, vol. 2, no. 3, hal. 11-17.
25. Untung, M. dan Sato, Y., 1978, **Gravity and Geological Studies in Jawa, Indonesia**, Geological Survey of Indonesia, Bandung dan Geological Survey of Japan, Tokyo.
26. Untung, M. dan Wiriosudarmo, G., 1975, Pola struktur Jawa dan Madura sebagai hasil penafsiran pendahuluan data gayaberat, **Geologi Indonesia**, vol. 2, no. 1, hal. 15 – 24.
27. Untung, M., 1977, **Sebuah Rekonstruksi Paleogeografi Pulau Jawa**, Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia) VI Bandung 5-7 Desember 1977.
28. van Bemmelen, R.W., 1949, **The Geology of Indonesia vol. IA : General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes**, (edisi ke-2 1970 – cetak ulang), Martinus Nijhoff, The Hague.
29. Wilcox, R.E., Harding, T.P., dan Seely, D.R., 1973, Basic wrench tectonics, **American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin**, vol. 57, no. 1, hal. 74 – 96.



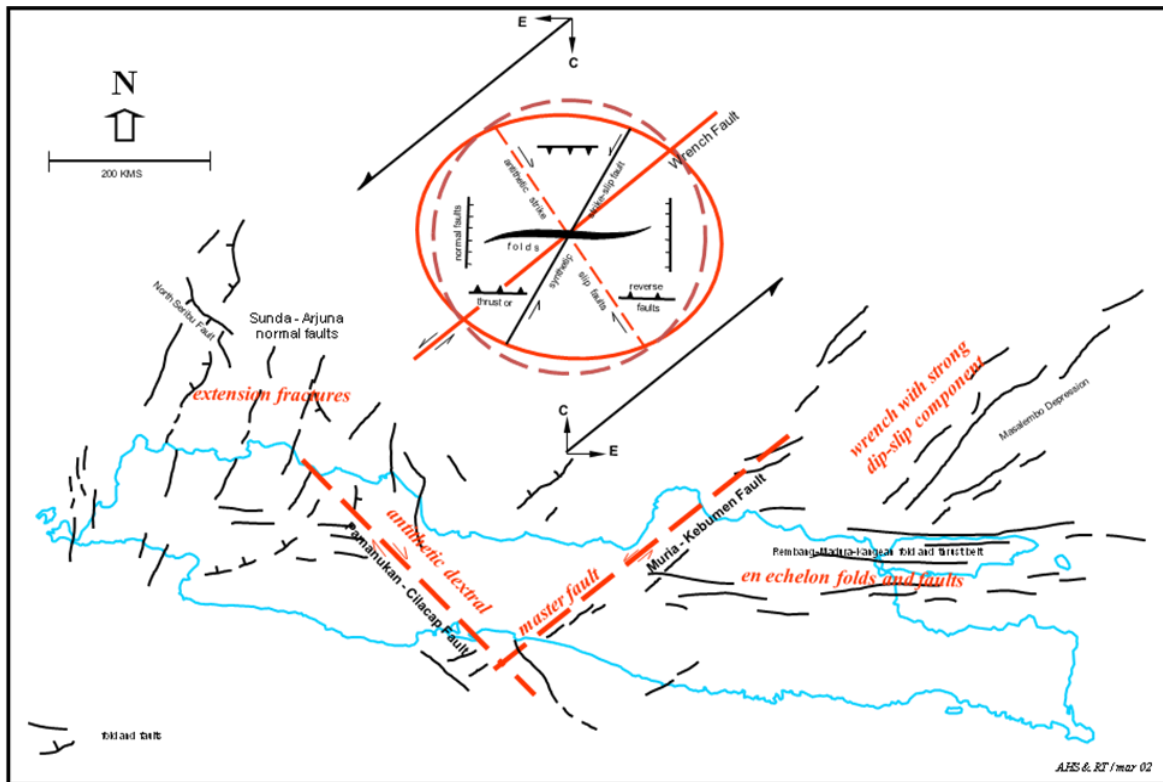
Gambar 1 Peta anomali Bouguer regional Jawa dan interpretasi struktur-struktur utama.



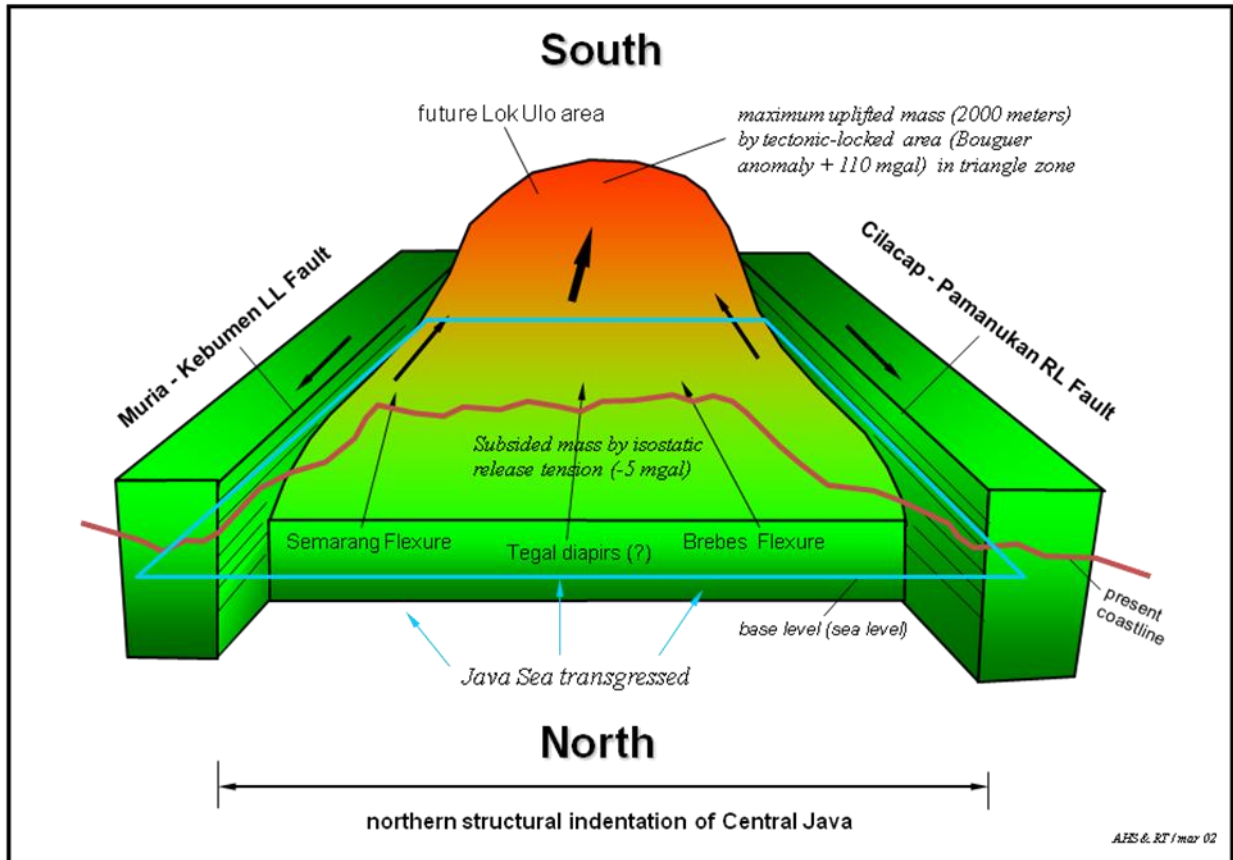
Gambar 2 Peta regional Indonesia Barat memperlihatkan posisi tektonik Jawa Tengah dan dua sesar mendatar regional yang mengapitnya.



Gambar 3 Peta regional Jawa memperlihatkan pola struktur, dua sesar mendatar regional pengapit lekukan (indentasi) struktur Jawa Tengah dan implikasi geologi yang disebabkan.



Gambar 4 Analisis struktur Pulau Jawa berdasarkan kinematika *strain ellipsoid*. Sesar Mendatar Muria-Kebumen dan Sesar Mendatar Pamanukan-Cilacap adalah masing-masing merupakan sesar mendatar utama dan sesar mendatar antitetik.



Gambar 5 Blok diagram skematik memperlihatkan proses pembubungan daerah Lok Ulo dan sekitarnya oleh dua sesar mendatar dan penenggelaman kerak utara Jawa Tengah akibat kompensasi isostatik.