

PERKEMBANGAN CEKUNGAN ANTAR-BUSUR DI DAERAH MAJALENGKA-BANYUMAS: SEJARAH TEKTONIK KOMPLEKS DI WILAYAH BATAS KONVERGENSI

H. Permana^{1,2}, P.S. Putra¹, A. F. Ismayanto¹, I. Setiawan¹, M. Hendrizan¹ dan M.M. Mukti^{1,3}

1. Puslit Geoteknologi-LIPI, Jl Sangkuriang, Bandung-40135-Indonesia. Ph: 022 250 3654. Fax: 022 250 4593

2. permh@yaho.com 3. Institute Physiques du Globe de Paris/IPG - Paris, France

Sari

Cekungan antar busur (*intra arc*) berumur Miosen Akhir-Pliosen di kawasan Majalengka-Banyumas telah menjadi bahan pembicaraan dengan adanya indikasi pengendapan sedimen vulkanoklastik yang arahnya berbeda dibandingkan dengan arah pengendapan sedimen pada umur yang sama di dalam Cekungan Bogor. Analisis anomali Bouguer dengan jelas menggambarkan kelurusan struktur regional Bogor – Bandung – Majalengka berarah barat-timur yang memotong kelurusan pasangan patahan geser Gabon dan Pamanukan-Karangbolong yang berarah baratlaut-tenggara sejajar dengan cekungan antar busur yang dipostulatkan. Struktur-struktur berarah baratlaut-tenggara tersebut berhubungan dengan pembentukan sub-sub cekungan dan kegiatan vulkanik melalui mekanisme peregangan patahan *splay*, *duplex* atau *pull-apart* dalam konteks penunjaman miring lempeng pada Miosen Awal. Studi Sub-cekungan Majenang, tempat diendapkan batuan epiklastik sebagai endapan aliran gravitasi dan piroklastik, menunjukkan variasi mulai dari lereng atas sampai cekungan dalam suatu kompleks kipas bawahlaut berumur Miosen Akhir-Pliosen selama pembentukan cekungan tersebut. Endapan sedimen tersebut bersumber dari batuan yang berasosiasi dengan vulkanik busur belakang bersifat kalk-alkalin yang tumbuh dan memisahkan sub-sub cekungan di dalam zona patahan tersebut dan sumber vulkanoklastik lain berasal dari Pegunungan Selatan (Formasi Andesit Tua). Perkembangan cekungan tersebut mengindikasikan sejarah rumit sejak pembentukannya sampai daerah ini mengalami pembalikan dan pengangkatan membentuk pegunungan. Oleh karena itu, rekonstruksi tektonik di kawasan ini diperlukan untuk memahami sejarah geologi yang lebih baik dalam kaitannya dengan prospek eksplorasi geologi.

Kata kunci: cekungan antar busur, vulkanoklastik, anomali Bouguer, endapan arus gravitasi, vulkanik busur belakang, kalk alkalin

Abstract

An intra-arc basin, Late Miocene to Pliocene in age in the region of Majalengka - Banyumas area has been an interesting theme to be discussed. The volcanoclastic sediments pathway in this basin showing different direction compare to the time equivalent sediments in the adjacent Bogor Trough. Bouguer anomaly analyses clearly imaged the E-W regional structural grains of Bogor – Bandung –Majalengka crosscut pair of NW-SE Gabon dan Pamanukan-Karangbolong strike slip fault that parallel with the postulated intra-arc basin. These NW-SE structural lineaments could be responsible for the development of sub-basins and volcanic products through splay or duplex fault or pull apart mechanism in context oblique plate subduction in Early Miocene. Study of Majenang sub-basin, whereas epiclastic rocks deposited as sediment-gravity flows and their pyroclastic, shows the significance variation, upper, middle slope to basinal plain within the deep sea submarine-fan complex of the Late Miocene-Pliocene age during the development of this basin. The source of sediment deposits was associated with calk alkalin back arc volcanic edifice that grown and separated the sub-basins and other volcanoclastic source from Southern Mountain (Old Andesite Formation). The development of this basin indicates complex history since this region is now inverted and built the mountain range. Therefore further tectonic reconstruction in this region is required for better understanding the geologic history merit further geological exploration prospect.

Keywords: intra-arc basin, volcanoclastic, Bouguer anomaly, sediment-gravity flows, back arc volcanic, calk alkalin

Pendahuluan

Salah satu cekungan dalam zona Majalengka - Banyumas di sekitar Kuningan pada saat Miosen Akhir-Pliosen menjadi tempat diendapkannya endapan arus gravitasi epiklastik yang ditafsirkan

berada pada posisi proksimal dalam suatu kipas bawah laut. Endapan tersebut diduga berasal dari vulkanik busur belakang terisolasi (Armandita dr., 2009; Mukti dr., 2008) yang diusulkan sebagai Cekungan Dalam Busur (*Intra-Arc Basin*), atau suatu cekungan yang terbentuk di dalam zona busur vulkanik dimana tubuh-tubuh vulkanik memisahkan

Naskah diterima : 20 Januari 2011
Revisi terakhir : 29 Maret 2011

antar sub-cekungan. Studi arus purba Formasi Halang di selatan Kuningan (Jawa Barat) menunjukkan pengendapan sedimen berarah ke tenggara (Armandita dr., 2009; Mukti dr., 2009). Sebaliknya, Hendrizon (2006) menyatakan bahwa lingkungan pengendapan laut Formasi Halang di sebelah timur Kuningan berdasarkan studi Foraminifera menunjukkan pengendapan berarah dari tenggara ke barat laut. Fakta-fakta tersebut menunjukkan bahwa sedimen Formasi Halang berasal dari sumber dan diendapkan dari arah yang berbeda.

Tujuan Penelitian

Ide utama dari penelitian ini adalah membuktikan konsep tektonik baru terkait dengan hipotesa pembentukan sub-sub cekungan antar busur di bagian barat Pulau Jawa atau dalam zona Majalengka - Banyumas yang dapat dijadikan acuan dalam eksplorasi hidrokarbon dan mineral. Sub - sub cekungan tersebut dipisahkan oleh kegiatan vulkanisme busur Tersier (aktif). Lebih khusus tujuan penelitian ini adalah membangun konsep baru pembentukan cekungan antar busur khususnya cekungan laut dalam dari busur belakang Jawa Tengah dengan maksud dapat berkontribusi dalam eksplorasi migas dimasa depan. Seperti diketahui, sampai saat ini kegiatan eksplorasi minyak bumi di kawasan selatan Jawa Tengah belum berhasil menemukan cadangan hidrokarbon.

Untuk mencapai tujuan tersebut telah dilakukan pengamatan lapangan yang berlokasi di kawasan antara Ajibarang-Wangon, Majenang, Lumbr, Sawangan dan Karangpucung, Jawa Tengah tempat tersingkap luas Formasi Halang (Gambar 1).

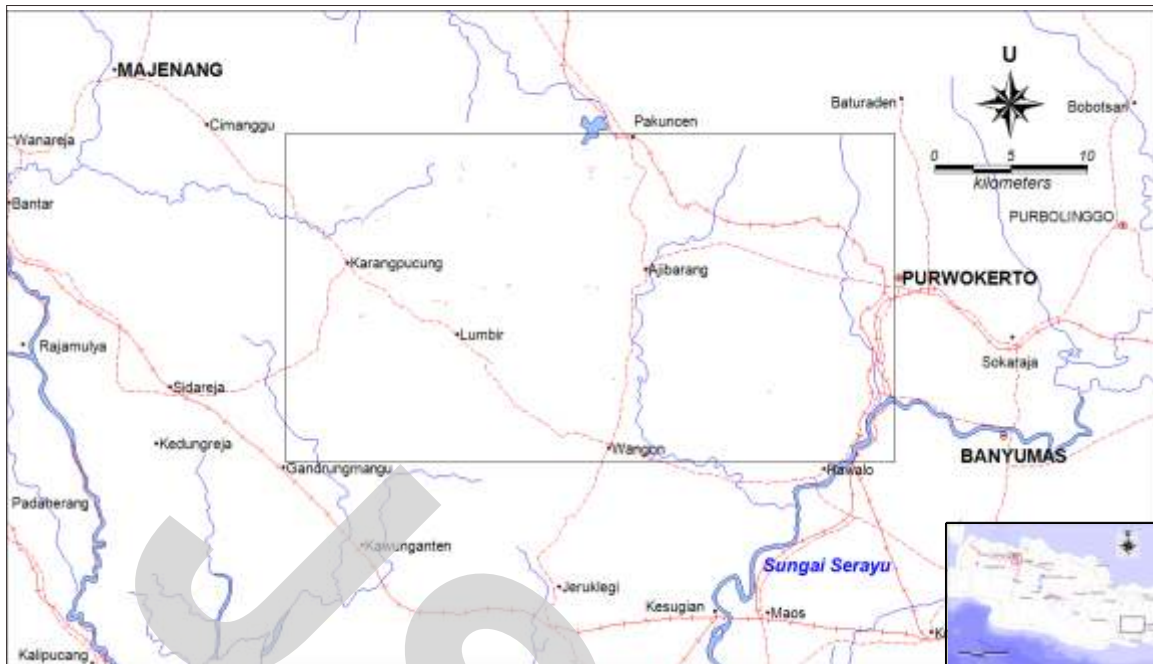
Metode

Metode yang dilakukan mencakup mengolah ulang data gaya berat regional Jawa dan penafsirannya, kajian data sekunder baik publikasi, laporan terdahulu maupun data geologi yang tersedia khususnya menyangkut Formasi Halang yang tersingkap secara luas dalam Zona Majalengka - Banyumas (Kastowo, 1975; Djuri dr., 1996, Gambar 2). Penelitian lain adalah mempelajari pola sedimentasi dan stratigrafi endapan arus gravitasi kipas bawah laut, serta analisis pola kimia batuan epiklastik yang diendapkan di dalam zona ini.

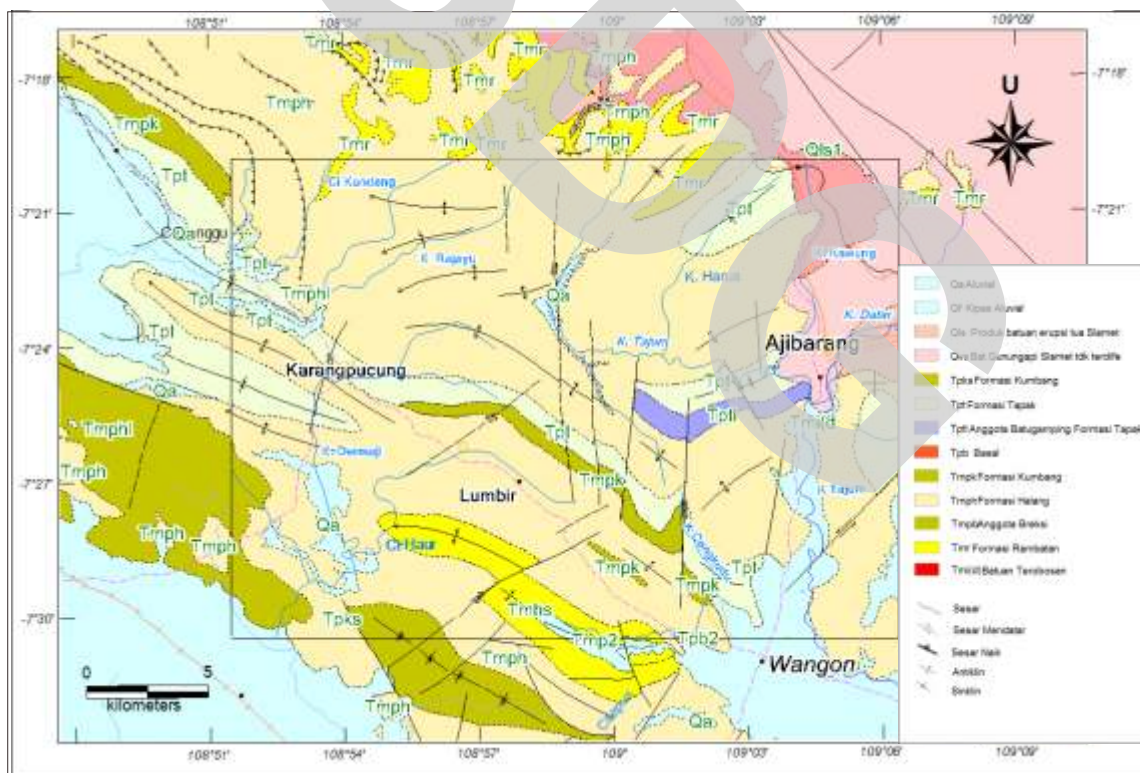
Data anomali Bouguer diolah dengan teknik *Relief-shaded* (Yamamoto, 2003) sehingga dapat mendelineasi dan membatasi segmen-segmen patahan dengan lebih terperinci. Digitasi peta kontur anomali Bouguer regional, selanjutnya dilakukan *nodes extraction* dari kontur tersebut dan *proses gridding* sehingga didapatkan peta baru anomali Bouguer. Kemudian dilakukan pengolahan dengan metoda *relief-shaded*, yaitu suatu teknik dengan memberikan pencahayaan tiruan (*artificial*) pada arah tertentu sehingga memberikan efek bayangan (*shading*) pada daerah-daerah dengan gradien tinggi terutama pada arah tegak lurus pencahayaan (Gambar 3). Dengan memanfaatkan peta *relief-shaded* anomali Bouguer, dapat ditunjukkan distribusi gradien tinggi yang dapat diartikan sebagai kontak yang bersifat tegas yang ditafsirkan sebagai gambaran struktur geologi dalam (patahan) atau, bentuk-bentuk cekungan atau punggungan (Gambar 4). Pengamatan lapangan secara terpilih didasarkan pada tampilan anomali Bouguer baik berupa zona tinggian atau depresi dikombinasi dengan data geologi di kawasan zona Majalengka - Banyumas. Pengamatan stratigrafi dan perconton batuan dilakukan secara terpilih, dilengkapi dengan pengukuran unsur struktur geologi. Lintasan pengamatan biostratigrafi dilakukan dengan pengambilan contoh batuan secara terperinci dengan interval 1 m, sehingga didapatkan biostratigrafi resolusi tinggi. Lintasan ini digunakan sebagai "*reference section*". Pada lintasan lainnya dilakukan pengambilan sampel secara terpilih terutama di kawasan yang secara struktur relatif tidak terganggu. Lintasan-lintasan tersebut digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui pelampiran lateral dari sedimen arus gravitasi kipas bawahlaut. Kegiatan laboratorium antara lain analisis petrografi batuan sedimen dan fragmen batuan beku, studi kimia batuan vulkanik dan epiklastik. Untuk penafsiran biostratigrafi dan lingkungan pengendapan digunakan foraminifera baik planktonik maupun bentos.

Tataan Geologi dan Tektonik

Cekungan Bogor di Jawa Barat menerus ke arah timur, Jawa Tengah, membentuk Cekungan Serayu Utara (van Bemmelen, 1949) sedangkan Cekungan Jawa Tengah Bagian Selatan atau Cekungan Serayu Selatan dikenal sebagai Cekungan Banyumas (Mulhadiono, 1973; Bolliger and de Ruiter, 1975; Suyanto dan Roskamil, 1975).



Gambar 1. Lokasi Penelitian di kawasan Majenang, Karangpucung, Lumbir, Wangon dan Ajibarang, Jawa Tengah. Garis biru: aliran sungai; garis merah putus: jalan raya; garis merah dengan garis tegak: rel KA.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian yang memperlihatkan struktur geologi dan variasi formasi geologi (Kastowo, 1975 and Djuri, dr., 1996)

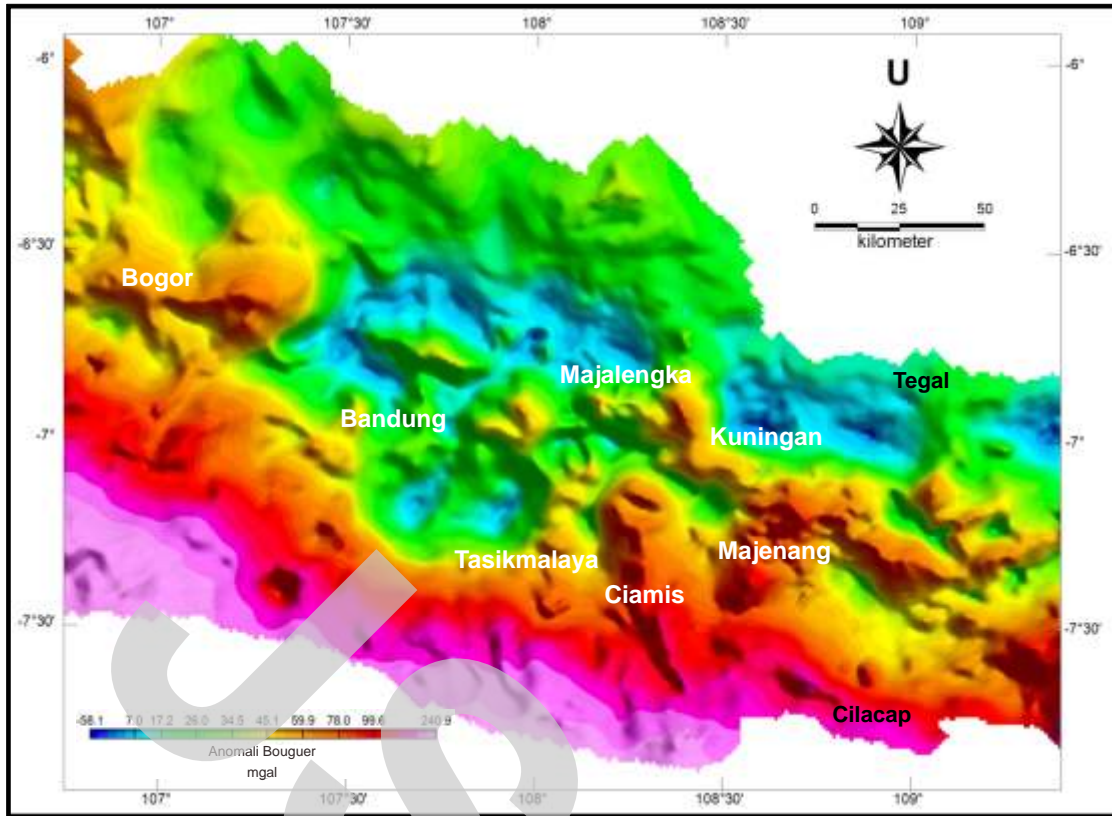
Di dalam cekungan Banyumas hadir beberapa bentuk tinggian seperti Tinggian Majenang, Tinggian Gabon, Tinggian Besuki atau bentuk depresi seperti Depresi Majenang – Wangon, Depresi Citanduy dan Depresi Kroya - Kebumen (Suyanto dan Roskamil, 1975; Suyanto dan Sumantri, 1977). Kawasan tersebut dibagi menjadi zona Depresi Citanduy dan Depresi Banyumas - Kroya, Dalam Barat dan Dalam Timur (*Western and Eastern Deep*) yang dibatasi oleh Tinggian Gabon di sisi barat dan Tinggian Karangbolong di sisi timur yang berarah barat-laut-tenggara (Muchsin dr., 2002). Ide pembentukan Cekungan Dalam Busur atau sub-cekungan dalam busur di zona Majalengka – Banyumas dikemukakan oleh Satyana (2005, 2007) dan Armandita dr. (2009). Secara hipotetik, cekungan antar busur dikontrol oleh sistim sesar geser regional mengangan Pamanukan – Cilacap (Satyana, 2005; Satyana, 2007; Armandita dr., 2009). Sistim sesar geser mengangan tersebut telah menyebabkan berkembangnya pola struktur *splay, pull apart* atau *duplex*, mengakibatkan terbentuknya zona lemah dalam sistim patahan *trans-tensional* (Muchsin, 2002; Satyana, 2007; Armandita, dr., 2009). Teramatinya struktur utama berarah barat – timur memotong bagian tengah Jawa bagian barat mulai dari Bogor, Bandung sampai Majalengka yang kemudian memotong kelurusan pasangan Patahan Pamanukan-Karangbolong dan Patahan Gabon yang berarah barat laut - tenggara, memberikan gambaran baru mengenai struktur yang berpengaruh terhadap pembentukan cekungan bawahlaut atau cekungan/sub-cekungan antar busur dalam Zona Cekungan Majalengka-Banyumas. Cekungan atau sub-cekungan bawahlaut yang terbentuk dalam zona Majalengka – Banyumas dipisahkan oleh produk kegiatan kegunungapian yang dicirikan oleh kehadiran endapan primer piroklastik dan epiklastik atau endapan turbidit volkanoklastik (Mukti dr., 2008). Sumber endapan turbidit tersebut diperkirakan berasal dari volkanisme busur belakang yang terletak di utara dari busur volkanik Akhir Miosen-Pliosen (Mukti dr., 2008). Endapan turbidit tersebut dikenal sebagai Formasi Halang berumur Akhir Miosen (Satyana dan Armandita, 2004), sedangkan Lunt dr. (2009) memasukan endapan turbidit tersebut kedalam Formasi Pemali berumur Akhir Miosen-Pliosen.

Hasil Penelitian

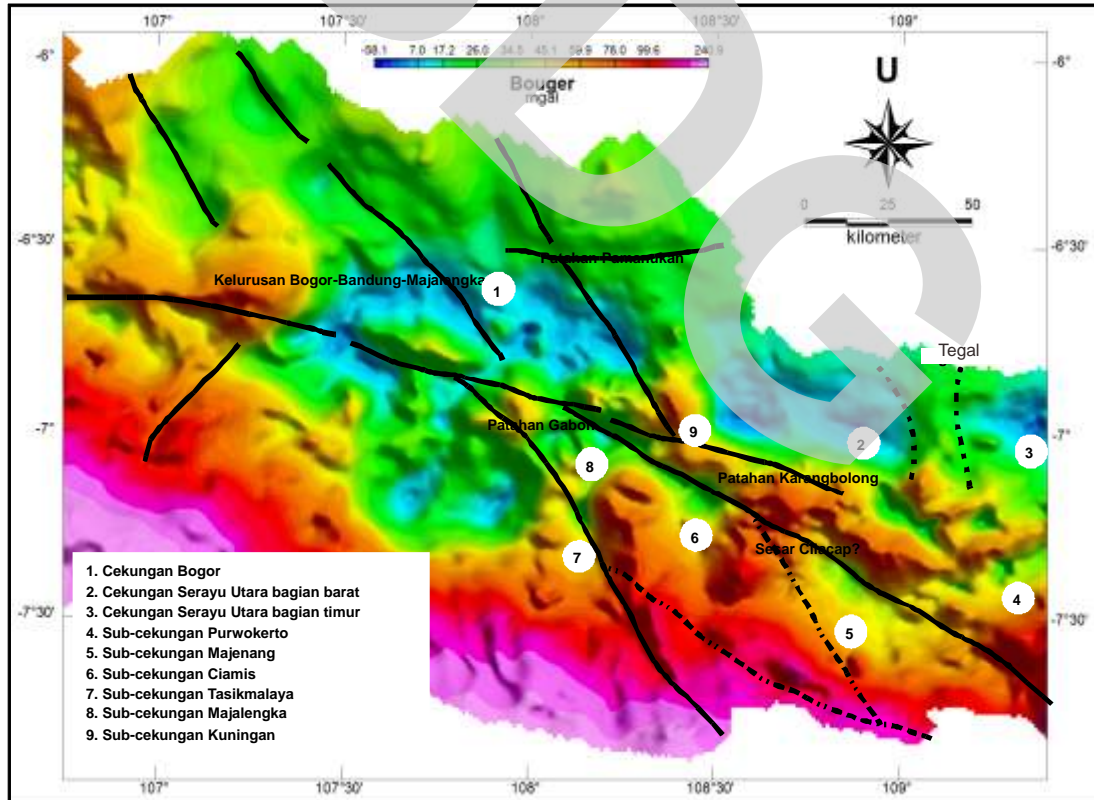
Penelitian multi aspek ini meliputi kajian gaya berat struktur geologi, sedimentologi, petrologi dan biostratigrafi. Diharapkan berbagai kajian terhadap aspek geologi di kawasan telitian dapat menerangkan proses geologi lebih jelas. Di bawah akan diuraikan hasil dari setiap aspek.

a). Gayaberat

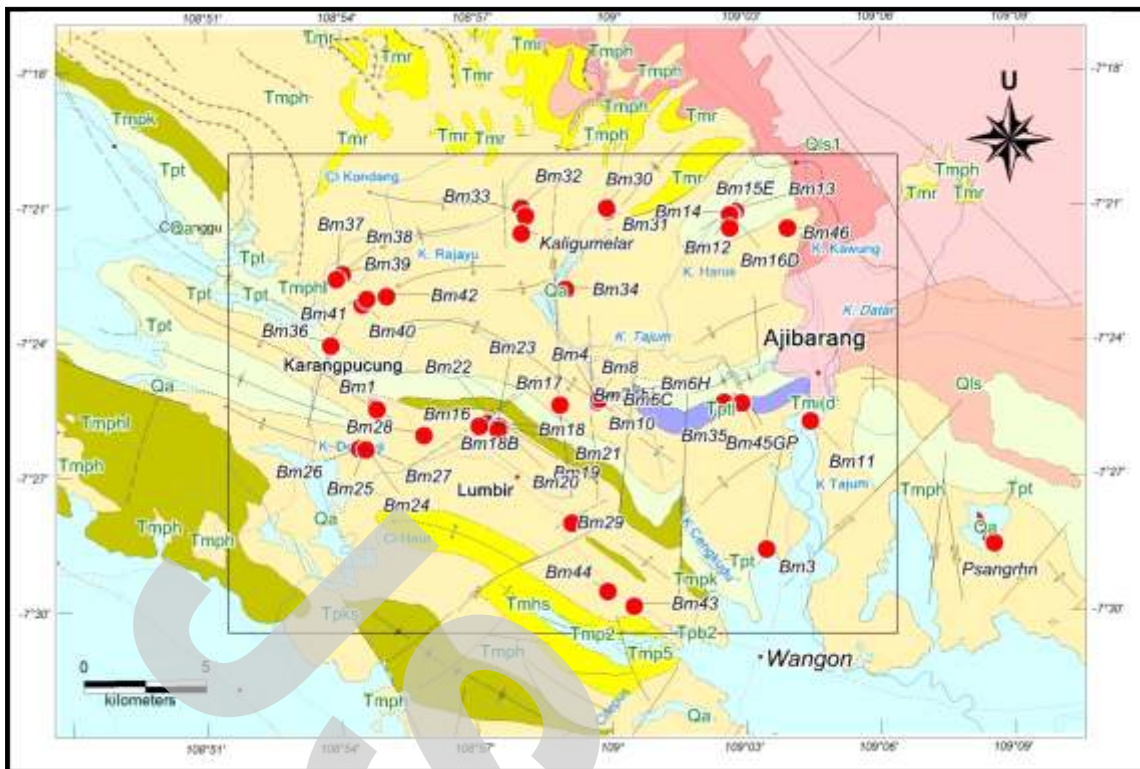
Anomali Bouguer memiliki nilai bervariasi, mulai dari nilai sangat tinggi sampai sangat rendah. Warna merah sampai merah muda (>95 mgal) adalah nilai sangat tinggi dari anomali Bouguer mewakili batuan volkanik terkonsolidasi atau batuan dasar seperti batuan volkanik Gabon atau Pegunungan Selatan Jawa bagian barat, Pegunungan Karangbolong atau jalur Formasi Andesi Tua. Warna oranye - kuning mewakili nilai anomali Bouguer tinggi (40 - 95 mgal), umumnya membentuk punggung atau perbukitan terisolir yang ditafsirkan sebagai kelurusan atau patahan dan kemungkinan sisa tubuh volkanik yang sudah bisa tidak teramati lagi. Beberapa lokasi dengan nilai anomali Bouguer sedang (warna hijau, 20 - 40 mgal) yang terdapat di sekitar kawasan Majalengka - Banyumas ditafsirkan sebagai lokasi sub-cekungan seperti Sub-cekungan Majalengka, Sub-cekungan Kuningan, Sub-cekungan Tasikmalaya, Sub-cekungan Ciamis, Sub-cekungan Majenang dan Sub-cekungan Purwokerto. Nilai anomali Bouguer sedang di kawasan Tegal membentuk punggung mewakili zona terganggu atau diapir Tegal (Suyanto dan Sumantri, 1977) yang membagi Cekungan Serayu Utara menjadi Cekungan Serayu Utara bagian barat dan bagian timur. Kemudian, anomali bernilai sedang di Jawa Barat membentuk Cekungan Bogor yang berarah barat-timur. Nilai sangat rendah anomali Bouguer (<0-20 mgal) berwarna biru tua dan warna biru muda merupakan suatu cekungan yang ditutupi endapan lapisan sedimen tebal seperti dijumpai pada Cekungan Bogor dan Cekungan Serayu Utara. Hasil penafsiran struktur (Gambar 4) memperlihatkan dengan tegas kelurusan atau patahan berarah hampir barat-timur yang disebut sebagai patahan Bogor - Bandung-Majalengka. Kelurusan tersebut kemungkinan merupakan jejak batas selatan dari Cekungan Bogor (lihat Martodjojo, 2003) atau jejak sesar anjak. Kelurusan tersebut memotong kelurusan berarah barat-laut-tenggara (Patahan Gabon-karangbolong) sekitar Zona Majalengka-Banyumas (Gambar 4), berupa sistim patahan geser mengangan



Gambar 3. Peta anomali Bouguer relief shaded yang diolah dengan metoda relief shaded menurut Yamamoto. (2003).



Gambar 4. Hasil penafsiran unsur struktur geologi dan gambaran cekungan atau sub-cekungan yang berkembang di kawasan Majalengka – Banyumas. Cekungan atau Sub-cekungan Majenang (5) merupakan daerah target untuk uji coba hipotesa terbentuknya sub-sub cekungan antar busur.



Gambar 5. Peta lokasi pengamatan dan pengukuran unsur geologi serta pengambilan conto batuan di daerah Majenang, Sawangan, Ajibarang, Wangon dan Karangpucung, Jawa Tengah (lihat Gambar 1).

(Muchsin, dr., 2002). Data seismik pantul menunjukkan bahwa patahan Karangbolong menerus dari daratan (Sribudiyani dr., 2003) ke arah lepas pantai sebagai patahan dalam (Bolliger & de Ruyter, 1975) sama halnya dengan patahan geser mengangan Gabon yang sejajar dengan patahan Karangbolong (Bolliger dan de Ruyter, 1975, Muchsin, dr., 2002). Zona kelurusan Pamanukan - Cilacap (Satyana, 2005, 2007; Armandita dr., 2009) diperkirakan merupakan patahan geser mengangan yang kemungkinan besar tersambung dengan patahan Karangbolong. Hal itu diperkirakan merupakan pasangan sesar geser mengangan Gabon dan Pamanukan - Karangbolong yang sebagian berkembang menjadi sistim patahan *duplex* atau struktur tarikan (*pull-apart*). Penipisan kerak, pembentukan cekungan atau sub-cekungan atau kegiatan kegunung apian dikontrol oleh sistim struktur tersebut. Anomali tinggi diantara anomali sedang di kawasan Zona Majalengka-Banyumas ditafsirkan sebagai sisa tubuh gunungapi. Baik sistim patahan maupun kegiatan vulkanik busur sekarang sudah tidak teramati, tererosi dan terkubur oleh endapan sedimen Tersier maupun Kuartar.

b). Sedimentologi

Lokasi pengamatan lapangan dilakukan secara terpilih (Gambar 5) di beberapa aliran sungai berbeda yang mewakili bagian depresi atau kawasan depositer cekungan (di Kali Dermaji, Lintasan Tayem), pengamatan kawasan lereng bawah pada lintasan Kali Panaruban dan kawasan lereng atas diwakili oleh pengamatan di Kali Gumelar. Lokasi pengamatan lapangan lainnya yaitu di Kali Tajum, Sawangan, Kali Rajayu, Karangpucung dan Lumbir, Jawa Tengah.

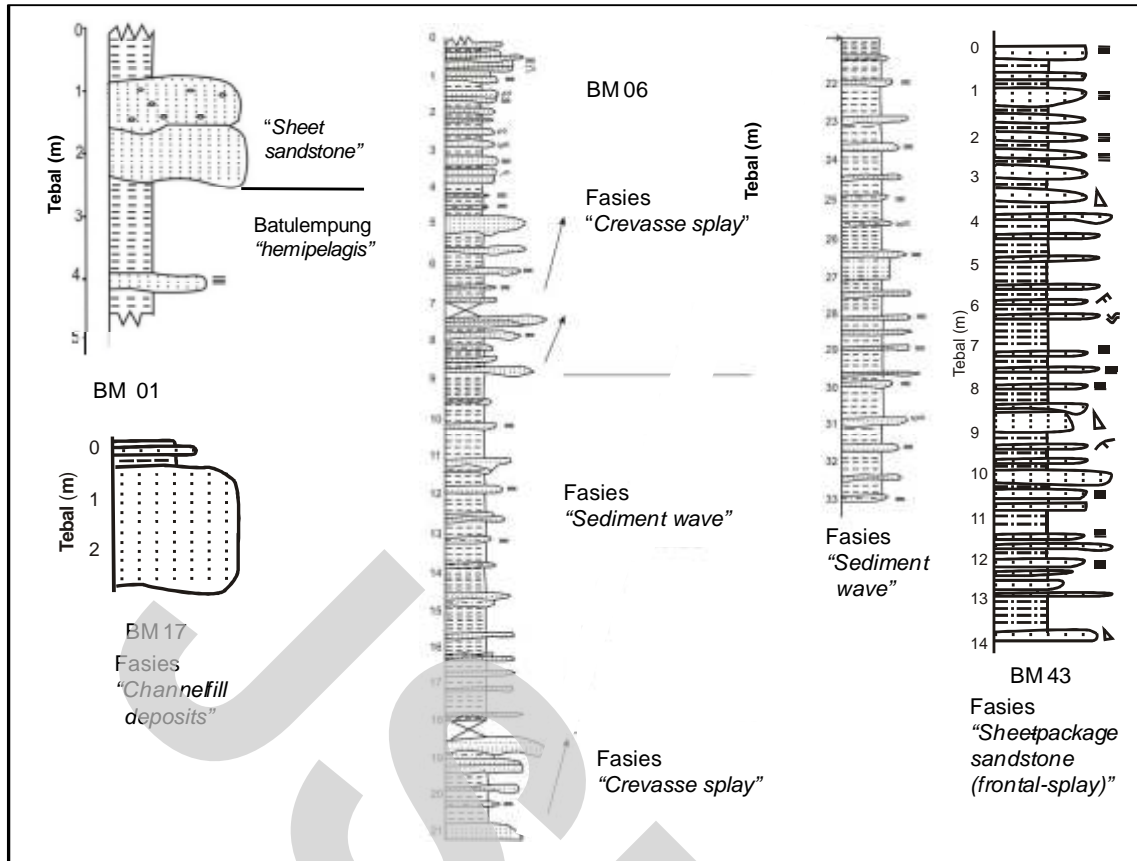
Batuan sedimen penyusun Formasi Halang berupa batupasir felspatik wake, kuarsa wake, litik wake dan foraminifera *packstone* yang kemungkinan setara dengan Formasi Halang (bagian bawah). Batuan felspatik wake BM-6B, BM-6H (Panaruban), BM-15D, BM-16 (Lumbir), BM-28B (Karangpucung), dan BM-44 (Wangon), terpilah buruk dengan kemas terbuka. Butiran penyusun batuan berupa plagioklas, hornblenda, glaukonit, fragmen batuan beku, fragmen batuan sedimen, foraminifera, mika sebagai hasil diagenesis, tertanam di dalam matriks karbonat dan mineral lempung.

Urut-urat kalsit teramati memotong butiran dan matriks batupasir, berasosiasi dengan pembentukan mineral opak. Batupasir (felspatik) tufan disusun oleh feldspar dan kuarsa sebagai mineral penyusun utama, sedikit piroksen dan muskovit tertanam di dalam matriks mineral lempung dan gelas, bersama fosil foraminifera dan hornblende. Fragmen batuan beku basaltik dan fragmen batuan ubahan hadir pada conto BM-28B (Karangpucung) dan BM-12 (Sawangan) disusun oleh butiran mineral olivin, feldspar terubah dan piroksen. Pengamatan terhadap batupasir kuarsa wake (BM-28A, Karangpucung) menunjukkan pemilahan buruk dengan kemas terbuka, disusun oleh kuarsa dan fosil foraminifera sebagai penyusun utama, bersama muskovit, feldspar, fragmen batuan beku, fragmen batuan sedimen, glaukonit, mineral opak, dan mika. Fakta menunjukkan bahwa komponen butiran penyusun batuan cukup beragam sehingga kemungkinan sumbernya berbeda, terutama batuan vulkanik yang berbeda asosiasi.

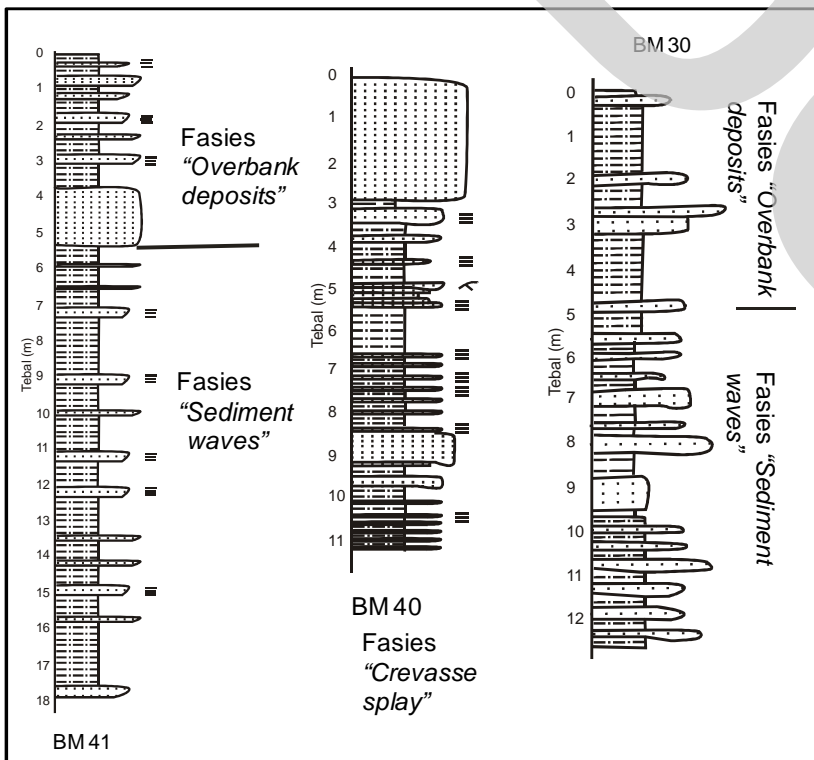
Batuan yang tersingkap di Kali Dermaji, Tayem (BM-01; N110°-125°/20°-40°E) dengan tebal sekitar 10-50 cm sampai dengan 2,5 m berupa perselingan antara batupasir wake berbutir sedang-halus dengan semen karbonat, batupasir tufaan, dan batulanau atau batulempung. Pada singkapan dijumpai fragmen andesit lapuk dan cetakan lempung (*mudclast*) mengambang dalam batupasir. Mineral tambahan dalam batupasir halus adalah material/agregat pirit autigenik berupa pirit-pirit yang berkelompok dengan bentuk membulat disertai retakan dan diselimuti oleh karbon (*carbon coating*). Pirit ini di duga berasal dari lingkungan reduksi. Dalam batulanau teramati pirit yang terdiseminasi dan berukuran halus. Dalam bentuk lain, pirit hadir terkait dengan urat-urat mineralisasi logam dasar atau dijumpai sebagai nodul-nodul, atau sebagai pirit sekunder dalam batuan ubahan termineralisasi. Formasi Halang pada lokasi BM-01, berdasarkan asosiasi litologi dan struktur sedimen, ditafsirkan sebagai bagian dari fasies *frontal splay* (Posamentier and Walker 2006) atau *Lower Fan Lobe* (Walker, 1984) yang berasosiasi dengan endapan batulempung hemipelagis seperti diperlihatkan pada profil kiri atas dalam Gambar 6a. Fasies *frontal splay* ini dicirikan oleh keberadaan batupasir kasar dan masif, dengan struktur sedimen yang tidak jelas, dan juga dijumpai batupasir kasar dengan batu lempung (*mudclast*). Lapisan batupasir ini memiliki kontak tegas dan erosional dengan lapisan batulempung

hemipelagis di bawahnya. Mikrofosil yang teramati berupa foraminifera plankton sangat melimpah dengan sedikit foraminifera bentos yang terawetkan dengan baik. Data biostratigrafi dapat dikelompokkan dalam 3 zona yaitu Zona *Globorotalia plesiotumida*, *Globorotalia tumida*, dan *Globigerinoides fistulosus* yang menandakan umur Miosen Akhir bagian atas hingga Pliosen bagian bawah. Ini dicirikan oleh kehadiran foraminifera planktonik yang melimpah serta didukung oleh kehadiran foraminifera bentos *Melonis pompilioides* serta *Globobulimina pacifica* mengindikasikan batuan diendapkan pada lingkungan laut dalam.

Formasi Halang yang tersingkap di Kali Panaruban (BM-05 - BM-10) mempunyai posisi umum N40°-60°/40°-60°E yang di beberapa tempat terpotong oleh patahan geser mengangan berarah barat daya-timur laut. Formasi Halang (BM-06) merupakan sedimen yang terendapkan pada fasies *crevasse splay* dan *sedimen waves* pada posisi lereng bawah suatu kipas bawah laut atau suatu *system Braided* dalam *Mid Fan* (Posamentier & Walker 2006; Walker, 1984) seperti pada profil tengah bawah dalam Gambar 6a. Ciri fasies tersebut adalah batupasir halus hingga kasar, dengan struktur sedimen perlapisan sejajar yang memperlihatkan pengkasaran dan penebalan ke arah atas dengan kontak erosional dengan lapisan dibawahnya. Tebal lapisan batupasir antara 5 - 50 cm mengandung nodul-nodul batuan vulkanik yang tertanam dalam batupasir yang mengandung butiran halus pirit. Struktur sedimen yang berkembang adalah perlapisan sejajar, perlapisan bergelombang, *convolut*, serta *ripple*, terutama pada fasies *crevasse splay* bagian atas. Pada bagian atas fasies ini terdapat lapisan batupasir yang terlapis oleh lapisan karbon. Fasies *sediment waves* berkembang pada bagian bawah dan tengah lintasan, dicirikan oleh dominasi batulempung dengan sisipan tipis batupasir. Pada singkapan diperlihatkan perulangan antara batulempung dan batupasir. Batupasir tersusun oleh batupasir halus hingga kasar, dengan tebal antara 5 - 35 cm, dan secara umum berkembang struktur sedimen perlapisan sejajar dan bergelombang. Sebaliknya, endapan batulempung tidak menunjukkan adanya struktur sedimen yang berkembang. Mineralisasi dijumpai pada batupasir berupa propilitisasi (singenetik) tersebar dalam matriks diseminasi. Batupasir halus termineralisasi menjadi fragmen pada batupasir kasar.



Gambar 6a. Kolom stratigrafi dan penafsiran lingkungan pengendapan dalam sistim arus gravitasi kipas bawahlaut di dalam kawasan Sub-Cekungan Majenang hasil pengamatan pada lokasi BM 01, BM 06, BM 17 dan BM 43. Lokasi pengamatan lengkap diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 6b. Kolom stratigrafi dan penafsiran lingkungan pengendapan dalam sistim arus gravitasi kipas bawahlaut di dalam kawasan Sub-Cekungan Majenang pada lokasi pengamatan BM 30, BM 40 dan BM 41. Lokasi lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.

Pengamatan di Kali Gumelar (BM-30 dan BM-31) memperlihatkan kondisi singkapan sangat terdeformasi, terlipat, lipatan rebah dengan arah sumbu atau bidang perlapisan barat daya - timur laut. Singkapan Formasi Halang ditafsirkan sebagai endapan fasies *channel – overbank* (Posamentier & Walker 2006; Gambar 6b, kanan atas). Fasies ini dicirikan oleh batupasir sedang – kasar, massif, serta memiliki kontak tegas dan erosional dengan lapisan dibawahnya. Lapisan batupasir ini memiliki tebal 5 – 60 cm. Struktur *slump* juga dijumpai pada lokasi ini. Ciri lain dari fasies ini adalah adanya pola penghalusan dan penipisan ke arah atas.

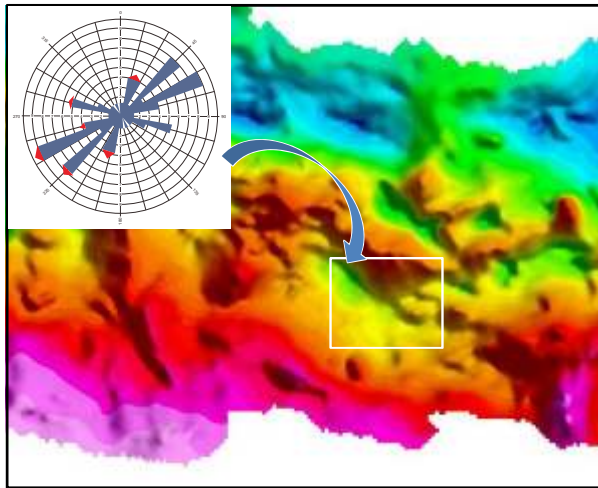
Studi sedimentologi menunjukkan lingkungan pengendapan sedimen pengisi Sub-Cekungan Majenang adalah lingkungan pada kondisi arus gravitasi kipas bawah laut (Walker, 1984). Analisis suatu kolom stratigrafi yang tidak terganggu patahan menunjukkan ragam fasies-fasies pengendapan pada satu kolom, seperti fasies *channel-overbank* menjadi fasies *crevasse splay* lalu fasies *overbank deposits* (BM-41, Gambar 6b). Contoh lainnya adalah fasies *overbank deposits* berubah menjadi fasies *sediment waves* (BM-06, Gambar 6a). Perubahan fasies tersebut kemungkinan terkait erat dengan aktifitas tektonik dimana dasar cekungan tidak stabil atau naik atau turun. Gambar 6a,b memperlihatkan gambaran umum kondisi fasies sedimentasi dalam Sub-Cekungan Majenang. Berdasarkan hasil analisa seluruh lintasan, dapat diberikan catatan bahwa secara umum dapat digambarkan bahwa Sub-cekungan Majenang diisi sedimen pada kondisi arus gravitasi kipas bawah laut, mulai dari bagian laut dangkal pada suatu lereng bagian atas sampai *basinal* berupa laut dalam.

Struktur sedimen yang terekam dalam singkapan batuan seperti *ripple mark*, *crossbedding* dan *flute cast* dapat dimanfaatkan untuk menentukan arah arus purba. Analisis data arus purba, setelah dikoreksi terhadap bidang perlapisan menunjukkan arah utama pengendapan ke arah barat daya dan sedikit ke arah barat-barat laut, selatan-barat daya dan utara-timur laut (Gambar 7). Akan tetapi perlu kehati-hatian dalam menafsirkan arah arus purba karena kemungkinan dapat berubah atau tergeser akibat kegiatan tektonik. Walaupun demikian, arah tersebut menunjukkan adanya kemungkinan sumber sedimen yang berasal selain dari selatan atau Pegunungan selatan. Sumber sedimen tersebut datang dari timur laut dan timur yang kemungkinan berasal dari produk vulkanik busur yang tumbuh membatasi atau memisahkan sub-sub cekungan.

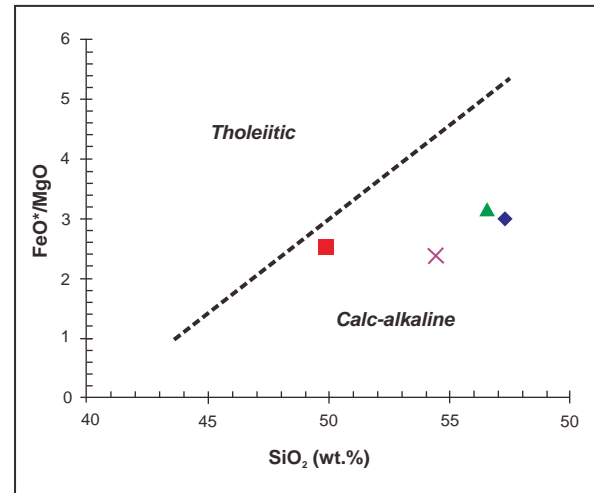
c). Kimia Batuan

Sebanyak 4 contoh BM 23, BM 13, K.ARS.03 dan K.ARS, berupa fragmen batuan vulkanik yang tertanam di dalam batupasir. Analisa kimia batuan antara lain analisa unsur utama (*major elements*), unsur jejak (*trace elements/TE*) dan unsur tanah jarang (*rare earth mineral/REE*). Unsur kimia hasil analisa memiliki total oksida + 2%, sehingga layak dipergunakan untuk analisis batuan. Menurut diagram klasifikasi batuan (Miyashiro, 1974) berdasarkan rasio antara SiO_2 dengan FeO^*/MgO (Gambar 8), seluruh contoh batuan Banyumas memiliki karakter batuan kalk-alkalin yang merupakan ciri khas batuan yang terbentuk pada lingkungan konvergensi lempeng aktif pada lingkungan busur (*arc environment*) (Wilson, 1989).

Diagram unsur tanah jarang yang di normalisasi terhadap *Chondrite* mencirikan pengkayaan unsur dari HREE ke LREE merupakan karakter batuan kalk alkalin (Wilson, 1989) yang terbentuk pada lingkungan subduksi lempeng (Wilson, 1989; Maury, 1993). Contoh BM 23 menunjukkan kalk-alkalin normal, sedang tiga contoh lainnya menunjukkan sedikit pengkayaan La (sekitar 100, Gambar 9) sehingga dapat dikelompokkan pada kalk alkalin sedikit kaya potasium (Wilson, 1989). Sementara itu, diagram unsur jejak yang dinormalisasi terhadap N-Morb (Sun & McDonough, 1989) memperlihatkan pengkayaan terhadap unsur tidak kompatibel seperti Rb, Ba dan Th (Wilson, 1989; Maury, 1993) dan miskin kandungan yang memiliki potensial ion tinggi seperti Ce, Zr, Hf, Sm, Y dan Yb (Wilson, 1989). Diagram unsur jejak tersebut mencirikan batuan terbentuk pada lingkungan busur vulkanik (Wilson, 1989; Sun & McDonough, 1989; Maury, 1993). Penurunan kandungan unsur Sr dan P disebabkan pengaruh sedimen yang terlibat dalam zona subduksi (Sun and McDonough, 1989) sedangkan penurunan unsur K dan Ba diakibatkan oleh peran mineral flogopit yang terkandung dalam sedimen palung (Sun and McDonough, 1989). Hasil analisis kimia batuan fragmen andesit dalam batuan sedimen Formasi Halang dalam Sub-cekungan Majenang menunjukkan sumber batuan berasal dari vulkanik busur belakang dalam lingkungan subduksi lempeng. Keseragaman relatif pola unsur tanah jarang menunjukkan semua fragmen vulkanik berasal dari sumber magma yang sama yang sedikit terkontaminasi oleh kehadiran sedimen.



Gambar 7. Pengukuran arus purba di dalam Sub-cekungan Majenang, Banyumas, Jawa Tengah yang menunjukkan arah utama ke arah barat daya.



Gambar 8. Klasifikasi afinitas batuan vulkanik (Miyashiro, 1974). Kotak merah: BM-13; persegi biru: BM-23; kali: K.ARS dan segitiga hijau: K.ARS.03.

d). Kinematika

Struktur geologi yang berkembang dalam Formasi Halang adalah lipatan (antiklin-sinklin) dengan arah umum barat laut-tenggara dan sesar mendatar umumnya berarah utara-selatan atau barat daya-timur laut dengan pergeseran mengangan atau mengiri memotong struktur lipatan sedangkan sesar naik umumnya berarah barat laut - tenggara yang beberapa diantaranya berkelok membentuk arah utara-selatan (Kastowo, 1975; Djuri dr., 1996). Pola umum kelurusan struktur pada peta geologi ditampilkan dalam diagram kipas seperti pada Gambar 10. Pengukuran terhadap lebih dari 600 data unsur struktur dapat dikelompokkan menjadi 1) struktur bersifat kompresi yaitu kekar, kekar utama, kekar konyugasi, offset, dan bidang sesar; 2) struktur bersifat bukaan antara lain kekar terisi (Gambar 10) dan 3) struktur lainnya berupa bidang perlapisan, arah arus purba dan kelurusan morfologi. Data kekar kompresi menunjukkan maksima pada 4 arah kekar utama yaitu arah N35°E – N215°E; N105°OE – N285°E; N145°E – N325°E dan arah N175°E – N355°E dengan populasi yang paling tinggi berada pada arah N175°E – N355°E. Sementara itu kekar yang bersifat bukaan umumnya diisi oleh mineral kalsit dan kuarsa sedangkan data dilatasi menunjukkan arah maksima pada arah utama yaitu arah N15°E – N195°E. Hasil analisa kinematika gaya di kawasan kajian menunjukkan bahwa daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh pergerakan *dip-strike slip (normal – oblique)* dengan arah gaya utama memiliki *trend/plunge* N345°E (garis merah, Gambar 10). Berdasarkan pola sesar dengan

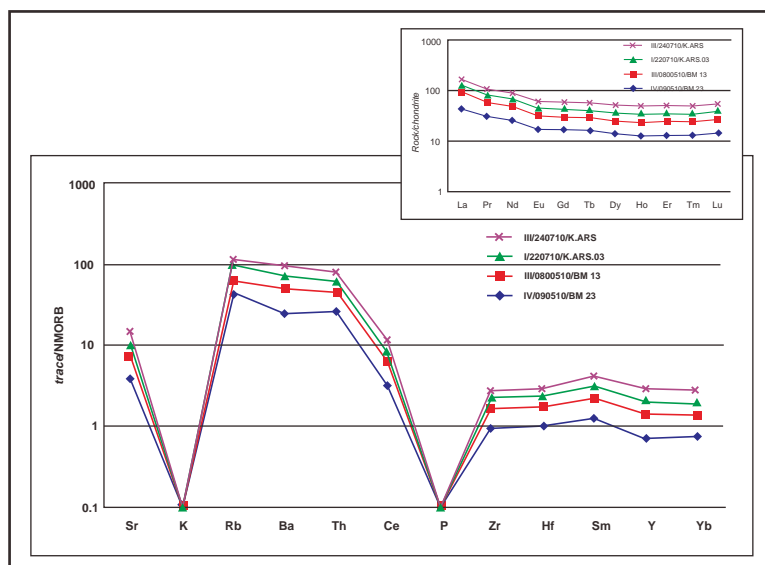
menggunakan Riedel shear model, sesar-sesar mendatar dari peta geologi regional yang berkembang di daerah penelitian bukan merupakan sesar utama akan tetapi bersifat synthetic R shear (Twist & Moores, 2007). Sesar utama tersebut diperkirakan merupakan sesar yang bersifat dalam (*deep seated structure*) dan menunjukkan pergerakan normal yang dominan disamping pergerakan mendatar dari data kekar (Gambar 10). Keberadaan sesar dengan arah N 345° E tersebut tidak dijumpai di permukaan sehingga tidak tergambar pada peta geologi regional. Walaupun demikian, kehadiran struktur pada arah tersebut masih dapat dikenali melalui peta anomali Bouguer. Struktur arah N 345° E dihipotesakan sebagai struktur utama yang didominasi oleh pergerakan *dip-slip* serta *strike-slip*. Analisis kinematika tersebut sesuai dengan hasil penafsiran kuantitatif dari peta anomali Bouguer regional (Gambar 4), yang mana struktur utama tersebut didominasi oleh *dip-slip* yang ditunjukkan oleh *shading* yang lebar. Arah struktur utama tersebut yaitu N330°E – N 345°E, merupakan struktur yang bersifat *deep seated* yang tidak teridentifikasi di permukaan. Struktur tersebut merupakan bagian dari segmen Patahan Gabon dan Patahan Majalengka-Karangbolong yang berperan dalam pembentukan sub cekungan Majenang.

Analisis/Diskusi

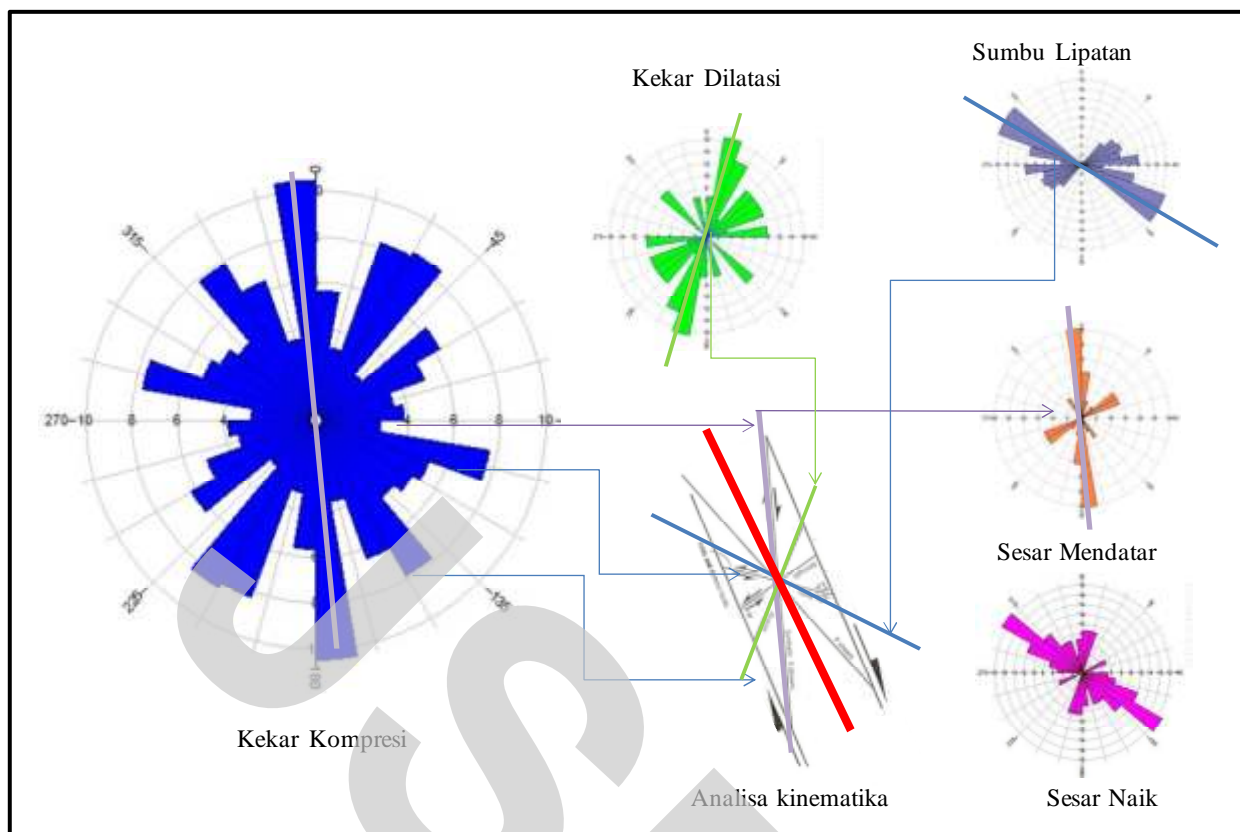
Data anomali Bouguer menunjukkan bahwa Cekungan Serayu Selatan dalam Zona Majalengka – Banyumas disusun oleh beberapa sub-sub cekungan yang dipisahkan oleh tinggian. Salah satu sub

cekungan tersebut yaitu Sub-Cekungan Majenang diisi oleh endapan sedimen vulkanoklastik turbidit atau endapan arus gravitasi kipas bawahlaut. Hadirnya batupasir wake disusun butiran mineral plagioklas dan hornblenda bersumber dari batuan hornblenda andesitik. Analisa kimia fragmen batuan menunjukkan batuan bersumber dari Vulkanik Busur (Belakang) atau Vulkanik Antar Busur. Data arus purba menunjukkan sumber utama sedimentasi berasal dari sebelah timur laut cekungan dan sedikit berasal dari kawasan sebelah timur-tenggara, utara-timur laut dan selatan-barat daya. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sumber utama endapan dalam sub cekungan Majenang berasal dari vulkanisme antar busur vulkanik yang kemungkinan hadir bersamaan dengan pembentukan Formasi Halang (bagian bawah) yang berumur Miosen Akhir-Pliosen dicirikan oleh kehadiran lapisan batupasir tufan. Data arus purba lain menunjukkan arah pengendapan ke utara dimana batuanannya disusun oleh mineral feldspar, olivin maupun piroksen yang diduga berasal dari sumber batuan basaltik dari Formasi Andesit Tua (*Old Andesite Formation*) yang ada di sisi selatan cekungan. Analisis sedimentologi menunjukkan fasies pengendapan bawahlaut yang beragam terutama pada bagian lereng bawah. Bagian paling dalam dari Sub-cekungan Majenang diisi sedimen vulkanoklastik turbidit laut dalam sebagai *frontal splay* dalam lingkungan *basinal plain*. Pengendapan pada laut dangkal yaitu pada bagian lereng cekungan dicirikan suksesi mulai dari *channel – overbank*, *crevasse splay*, *channel fill* atau *sediment waves*. Variasi lingkungan pengendapan tersebut menandakan pengisian Sub-Cekungan Majenang terjadi sangat dinamis secara tektonik.

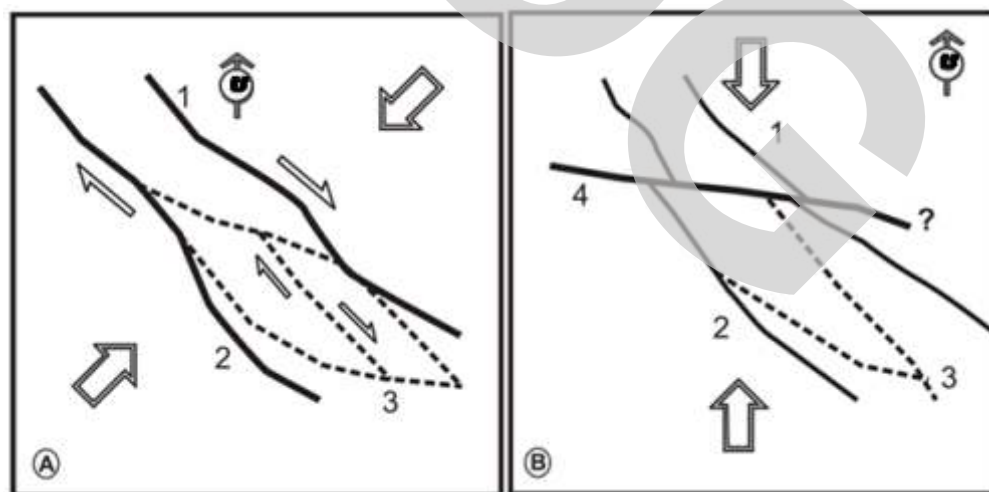
Sub-Cekungan Majenang atau sub-sub cekungan yang berkembang di Kawasan Majalengka-Banyumas dikontrol oleh sistem pasangan patahan geser mengenai Gabon dan Pamanukan-Karangbolong yang berarah barat laut-tenggara sejak Miosen Awal. Terbukanya sub-sub cekungan tersebut dan berkembangnya sesar Cilacap dapat diterangkan dengan model *pull-apart* atau *duplex* (Twiss & Moores, 2007). Pembukaan cekungan dan kemungkinan penipisan kerak diikuti oleh kegiatan kegunung apian dalam lingkungan busur yang menjadi sumber sedimentasi gravitasi kipas bawah laut di dalam kawasan Cekungan Antar Busur. Sistem pasangan patahan Gabon dan Pamanukan-Karangbolong dikontrol oleh subduksi relatif miring pada Oligosen-Miosen Awal sampai Miosen Tengah (Hamilton, 1979; Hall, 1996) atau kemungkinan sampai Miosen Akhir. Subduksi normal antara Lempeng Indo-Australia dengan Busur Vulkanik Jawa membentuk kelurusan barat-timur Bogor-Bandung-Majalengka menyebabkan terhentinya kegiatan patah berarah barat laut-tenggara (Gabon-Karangbolong) sejak Pliosen (Hamilton, 1979; Hall, 1996; Sribudiyani dr., 2003). Sejak Plistosen, subduksi normal tersebut menjadi penyebab dari terangkatnya secara tektonik kawasan Cekungan Banyumas-Majalengka membentuk tinggian topografi. Sketsa perkembangan struktur geologi yang mengontrol pembentukan Sub-Cekungan Majenang diperlihatkan pada Gambar 11. Rekonstruksi struktur geologi ataupun paleogeografi tersebut masih memerlukan validasi terutama umur batuan terutama dari fosil nanno, lingkungan pengendapan dan juga analisa kinematika struktur geologi lebih rinci.



Gambar 9. Diagram lab-laba unsur jejak (*trace element*) di normalisasi terhadap *N-MORB* yang menunjukkan secara konsisten pengkayaan menuju kelompok unsur tidak kompatibel (sisi kiri). Inset menunjukkan diagram lab-laba unsur tanah jarang yang dinormalisasi terhadap *Chondrite*, dengan ciri pengkayaan dari unsur bersifat *HREE* (kanan) menuju unsur bersifat *LREE* (kiri). Karakter diagram tersebut menunjukkan sumber batuan berasal dari lingkungan busur vulkanik. Keseragaman diagram menunjukkan dari sumber magma yang sama.



Gambar 10. Diagram kipas dan maksima dari sumbu lipatan, sesar geser, sesar naik serta diagram kipas hasil pengukuran kekar berupa kekar kompresi dan kekar dilatasi. Analisa kinematika terhadap unsur struktur yang berkembang mensyaratkan hadirnya patahan geser sinistral dengan arah N330°E – N 345°E (Patahan Karangbolong? Patahan Gabon?).



Gambar 11. Gambar kiri (A) menunjukan sketsa penunjaman relatif miring pada Awal Miosen Awal-Miosen Tengah membentuk pasangan patahan geser Gabon (2) dan Patahan Karangbolong (1). Mekanisme pull apart atau duplex membentuk cekungan dan patahan geser (Cilacap?, 3) dan vulkanisme busur diikuti pengisian cekungan pada Miosen Akhir. Gambar kanan (B) menjelaskan kejadian penunjaman normal sejak Pliosen dari lempeng Australia membentuk patahan berarah barat-timur (Bogor-Bandung-Majalengka, 4) yang memotong kelurusan patahan baratlaut-tenggara (Gabon-Karangbolong, 1 dan 2).

Kesimpulan

Penelitian ini dapat memberikan beberapa kesimpulan seperti diuraikan di bawah ini.

1. Melalui pendekatan geofisika dan sedimentologi telah dapat dibuktikan bahwa di kawasan Majalengka-Banyumas telah terbentuk sub-sub cekungan, salah satunya adalah Sub-cekungan Majenang. Pembentukan sub-cekungan tersebut dikontrol oleh kegiatan pasangan patahan geser mengangan Gabon dan Pamanukan-Karangbolong yang dipicu oleh subduksi relatif miring pada Oligosen-Miosen Akhir.
2. Sub-cekungan Manjenang diisi oleh endapan sedimen vulkanoklastik turbidit pada kondisi arus gravitasi kipas bawah laut, mulai dari lereng bagian atas, lereng bagian bawah cekungan sampai pada *basinal* yang kemungkinan seumur dengan Formasi Halang bagian bawah (Miosen Akhir).
3. Data arus purba menunjukkan arah utama pengendapan ke arah barat daya dan sedikit ke arah barat-barat laut, selantan-barat daya yang bersumber dari produk vulkanisme antar busur

vulkanik (kalk alkalin). Kehadiran batupasir tufan mengindikasikan hadirnya kegiatan vulkanik selama pengendapan Formasi Halang. Sumber endapan lainnya dari arah selatan-barat daya berasal dari Formasi Andesit Tua di selatan cekungan.

4. Penunjaman normal Lempeng Indo-Australia dengan Busur Vulkanik Jawa sejak Pliosen membentuk patahan berarah barat-timur yang memotong dan menonaktifkan kelurusan patahan berarah barat laut - tenggara dan mengakibatkan terjadinya pengangkatan tektonik kawasan cekungan Banyumas-Majalengka membentuk tinggian topografi sejak Plistosen.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Puslit Geoteknologi – LIPI yang telah memberikan kesempatan dalam melaksanakan penelitian ini. Terima kasih kami sampaikan kepada pemerintah setempat dan semua pihak sehingga penelitian ini dapat berlangsung. Kegiatan penelitian ini dibiayai dengan dana DIPA-LIPI Tahun Anggaran 2010, Program 01.04.01 dan Kode Kegiatan 00046.

Acuan

- Armandita, C., Mukti, M.M. & Satyana, A., 2009. Intra Arc Trans Tension Duplex of Majalengka to Banyumas Area: Prolific Petroleum Seeps and Opportunities in West Central Java Border. *Proc. IPA. Thirty-Third Annual Convention and Exhibition, May 2009.*
- Bolliger, W. & de Ruiter, P. A. C., 1975. Geology of the South Central Java offshore area, *Proc. 4th Annual Convention IPA, p. 67-82.*
- Djuri, M. Samodra, H., Amin, T.C. & Gafoer, S., 1996. *Peta Geologi Lembar Purwokerto, Jawa Tengah, skala 1:250.000.* P3G, Bandung.
- Hall, R., 1996. *Reconstructing Cenozoic SE Asia.* From Hall, R. & Blundell, D. (eds.) 1996. Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geological Society of London Special Publication No. 106, pp. 153-184.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations, *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 20, p. 353-434.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian region*, U.S.G.S. Professional Paper, 1078, 345 p.
- Hendrizan, M., 2006. Biostratigrafi Foraminifera Lapangan X Kabupaten Kuningan dan Sekitarnya. Universitas Padjadjaran: Skripsi. Tidak diterbitkan.
- Kastowo, 1975. *Peta Geologi Lembar Majenang, Jawa Tengah, skala 1:100.000.* P3G, Bandung.
- Lunt, P., Burgon, G. & Baky, A., 2009. The Pemali Formation of Central Java and Equivalents: Indicators of sedimentation on an active plate margin. *Journal of Asian Earth Sciences*. p. 100-113.

- Maury, R. C., 1993. Les séries volcaniques. *Mém. Soc. Géol. France*, v. 163, p. 39-55.
- Martodjojo, S., 2003. *Evolusi Cekungan Bogor*. h.238. Penerbit ITB, Bandung.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am.J. Sci.* 274, 321-55
- Muchsin, N., Ryacudu, R., Widyokunto, and Sri Budiyani, Yulihanto, B., Wiyanto, B. Nurjayadi, A., Rahardjo, K., and Riandra, F., 2002. Miocene Hydrocarbon System of the Southern Central Java Region. *Procc. Ann. IAGI 2002*.
- Mukti, M.M, Armandita, C., Maulin, H.B. and Makoto, I., 2008. Turbidites Depositional Systems of the Lower Halang Formation Strata Architecture of Slope to Basin Floor Succession. *Pros. PIT IAGI ke-37*. Agustus 2008.
- Mukti, M.M., Ito, M., and Armandita, C., 2009. Architectural Elements of a Longitudinal Turbidite System: the Upper Miocene Halang Formation Submarine Fan System in the Bogor Trough, West Jawa. *Proc. IPA. Thirty-Third Annual Convention and Exhibition, May 2009*.
- Mulhadiono, 1973. Petroleum Possibilities of the Banyumas Area. *Proc. IPA 2nd*, June 1973.
- Posamentier, H.W., and Walker, R.G., 2006, *Deep-water turbidites and submarine fans*: SEPM Special Publication 84, p. 399-520.
- Satyana, A.H. and Armandita, C., 2004. Deepwater Plays of Java, Indonesia: Regional Evaluation on Oportunities and Risks. *IPA Proc. Deepwater And Frontier Exploration In Asia & Australasia Symposium*, December 2004.
- Satyana, A.H. and Armandita, C., 2004. Deepwater Plays of Java, Indonesia: Regional Evaluation on Oportunities and Risks. *IPA Proc. Deepwater And Frontier Exploration In Asia & Australasia Symposium*, December 2004.
- Satyana, A.H., 2005. Oligo-Miocene Carbonates of Java, Indonesia: Tectonic-Volcanic Setting and Petroleum Implications. *Proc. IPA. Thirtieth Annual Convention & Exhibition*, August 2005.
- Satyana, A.H., 2007. Central Java, Indonesia – A Terra Incognita” in *Petroleum Exploration: New Consideration on the Tectonic Evolution and Petroleum Implication*. *Proc. IPA. Thirty-First Annual Convention and Exhibition* May 2007.
- Sribudiyani, Prasetya, I., Muchsin, N., Sapiie, B., Ryacudu, R., Asikin, S., Kunto, T, Harsolumakso, A.H., Astono, P. and Yulianto, I., 2003. The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurences in the East Java Basin. *Proc. IPA. Twenty-Ninth Annual Convention & Exhibition*, October 2003.
- Suyanto, F.X., Roskamil, 1975. The Geology and Hydrocarbon Aspect of The South Central Jawa. *4th Annual Meeting IAGI, Bandung*, December 1975.
- Suyanto, F.X., & Sumantri, Y.R., 1977. Preliminary Study on the Tertiary Depositional Pattern of Java. *Proc IPA. Sixth Annual Convention*, May 1977.
- Sun, S.-s., & McDonough, W.F., 1989. *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. implications for mantle composition and processes.*, in Saunders, A. D. a. N., M.J, editor, *Magmatism in the Ocean Basins*. London, *Geological Society Special Publication*, p. 313-345.
- Twiss, R.J., & Moores, E.M., 2007. *Structural Geology*. 2nd ed. W.H Freeman and Company. New York. 714p.
- van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Government Printing Office, Nijhoff, The Hague, 732p.
- Walker, R.G., 1984. *Turbidites and Associated Coarse Clastic Deposits*. In Walker, R.G. (ed) *Facies Models*, 2nd Edition. Geoscience Canada. 317p.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman. 466p.
- Yamamoto, A., 2003. Gravity-Based Active Fault Mapping around the Eastern Margin of the Ishikari Lowland, Hokkaido, *Japan. Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, 12 (1): 17-39, 2003.