

STUDI PENDAHULUAN EVOLUSI CEKUNGAN LAUT DALAM BUSUR BELAKANG DI BAGIAN BARAT PULAU JAWA

Haryadi Permana¹, Purna Sulastiya Putra¹, Ahmad Fauzi Ismayanto¹,
Iwan Setiawan¹ dan Marfasran Hendrizen¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI
Jl Sangkuriang, Bandung-40135
Email: permhp@yahoo.com

Sari

Cekungan di antara busur yang berada di dalam lingkungan zona cekungan laut dalam busur belakang atau zona kompresi Majalengka – Banyumas terbentuk akibat peregangannya pasangan patahan geser Gabon dan Pamanukan-Karangbolong yang berarah barat-laut-tenggara pada Miosen Awal. Salah satu sub-cekungan tersebut adalah Sub cekungan Majenang tempat diendapkan sedimen vulkanoklastik berupa endapan arus gravitasi epiklastik dalam suatu kipas bawah laut berumur Miosen Akhir – Pliosen. Endapan tersebut berasal dari batuan yang berasosiasi dengan vulkanik busur belakang bersifat kalk alkalin yang tumbuh di dalam zona patahan tersebut atau memisahkan sub-sub cekungan dan sumber lain berasal dari Pegunungan Selatan. Pasangan patahan geser Gabon dan Pamanukan-Karangbolong menjadi tidak aktif setelah berkembangnya patahan regional Bogor – Bandung –Majalengka berarah barat-timur akibat penunjaman normal Lempeng Australia.

Studi rinci pola struktur geologi, anomali gayaberat dan kinematika struktur geologi yang berkembang di Zona Majalengka – Banyumas, proses sedimentasi dan stratigrafi endapan arus gravitasi kipas bawah laut, serta hasil analisis petrologi dan kimia batuan piroklastik dan epiklastik di dalam zona ini memberikan bukti kuat terbentuknya suatu sub-sub cekungan di antara busur di wilayah cekungan laut dalam busur belakang pada saat Miosen Akhir di bagian barat Pulau Jawa.

Kata kunci: cekungan di antara busur, cekungan laut dalam, peregangannya, endapan arus gravitasi, kipas bawah laut, busur vulkanik, kalk alkalin

Abstract

An intra-arc basin within back arc deep sea basin zone or Majalengka - Banyumas compressional zone has developed relate to trans-tensional of pair of NW-SE strike slip fault of Gabon and Pamanukan-Karangbolong fault zone in Early Miocene. One of sub basin is Majenang sub basin where epiclastic gravitational sediments of submarine fan are deposited in Late Miocene-Pliocene. The source of sediment deposit was associated with calc alkalin back arc volcanic edifice that separated the sub basins. Other volcanoclastic source is Southern Mountain. The Gabon and Pamanukan-Karangbolong become in active after EW regional fault of Bogor – Bandung –Majalengka development during normal subduction of Australia Plate.

Detailed study of geological structure pattern, gravity anomaly and kinematic of structures developed in Majalengka - Banyumas zone, sedimentation process and gravitational sediment submarine fan stratigraphy and combining with petrology and geochemistry characteristic of pyroclastic and epiclastic rocks strongly evidenced the development of intra arc basin within the Late Miocene deep water back arc in western Java.

Keyword: *intra-arc basin, deep sea basin, cekungan laut dalam, transtensional, peregangan, gravitational sediment, submarine fan, volcanic arc, calk alcalin*

PENDAHULUAN

Cekungan utama di kawasan Jawa bagian barat termasuk ke dalam zona fisiografi Zona Bogor – Serayu Utara – Kendeng (Bemmelen, 1949). Cekungan tersebut dikenal sebagai Cekungan Bogor umumnya diisi oleh endapan kipas laut dalam berumur Miosen – Pliosen (Satyana dan Armandita, 2004). Cekungan Bogor terbentuk mulai dari bagian tengah Jawa bagian barat menerus ke arah Jawa bagian tengah yang disebut sebagai Cekungan Serayu. Cekungan Bogor di bagian barat dari Cekungan Serayu Utara dan Cekungan Serayu bagian selatan dipengaruhi oleh pola struktur *transtensional duplex* pada Zona Majalengka – Banyumas (Muchsin, 2002; Armandita dkk., 2009) yang terbentuk akibat patahan regional Pamanukan – Cilacap (Satyana, 2005). Salah satu cekungan dalam zona tersebut di sekitar Kuningan pada saat Miosen Akhir – Pliosen menjadi tempat diendapkannya endapan arus gravitasi epiklastik yang ditafsirkan berada pada posisi proximal dalam suatu kipas bawah laut. Endapan tersebut diduga berasal dari vulkanik busur belakang terisolasi, yang posisinya terletak jauh lebih di utara dibanding jalur busur vulkanik Miosen Akhir – Pliosen (Mukti dkk., 2008). Cekungan yang terbentuk tersebut diusulkan sebagai Cekungan Diantara Busur (*Intra-Arc Basin*), atau suatu cekungan yang terbentuk didalam zona busur vulkanik dimana tubuh vulkanik sebagai pemisah antar sub-cekungan. Pada saat Miosen Akhir – Pliosen cekungan tersebut terbentuk (Armandita dkk., 2009) dicirikan dengan adanya suatu tubuh vulkanik terisolasi yang menjadi sumber sedimentasi turbidit vulkaniklastik (Mukti dkk., 2008). Endapan vulkaniklastik di kawasan tersebut dikenal sebagai Formasi Halang berumur Akhir Miosen (Satyana dan Armandita, 2004) sedangkan Lunt *et al* (2010) memasukkannya kedalam Formasi Pemali berumur Akhir Miosen-Pliosen. Pengukuran arus purba Formasi Halang di daerah Kuningan menunjukkan arah dari utara-utara-barat ke arah tenggara (Armandita dkk, 2009). Sebaliknya, Hendrizon (2006) menyatakan bahwa lingkungan laut di kawasan sebelah timur Kuningan menunjukkan semakin mendalam dari tenggara ke barat laut berdasarkan studi foraminifera terhadap 3 lintasan geologi yang berbeda. Dengan kata lain dijumpai fakta adanya arus purba dari tenggara ke barat laut. Oleh karena itu kajian rinci dari stratigrafi (biostratigrafi dan fasies pengendapan) diharapkan akan memberikan informasi spesifik mengenai status dari Formasi Halang di kawasan telitian. Selain itu, identifikasi material vulkanik/epiklastik diperlukan untuk mengetahui apakah endapan epiklastik tersebut merupakan material rombakan berasal dari dari utara, atau ada sumber vulkanik lain di daerah Banyumas itu sendiri secara lokal atau sumber lain dari arah selatan.

Sampai saat ini, belum ada kegiatan eksplorasi minyak bumi di kawasan selatan dari Jawa Tengah sukses menemukan cadangan hidrokarbon. Oleh karena itu, kajian ulang terhadap pembentukan cekungan di selatan Jawa Tengah cukup mengemuka sejak 2004. Hipotesa yang banyak diulas salah satunya adalah terbentuknya sub-sub cekungan di kawasan selatan Jawa Tengah yang dikontrol struktur *transtensional duplex* pasangan patahan geser yang berarah barat laut-tenggara (Satyana dan Armandita, 2004; Satyana, 2005; Satyana, 2007; Armandita, *et al*, 2009). Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk ikut dalam melengkapi konsep tektonik baru terkait dengan hipotesa pembentukan cekungan antar busur di bagian barat Pulau Jawa yang dapat dijadikan acuan dalam eksplorasi hidrokarbon dan mineral. Kegiatan penelitian lapangan untuk membuktikan hipotesa tersebut khususnya melalui penelitian proses pengendapan Formasi Halang yang tersingkap di kawasan Kabupaten Banyumas yaitu di Kecamatan Ajibarang dan Kecamatan Wangon dan Kabupaten Cilacap yaitu sekitar Kecamatan Karangpucung, Jawa Tengah (Gambar 1). Penelitian lapangan telah dilaksanakan mulai tanggal 4 sampai 13 Mei 2010.

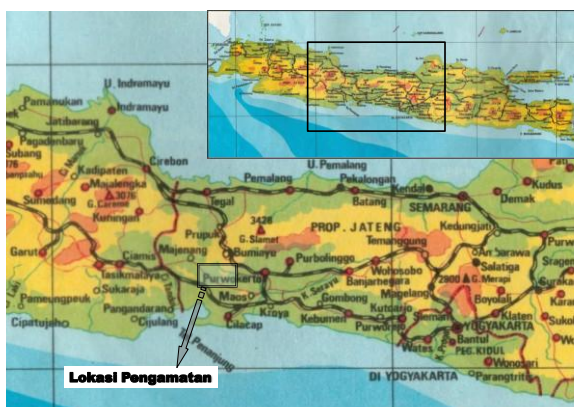
TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai melalui kegiatan penelitian ini adalah kemungkinan terbentuknya cekungan-cekungan atau sub-cekungan di dalam zona busur volkanik Tersier (cekungan antar busur) atau pada bagian tengah cekungan laut dalam busur belakang di bagian barat Pulau Jawa. Untuk menunjang pencapaian tujuan dilakukan berbagai pengolahan dan kajian data seperti kajian anomali gayaberas regional, stratigrafi, pengukuran dan kajian struktur geologi, biostratigrafi foraminifera, petrografi sedimen dan kimia batuan fragmen batuan dari Formasi Halang. Mengacu pada berbagai kajian literatur yang tersedia, maka penelitian ini dititikberatkan pada pembuktian terhadap hipotesa pembentukan sub – sub cekungan dalam zona Majalengka – Banyumas. Sub – sub cekungan tersebut dibatasi oleh tubuh volkanik busur (aktif) yang menjadi sumber endapan sedimen turbidit selain yang bersumber dari Pegunungan Selatan (Formasi Andesit Tua).

METODOLOGI

i) Kerangka Pemikiran

Pergerakan pasangan patahan geser manganan Karangbolong dan Gabon yang berarah barat-laut-tenggara pada Awal Miosen telah memicu terbentuknya cekungan-cekungan atau sub cekungan di dalam zona busur volkanik busur belakang. Cekungan laut dalam tersebut dipisahkan oleh tubuh-tubuh volkanik yang sebagian menjadi sumber pengisi cekungan. Untuk membuktikan hipotesa pembentukan cekungan atau sub cekungan tersebut dilakukan studi rinci geologi dan struktur geologi yang berkembang di Zona Majalengka – Banyumas. Diharapkan melalui studi tersebut dapat memberikan bukti kuat telah terbentuknya suatu cekungan atau sub cekungan antara busur di wilayah cekungan laut dalam pada jalur volkanik busur belakang di bagian barat Pulau Jawa. Kegiatan studi antara lain mencakup pengolahan ulang data anomali bouguer gayaberas, pengukuran unsur struktur geologi lapangan, kemudian mempelajari pola sedimentasi dan stratigrafi endapan arus gravitasi kipas bawah laut, serta analisis pola kimia batuan epiklastik yang diendapkan di dalam zona ini. Teramatinya struktur utama berarah barat – timur memotong bagian tengah Jawa bagian barat mulai dari Banten, 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 laut dalam atau cekungan/sub cekungan antar busur dalam Zona Cekungan Majalengka-Banyumas.



Gambar 1. Peta lokasi kegiatan penelitian lapangan di Kabupaten Banyumas dan Cilacap, Propinsi Jawa Tengah.

ii) Metoda Pengumpulan Data

Pengumpulan dan pengkajian data sekunder meliputi studi literatur terbit, peta geologi dan topografi, interpretasi citra satelit dan pengolahan data anomali bouguer gayaberat. Dalam kegiatan ini termasuk mengolah ulang data anomali bouguer gayaberat dengan teknik *relief-shaded* (Yamamoto, 2003) sehingga dapat mendelineasi dan membatasi segmen-segmen patahan dengan lebih terperinci.

Penelitian geologi lapangan antara lain pengamatan dan pencatatan fakta geologi berupa pengukuran koordinat lokasi pengamatan dengan *GPS*, jenis satuan batuan, stratigrafi, dan geologi struktur. Pengamatan lapangan dilakukan secara terpilih setelah dilakukan perbandingan seluruh data sekunder yang tersedia. Lintasan biostratigrafi dilakukan dengan pengambilan sampel secara terperinci dengan interval 1 m, untuk mendapatkan 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 ini digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui pelamparan lateral dari sedimen arus gravitasi kipas bawahlaut.

Metoda lain adalah analisis laboratorium antara lain analisis petrografi batuan sedimen dan fragmen batuan beku, geokimia batuan epiklastik dan biostratigrafi. Studi karakter kimia batuan vulkanik dan epiklastik dari Formasi Halang diharapkan dapat menjawab sumber batuan dari Formasi Halang yang tersingkap di kawasan Banyumas. Untuk penafsiran biostratigrafi dan lingkungan pengendapan digunakan foraminifera baik planktonik maupun bentos.

HASIL PENELITIAN

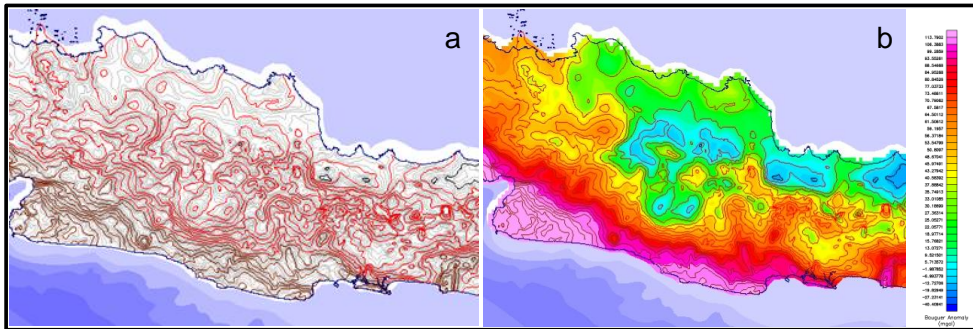
Penelitian ini merupakan penelitian multi aspek seperti kajian gayaberat, struktur geologi, sedimentologi, petrologi dan biostratigrafi. Dengan pendekatan multi aspek tersebut diharapkan berbagai aspek geologi di kawasan yang sama dapat dianalisis sehingga hasilnya lebih dapat menerangkan proses geologi lebih jelas. Di bawah akan diuraikan hasil dari setiap aspek.

1) Gayaberat

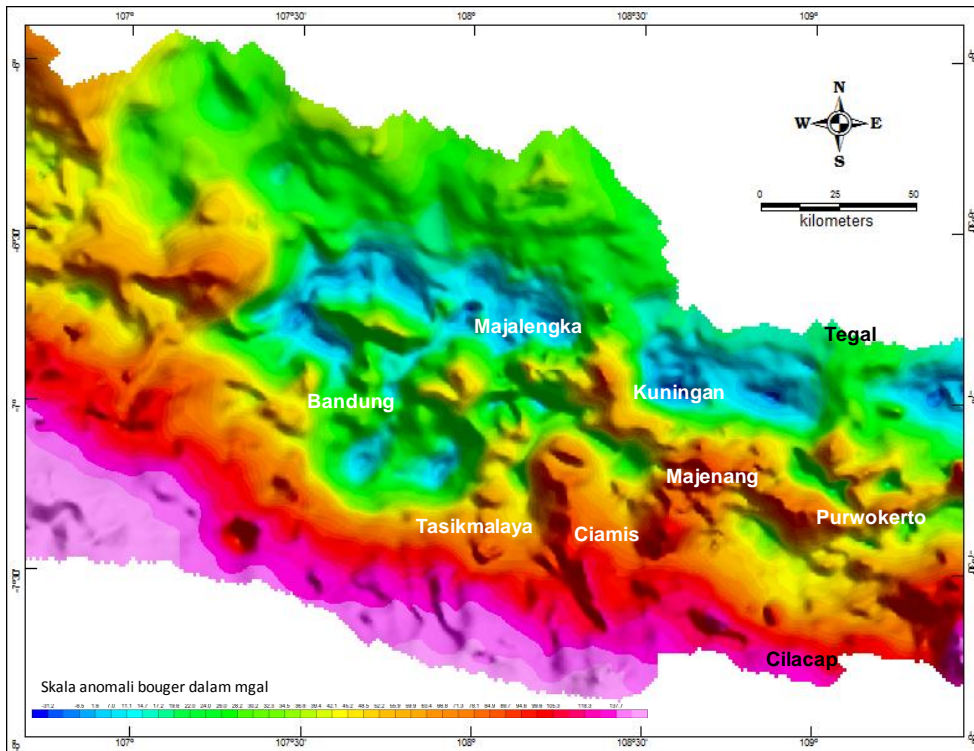
Melalui digitasi peta kontur anomali bouguer gayaberat regional (Gambar 2.a) kemudian dilakukan *nodes extraction* dari kontur tersebut dan proses *gridding* sehingga didapatkan peta baru anomaly bouguer gayaberat (Gambar 2.b). Selanjutnya dilakukan pengolahan dengan metoda *relief-shaded*, yaitu merupakan 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 (Yamamoto, A. 2003). Melalui peta anomali bouguer tersebut dapat menunjukkan distribusi gradien tinggi yang dapat diartikan sebagai kontak yang bersifat tegas yang selanjutnya ditafsirkan sebagai gambaran struktur geologi (patahan). Hasil pengolahan terhadap bouguer anomaly menghasilkan Peta anomali *relief-shaded* gayaberat (Gambar 3) yang dengan jelas memperlihatkan batas-batas dan mendelineasi segmen-segmen patahan dengan lebih terperinci.

Anomali bouguer *relief-shaded* gayaberat (Gambar 3 dan 4) memiliki nilai bervariasi, mulai dari nilai sangat tinggi sampai sangat rendah. Nilai sangat tinggi anomali Bouguer (>95mGal, warna merah muda – merah) mewakili batuan vulkanik terkonsolidasi atau batuan dasar seperti batuan vulkanik Gabon atau Pegunungan Selatan Jawa bagian Barat, Pegunungan Karangbolong atau jalur Formasi Andesit Tua. Nilai anomali Bouguer tinggi (>60mGal, warna oranye – kuning), umumnya membentuk punggung atau perbukitan terisolir yang ditafsirkan sebagai kelurusan atau patahan dan kemungkinan sisa tubuh vulkanik yang sudah bisa tidak teramati lagi. Kemudian kawasan yang dicirikan oleh nilai

anomali Bouguer sedang (warna hijau, 40-60mGal) ditafsirkan sebagai lokasi sub-sub cekungan seperti sub cekungan Tasikmalaya, sub cekungan Kuningan, sub cekungan Tasikmalaya, sub cekungan Ciamis, sub cekungan Majenang dan sub cekungan Purwokerto. Anomali bernilai sedang di Jawa Barat membentuk Cekungan Bogor yang berarah barat-timur. Sementara itu, nilai anomali Bouguer sedang di kawasan Tegal membentuk punggung ditafsirkan sebagai suatu zona terganggu atau diapir Tegal (Suyanto dan Sumantri, 1977) yang membagi Cekungan Serayu Utara menjadi Cekungan Serayu Utara bagian barat dan bagian timur.



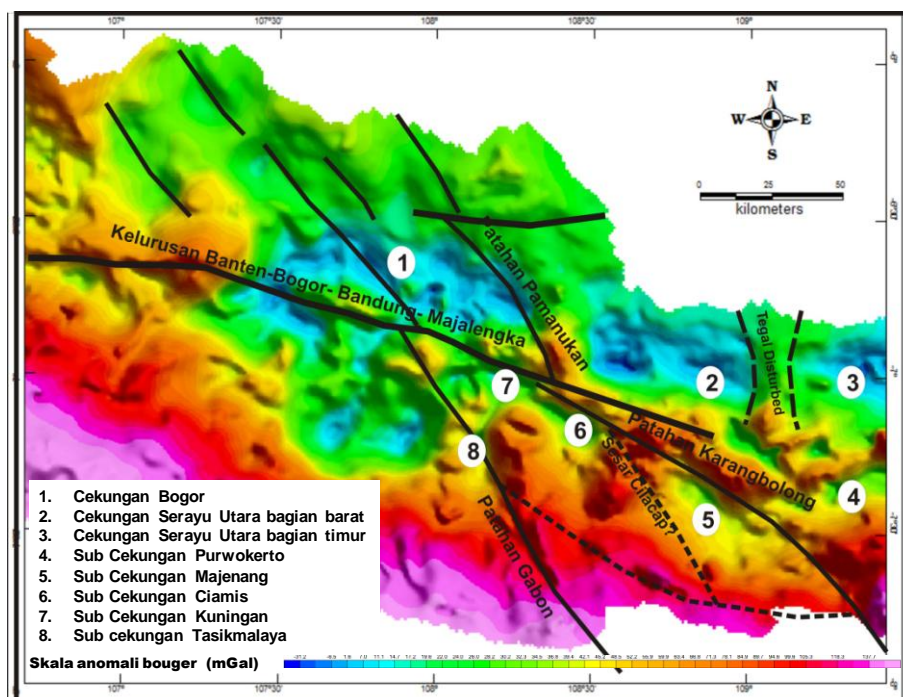
Gambar 2. Pengolahan ulang data anomaly bouguer (Gambar 2.a, kiri) yang kemudian dilakukan proses *nodes extraction* dari kontur tersebut dan proses *gridding* menghasilkan peta anomaly bouguer (Gambar 2.b, tengah).



Gambar 3. Peta anomaly bouguer *relief shaded* yang diolah dengan metoda *relief shaded* (Yamamoto, 2003).

Terakhir adalah kawasan dengan nilai sangat rendah anomali Bouguer ($<0\text{mGal}$) berwarna biru tua dan warna biru muda (nilai anomali Bouguer rendah, $<0\text{-}20\text{mGal}$) umumnya merupakan suatu cekungan yang ditutupi endapan lapisan sedimen tebal seperti dijumpai pada Cekungan Bogor dan Cekungan Serayu Utara.

Hasil awal penafsiran struktur (Gambar 4) memperlihatkan dengan jelas kelurusan berarah hampir barat-timur di kawasan barat Jawa yang disebut sebagai Kelurusan atau Patahan Banten – Bandung - Majalengka. Kelurusan barat-timur tersebut kemungkinan merupakan jejak batas selatan dari Cekungan Bogor (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 pasangan patahan geser mengangan (Muchsin dkk., 2002). Data seismik refleksi menunjukkan bahwa patahan Karangbolong dari darat (Sribudiyani *et al.*, 2003) menerus ke arah lepas pantai sebagai patahan dalam (Bolliger dan de Ruiter, 1975) sama halnya dengan patahan geser mengangan Gabon yang sejajar dengan patahan Karangbolong (Bolliger dan de Ruiter, 1975, Muchsin dkk., 2002). Zona kelurusan Pamanukan - Cilacap diperkirakan berupa patahan geser mengangan (Satyana, 2005; 2007; Armandita dkk., 2009) kemungkinan besar menyambung dengan patahan Karangbolong. Diperkirakan pasangan sesar geser mengangan Gabon dan Pamanukan – Karangbolong berkembang menjadi sistim patahan *duplex* atau struktur tarikan (*pull-apart*) mengakibatkan terjadinya penipisan kerak, pembentukan cekungan atau sub-cekungan dan kegiatan kegunungapian. Anomali tinggi diantara anomaly sedang di kawasan 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.

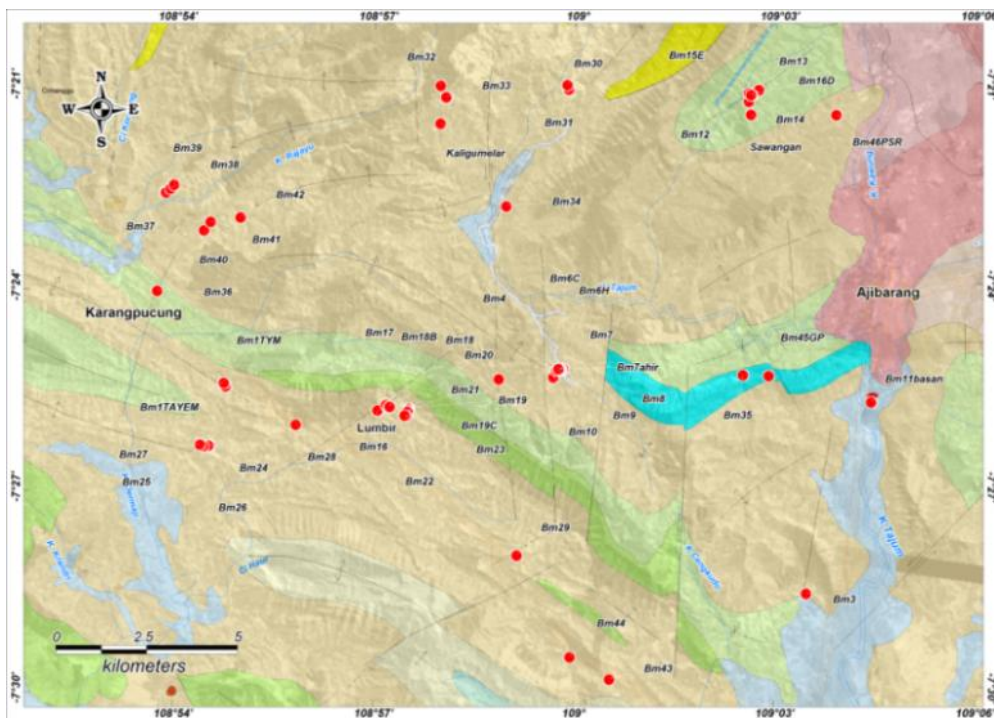


Gambar 4. Peta penafsiran struktur geologi dan unsur-unsur cekungan atau sub cekungan yang berkembang di kawasan Majalengka – Banyumas. Cekungan atau sub cekungan Majenang merupakan daerah target untuk uji coba hipotesa terbentuknya sub-sub cekungan antar busur.

Untuk perencanaan pengamatan lapangan dilakukan dengan cara penumpukan (*overlay*) peta gayaberat, peta geologi, dan informasi geografi (desa, sungai), akhirnya diputuskan bahwa penelitian lapangan mengambil kawasan sekitar Ajibarang, Wangon, Majenang, Bumiayu dan Karangpucung.

2) Sedimentologi

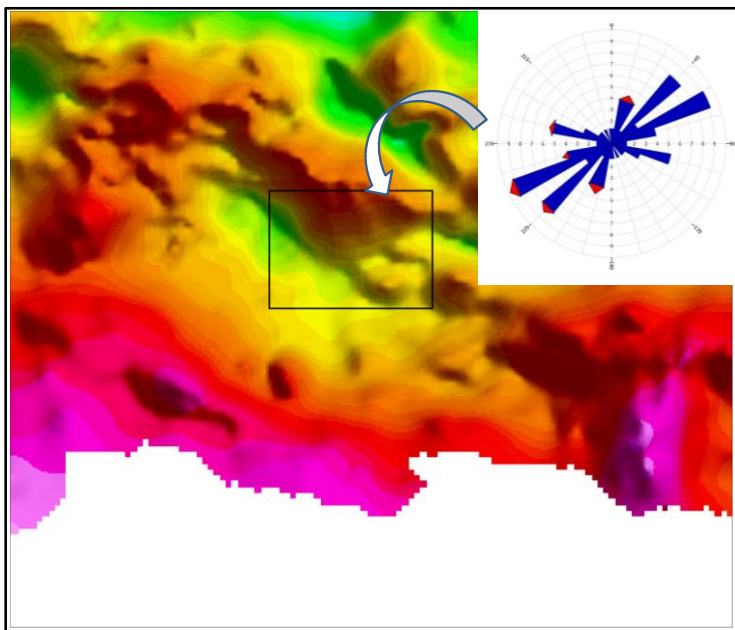
Pengamatan dan pengukuran unsur geologi dilaksanakan di Kali Dermaji, Tayem; Kali Tajum, Sawangan, Kali Gumelar, Kali Panaruban, Kali Rajayu, Karangpucung dan Lumbir. Gambar 5 memperlihatkan peta lokasi pengamatan lapangan. Lintasan pengamatan diawali dari Kali Dermaji, Tayem (BM-01) dan berakhir di sekitar Wangon (BM-44).



Gambar 5. Peta lokasi pengamatan dan pengukuran unsur geologi serta pengambilan contoh batuan di daerah Ajibarang, Wangon, Bumiayu dan Karangpucung, Jawa Tengah.

Formasi Halang dalam sub cekungan Majenang disusun umumnya oleh batupasir felsfatik wake, kuarsa wake, lithik wake dan foraminifera *packstone*. Asosiasi jenis batuan tersebut sering disetarakan dengan Formasi Halang bagian bawah. Batuan felsfatik wake umumnya terpilah buruk dengan kemas terbuka, disusun oleh mineral plagioklas, hornblenda, glaukonit, fragmen batuan beku, fragmen batuan sediment, foraminifera, mika sebagai hasil diagenesa yang tertanam di dalam matriks karbonat dan mineral lempung. Singkapan batupasir (felsfatik) tufan disusun oleh feldspar dan kuarsa sebagai mineral penyusun utama, sedikit piroksen dan muskovit, dan tertanam di dalam matriks mineral lempung dan gelas, bersama fosil foraminifera dan hornblenda. Fragmen batuan beku basaltik dan fragmen batuan ubahan hadir disusun oleh butiran mineral olivin, feldspar berubah dan piroksen. Analisis petrografi batuan sedimen menunjukkan butiran penyusun batuan cukup beragam yang kemungkinan berasal dari sumber berbeda, terutama batuan vulkanik yang berbeda asosiasi.

Di lapangan, singkapan batuan memperlihatkan struktur sedimen yang berkembang dengan baik. Beberapa struktur sedimen dapat dipergunakan untuk menentukan arah arus purba seperti *ripple mark*, *crossbedding* dan *flute cast*. Analisis terhadap seluruh data arus purba, setelah dikoreksi dengan bidang perlapisan menunjukkan arah utama pengendapan ke arah baratdaya dan sedikit ke arah barat-baratlaut, selatan-baratdaya dan utara-timurlaut (Gambar 7). Hal perlu dicermati dalam penafsiran arah arus purba adalah peranan struktur geologi yang bisa mengubah arah alami sesuai dengan tektonik yang bekerja di kawasan tersebut. Walaupun demikian, arah tersebut menunjukkan ada sumber sedimen yang berbeda yang secara klasik selalu disebutkan berasal dari selatan atau Pegunungan selatan. Sumber sedimen tersebut kemungkinan berasal dari produk vulkanik busur yang tumbuh membatasi atau memisahkan sub-sub cekungan.

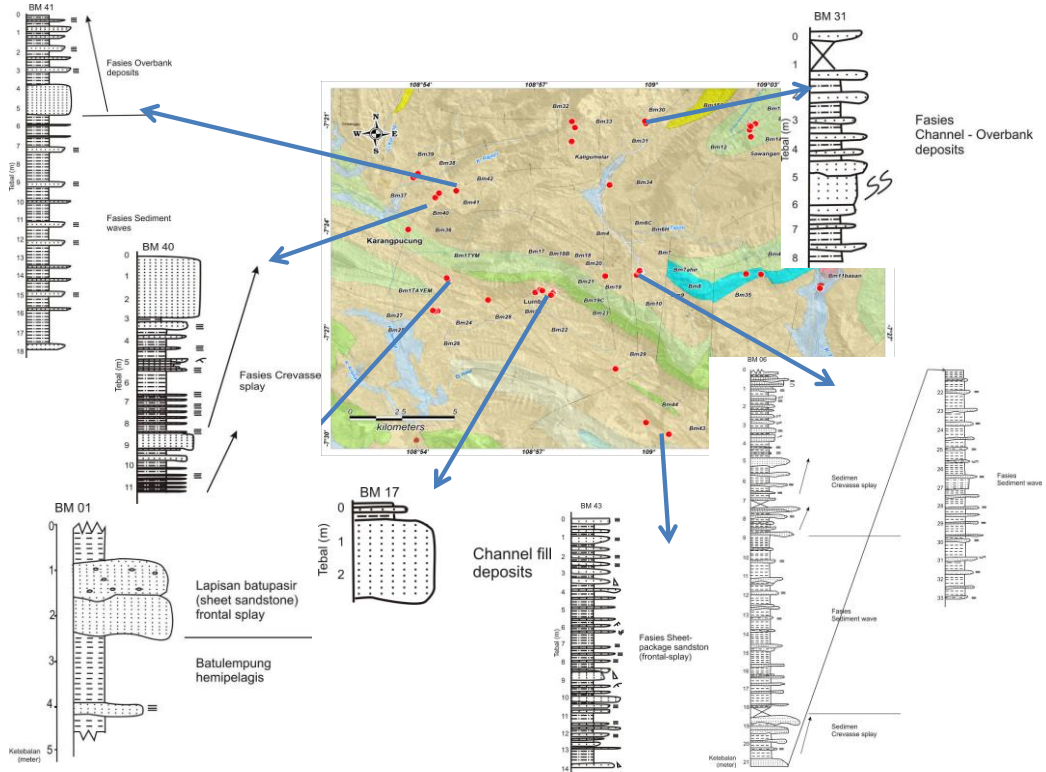


Gambar 6. Pengukuran arus purba total di kawasan penelitian, Banyumas, Jawa Tengah yang menunjukkan arah utama ke arah baratdaya.

Dalam kajian sedimentologi dan stratigrafi, klasifikasi atau terminology endapan turbidit mengacu pada Rupke (1978), Walker (1984), Mutti and Normark (1991), Reading and Richards (1994) dan Posamentier and Walker (2006). Dalam makalah ini dilaporkan beberapa lintasan terpilih, antara lain lintasan yang mewakili bagian depresi atau kawasan deposenter cekungan diwakili oleh Lintasan Kali Dermaji, Tayem. Kawasan lereng bawah diwakili pengamatan pada lintasan Kali Panaruban sedangkan kawasan lereng atas diwakili oleh pengamatan di Kali Gumelar.

Batuan yang tersingkap di Kali Dermaji (BM-01; N110°-125°/20°-40°E) berupa perselingan antara batupasir wake, batupasir tufaan, dan batulanau atau batulempung. Asosiasi litologi dan struktur sediment (BM-01) yang berasosiasi dengan endapan batulempung hemipelagis ditafsirkan sebagai bagian dari *fasies frontal splay* (Posamentier and Walker 2006) atau *Lower Fan Lobe* (Walker, 1984) seperti diperlihatkan pada Gambar 7, kiri bawah. *Fasies frontal splay* ini dicirikan oleh keberadaan batupasir kasar dan masif, dengan struktur sediment yang tidak jelas, dan juga dijumpai batupasir kasar dengan mudclast sebagai fragmen dengan lapisan batulempung hemipelagis dibawahnya. Analisis

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. Sementara itu kehadiran foraminifera bentos *Melonis pompilioides* serta *Globobulimina pacifica* mengindikasikan batuan diendapkan pada lingkungan lautdalam.



Gambar 7. Kolom stratigrafi dari berbagai lokasi dengan penafsiran lingkungan pengendapan dalam sistim arus gravitasi kipas lautdalam di Sub Cekungan Majenang.

Formasi Halang yang tersingkap di Kali Panaruban (BM-05 - BM-10) mempunyai posisi umum $N40^{\circ}-60^{\circ}/40^{\circ}-60^{\circ}E$ merupakan sedimen yang terendapkan pada *fasies crevasse splay* dan *sediment waves* atau pada posisi lereng bawah suatu kipas bawahlaut atau suatu system *Braided* dalam *Mid Fan* (Gambar 7, kanan bawah). Kemudian, pengamatan di Kali Gumelar (BM-30 dan BM-31) memperlihatkan kondisi singkapan sangat terdeformasi, terlipat, lipatan rebah dengan arah sumbu atau bidang perlapisan baratdaya-timurlaut. Singkapan Formasi Halang ditafsirkan sebagai endapan *fasies channel – overbank* (Gambar 7, kanan bawah).

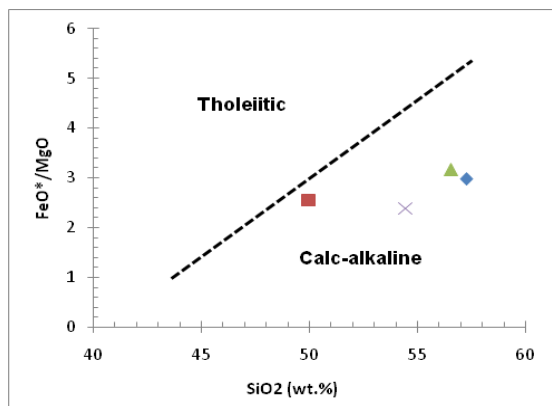
Hasil analisis menunjukkan lingkungan pengendapan sedimen pengisi Sub-Cekungan Majenang adalah lingkungan arus gravitasi kipas lautdalam (Walker, 1984). Analisis suatu kolom stratigrafi yang tidak terganggu unsur struktur menunjukkan ragam fasies-fasies pengendapan pada satu kolom, seperti fasies *Fasies Channel-Overbank* menjadi *Fasies Crevasse Splay* lalu *fasies Overbank deposits* (BM-42). Contoh lainnya adalah *fasies Overbank deposits* berubah menjadi *Fasies Sedimen Waves* (BM-30). Perubahan fasies tersebut kemungkinan terkait erat dengan aktifitas tektonik dimana dasar cekungan tidak

stabil atau naik atau turun. Gambar 7 memperlihatkan gambaran umum kondisi fasies sedimentasi dalam sub cekungan Majenang.

Berdasarkan hasil analisis selutuh lintasan, dapat diberikan catatan bahwa secara umum dapat digambarkan bahwa sub cekungan Majenang diisi sedimen pada kondisi arus gravitasi kipas laut dalam, mulai dari bagian Lereng bagian atas sampai lingkungan basinal.

3) Kimia Batuan

Sebanyak 4 sampel batuan terpilih berupa fragmen batuan vulkanik yang ada dalam batupasir. Contoh tersebut berasal dari contoh BM 23, BM 13, K.ARS.03 dan K.ARS. Analisis geokimia yang dilakukan antara lain analisis unsur utama (*major elements*), unsur jejak (*trace elements*) dan unsur tanah jarang (*rare earth mineral*). Data hasil analisis memiliki total oksida + 2%, menunjukkan bahwa data hasil analisis batuan tersebut layak dipergunakan untuk analisis batuan. Menurut diagram klasifikasi batuan (Miyashiro, 1974) berdasarkan rasio antara SiO₂ dengan FeO*/MgO (Gambar 8), seluruh sampel batuan Banyumas memiliki karakter batuan kalk alkalin. Karakter batuan kalk alkalin ini merupakan karakter khas batuan yang terbentuk pada lingkungan konvergensi lempeng aktif pada lingkungan busur belakang (*Back arc environment*) (Wilson, 1989).

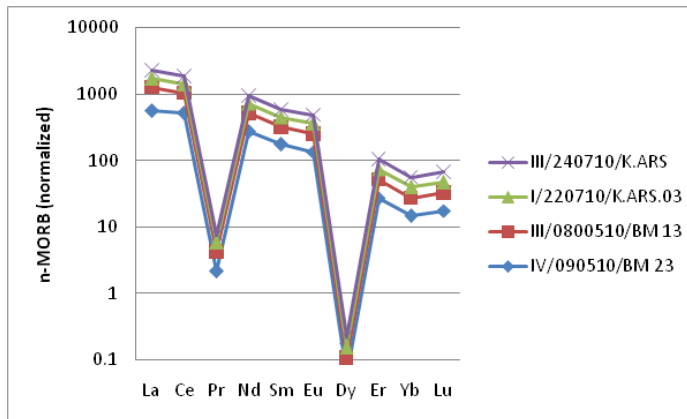


Gambar 8. Klasifikasi afinitas batuan vulkanik (Miyashiro, 1974). Kotak merah: BM-13; persegi biru: BM-23; kali: K.ARS dan segitiga hijau: K.ARS.03.

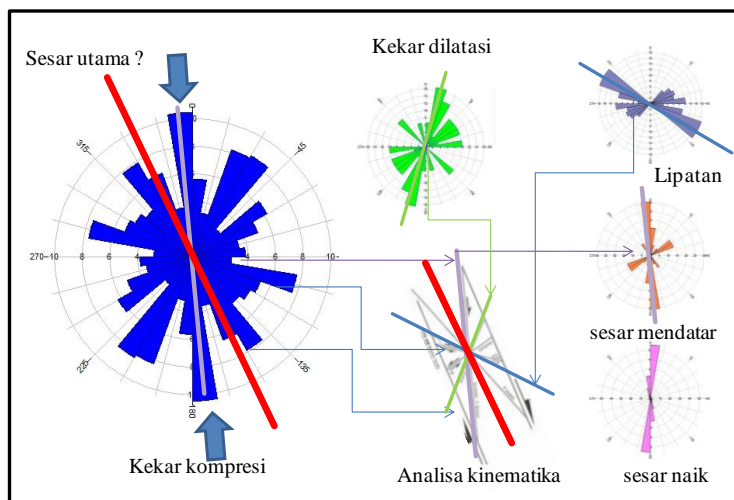
Unsur tanah jarang (REE) seperti , Ce, Pr, Nd, Sm dan Eu dikenal sebagai *Light Rare Earth Elements* (LREE) dan Gd, Tb, Dy, Ho Er, Tm, Yb dan Lu yang dikenal dengan *Heavy Rare Earth Elements* (HREE). Diagram unsur tanah jarang yang di normalisasi terhadap N-MORB dapat mencerminkan komposisi magma asalnya atau magma primitif (Wilson, 1989; Sun and McDonough, 1989, Maury, 1993). Diagram unsur tanah jarang sampel batuan vulkanik (Gambar 9) yang berasal dari daerah Banyumas menunjukkan pengkayaan unsur dari HREE ke LREE dengan anomali negatif pada Pr dan Dy. Proses pengkayaan tersebut terjadi dalam lingkungan subduksi lempeng (Wilson, 1989; Maury, 1993). Analisis kimia terhadap fragmen andesit dalam batuan sedimen Formasi Halang dalam Sub cekungan Majenang menunjukkan sumber batuan berasal dari vulkanik busur belakang dalam lingkungan subduksi lempeng. Keseragaman pola unsur tanah jarang menunjukkan semua fragmen vulkanik berasal dari sumber magma yang sama.

4) Kinematika

Struktur geologi yang berkembang dalam Formasi Halang yang berumur Miosen Akhir-Pliosen adalah lipatan (antiklin-sinklin) dengan arah umum barat-laut tenggara dan sesar mendatar dengan pergeseran menganan atau mengiri yang memotong lipatan kemudian sesar naik yang umumnya berarah utara-selatan. Pengukuran terhadap lebih dari 600 data unsur struktur dapat dikelompokkan sebagai berikut: a)struktur bersifat kompresi yaitu kekar, kekar utama, kekar konyugasi, *offset*, dan bidang sesar; b)struktur bersifat bukaan antara lain kekar terisi dan c)struktur lainnya berupa bidang perlapisan, arah arus purba dan kelurusan morfologi (Gambar 10). Data kompresi menunjukan maksima pada 4 arah kekar utama yaitu arah $N35^{\circ}E - N215^{\circ}E$; $N105^{\circ}E - N285^{\circ}E$; $N145^{\circ}E - N325^{\circ}E$ dan arah $N175^{\circ}E - N355^{\circ}E$ dengan populasi yang paling tinggi berada pada arah $N175^{\circ}E - N355^{\circ}E$. Sementara itu kekar yang bersifat bukaan umumnya diisi oleh mineral kalsit dan kuarsa sedangkan data dilatasi menunjukan arah maksima pada arah utama yaitu arah $N15^{\circ}E - N195^{\circ}E$.



Gambar 9. Diagram laba-laba unsur tanah jarang menunjukkan pengkayaan dari HREE ke LREE dengan pola yang seragam untuk seluruh contoh batuan.



Gambar 10. Analisis kinematika struktur geologi sub cekungan Majenang berupa, kekar, sumbu lipatan, sesar mendatar dan sesar naik.

Hasil analisis gaya-gaya di kawasan kajian menunjukkan bahwa daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh pergerakan *dip – strike slip (normal – oblique)* yang ditunjukkan oleh $\delta 2$ dan $\delta 1$ mendekati titik pusat. Arah gaya utama memiliki *trend/plunge* N345°E/63°. 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 tersebut tidak dapat didefinisikan dalam pemetaan permukaan sehingga pada peta geologi regional tidak dijumpai sesar major dengan arah N 345° E di daerah penelitian. Kehadiran struktur dari analisis peta anomali bouguer gayaberasat membuktikan hipotesa bahwa diperlukan struktur utama yang didominasi oleh pergerakan *dip-slip* serta *strike-slip*. Data kinematika tersebut berkesesuaian dengan interpretasi kuantitatif dari peta anomali bouguer regional (Gambar 4), dimana struktur mayor tersebut didominasi oleh *dip-slip* yang ditunjukkan oleh *shading* yang lebar. Arah struktur mayor tersebut yaitu N330°E – N 345°E, merupakan struktur yang bersifat *deep seated* dan tidak teridentifikasi di permukaan. Struktur tersebut merupakan bagian dari segmen Patahan Gabon dan Patahan Majalengka-Karangbolong. Struktur tersebut berperan dalam pembentukan depresi Majenang dengan mekanisme pembentukan *pull-apart*. Diperkirakan struktur mayor tersebut aktif sejak Miosen Awal dan bergerak terus bersamaan dengan sedimentasi F. Halang sampai dengan Pliosen.

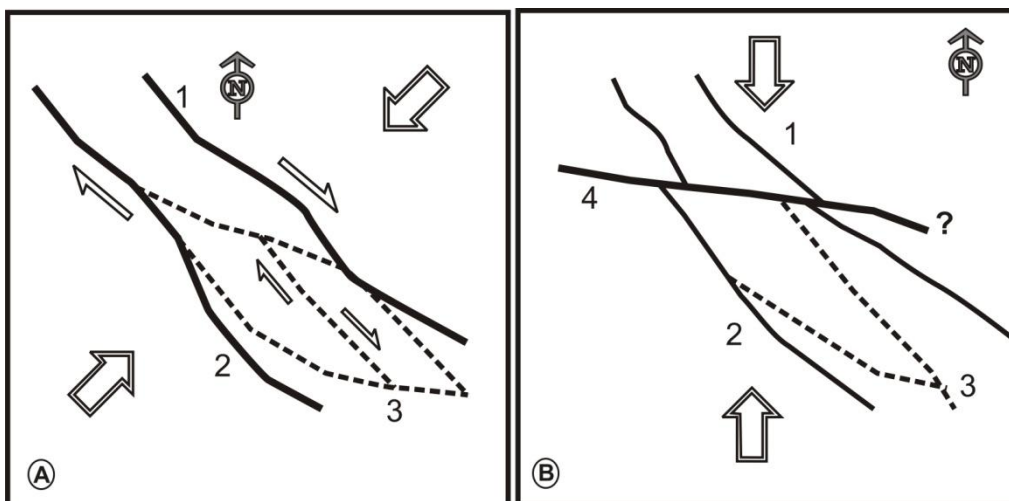
ANALISIS/DISKUSI

Data anomali bouguer gayaberasat 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 lautdalam. Hadirnya batupasir wake disusun butiran mineral plagioklas dan hornblenda bersumber dari dari batuan hornblenda andesitik. Analisis 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 dan sedikit berasal dari kawasan sebelah timur-tenggara, utara-timurlaut dan selatan-baratdaya. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sumber utama endapan dalam sub cekungan Majenang berasal dari vulkanisme antar busur vulkanik berumur Miosen Akhir-Pliosen yang berkembang dikontrol oleh pasangan patahan Karangbolong dan Gabon. Dijumpainya lapisan batupasir tufan mengindikasikan hadirnya kegiatan vulkanik selama pengendapan Formasi Halang bagian bawah. Data arus purba lain menunjukkan arah pengendapan ke utara dimana batuanannya disusun oleh mineral felspar, olivin maupun piroksen yang diduga berasal dari sumber batuan basaltik dari Formasi Andesit Tua (*Old Andesite Formation*) yang ada di sisi selatan cekungan. Sementara itu, mineral Kuarsa yang hadir diduga kuat merupakan produk vulkanik atau dari material kerak benua (*Sunda Microplate?*) karena tidak menunjukkan gejala atau indikasi rekristalisasi.

Analisis sedimentologi menunjukkan fasies pengendapan yang beragam terutama pada bagian lereng bawah. Bagian paling dalam dari Sub cekungan Majenang diisi sedimen vulkanoklastik turbidit lautdalam sebagai *frontal splay* dalam lingkungan *basinal plain*. Sedangkan 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 sistim pasangan patahan geser manganan Gabon dan Pamanukan-Karangbolong yang berarah baratlaut-tenggara sejak Miosen Awal. Terbukanya sub-sub cekungan tersebut dan berkembangnya sesar Cilacap dapat diterangkan dengan model *duplex* (Twiss and Moores, 2007). Pembukaan cekungan dan kemungkinan penipisan kerak diikuti oleh

kegiatan kegunungapian yang menjadi sumber sedimentasi gravitasi kipas bawahlaut di dalam kawasan Cekungan Antar Busur. Sistem pasangan patahan Gabon dan Pamanukan-Karangbolong dikontrol oleh subduksi relatif miring pada Oligosen-Miosen Awal (Hamilton, 1979; Hall, 1996). Subduksi normal antara Lempeng Indo-Australia dengan Busur Vulkanik Jawa membentuk kelurusan barat-timur mulai dari Banten-Bandung-Majalengka menyebabkan terhentinya kegiatan patah berarah barat-laut-tenggara (Gabon-Karangbolong) sejak Pliosen (Hamilton, 1979; Hall, 1996; Sribudiyani et al., 2003). Sejak Plistosen, subduksi normal tersebut menjadi penyebab dari terangkatnya secara tektonik kawasan cekungan Banyumas-Majalengka membentuk tinggian topografi. Sketsa pada Gambar 11 menunjukkan evolusi struktur geologi yang mengontrol pembentukan sub cekungan Majenang.



Gambar 11. (A). Penunjaman relatif miring pada Awal Miosen membentuk pasangan patahan geser Gabon (2) dan Patahan Karangbolong (1). Mekanisme *pull apart* atau *duplex* membentuk cekungan dan patahan geser (Cilacap?) dan vulkanisme busur. (B). Penunjaman normal sejak Akhir Miosen atau Pliosen dari lempeng Australia membentuk patahan berarah barat-timur (Banten-Bandung-Majalengka) yang memotong kelurusan patahan barat-laut-tenggara (Gabon-Karangbolong)

KESIMPULAN

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

1. Di kawasan Majalengka-Banyumas telah terbentuk sub-sub cekungan, salah satunya sub cekungan Majenang, yang diisi Formasi Halang mulai Miosen Akhir yang dikontrol oleh kegiatan pasangan patahan geser menganan Gabon dan Pamanukan-Karangbolong. Pasangan patahan tersebut aktif dipicu oleh subduksi relatif miring pada Oligosen-Miosen Awal.
2. Sub Cekungan Majenang merupakan cekungan lautdalam yang diisi endapan sedimen vulkanoklastik turbidit kipas laut dalam yang bersumber dari kegiatan vulkanisme antar busur vulkanik (kalk alkalin) berumur Miosen Akhir-Pliosen dan berasal dari Formasi Andesit Tua di selatan cekungan.
3. Pengisian Cekungan Majenang terjadi sangat dinamis secara tektonik dicirikan oleh terjadinya variasi fasies sedimentasi di kawasan yang luas
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 TERIMAKASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Puslit Geoteknologi – LIPI yang telah memberikan kesempatan melaksanakan penelitian ini. Juga terima kasih kami sampaikan kepada pemerintah setempat yang telah membantu kelancaran selama penelitian lapangan. Semua pihak sehingga penelitian ini dapat berlangsung. Penelitian dapat terlaksana melalui dana DIPA Tahun Anggaran 2010, Program 01.04.01 dan Kode Kegiatan 00046.

DAFTAR PUSTAKA

- 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*. Procc. IPA. Thirty-Third Annual Convention and Exhibition, May 2009
- Bolliger, W. and de Ruiter, P. A. C., 1975. *Geology of the South Central Java Offshore Area*, Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA) 4th Annual Convention, p. 67-82
- 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
- Lunt, P., Burgon, G., dan Baky, A. 2010. *The Pemali Beds of Central Java*. Journal of Asian Earth Sciences.
- 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
- Morley, C.K., 2002. *Tectonic Setting of Continental Extensional Provinces and Their Impact on Sedimentation and Hydrocarbon Prospectivity*. *Sedimentation in Continental Rifts*. SEPM Special Publication No. 73, Copyright # 2002 SEPM (Society for Sedimentary Geology), ISBN 1-56576-082-4, p. 25-55.
- Muchsin, N., Ryacudu, R., Widyokunto, and Sri Budiyan, Yulihanto, B., Wiyanto, B. Nurjayadi, A., Rahardjo, K., dan Riandra, F. 2002. *Miocene Hydrocarbon System of the Southern Central Java Region*. Procc. Ann. IAGI 2002.
- Mukti, M.M, Armandita, C., Maulin, H.B. dan 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.

- Mutti, E dan Normark, W.R. 1991. *An Integrated Approach to the Study of Turbidite Systems*. In: P.M. Weimer and H.H. Link, Editors, *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*, Springer-Verlag, New York pp. 75–106.
- Posamentier dan Walker 2006, *Deep-water Turbidites and Submarine Fans*: SEPM Special Publication 84, p. 399-520.
- Reading, H.G. dan Richards, M., 1994. *Turbidite Systems in Deep-water Basin Margins Classified by Grain Size and Feeder System*. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 78, 792– 822.
- Rupke, N.A. 1978. *Deep Clastic Seas in Reading, H.G (ed) Sedimentary Environment and Facies*. p.557. Elsevier-New York
- Satyana, A.H. dan Armandita, C. 2004. *Deepwater Plays of Java, Indonesia: Regional Evaluation on Oportinities and Risks*. IPA Proceedings, 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*. Proceedings 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*. Procc. 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. dan Yulianto, I., 2003. *The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurences in the East Java Basin*. Procc. IPA. Twenty-Ninth Annual Convention & Exhibition, October 2003
- Suyanto, F.X. dan Sumantri, Y.R., 1977. *Preliminary Study on the Tertiary Depositional Pattern of Java*. Proc IPA. Sixth Annual Convention, May 1977.
- Sun, S.-s., dan 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., dan Moores, E.M., 2007. *Structural Geology*. 2nd ed. W.H Freeman and Company. p.714
- van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Government Printing Office, Nijhoff, The Hague, 732 p.
- Walker, R.G., 1984. *Turbidites and Associated Coarse Clastic Deposits*. In Walker, R.G. (ed) *Facies Models*, 2nd Edition. Geoscience Canada. P.317.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman. P466.
- 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), vol. 12, no. 1, 17-39, 2003.