PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEBUMIAN KE-6

Menyambut 30 Tahun Kampus Lapangan Bayat

"Penguatan Pendidikan dan Riset Geologi dalam rangka Optimalisasi Eksplorasi dan Pemanfaatan Sumberdaya Geologi untuk Kemajuan Bangsa"

Editor:
Akmaluddin
Arifudin Idrus

Royal Ambarukmo Hotel
Yogyakarta
11-12 Desember 2013

Jurusan Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

MODEL ERUPSI GUNUNG GAJAHMUNGKUR YANG MEMBAWA FRAGMEN BATUAN TUA BERUMUR PRA-TERSIER HINGGA TERSIER DI DAERAH SELOGIRI, WONOGIRI, JAWA TENGAH

Rama Danny[1], Sutarto[2], C. Prasetyadi[3], dan Sapto Putranto[4]

[1,2,3]Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 Condongcatur, Yogyakarta, 55285
[4]PT. Alexis Perdana Mineral
E-mail Korespondensi (Rama Danny): mitun_pangea@yahoo.co.id

Naskah Diterima 05 November 2013

Abstrak

Pegunungan Selatan merupakan salah satu wilayah yang sangat menarik untuk menjadi objek penelitian geologi, mengingat terdapatnya batuan metamorf berumur Pra-Tersier, yang dipercaya sebagai *basement* Pulau Jawa dan batuan Tersier yang tersingkap dipermukaan. Di Jawa Tengah Bagian Barat, batuan metamorf Pra-Tersier tersingkap hanya dibeberapa tempat, yakni; daerah Karangsambung, Kebumen dan Perbukitan Jiwo, Bayat, Klaten, sedangkan untuk Jawa Tengah Bagian Timur sampai saat ini belum pernah ditemukan adanya singkapan batuan metamorf Pra-Tersier. Didorong oleh pentingnya mendapatkan informasi tentang batuan dasar di daerah Pegunungan Selatan Bagian Timur maka penelitian ini dilakukan. Daerah Selogiri, Wonogiri merupakan salah satu tempat yang cocok untuk penelitian ini karena disini banyak tersingkap kelompok batuan gunung api purba, salah satunya adalah kelompok Gunung Gajahmungkur dan batuan intrusi yang kemungkinan besar dapat membawa fragmen batuan asing (xenolith) ke permukaan. Aktifitas vulkanisme Oligo-Miosen memberikan dampak yang berarti dalam hal ini. Pembangunan suatu kerucut gunung api melibatkan fase konstruktif dan fase destruktif atau dikenal dengan siklus vulkanisme. Pembentukan batuan luar yang berselingan dengan breksi andesit piroklastika dan tuf andesit mengidikasikan tahap kegiatan vulkanisme yang bersifat membangun (konstruktif) kerucut gunung api strato, sedangkan tahap kegiatan vulkanisme bersifat merusak (destruktif) ditandai oleh melimpahnya breksi pumis, lapili pumis dan tuf berkomposisi andesit – dasit. Sehingga fase terakhir dari Gunung Gajahmungkur bersifat merusak (destruktif) karena tekanan gas magma yang cukup besar dan dapat membawa fragmen batuan tua dari dasar gunung api, lalu melontarkannya keluar permukaan dan diendapkan bersamaan dengan breksi koignimbrit yang terdiri dari bermacam-macam fragmen atau disebut breksi aneka bahan dengan massa dasar pumis dan tuf lapili. Fragmen-fragmen batuan tua ini memiliki kesamaan/kemiripan dengan batuan – batuan yang terdapat di Perbukitan Jiwo, Bayat. Dengan ditemukannya fragmen tersebut, kita dapat menginterpretasikan, bahwa batuan tua ini melampar kearah timur Pegunungan Selatan. Akan tetapi sampai saat ini, peneliti belum menemukan adanya singkapan tersebut dipermukaan. Fragmen batuan tua ini dapat dijadikan gambaran untuk merunut kembali stratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur, dimana alas dari Formasi Mandalika mirip dengan di daerah Bayat berupa Formasi Gamping Wungkal yang berumur Eosen Tengah dan batuan dasarnya berupa kompleks batuan metamorf kontinental berumur Pra-Tersier.

Katakunci: Breksi Koignimbrit, Formasi Mandalika, Gunung Gajahmungkur, Vulkanisme

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pada zaman Kapur Akhir (65-80 juta tahun) terjadi peristiwa tektonik penting yang menentukan perkembangan geologi Pulau Jawa hingga saat ini. Pada saat itu terjadi peristiwa tumbukan (collision) oleh mikrokontinen Jawa Timur yang bergerak ke utara di Palung Meratus – Karangsambung – Ciletuh. Tumbukan ini menandai bersatunya mikrokontinen Jawa Timur dengan Dataran Sunda (Sundaland) (Budiyani *et al*., 2003, Prasetyadi 2007, & Smyth *et al*., 2007). Bukti terdapatnya mikrokontinen Jawa Timur sejauh ini hanya ditunjukkan oleh singkapan komplek batuan metamorf Pra-Tersier Bayat di Daerah Klaten dan dari analisis mineral zirkon (Smyth *et al*., 2005). Agar interpretasi keberadaan mikrokontinen ini semakin meyakinkan maka masih dibutuhkan bukti atau petunjuk langsung terdapatnya batuan tertua atau batuan dasar di suatu wilayah.

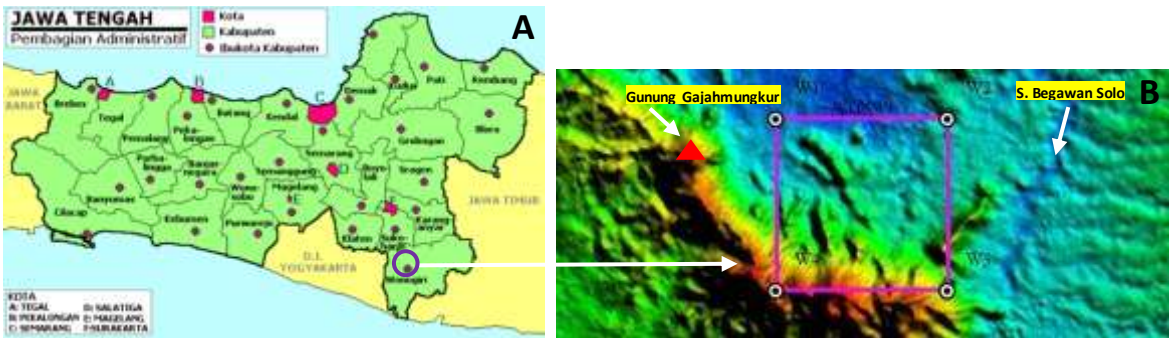
Pegunungan Selatan merupakan salah satu wilayah yang sangat menarik untuk menjadi objek penelitian geologi, mengingat terdapatnya batuan metamorf berumur Pra-Tersier, yang dipercaya sebagai *basement* Pulau Jawa dan batuan Tersier yang tersingkap dipermukaan. Di Jawa Tengah Bagian Barat, batuan metamorf Pra-Tersier tersingkap hanya dibeberapa tempat, yakni; daerah Karangsambung, Kebumen dan Perbukitan Jiwo, Bayat, Klaten, sedangkan untuk Jawa Tengah Bagian Timur sampai saat ini belum pernah ditemukan adanya singkapan batuan metamorf Pra-Tersier. Didorong oleh pentingnya mendapatkan informasi tentang batuan dasar di daerah Pegunungan Selatan Bagian Timur maka penelitian ini dilakukan. Daerah Selogiri, Wonogiri merupakan salah satu tempat yang cocok untuk penelitian ini karena disini banyak tersingkap kelompok batuan gunung api purba, salah satunya adalah kelompok Gunung Gajahmungkur (Bronto, 2007) dan batuan intrusi yang kemungkinan besar dapat membawa fragmen batuan asing (xenolith) ke permukaan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis serta menginterpretasikan terdapatnya fragmen-fragmen batuan tua di dalam breksi koignimbrit Formasi Mandalika di daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.

1.3. Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi daerah penelitian berada di sekitar Sungai Keron Kidul, tepatnya disebelah Utara Perbukitan Gunung Gajahmungkur yang secara administratif termasuk masuk Desa Pare, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Propinsi Jawa Tengah **(Gambar-1)**.



Gambar 1. (A) Peta administratif pembagian wilayah Jawa Tengah (B) Kenampakan citra SRTM Perbukitan Gunung Gajahmungkur. Kotak ungu menunjukan lokasi penelitian.

1.4. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan, pengambilan *sample* untuk analisis petrografi serta analisis stratigrafi yang berdasarkan data primer (data lapangan) dan mengacu kepada data sekunder atau hasil-hasil penelitian terdahulu.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Stratigrafi Regional Perbukitan Jiwo Bayat (Pra-Tersier – Paleogen)

Singkapan Komplek batuan Pra-Tersier, Perbukitan Jiwo, Bayat, didominasi oleh batuan metamorf yang umumnya berderajat rendah-menengah (ditandai dengan terdapatnya filit kuarsa-serisit-grafit sampai sekis kuarsa-muskovit-garnet). Filit dan sekis Komplek Bayat ada yang komposisinya mengandung kalsit 15-60 % (*calc phyllite* dan *calc schist*), disamping kuarsa dan mika. Berdasarkan kandungan *calc phyllite* dan *calc schist* tersebut menunjukan batuan asal (protolit) Komplek Bayat adalah batuan sedimen yang mengandung karbonat seperti napal, batulempung gampingan, ataupun batupasir gampingan. Protolit semacam ini menunjukan batuan metamorf Bayat lebih berasosiasi dengan batuan sedimen terigen (asal darat) yang berasosiasi dengan lingkungan kontinen. Hasil penanggalan dua sampel sekis kuarsa-mika ini menunjukan umur 98,049±2,10 jtl dan 98,542±1.45 jtl, kedua umur absolut ini menunjukan umur *Cenomanian* atau Kapur Akhir (Prasetyadi, 2007). Sementara itu, Bothe (1929) menemukan Orbitulina dalam kepingan batuan yang diduga berasal dari sekis, di Desa Santren, Bayat, sehingga komplek metamorf ini diduga berumur Kapur Akhir – Paleosen.

Komplek batuan Pra-Tersier ini hanya tersingkap di Perbukitan Jiwo, Bayat, tertindih secara tidak selaras oleh batuan Eosen dari Formasi Gamping-Wungkal. Formasi ini terdiri dari batupasir, napal pasiran, batulempung, dan lensa batugamping. Bagian bawah mengandung fosil *Assilina* sp., *Nummulites javanus* VERBEEK, *N. bagelensis* VERBEEK, *Discocyclina javana* VERBEEK, yang menunjukan umur Eosen Tengah bagian bawah sampai tengah. Bagian atasnya berfosil *pellatispira madarazi* HANTKEN, *Nummulites Semiglobulus* DOORNINK. Kumpulan fosil itu menunjukan umur Eosen Akhir (Sumarso dan Ismoyowati, 1975 dalam Surono drr., 1992).

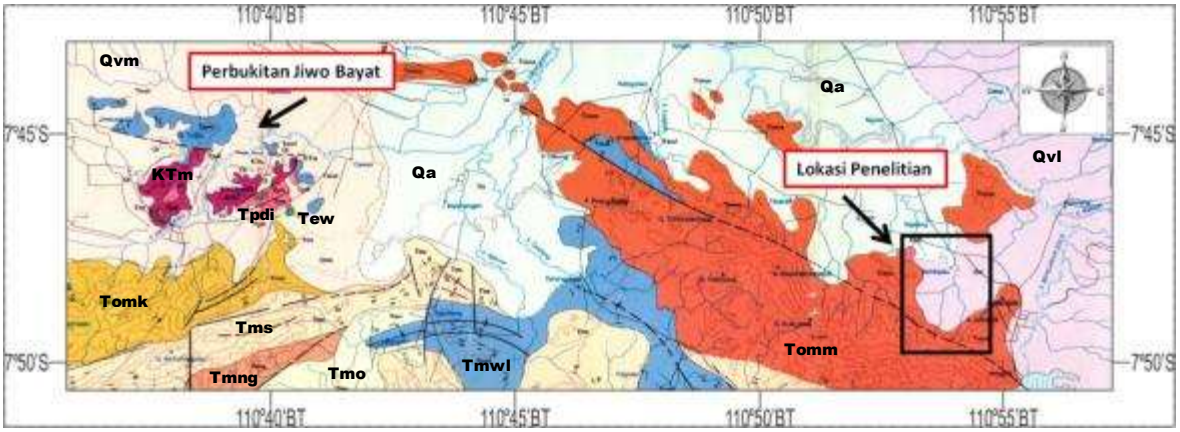
Di daerah Jiwo Timur, Batuan Eosen tersingkap di Desa Padasan-Watuprau dan di daerah sebelah selatanya, di Desa Gamping, di lereng tenggara Gunung Pendul. Di Desa Padasan dijumpai singkapan penting yang menunjukan kontak antara satuan filit dengan batugamping foram. Kontak ketidakselarasan antara dua jenis batuan ini ditandai dengan terdapatnya lapisan tipis konglomerat yang terdiri dari fragmen filit, sekis dan kuarsit di bawah lapisan batugamping foram (Prasetyadi, 2007).

2.2. Stratigrafi Daerah Penelitian

Mengacu kepada Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro (Surono drr., 1992), satuan batuan yang mendominasi daerah penelitian adalah Formasi Mandalika **(Gambar-2)**. Sebaran Formasi Mandalika umumnya terdapat disebelah timur Pegunungan Selatan dengan ciri litologi berupa batuan lelehan dan batuan piroklastika berupa breksi yang terdiri dari dominasi fragmen andesitik dan matrik tuf. Secara setempat-setempat dijumpai juga batuan intrusi dangkal. Fosil penunjuk umur satuan tidak ditemukan. Sartono (1964) dalam Surono drr., (1992) menasabahkan formasi ini dengan bagian tengah dan atas Formasi Kebo-Butak yang berumur Oligosen-Miosen Awal yang terdapat di Pegunungan Selatan Jawa Tengah bagian barat (di daerah Bayat dan sekitarnya).

Lingkungan pengendapan Formasi Mandalika adalah lingkungan darat, dan yang ke arah timur berangsur berubah menjadi lingkungan laut yang dipengaruhi arus turbidit.

Sebaran formasi ini menerus hingga di bagian tenggara Peta Geologi Lembar Giritontro, terutama di hulu Bengawan Solo, dan tertindih secara tidak selaras oleh Formasi Jaten. Ketebalannya diduga lebih dari 300 m dan menebal ke timur.



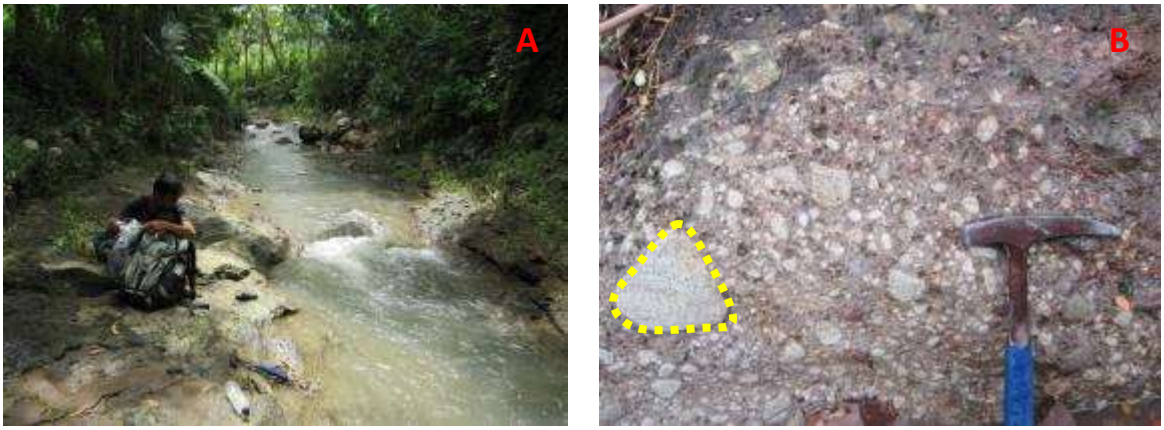
Gambar 2. Peta Geologi daerah Perbukitan Jiwo Bayat dan daerah Perbukitan Gunung Gajahmungkur (disederhanakan dari Surono drr., 1992). Kotak hitam menunjukan lokasi penelitian. Keterangan: KTm= Kapur Tersier Malihan; Endapan Tersier: Tomm= Tersier Oligo-Miosen Mandalika; Tomk= Tersier Oligo-Miosen Kebobutak; Tew= Tersier Eosen Wungkal; Tms= Tersier Miosen Semilir; Tmo= Tersier Miosen Oyo; Tmwl= Tersier Miosen Wonosari Limestone; Tmng= Tersier Miosen Nglanggran; Tpdi= Tersier Pliosen Diorit. Endapan Kuarter: Qa= Quartenary Aluvium; Qvl= Quartenary Volcanic Lawu; Qvm= Quartenary Volcanic Merapi.

3. Hasil Penelitian Lapangan

Batuan-batuan tua yang terdapat dilokasi penelitian dijumpai dalam bentuk fragmen di dalam breksi koignimbrit Formasi Mandalika. Breksi koignimbrit secara deskriptif berupa breksi aneka bahan. Batuan ini dicirikan oleh pencampuran pumis dengan berbagai fragmen batuan pejal dan keras yang secara primer berasal dari magma itu sendiri, fragmen batuan aksesori dan batuan asing tertanam di dalam massa dasar abu – lapili gunung api kaya akan pumis. Batuan aksesori berasal dari batuan gunung api lebih tua, sedangkan batuan asing berasal dari batuan dasar di bawah gunung api (Bronto drr., 2009). Fragmen-fragmen tersebut berukuran sekitar 10 cm sampai 30 cm yang terdiri dari filit, kuarsit, *slate* (batusabak), meta-batupasir, konglomerat, dan batugamping foram besar mengandung fosil *Nummulites* sp. dan *Discocyclina* sp.

3.1. Analisis Breksi Koignimbrit Formasi Mandalika

Di lokasi penelitian breksi koignimbrit Formasi Mandalika umumnya berwarna keabu-abuan, masif (tidak ada menunjukan struktur sedimen), ukuran fragmen mulai dari 5 – 30 cm, menyudut – menyudut tanggung, terpilah buruk, kemas terbuka, matrik berupa tuf dan lapili, susunan fragmen terdiri dari; kuarsit, filit, *slate*, meta-batupasir, konglomerat, batugamping foram besar, meta-batugamping, andesit, basalt, litik tuf, pumis, dan lain-lain; semen berupa silika **(Gambar-3)**.



Gambar 3. (A) Singkapan breksi koignimbrit yang mengandung fragmen aneka bahan, mulai dari batuan Pra-Tersier hingga Tersier. (B) Kenampakan fragmen berupa pumis yang berwarna cerah, di Sungai Keron Kidul (Lokasi Desa Pare).

3.2. Analisis Fragmen Pra-Tersier

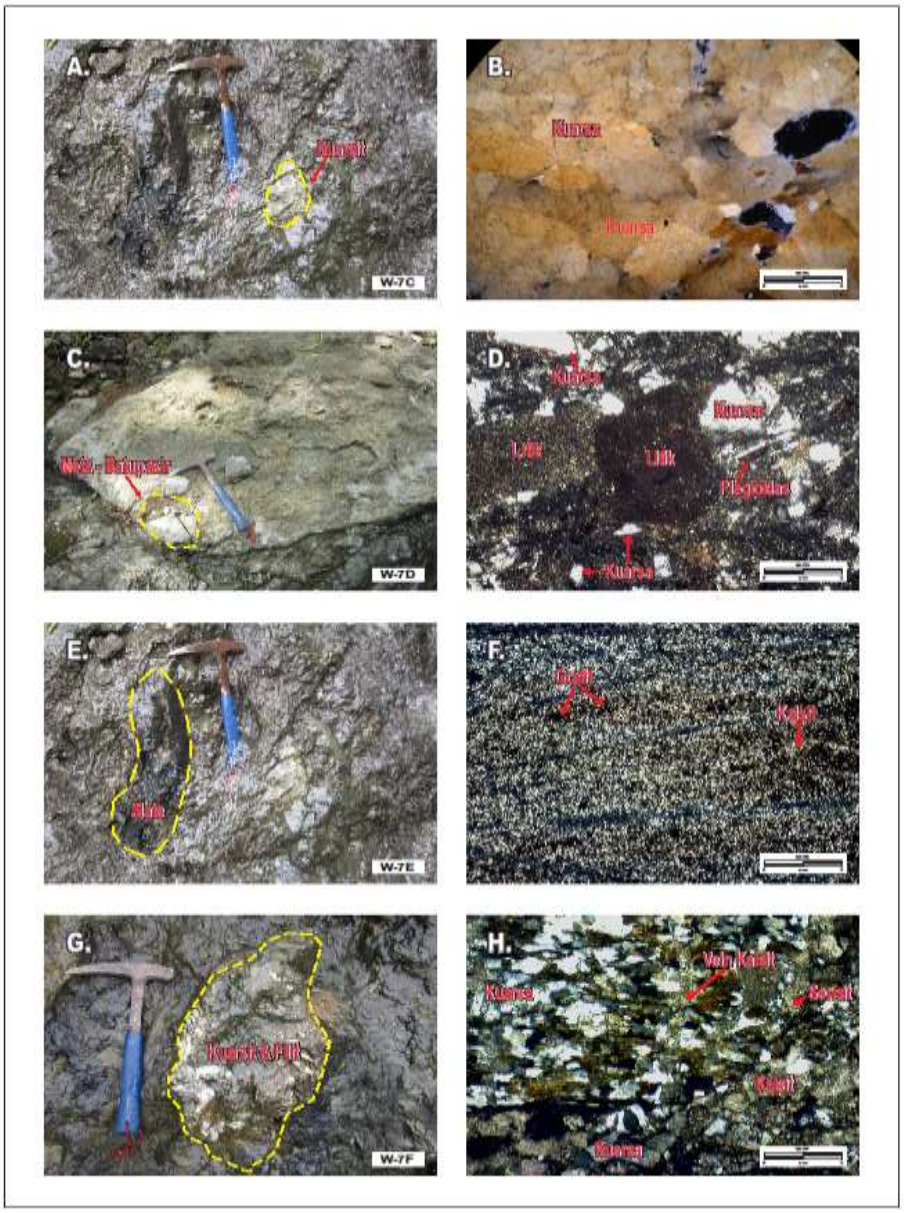
Sebagian besar fragmen breksi koignimbrit berbentuk menyudut – sangat menyudut karena terfragmentasi akibat ledakan dan diendapkan secara *in situ* atau belum mengalami pengerjakan ulang melalui proses sedimentasi epiklastik. Beberapa sampel yang segar berhasil dianalisis petrografi untuk diketahui kandungan mineral penyusun batuan tersebut, sehingga dapat dikorelasikan dengan Komplek Batuan Metamorf, Perbukitan Jiwo, Bayat.

Batuan metamorf kuarsit memiliki ciri khas berwarna putih seperti yang ditunjukan oleh *sampel* W-7C **(Gambar-4A)**. Analisis petrografi kuarsit memperlihatkan ciri-ciri; warna coklat – keputihan, struktur non-foliasi, bertekstur kristaloblastik – granoblastik, disusun oleh 99 % mineral kuarsa **(Gambar-4B)**.

Sedangkan meta-batupasir cukup banyak terdapat di Sungai Keron Kidul, sebagian sudah mengalami alterasi dan pelapukan oksidasi. Di beberapa tempat *sample* meta-sedimen memiliki bentuk yang pejal atau keras, namun beberapa *sample* masih bisa teramati dengan baik. Hasil analisis petrografi memperlihatkan komposisi mineral kuarsa (65%), plagioklas (5%), glaukonit (5%), dan terdapat litik (25%), litik tersebut berasal dari batulempung dan batupasir **(Gambar-4C & 4D)**.

Slate atau yang dikenal dengan nama batu sabak umumnya memiliki derajat metamorfisme yang paling rendah. Hasil analisis petrografi sangat sulit dilakukan, karena mineral – mineral yang terkandung cukup halus, hanya terdapat mineral grafit (15%) dan kalsit (10%) **(Gambar- 4E & 4F)**.

Filit merupakan jenis batuan metamorf yang memiliki struktur foliasi dan hanya terdapat setempat di sungai Keron Kidul. Hasil analisis petrografi memperlihatkan struktur foliasi yang cukup baik, bertekstur kristaloblastik – lepidoblastik, komposisi mineral kuarsa (65%), kalsit (25%), serisit (10%), dan terdapat vein kalsit **(Gambar- 4G & 4H)**.

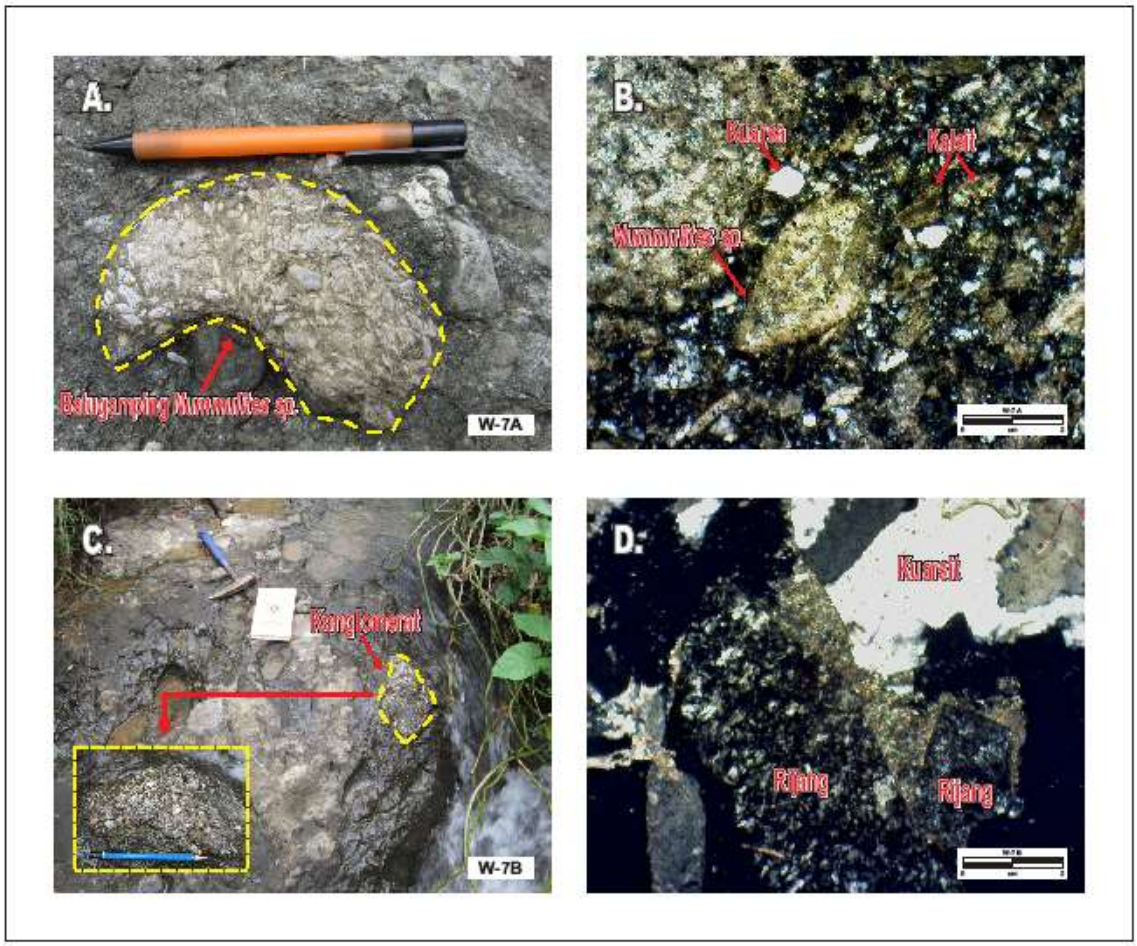


Gambar 4. Foto singkapan dan foto mikrograf (nikol silang) sayatan tipis; (A-B) kuarsit, (C-D) meta-batupasir, (E-F) *slate*, (G-H) filit, yang merupakan fragmen penyusun breksi koignimbrit di sungai Keron Kidul (Lokasi Desa Pare) (Danny drr., 2013).

3.3. Analisis Fragmen Tersier

Batugamping mengandung foram besar ditemukan sebagai fragmen di dalam breksi koignimbrit Formasi Mandalika dan fragmen ini hanya terdapat setempat di Sungai Keron Kidul. Sungai tersebut mengalir kearah utara dan bermuara di Waduk Tandon. Fosil Foram besarnya terutama terdiri dari fosil *Nummulites* sp. **(Gambar-5A & 5B)** dan *Discocyclina* sp.. yang berumur Eosen Tengah. Disamping itu terdapat butiran kuarsa yang cukup banyak (45%) dan semen berupa karbonat.

Konglomerat memiliki ukuran kerikil – kerakal, membundar, terpilah baik, kemas tertutup dengan butiran saling bersinggungan, kebanyakan fragmennya terdiri dari kuarsit, rijang seperti yang ditunjukan oleh **(Gambar-5C & 5D)** dan sedikit fragmen filit, terdapat juga litik yang memiliki tekstur grafit, diduga berasal dari batuan beku asam granit, semennya berupa karbonat.

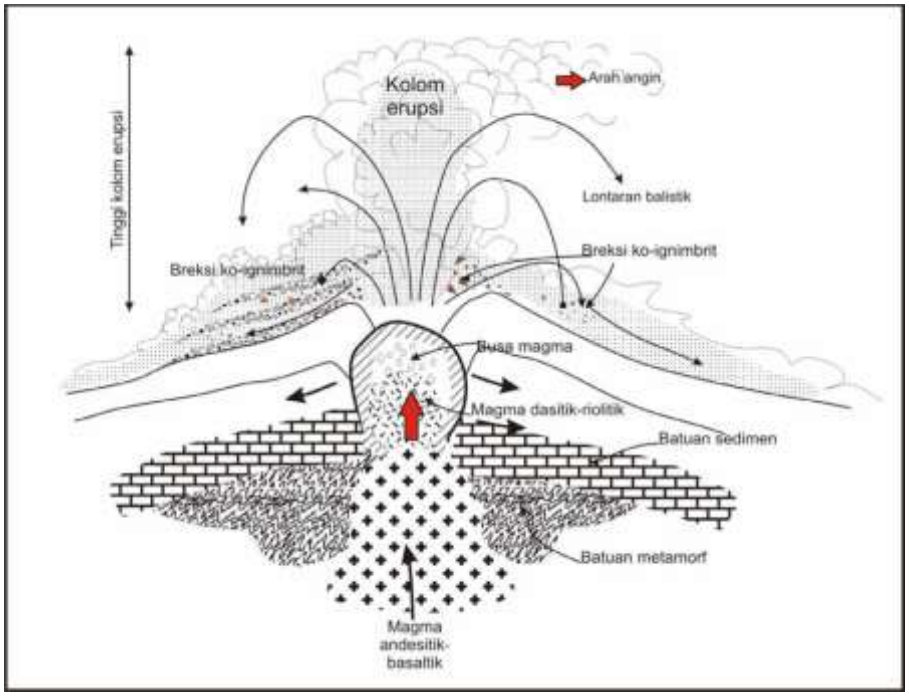


Gambar 5. Foto singkapan dan foto mikrograf (nikol silang) sayatan tipis; (A-B) batugamping foram besar, (C-D) konglomerat, yang merupakan fragmen penyusun breksi koignimbrit di sungai Keron Kidul (Lokasi Desa Pare) (Danny drr., 2013).

3.4. Analisis Model Erupsi Gunung Gajahmungkur

Berdasarkan temuan fragmen-fragmen batuan tua di dalam breksi koignimbrit Formasi Mandalika (Danny drr., 2013), maka dapat diinterpretasikan bahwa saat terjadi letusan sangat besar (eksplosif) Gunung Gajahmungkur ini, bahan yang dierupsikan tidak hanya magma, tetapi juga batuan yang lebih tua diatasnya. Batuan primer yang mewakili cairan magma pada waktu itu adalah pumis ringan (*light pumice*), pumis berat (*dense pumice*), serta bom dan blok gunung api. Keempat bahan magma itu mempunyai komposisi relatif sama sebagai fragmen batuan beku menengah – asam dan sering disebut *juvenile material*. Batuan tua dapat berupa batuan dasar (batuan metamorf, batuan beku intrusi dalam, batuan sedimen meta, dan *accidental rock fragments*) dan batuan gunung api yang sudah ada sebelumnya (*accessory rock fragments*), yang sudah sebagian sudah terubah, teroksidasi atau bahkan lapuk (Bronto drr., 2009).

Pada saat terjadi letusan eksplosif, tekanan gas di dalam magma sangat besar. Sehingga magma tersebut dapat membawa material atau fragmen-fragmen batuan tua yang berasal dari dasar tubuh gunung api, lalu diendapkan bersamaan dengan bahan piroklastika yang ikut keluar dari gunung api saat terjadi letusan tersebut **(Gambar-6)**.



Gambar 6. Model letusan gunung api yang membawa fragmen batuan tua dan terendapkan bersamaan dengan breksi koignimbrit (Bronto drr., 2009).

4. Diskusi

Berdasarkan hasil analisis petrografi, fragmen batuan metamorf yang terdapat dalam breksi koignimbrit Formasi Mandalika di Sungai Keron Kidul, Desa Pare memiliki derajat metamorfisme yang rendah. Batuan asal (protolit) dapat diinterpretasikan berupa batupasir yang memiliki ukuran butir dari pasir halus – pasir kasar dan lempung yang banyak kandungan karbonat ($CaCO_3$). Banyaknya kandungan kuarsa dan kalsit pada batuan metamorf tersebut, dapat dilakukan pendekatan bahwasanya batuan metamorf tersebut lebih berasosiasi dengan lingkungan kontinen yang mirip dengan batuan metamorf Pra-Tersier di daerah Perbukitan Jiwo, Bayat. Sedangkan batugamping foram besar yang mengadung fosil *Nummulites* sp. dan *Discocyclina* sp., diyakini berumur Eosen Tengah cenderung memiliki kesamaan dengan Formasi Gamping Wungkal di daerah Perbukitan Jiwo, Bayat. Hubungan kedua satuan ini tidakselaras dengan ditandai oleh konglomerat yang banyak mengandung butiran rijang dan kuarsit hasil pelapukan dari batuan metamorf.

Aktifitas vulkanisme Oligo-Miosen memberikan dampak yang berarti dalam hal ini. Menurut (Hartono dan Bronto, 2009) pembangunan suatu kerucut gunung api melibatkan fase konstruktif dan fase destruktif atau dikenal dengan siklus vulkanisme. Pembentukan batuan luar yang berselingan dengan breksi andesit piroklastika dan tuf andesit mengidikasikan tahap kegiatan vulkanisme yang bersifat membangun (konstruktif) kerucut gunung api strato, sedangkan tahap kegiatan vulkanisme bersifat merusak (destruktif) ditandai oleh melimpahnya breksi pumis, lapili pumis dan tuf berkomposisi andesit – dasit. Sehingga fase terakhir dari Gunung Gajahmungkur bersifat merusak (destruktif) karena tekanan gas magma yang cukup besar dan dapat membawa fragmen batuan tua dari dasar gunung api, lalu melontarkannya keluar permukaan dan diendapkan bersamaan dengan breksi koignimbrit yang terdiri dari bermacam-macam fragmen atau disebut breksi aneka bahan dengan massa dasar pumis dan tuf lapili.

5. Kesimpulan

- Fragmen-fragmen batuan tua ini memiliki kesamaan/kemiripan dengan batuan – batuan yang terdapat di Perbukitan Jiwo, Bayat. Dengan ditemukannya fragmen tersebut, kita dapat menginterpretasikan, bahwa batuan tua ini melampar kearah timur Pegunungan Selatan. Akan tetapi sampai saat ini, peneliti belum menemukan adanya singkapan tersebut dipermukaan. Fragmen batuan tua ini dapat dijadikan gambaran untuk merunut kembali stratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur, dimana alas dari Formasi Mandalika mirip dengan di daerah Bayat berupa Formasi Gamping Wungkal yang berumur Eosen Tengah dan batuan dasarnya berupa kompleks batuan metamorf kontinental berumur Pra-Tersier.
- Fragmen batuan tua tersebut dibawa oleh aktifitas vulkanisme Gunung Gajahmungkur yang berumur Oligosen – Miosen dan terendapkan bersamaan dengan breksi koignimbrit.
- Agar mendapatkan informasi yang lebih meyakinkan disarankan untuk dilakukan penanggalan radiometrik K-Ar untuk mendapatkan umur absolut fragmen batuan tua tersebut.

6. Referensi

Bothe, A.Ch. D., 1929. *Jiwo Hill and Southern Range*. Excurtion Fourth Guide, Pacific Science Congress, Bandung.

Bronto, S., Mulyaningsih, S., Hartono, G., dan Astuti, B., 2009. Waduk Parangjoho dan Songputri: Alternatif Sumber Erupsi Formasi Semilir di Daerah Eromoko, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No. 2 Juni 2009: 77-92 h.

Bronto, S., 2007. Fosil Gunung Api di Pegunungan Selatan Jawa Tengah. *Prosiding Workshop Geologi Pegunungan Selatan*, hal 171-194.

Danny, R., Sutarto., Prasetyadi, C., Putranto, S., 2013. Arti Penting Fragmen Formasi Mandalika di Daerah Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Kebumian VIII-2013, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta.*

Hartono, G., dan Bronto, S., 2009. Analisis stratigrafi awal kegiatan Gunung Api Gajahdangak di daerah Bulu, Sukoharjo; Implikasinya terhadap stratigrafi batuan gunung api di Pegunungan Selatan, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No. 3 September 2009: 157-165 h.

Prasetyadi, C., 2007. *Evolusi Tektonik Paleogen Jawa Bagian Timur*, disertasi ITB, tidak dipublikasikan.

Smyth *et al*., 2005. East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement, Indonesian Petroleum Association, Proceeding Ann.Conv. 30th

Smyth, R.H., Hall, R., and Nichols, J.G., 2007. Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin, The Geological Society America Special Paper 436.

Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A.H., dan Yulianto, I., 2003. The collision of the East Java Microplate and its implication for hydrocarbon occurrences in the East Java Basin, Proceedings Indonesian Petroleum Association, 29th Annual Convention and Exhibition.

Surono, Toha, B., dan Sudarno, I., 1992. Peta *Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.