

SEDIMENTASI FORMASI SEMILIR DI DESA SENDANG, WURYANTORO, WONOGIRI, JAWA TENGAH

Surono

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro 57, Bandung
Surono@grdc.esdm.go.id

SARI

Formasi Semilir tersingkap luas di sepanjang Pegunungan Selatan, pantai selatan Jawa bagian tengah. Formasi, yang memainkan peran penting dalam stratigrafi dan magmatisme di daerah tersebut, dialasi secara selaras oleh Formasi Kebo Butak dan bagian atasnya ditindih oleh Formasi Nglanggran.

Berdasarkan ragam batuan penyusunnya, Formasi Semilir dapat dibagi menjadi empat satuan litologi: batupasir, tuf lapili, breksi batuapung, dan breksi batuapung andesitan. Lempung gampingan yang terdapat pada satuan batupasir mengandung fosil nanno yang menunjukkan umur Miosen Awal, sedangkan penentuan umur dengan jejak belah pada sirkon dalam breksi batuapung pada satuan breksi batuapung menunjukkan umur $17,0 \pm 0$ juta tahun dan $16,0 \pm 1,0$ juta tahun atau akhir Miosen Awal.

Lingkungan pengendapan Formasi Semilir menunjukkan pendangkalan ke arah atas, yang semula laut dangkal berubah menjadi darat. Satuan breksi batuapung dan breksi batuapung andesitan diendapkan dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan kegunungapian meningkat pesat pada saat pengendapan bagian atas formasi.

Kata kunci: umur, stratigrafi, satuan litologi, jejak belah

ABSTRACT

Semilir Formation crops out widely along the Southern Mountains, the southern part of Central Jawa. This formation plays an important role in both stratigraphy and magmatism of the area. The formation is conformably underlain by turbidite-dominated sediments of Kebo Butak Formation and the upper part is overlain by the volcanic breccia of Nglanggran Formation.

On the basis of lithological variation, the Semilir Formation can be distinguished into four units: sandstone, lapilli tuff, pumice breccia and andesitic pumice breccia. Calcareous clay within the sandstone unit contains nanofossils which indicate an Early Miocene age. On the other hand, fission track datings of zircon, which is contained in the pumice of the pumice breccia facies, have resulted in the ages of 17.0 ± 0 Ma and 16.0 ± 1.0 Ma or latest Early Miocene.

The depositional environments of the formation indicate a shallowing upward sequence, and volcanism was very active during the deposition of the upper part of the formation. The pumice breccia and andesitic pumice breccia units were deposited in a relatively short time.

Keywords: age, stratigraphy, lithologic unit, fission track

PENDAHULUAN

Rangkaian pegunungan, yang membentang dari Parangtritis (Bantul, Yogyakarta) sampai Teluk Pacitan (Pacitan, Jawa Timur) dibagi oleh beberapa penulis (di antaranya van Bemmelen, 1949; Sartono, 1964; Surono, 2005) menjadi Pegunungan Baturagung, Pegunungan Gajahmungkur, dan Perbukitan Seribu (Gunung Sewu). Rangkaian pegunungan tersebut merupakan bagian tengah

Pegunungan Selatan Jawa. Dibandingkan dengan bagian lain dari Pegunungan Selatan, batuan yang membentuk wilayah itu relatif masih segar, dan belum banyak terpengaruh oleh tektonik serta alterasi. Batuan pembentuk Pegunungan Baturagung dan Pegunungan Gajahmungkur terdiri atas batuan sedimen klastika dan karbonat yang bercampur dengan batuan gunung api. Kedua hal tersebut menjadikan daerah ini menarik untuk diteliti, terutama memecahkan dalam masalah stratigrafi,

sedimentologi, dan magmatisme Pegunungan Selatan secara keseluruhan.

Formasi Semilir, bagian dari satuan batuan di Pegunungan Baturagung dan Pegunungan Gajahmungkur, merupakan himpunan batuan gunung api (piro- dan epi-klastika) Neogen. Nama Formasi Semilir diberikan oleh Bothe (1929) untuk satuan tuf yang tersingkap baik di Gunung Semilir, selatan Klaten, Jawa Tengah. Formasi Semilir, yang didominasi oleh tuf, breksi batuapung, tuf pasir dan breksi, menyebar luas di Pegunungan Selatan, mulai dari ujung barat Pegunungan Baturagung (Parangtritis, Yogyakarta) sampai ke wilayah Kabupaten Pacitan. Sebagian besar formasi ini merupakan batuan piroklastika.

Tulisan ini merupakan salah satu hasil kerja sama Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, dengan Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sifat fasies dan sedimentologi Formasi Semilir dengan acuan di tiga daerah: sekitar Desa Sendang, Kecamatan Wuryantoro; Desa Nawangan, Kecamatan Giritontro, dan Desa Ngancar, Kecamatan Giriwoyo (Gambar 2-3). Ketiga daerah tersebut termasuk Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, dan tersebar mengelilingi Waduk Gajahmungkur, Wonogiri.

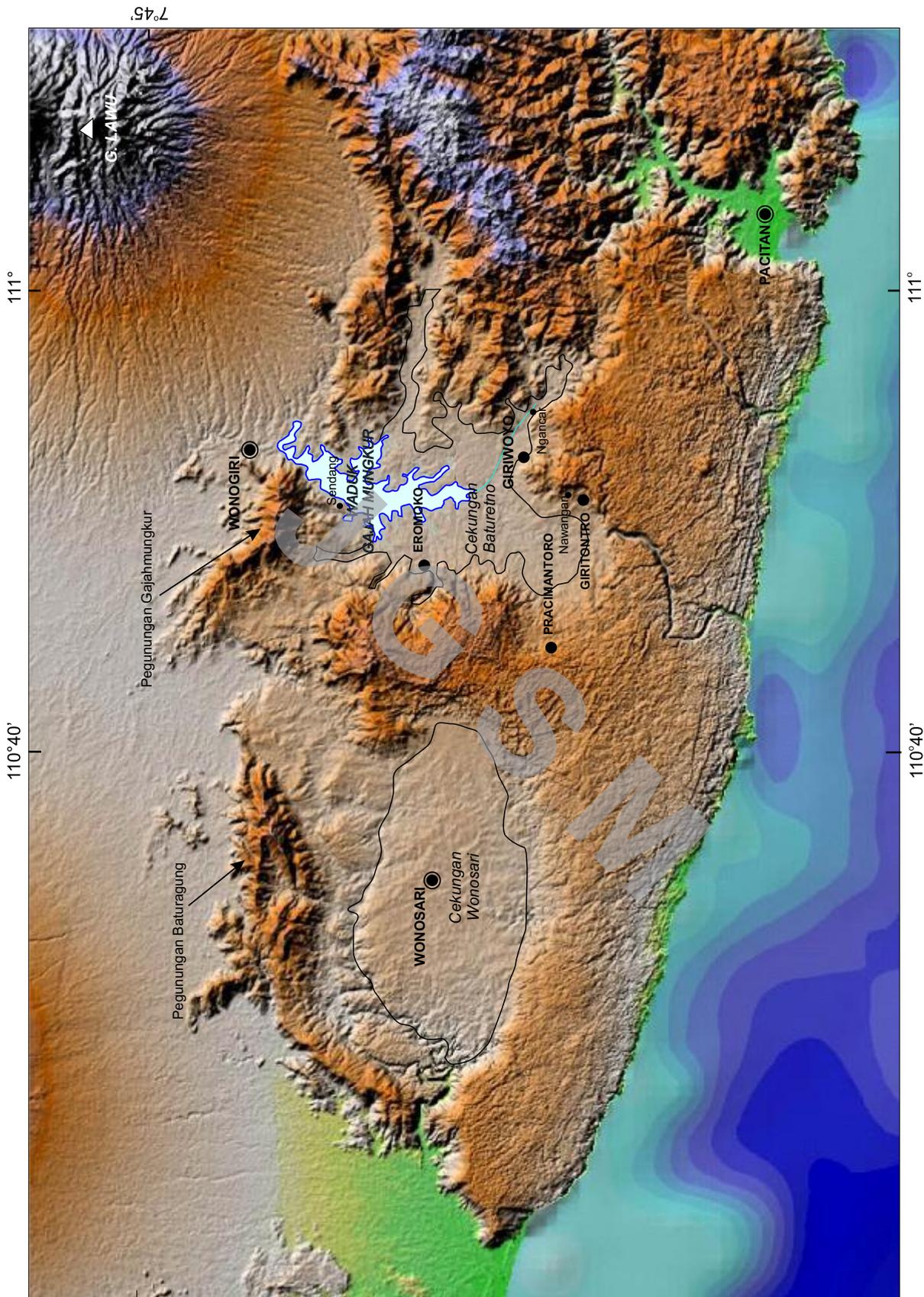
METODE

Metode penelitian merekan data rinci penampang terukur di lapangan, pengambilan percontoh batuan terpilih dan analisis laboratorium. Penampang stratigrafi, yang dibuat berdasarkan hasil pemerian dan pengukuran di lapangan, dikelompokkan menjadi satuan litologi yang mempunyai sifat berbeda dengan satuan di bawah dan di atasnya. Satuan litologi ini kemudian dibagi menjadi fasies berdasarkan klasifikasi Mutti (1992) dan Mutti dkk. (1999).

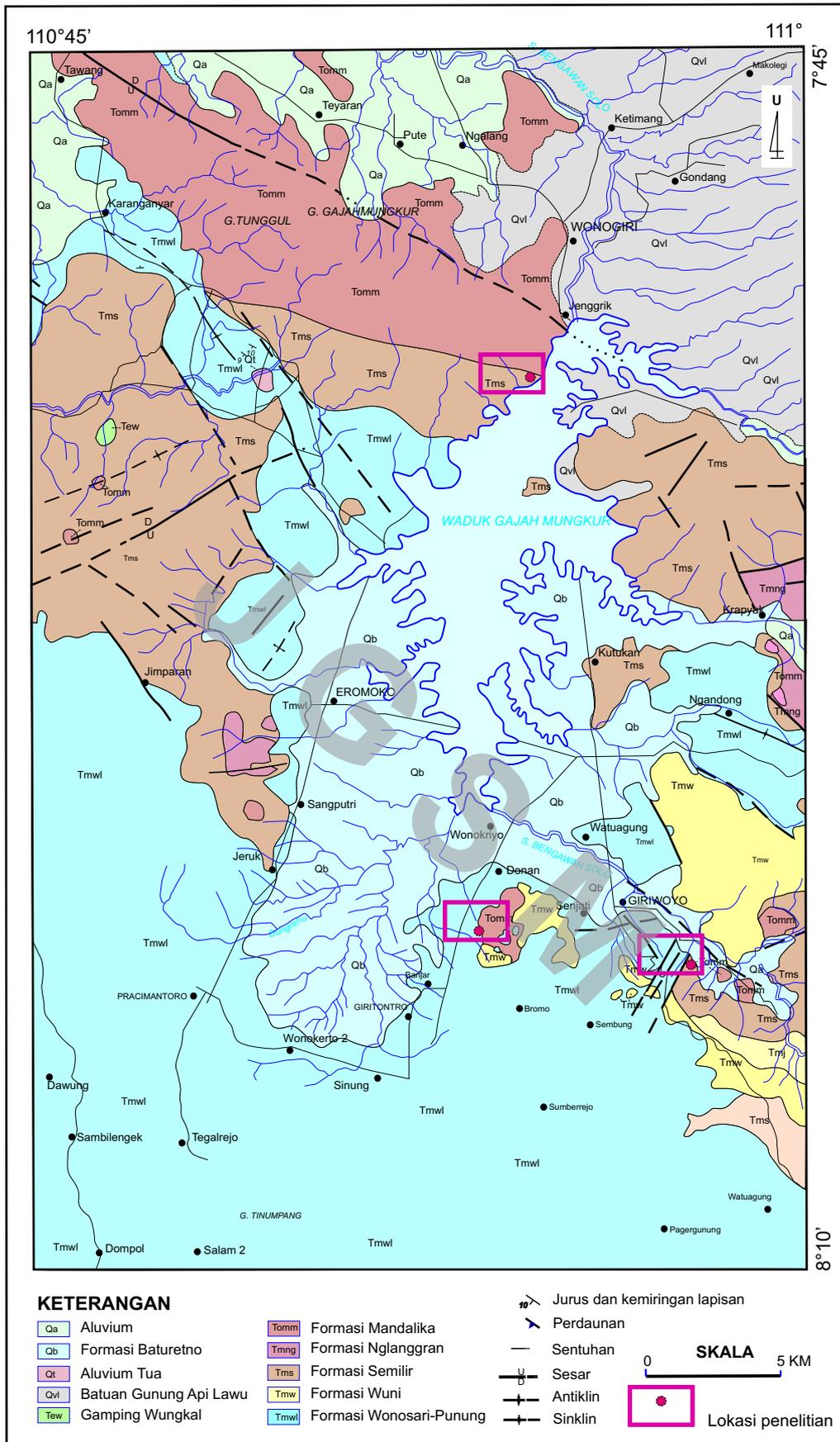
Kegiatan lapangan yang berupa pembuatan penampang stratigrafi terukur secara terperinci dilakukan di Desa Sendang (Gambar 1 & 3), pada bulan September - November 2005. Penentuan umur berdasarkan analisis paleontologi serta penarikan umur mutlak metode jejak belah (*fission track*). Semua analisis laboratorium (petrografi, paleontologi, dan jejak belah) dilakukan di Laboratorium Geologi (GeolLabs), Pusat Survei Geologi. Untuk mendukung tulisan ini, empat puluh percontoh batuan telah dianalisis secara petrografis, empat di antaranya dianalisis paleontologi dan empat lainnya ditentukan umur mutlaknya dengan metode jejak belah.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.



Gambar 2. Citra inderaan jauh SRTM Jawa bagian tengah - selatan menunjukkan lokasi Pegunungan Gajahmungkur dan Pegunungan Baturagung.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Surono dkk. 1992)

STRATIGRAFI REGIONAL

Pegunungan Baturagung dan Gajahmungkur umumnya dibentuk oleh batuan sedimen klastika dan batuan gunung api, sedangkan Perbukitan Seribu didominasi oleh batugamping yang umumnya membentuk morfologi kars. Secara umum, perlapisan batuan penyusun ketiganya miring ke arah selatan.

Satuan batuan tertua di ketiga pegunungan tersebut adalah Formasi Kebo Butak yang bagian bawahnya disebut *Kebo Beds* dan bagian atas disebut *Butak Beds* (Bothe, 1929). Bagian bawah formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir, batulanau, dan batulempung, setempat dijumpai lava bantal dan retas. Bagian atas berupa perulangan batupasir konglomeratan yang menghalus ke atas menjadi batulanau atau batulempung. Formasi Kebo Butak, yang sebagian besar merupakan endapan turbidit ini, berumur Oligosen atau N2-N3 (Sumarso dan Ismoyowati, 1975). Smith (2005) melakukan penarikan U-Pb pada formasi ini dan menghasilkan umur $29 \pm 1,4$ juta tahun lalu atau berdasarkan foraminifera akhir Oligosen Akhir (N2-N3; Sumarso & Ismoyowati, 1975; van Gorsel dkk., 1987). Formasi Kebo Butak dipercaya ditindih secara selaras oleh Formasi Semilir.

Formasi Semilir tersebar luas pada rangkaian Pegunungan Baturagung dan Gajahmungkur (Gambar 2-3), sepanjang hampir 45km, lebar 10km dan setebal 650m. Menurut Hartono (2000) bagian timur formasi ini didominasi oleh tuf yang berkomposisi dasitik, sedangkan bagian baratnya lebih berkomposisi andesitik. Secara selaras, Formasi Semilir tertindih oleh Formasi Nglanggran (Gambar 4) yang terdiri atas breksi gunung api dan setempat lava andesit dan tuf. Formasi Nglanggran diendapkan secara cepat di lingkungan laut pada Miosen Awal, tepatnya N4 (Sumarso dan Ismoyowati, 1975; Rahardjo, 2004). Hal ini sesuai dengan hasil penarikan yang dilakukan oleh Smith (2005) dengan metode U-Pb, yakni 19 dan 20 juta tahun lalu. Formasi Nglanggran ditindih selaras oleh Formasi Sambipitu yang berupa seri endapan turbidit, batupasir yang ke arah atas berangsur menjadi batulempung. Pada bagian bawah Formasi Sambipitu masih terdapat bahan asal gunung api. Umur Formasi Sambipitu berdasarkan kandungan foraminiferanya adalah N4-N8 (Kadar, 1986).

Runtunan endapan sesudah Formasi Sambipitu didominasi batuan karbonat, yang secara berurutan terdiri atas Formasi Oyo, Formasi Wonosari, dan Formasi Kepek. Secara setempat ketiganya disisipi tuf dan batulempung. Di selatan Cekungan Baturetno sampai ke daerah Pacitan, Formasi Wonosari yang didominasi oleh batugamping berlapis berubah menjadi batugamping terumbu. Ketiga formasi ini diendapkan di laut yang semakin dangkal ke atas mulai Miosen Tengah sampai Pliosen atau N9-N19 (Surono dkk., 1992; Rahardjo, 2004).

UMUR DAN KEDUDUKAN STRATIGRAFI FORMASI SEMILIR

Formasi Semilir mempunyai penyebaran yang cukup luas dan berperan penting dalam stratigrafi dan sejarah magmatisme di Pegunungan Selatan. Beberapa peneliti terdahulu memberikan kesimpulan umur dan kedudukan stratigrafi yang berbeda-beda terhadap Formasi Semilir. Foraminifera yang dijumpai pada bagian tengah satuan menunjukkan umur Miosen Awal awal Miosen Tengah (Sumarso dan Ismoyowati, 1975; Samodra dan Sutisna, 1997); Miosen Awal (Samodra dkk., 1992; van Gorsel dkk., 1987); dan Oligosen Akhir Miosen Awal (Rahardjo dkk., 1995). Smith (2005) melakukan penarikan umur mutlak Formasi Semilir dengan menggunakan metode U-Pb dan mendapatkan umur 20 ± 1 juta tahun atau Miosen Awal.

Hasil analisis fosil nano percontoh lapisan batulempung gampingan yang terdapat di bagian bawah Formasi Semilir, menunjukkan bahwa formasi ini mengandung: *Discoaster deflandrei*, *D. druggii*, *D. variabilis*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Calcidiscus macintyreii*, *Helicosphaera ampliaperta*, *H. euphratis*, *H. carteri*, *Sphenolithus conicus*, *Coccolithus miopelagicus*, *Sphenolithus moriformis*, dan *S. belemnos*. Analisis lempung gampingan dari bagian yang sama menunjukkan adanya *Sphenolithus moriformis*, *S. heteromorphus*, *S. belemnos*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Calcidiscus macintyreii*, *Helicosphaera euphratis*, *H. ampliaperta*, *H. carteri*, *H. mediterranea*, *Coccolithus miopelagicus*, dan *Discoaster deflandrei*. Kumpulan fosil nano kedua percontoh batuan tersebut masing-masing menunjukkan umur Miosen Awal bagian akhir atau Zona NN3. Penarikan umur mutlak Formasi Semilir dalam penelitian ini dilakukan dengan metode jejak belah

(*fission track*) zirkon pada dua percontoh tuf dari utara Desa Glonggong, Giriwoyo dan Waduk Nawangan, Giritontro (Gambar 2). Kedua percontoh tuf tersebut berturut-turut menghasilkan umur $17,0 \pm 1,1$ dan $16,0 \pm 1,0$ juta tahun lalu atau akhir Miosen Awal. Berdasarkan uraian di atas, umur Formasi Semilir adalah 20-16 juta tahun lalu atau Miosen Awal (Burdigalian).

Menurut Surono dkk. (1992) Formasi Semilir di daerah Pegunungan Baturagung menindih selaras Formasi Kebo Butak, namun pada beberapa tempat menunjukkan ketidakselarasan. Di daerah Pacitan dan Ponorogo, Formasi Semilir ini menindih selaras Formasi Mandalika yang seumur dengan Formasi Kebo Butak (Samodra dkk., 1992; Surono dkk., 1992). Selanjutnya, formasi tersebut menindih dan setempat menjemari dengan Formasi Panggang, Formasi Dayakan dan Formasi Watupatok (Sampurno dan Samodra, 1997). Sementara itu, bagian atas Formasi Semilir di daerah Pegunungan Baturagung ditindih selaras (setempat juga menjemari) oleh Formasi Nglanggran (Surono dkk., 1992; Samodra dan Sutisna, 1997); tetapi menurut beberapa penulis (Bothe, 1929; van Bemmelen, 1949; Sumarso dan Ismoyowati, 1975; Surono dkk., 1992) Formasi Semilir sepenuhnya menjemari dengan Formasi Nglanggran dan ditindih tak selaras oleh Formasi Oyo serta Formasi Wonosari. Di fihak lain Rahardjo dkk. (1995) berpendapat bahwa Formasi Semilir ditindih selaras oleh Formasi Nglanggran.

Di barat Wonogiri, Formasi Semilir menindih selaras satuan batuan yang terdiri atas breksi andesit, lava andesit, dan tuf yang diduga merupakan bagian atas Formasi Mandalika, yang seumur dengan Formasi Kebo Butak tadi. Formasi Mandalika di daerah ini diduga diendapkan pada daerah yang dekat dengan sumber erupsi gunung api, sedangkan Formasi Kebo Butak yang didominasi oleh endapan turbidit, merupakan endapan gunung api di lingkungan laut yang berjarak lebih jauh dari sumbernya.

Di lokasi penggalian batuan Desa Sendang, Kecamatan Wuryantoro, Kabupaten Wonogiri, bagian bawah Formasi Semilir tampak jelas menindih selaras batulempung gampingan yang diduga merupakan bagian atas Formasi Kebo Butak (Foto 1). Di Desa Ngancar, Giriwoyo dan di dasar Waduk Nawangan, Giritontro (Gambar 3); Formasi Semilir menindih lava dasit yang sudah teralterasi. Sedangkan di sekitar Desa Sendang dan Glonggong,

bagian atas Formasi Semilir yang berupa breksi batuapung ditindih selaras oleh breksi andesit yang merupakan bagian bawah Formasi Nglanggran. Uraian di atas dapat diartikan bahwa Formasi Semilir di daerah penelitian, yang sangat mungkin juga di seluruh Pegunungan Baturagung dan Pegunungan Gajahmungkur, menindih selaras Formasi Kebo Butak dan ditindih selaras Formasi Nglanggran.

Hubungan selaras antara Formasi Semilir dan Formasi Nglanggran di atasnya juga ditemukan di sepanjang Sungai Nglipar, Kecamatan Nglipar, di lereng selatan Pegunungan Baturagung. Di fihak lain, penarikan U-Pb (Smith, 2005) Formasi Semilir menghasilkan umur 20 juta tahun, sedangkan penarikan Formasi Nglanggran dengan metode yang sama menunjukkan umur 20 dan 19 juta tahun. Dengan demikian bagian atas Formasi Semilir dan bagian bawah Formasi Nglanggran, mempunyai kesamaan umur. Hal ini menunjukkan bahwa bagian atas Formasi Semilir dan bagian bawah Formasi Nglanggran mempunyai hubungan menjemari atau perubahan fasies. Pada daerah penelitian, bagian atas Formasi Semilir, fasies breksi batuapung andesitan, terdapat kerikil andesit. Ke arah barat, kerikil andesit ini semakin besar ukuran dan banyak populasinya. Kenyataan terakhir ini semakin memperkuat interpretasi bahwa hubungan kedua formasi tersebut di atas merupakan perubahan fasies.

Surono dkk. (1992) memperkirakan ketebalan total Formasi Semilir lebih dari 450 m, sedangkan menurut Smith (2005) lebih dari 650 m. Ketebalan di Desa Sendang, Wuryantoro, Wonogiri diperkirakan lebih dari 500 m.

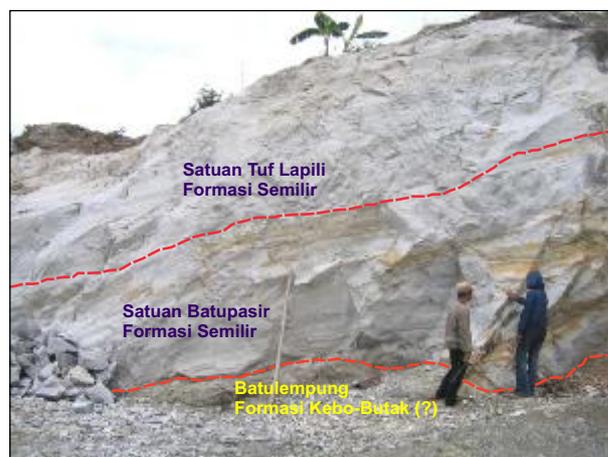
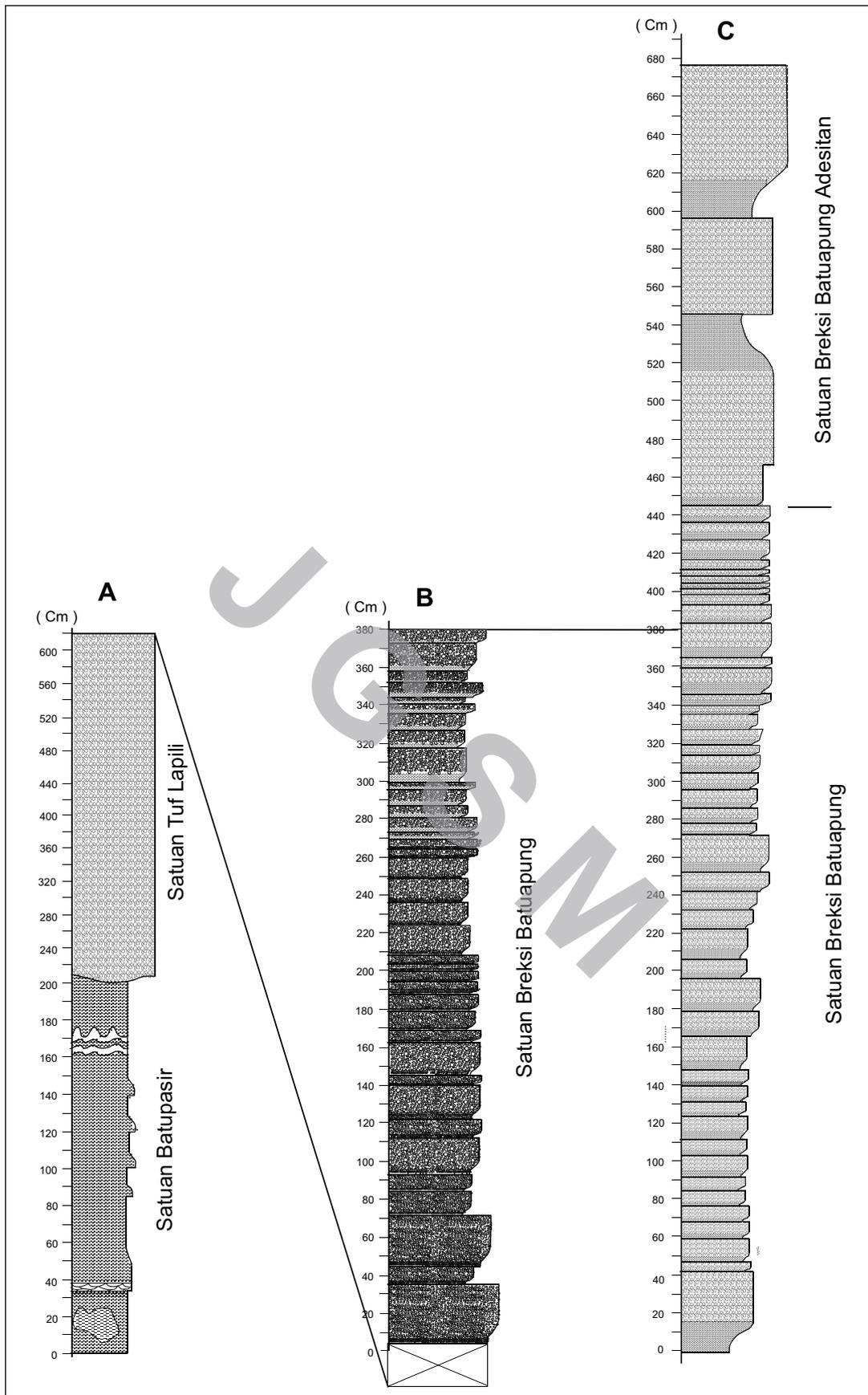


Foto 1. Bagian bawah Formasi Semilir (satuan batupasir) tersingkap di Desa Sendang, Wuryantoro, menumpang di atas batulempung Formasi Kebo Butak.



Gambar 4. Penampang stratigrafi Formasi Semilir di penambangan tuf, di Desa Sendang, Wonogiri.

SATUAN LITOLOGI DAN FASIES

Seperti telah diuraikan di depan bahwa Formasi Semilir didominasi oleh tuf lapili dan breksi batupung. Di beberapa tempat terutama bagian bawah, dijumpai sedimen klastika halus batulempung dan batupasir.

Di beberapa tempat, batuan Formasi Semilir yang ditambang oleh penduduk setempat digunakan sebagai bahan bangunan. Secara umum lokasi penambangan tersebut merupakan singkapan yang baik untuk mempelajari Formasi Semilir. Pada lokasi penambangan di Desa Sendang (di pinggir jalan raya Wonogiri-Wuryantoro), Kecamatan Wuryantoro, kegiatan penambangan itu memotong Formasi Semilir setebal lebih kurang 20 m. Karena intensifnya penambangan di lokasi ini, singkapan Formasi Semilir berubah dari waktu ke waktu.

Puspa (2006) membagi Formasi Semilir di Desa Sendang itu menjadi empat fasies: batupasir, tuf lapili, breksi batupung, dan breksi batupung andesitan. Uraian di bawah ini didasarkan keempat satuan itu dengan ditambah pengecekan lapangan dan interpretasi ulang.

Satuan batupasir

Satuan batupasir (Gambar 4) yang tersingkap dengan ketebalan lebih-kurang 7,5 m terdiri atas perselingan *lithic wacke* dan *feldspathic wacke*. Pada satuan ini dijumpai struktur perarian sejajar (*parallel lamination*), perarian bergelombang (*wavy lamination*), dan perarian silang (*cross lamination*). Setempat struktur pembebanan (*loadcast*) ditemukan. Perarian arang dengan ketebalan berkisar antara 0,2 - 0,75 cm dan lapisan batupasir halus berwarna coklat kekuningan dengan bau belerang ditemukan sebagai lapisan tipis yang menerus. Batulempung gampingan banyak ditemukan sebagai fragmen maupun bongkah dalam batupasir tuf pada satuan ini (Foto 2). Struktur sedimen dan litologi satuan batupasir tersebut menunjukkan bahwa satuan ini boleh jadi diendapkan pada suatu arus gaya berat, sangat mungkin turbid.

Hal tersebut sangat berbeda dengan lingkungan pengendapan fragmen batulempung gampingan. Pada sebagian fragmen batulempung gampingan ini dijumpai *burrows* yang intensif. Hal ini menunjukkan bahwa fragmen batulempung gampingan dibawa oleh suatu massa batupasir dari suatu tempat lebih tinggi. Keberadaan *burrows* yang intensif menunjuk-

kan bahwa kondisi lingkungan pengendapannya cukup tenang dengan nutrisi yang cukup melimpah, sehingga organisme dapat hidup subur.

Hasil analisis petrografi *lithic wacke* menunjukkan bahwa fragmennya berukuran 0,1 - 2 mm, agak membulat dengan pemilahan cukup baik, terdiri atas batupung (30 - 55%), batulempung (0 - 5%), plagioklas (10 - 15%), kuarsa (5 - 10%), dan kaca (20 - 48%). Sementara itu, fragmen *feldspathic wacke* berukuran 0,1 - 0,5 mm, agak membulat dengan pemilahan sedang - baik, terdiri atas plagioklas (25%), batupung (15%), batulempung (5%), kuarsa (15 - 20%), piroksen (10%), arang (5%), kaca (0 - 15%), dan mineral *opaque* (5%).

Komposisi pembentuk satuan ini, yang didominasi oleh fragmen batupung, magmanya diduga bersifat andesitik atau reolitik. Kekentalan magma yang tinggi menyebabkan tipe erupsi bersifat eksplosif. Pusat erupsi diduga di darat karena didukung oleh banyaknya temuan fragmen arang (Foto 3). Fragmen arang tersebut diduga berasal dari tetumbuhan di lereng gunung api yang terbakar akibat tingginya temperatur rempah gunung api, kemudian terbawa dan diendapkan di laut bersama rempah gunung api.

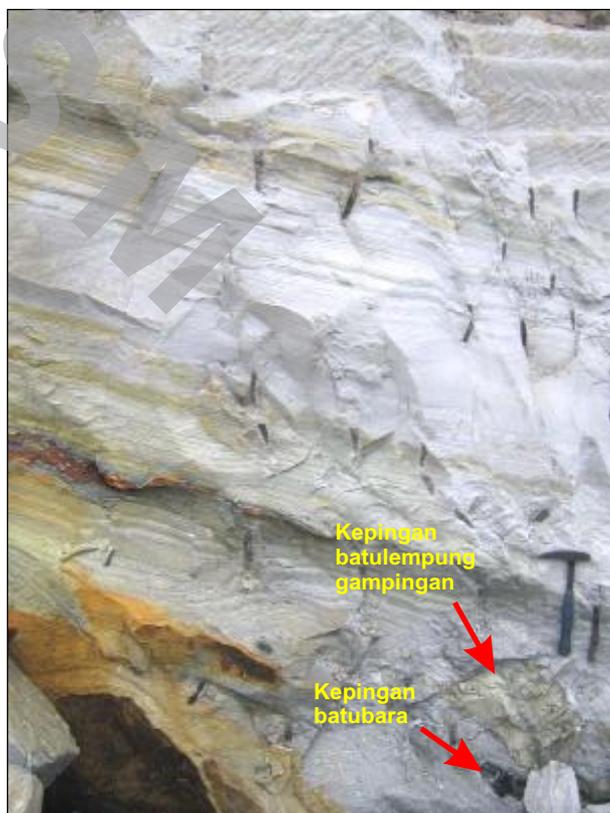


Foto 2. Kepingan batulempung gampingan Formasi Kebo-Butak dan kepingan batubara dalam satuan batupasir di Desa Sendang.

Populasi butir pada satuan batupasir didominasi oleh pasir kasar. Bongkah batu lempung gampingan (Foto 2) boleh jadi merupakan hasil erosi lapisan lempung gampingan dan diendapkan pada dasar suatu alur cekung arus turbit (*mud-draped scours*). Perarian silang dan bergelombang banyak ditemukan pada satuan ini. Berdasarkan klasifikasi fasies endapan turbit yang diusulkan oleh Mutti (1992) dan Mutti dkk. (1999), satuan ini didominasi oleh fasies F6 pada arus turbit yang sangat efisien.

Adanya fragmen dan bongkah batulempung gampingan yang terjebak dalam satuan ini (Foto 2) menunjukkan bahwa arus turbit tersebut menggerus dan membawa sebagian endapan batulempung gampingan, kemudian diendapkan bersama rempah gunung api itu di laut yang lebih dalam. Dengan demikian, erupsi yang bersifat eksplosif di darat menghasilkan rempah gunung api yang kemudian terendapkan di laut.

Material batupasir umumnya merupakan hasil erupsi gunung api. Kecepatan pasokan rempah gunung api yang cukup tinggi menyebabkan terbentuknya lereng curam yang menghadap ke laut. Kondisi lereng yang curam ditambah adanya getaran vulkanik/tektonik, memicu terjadinya longsoran yang menggerus batulempung gampingan di laut dangkal. Kemudian bersama rempah gunung api, hasil penggerusan tersebut diendapkan di laut yang lebih dalam. Adanya fragmen batulempung gampingan yang kaya akan *burrows* menunjukkan bahwa sebelum terjadi letusan gunung api, kondisi laut cukup tenang dan cukup nutrisi, sehingga memungkinkan binatang hidup baik.

Pada satuan batupasir ditemukan adanya sesar naik minor. Lapisan batuan di bawah dan di atas sesar tersebut tidak terpotong. Sementara itu, pada kedua bagian yang terpotong sesar tidak ditemukan adanya breksiasi (Foto 3). Sesar naik minor ini mempunyai jurus hampir barat - timur dengan kemiringan ke selatan. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa sesar naik tersebut terjadi bersamaan dengan pengendapan satuan batupasir (*syn-depositional fault*).

Satuan Tuf Lapili

Satuan tuf lapili (Gambar 4) yang disusun oleh tuf lapili dengan fragmen berukuran 0,3 - 8 cm umumnya berbentuk menyudut tanggung - membulat (Foto 4). Sebagian besar fragmen terdiri atas batuapung, dan setempat ditemukan



Foto 3a. Penampakan sesar naik minor di penambangan tuf di Desa Sendang Wonogiri. Sesar ini terbentuk bersamaan dengan pengendapan (*syn-depositional fault*) fasies batupasir, tidak memotong perlapisan batuan di atas dan dibawahnya).



Foto 3b. Penampakan terperinci Foto 3a, tampak bahwa sesar naik minor memotong perlapisan batuan pada waktu masih plastis.

batulempung dan batubara, yang semuanya terkemas terbuka dengan pemilahan jelek. Satuan ini menumpang di atas satuan batupasir dengan bidang erosi yang tegas sebagai kontakannya. Matriks umumnya berupa *vitric tuff*. Tebal lapisan berkisar antara 5 cm sampai 20 cm, sedangkan ketebalan satuan ini di daerah penelitian sekitar 1m. Hasil analisis petrografi menunjukkan bahwa fragmen batuan terdiri atas kaca gunung api (40%), batuapung (15%), plagioklas (15%), batulempung (10%), kuarsa (10%), piroksen (10%), arang (5%), dan biotit (5%).

Tuf lapili merupakan produk letusan suatu gunung api (McPhie dkk., 1993). Ukuran rata-rata fragmen pada satuan tuf lapili jauh lebih besar dibandingkan satuan batupasir. Ini menunjukkan adanya peningkatan erupsi gunung api yang menjadi sumber

kedua satuan. Pada satuan tuf lapili ini ditemukan alur cekung atau *deep-scours* (Mutti, 1992). Ditemukannya fragmen batulempung dan arang menunjukkan bahwa sebelum akhirnya diendapkan, bahan utama pembentuk satuan ini mengalir melewati daerah yang bertetumbuhan (mungkin darat) dan endapan batulempung. Berdasarkan klasifikasi fasies endapan turbit Mutti (1992) dan Mutti dkk. (1999) satuan yang didominasi tuf lapili berukuran 0,3 - 8 cm ini merupakan fasies F5. Pemilahan yang sangat jelek menunjukkan mungkin satuan ini dipengaruhi arus turbulen sewaktu diendapkan. Diduga lingkungan pengendapan satuan ini berada di laut.

Satuan Breksi Batuapung

Satuan breksi batuapung (Gambar 4) dibentuk oleh breksi dengan batuapung sebagai fragmen yang berukuran 0,5 - 6cm, terpilah jelek dan terkemas tertutup (Foto 5). Ketebalan perlapisan berkisar antara 20 - 35 cm dengan total ketebalan satuan lebih dari 4,5 m. Satuan ini menumpang selaras di atas satuan tuf lapili. Batuapung merupakan fragmen yang dominan di dalam satuan ini. Fragmen lain yang terdapat dalam jumlah kecil adalah batulempung, kuarsa bipiramid, dan batuan beku. Fragmen kuarsa ditemukan pada lapisan breksi batuapung setebal 50cm. Butir kuarsa sudah menampakkan adanya pembudaran. Setempat ditemukan fragmen koral dan batugamping dalam jumlah kecil.

Pada setiap lapisan, persentase fragmen batuapung meninggi ke atas. Demikian juga ukurannya, mengasar ke arah atas, sehingga membentuk gradasi terbalik. Pengamatan petrografis pada breksi batuapung menunjukkan bahwa fragmennya terdiri atas batuapung (10 - 20%), batulempung (10%), batuan beku (5%), kuarsa (20 - 30%), plagioklas (5 - 10%), mineral *opaque* (5%).

Ditemukannya fragmen koral dan batugamping menunjukkan bahwa satuan breksi batuapung ini diendapkan masih dalam lingkungan laut. Gradasi terbalik menunjukkan bahwa fragmen yang berukuran lebih kecil lebih cepat diendapkan daripada yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi pada larutan sedimen yang cukup pekat. Berdasarkan klasifikasi fasies Mutti (1992) satuan ini didominasi oleh fasies F4 dan sebagian kecil F2.



Foto 4. Satuan tuf lapili, tampak kepingan batuapung lebih menguasai komposisi batuan. Kepingan batulempung tampak pada kanan bawah foto.



Foto 5. Satuan breksi batuapung yang tersingkap di sepanjang sungai kecil di antara Desa Glonggong dan Ngancar, Giriwoyo.

Satuan Breksi Batuapung Andesitan

Satuan breksi batuapung andesitan (Gambar 4) terdiri atas perselingan breksi batuapung dan breksi batuapung andesitan. Breksi batuapung dan breksi batuapung andesitan umumnya mempunyai kemas tertutup dengan pemilahan buruk. Hanya saja breksi batuapung andesitan mempunyai fragmen andesit yang berukuran kerikil - berangkal. Di daerah penelitian, satuan breksi batuapung andesitan ini menumpang selaras di atas satuan breksi batuapung.

Fragmen satuan breksi batuapung andesitan didominasi oleh batuapung dan sebagian kecil andesit. Pada bagian bawah, satuan ini ditemukan fragmen batulempung batugamping, yang umumnya berukuran 0,5 - 5 cm dan berbentuk menyudut. Fragmen andesit semakin melimpah ke arah bagian atas satuan. Bagian bawah satuan ini masif, bagian

tengah mempunyai gradasi normal, sedangkan bagian atas berstruktur gradasi terbalik. Pada bagian atas satuan ini, kuarsa bipiramid dijumpai melimpah. Ketebalan lapisan pada satuan ini sampai 1 m, sedangkan ketebalan seluruh satuan breksi batupung lebih 6 m. Pada bagian atas satuan ini dijumpai batang kayu terarangkan dengan panjang sampai 2 m.

Pengamatan petrografis satuan ini menunjukkan bahwa fragmen terdiri atas batupung (20 - 30%), andesit (5 - 20%), batulempung (5 - 15%), kuarsa (15 - 30%), plagioklas (10%), dan mineral *opaque* (5%).

Diduga satuan ini merupakan produk sedimentasi gaya berat. Alur aliran gaya berat ini tampak jelas pada singkapan di Desa Sendang, Wuryantoro (Foto 6). Gradasi terbalik pada fragmen andesit di bagian atas satuan memberikan petunjuk bahwa kepekatan aliran cukup tinggi. Menurut Mutti dkk. (1999) gradasi terbalik terjadi pada aliran pekat dengan kecepatan yang tinggi. Satuan ini berdasarkan klasifikasi fasiesnya Mutti (1992) merupakan F 2.

Pada bagian bawah satuan masih dijumpai fragmen batulempung dan batugamping yang menunjukkan bahwa satuan batupung andesitan diendapkan di lingkungan laut. Akan tetapi dijumpainya batang kayu terarangkan yang cukup panjang pada bagian atas satuan menunjukkan bahwa lokasi pengendapan laut tidak jauh dari daratan tempat tetumbuhan hidup, atau memang satuan ini diendapkan di daratan. Besarnya ukuran kayu yang dijumpai mengindikasikan batang kayu tersebut diangkut tidak jauh dari tempat dia hidup (di darat).



Foto 6. Satuan breksi batupung andesitan di Desa Sendang, Wuryantoro, menunjukkan alur aliran gaya berat (arah panah).

DISKUSI

Formasi Semilir yang tersingkap pada lokasi penambangan Desa Sendang menunjukkan bahwa komposisinya didominasi oleh batuan asal gunung api dengan ukuran besar butiran semakin besar ke arah atas. Demikian pula ketebalan lapisan, ke arah atas semakin tebal. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas gunung api meningkat ke arah atas. Bahkan pada satuan breksi batupung andesitan ketebalan lapisan masif sampai setebal 60 cm, hal ini disebabkan adanya pasokan sedimen rempah gunung api yang sangat tinggi. Sekali lagi, hal ini menunjukkan aktivitas gunung api yang tinggi.

Lingkungan pengendapan yang semula laut yang dipengaruhi arus turbit pada satuan batupasir, berubah semakin dangkal, yang pada akhirnya menjadi laut dekat dengan daratan atau bahkan darat. Hal ini menunjukkan adanya pendangkalan lingkungan pengendapan. Adanya sesar naik yang terbentuk pada waktu pengendapan merupakan petunjuk bahwa pada pengendapan Formasi Semilir di Desa Sendang terjadi kegiatan tektonik yang cukup kuat, yang memungkinkan pengangkatan dasar cekungan. Di lain pihak, material pembentuk Formasi Semilir dikuasai oleh rempah dari erupsi letusan gunung api. Ini jelas memungkinkan adanya pasokan sedimen yang cukup tinggi dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini didukung oleh adanya arus turbit yang sangat mungkin disebabkan oleh adanya pasokan sedimen yang tinggi, sehingga membentuk lereng cukup curam yang memungkinkan sedimen dapat meluncur ke bawah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa walaupun ada genang laut secara global sewaktu pengendapan Formasi Semilir, tetapi karena adanya pasokan sedimen yang cukup tinggi disertai adanya kemungkinan pengangkatan dasar cekungan, maka terjadilah pendangkalan lingkungan pengendapan. Tingginya pasokan sedimen ke arah atas dapat diartikan bahwa kegiatan gunung api yang meningkat pesat ke arah atas.

Pada pengendapan Formasi Semilir, antara 20 - 16 juta tahun lalu (*Burdigalian*), diketahui adanya genang laut secara global (Haq dkk., 1988). Apabila tidak ada pengaruh tersebut di atas, pasti lingkungan pengendapan Formasi semilir semakin dalam. Ternyata genang laut ini tidak mempengaruhi lingkungan pengendapan Formasi Semilir yang makin mendangkal ke arah atas. Kenyataan ini semakin menguatkan bahwa pasokan sedimen dari rempah gunung api semakin tinggi ke arah atas.

Menurut Hartono (2000) bagian timur Formasi Semilir berkomporsi dasitik, sedangkan bagian baratnya bersifat andesitan. Hal ini dapat terjadi karena dua kemungkinan. Pertama, Formasi Semilir mungkin mempunyai dua sumber berbeda, bagian timur dasitan dan bagian barat andesitan. Kemungkinan kedua, hanya ada satu sumber, dan karena adanya proses diferensiasi magma, maka dihasilkan produk bersifat andesitik dan kemudian disusul dasitik. Di daerah Sendang, fragmen batuan beku (andesit) ditemukan pada bagian atas satuan breksi batuapung dan satuan breksi batuapung andesitan. Pada kedua satuan ini fragmen batuapung bercampur dengan fragmen andesit. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan pertama lebih dapat diterima dibandingkan kemungkinan kedua.

Pada singkapan Formasi Semilir di Desa Sendang ditemukan sesar naik yang disertai sesar naik minor, dan boleh jadi terbentuk bersamaan dengan sedimentasi formasi tersebut (Foto 3). Sesar naik, yang terbentuk bersamaan dengan pengendapan satuan batupasir, menunjukkan bahwa ada kompresi kuat yang terjadi pada saat pengendapan Formasi Semilir. Kompresi kuat ini boleh jadi berhubungan dengan proses tektonika kuat yang terjadi pada akhir Miosen Awal (Sudarno, 1997).

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan seperti di bawah ini:

- Formasi Semilir di daerah penelitian mempunyai umur 20 - 16 juta tahun lalu atau Miosen Awal (Burdigalian). Formasi Semilir menindih selaras

Formasi Kebo Butak dan ditindih selaras oleh Formasi Nglangran.

- Batuan penyusun Formasi Semilir di daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat satuan (dari bawah ke atas): batupasir, tuf lapili, breksi batuapung, dan breksi batuapung andesitan. Formasi Semilir merupakan hasil erupsi letusan besar suatu gunung api yang mungkin mempunyai dua sumber yang berbeda komposisinya.
- Lingkungan pengendapan keempat satuan itu menunjukkan pendangkalan ke atas, dimulai dari laut kemudian berubah menjadi darat. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh adanya pengangkatan dasar cekungan dan tingginya pasokan sedimen dari hasil erupsi letusan gunung api. Peningkatan pasokan sedimen menunjukkan meningkatnya kegiatan gunung api pada waktu pengendapan Formasi Semilir di daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada M.A. Puspo (Schlumberger Geophysics Indonesia) yang telah membantu dalam mengumpulkan data lapangan. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada beberapa rekan dari Jurusan Teknik Geologi, UGM, di antaranya Wartono Rahardjo dan Sudarno, yang telah banyak membantu dalam meningkatkan mutu makalah ini. Penghargaan yang tinggi diberikan kepada Dr. Sutikno Bronto (Pusat Survei Geologi) dan G. Hartono (Sekolah Tinggi Teknologi Nasional), yang telah banyak memberikan saran dan koreksi. Beberapa gambar dalam makalah ini dikerjakan oleh Sudyono (Pusat Survei Geologi).

ACUAN

- Bothe, A.Ch.D., 1929. Djiwo Hills and Southern Range. *Fourth Pacific Science Congress Excursion Guide* : 14pp.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R., 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. Dalam: Wilgus, C.K., Posamentier, H., Ross, C.A., Kendall, C.G.St.C. (Eds), *Sea-level changes: An intergrated approach*. Society of Economic Paleontologists, Special Publication 42 : 71-108.
- Hartono, G., 2000. Studi gunung api Tersier: Sebaran pusat erupsi dan petrologi di Pegunungan Selatan, Yogyakarta. Thesis Magister Teknik, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 168p (tidak diterbitkan).
- Kadar, D., 1986. Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the south central Java area, Indonesia. *Geological Research and Development Centre, Special Publication* 5: 88.

- McPhie, J., Doyle, M. & Allen, R., 1993. *Volcanic textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks, Centre of ore deposit and exploration studies*. University of Tasmania, Tasmania, 196p.
- Mutti, E., 1992. Turbidite sandstone. *Milan, Agip Special Publication*: 275pp.
- Mutti, E., Tinterri, R., Remacha, E., Mavilla, N., Angella, S. and Fava, L., 1999. *An introduction to analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective*. Educational Department, AAPG, Tulsa : 61pp. & 33 figures.
- Puspa, M.A., 2006. Studi fasies dan sedimentasi Formasi Semilir daerah Sendang, Kecamatan Wuryantoro, Kabupaten Wonogiri, Propinsi Jawa Tengah. Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada : 72pp.
- Rahardjo, W., 2004. Panduan ekskursi geologi regional Pegunungan Selatan dan Kendeng. Jurusan Teknik Geologi, FT, UGM, Yogyakarta (tidak diterbitkan).
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H.M.D. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Samodra, H. dan Sutisna, K. 1997. *Peta Geologi Lembar Klaten (Bayat), Jawa, skala 1 : 50.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Samodra, H., Gafoer, S. dan Tjokrosapoetro, S. 1992. *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sampurno dan Samodra, H., 1997. *Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sartono, S., 1964. *Stratigraphy and sedimentation of the easternmost part of Gunung Sewu (East Java)*. Departemen Perindustrian Dasar- Pertambangan, Direktorat Geologi, Bandung : 95p.
- Smith, H., 2005. Eocene to Miocene basin history and volcanic activity in East Java, Indonesia. PhD thesis, University London (tidak diterbitkan).
- Sudarno, 1997. Kendali tektonik terhadap pembentukan struktur pada batuan Paleogen dan Neogen di Pegunungan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya. Thesis Magister Teknik, Institut Teknologi Bandung, Bandung : 167pp (tidak diterbitkan).
- Sumarso dan Ismoyowati, T., 1975. A contribution to the stratigraphy of the Jiwo Hills and their southern surroundings. *Proceeding of 4th Annual Convention of Indonesia Petroleum Association*, Jakarta.
- Surono, 2005. Sejarah aliran Bengawan Solo: Hubungannya dengan Cekungan Baturetno, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. *Publikasi Ilmiah Pendidikan dan Pelatihan Geologi (1) 2*: 77-87.
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta dan Giritontro, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The geology of Indonesia*. Govt. Printing Office, Nijhoff, The Hague, 732pp.
- Van Gorsel, J.T., Kadar, D., Soenarto, Hazuardi, Toha, B., & Sumarinda, I.W., 1987. Central Java Fieldtrip Guidebook. June 18-21, 1987. Indonesian Petroleum Association : 30pp (tidak diterbitkan).

Naskah diterima : 13 April 2007
Revisi terakhir : 20 Januari 2008