

POSISI STRATIGRAFI DAN PETROGENESIS INTRUSI PENDUL, PERBUKITAN JIWO, BAYAT, KABUPATEN KLATEN, JAWA TENGAH

Surono, Udi Hartono & Sam Permanadewi *)

SARI

Intrusi Pendul tersusun oleh andesit, diabas, diorit dan gabro yang tersebar cukup luas di Perbukitan Jiwo, selatan Klaten, Jawa Tengah. Hasil penarikan K/Ar pada empat percontoh batuan dari daerah ini menunjukkan adanya dua episode magmatisme, yaitu periode Eosen Tengah - Oligosen Awal (39,82 - 30,04 jt) dan Miosen Tengah (17,22 - 13,85 jtl).

Kandungan unsur jejak batuan Intrusi Pendul mencirikan magmanya berasal dari daerah penunjaman hasil peleburan baji mantel. Batuan Intrusi Pendul dicirikan oleh kandungan Nb yang rendah nisbi terhadap unsur K dan La. Ciri unsur tanah langkanya menunjukkan bahwa magma Intrusi Pendul keduanya telah mengalami diferensiasi tingkat rendah, yang berasal dari magma induk yang berbeda. Magma induk Eosen Tengah - Oligosen Awal mempunyai kandungan unsur tanah langka lebih rendah dibandingkan dengan magma induk Miosen Tengah.

Kata kunci: Bayat, Intrusi Pendul, dua episode magmatisme, stratigrafi

ABSTRACT

The Pendul Intrusion consists of andesite, diabas, diorite, and gabbro; that are widely distributed within the Jiwo Hills, south of Klaten, Central Jawa. K/Ar datings of 4 rock indicate that there are two magmatism episodes; Middle Eocene - Early Oligocene (39,82 - 30,04 Ma) and Middle Miocene (17,22 - 13,85 Ma).

Trace element concentrations of the Pendul rocks characterize that the magma was originated from subduction environment as a result of mantle wedge melting. The rocks are characterized by low Nb relative to K and La contents. The rare earth element signatures indicate that the Pendul magmas might have come from different parent magmas. The Middle Eocene - Early Oligocene parent magmas possess lower rare earth element concentrations than those of the Middle Miocene ones.

Keywords: Bayat, Pendul Intrusion, two magmatism episodes, stratigraphy

PENDAHULUAN

Kondisi geologi Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah sangat menarik perhatian para ahli geologi. Kawasan ini, yang terletak sekitar 7 km di selatan Klaten, Jawa Tengah (Gambar 1), mempunyai aneka ragam batuan, stratigrafi dan struktur geologi terlengkap di Pulau Jawa, setelah Kompleks Karangsambung. Karena kondisinya itu, kawasan ini telah menjadi laboratorium alam kebumihan. Bahkan, Universitas Gadjah Mada telah mendirikan kampus lapangan untuk pembelajaran dan penelitian ilmu kebumihan.

Intrusi Pendul, atau juga disebut Diorit Pendul oleh Surono dkk. (1992), merupakan salah satu satuan batuan beku yang tersingkap cukup luas di Perbukitan Jiwo (Gambar 2). Satuan batuan beku ini tersingkap baik dan membentuk suatu perbukitan

yang disebut Gunung Pendul di rangkaian Perbukitan Jiwo Timur dan Gunung Kebo di Jiwo Barat, yang keduanya dipisahkan oleh Kali Dengkeng.

Intrusi Pendul mempunyai peran yang sangat penting bagi pemecahan stratigrafi dan sejarah magmatisme Pegunungan Selatan pada umumnya, dan Perbukitan Jiwo pada khususnya. Hal ini karena umur Intrusi Pendul akan menjadi penunjuk dimulainya magmatisme di Pulau Jawa. Di pihak lain, kedudukan stratigrafinya sampai saat ini belum jelas, karena kurangnya data umur mutlak dan data lapangan.

Tulisan ini bertujuan untuk membahas petrogenesis dan kedudukan stratigrafi Intrusi Pendul, melalui studi petrogenesis dan stratigrafi berdasarkan data lapangan dan hasil analisis laboratorium. Pekerjaan lapangan dilakukan dalam dua periode masing-

*) Pusat Survei Geologi

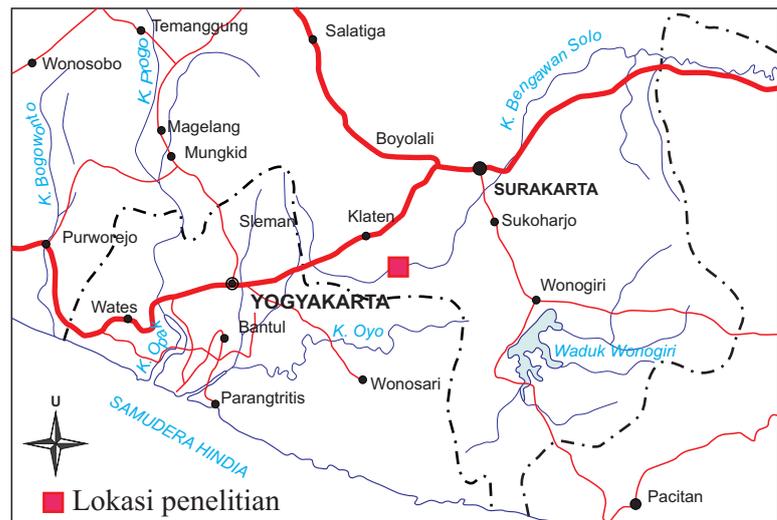
masing selama dua minggu, pada bulan Juni 2003 dan pada November 2005, serta beberapa kali peninjauan ulang. Kegiatan lapangan ini dimaksudkan untuk mengetahui kedudukan stratigrafi di lapangan dan pengambilan percontoh batuan. Semua percontoh batuan dari lapangan dianalisis pada Laboratorium Geologi, GeolLabs, di lingkungan Pusat Survei Geologi (sebelumnya bernama Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi), Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Analisis kimia dilakukan pada enam buah percontoh batuan dari Intrusi Pendul, penarikan umur mutlak dengan metode *Kalium Argon Dating* (KAr) dilakukan pada delapan buah percontoh dan empat di antaranya menghasilkan umur mutlak (Tabel 1). Sedangkan analisis petrografi dilakukan pada 24 percontoh batuan (Tabel 2).

TATAAN STRATIGRAFI

Perbukitan Jiwo merupakan daerah yang muncul pada dataran rendah yang dikelilingi oleh endapan rempah gunung api yang berasal dari Gunung Merapi. Surono dkk. (1992) menyusun tataan stratigrafi perbukitan ini dalam peta geologi skala 1 : 100.000 Lembar Surakarta-Giritontro. Batuan tertua (pra-Tersier) yang tersingkap di daerah ini adalah Kompleks Batuan Malihan, yang terdiri atas sekis, pualam, batuan gunung api malih, sedimen malih, dan batusabak. Batuan malihan ini tertindih tak selaras oleh Formasi Gamping-Wungkal yang terdiri atas batupasir, napal pasiran, batulempung dan batugamping. Formasi Gamping-Wungkal berumur Eosen.

Formasi Kebo-Butak menyebar di selatan dan terpisahkan oleh dataran aluvium dengan Perbukitan Jiwo. Formasi Kebo-Butak dibagi menjadi dua bagian. Bagian bawah berupa batupasir, batulanau, batulempung, serpih, tuf, dan aglomerat. Bagian atasnya disusun oleh batupasir, napal pasiran, batulempung, dan lensa batugamping.

Samodra dan Sutisna (1997) serta Ratman dan Samodra (2004) memberikan stratigrafi yang secara



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (skala 1 : 1.500.000).

garis besar sama dengan Surono dkk. (1992), namun beberapa satuan batuan dibagi menjadi lebih rinci (Gambar 2). Mereka membagi Formasi Gamping-Wungkal menjadi Anggota Girisono dan Anggota Padasan. Anggota Girisono terdiri atas batugamping *Numulites*, batupasir kuarsa gampingan dan sisipan lempung gampingan dan napal. Sedangkan Anggota Padasan terdiri atas perselingan batulempung karbonat dan napal dengan sisipan batugamping jenis *grainstone*. Anggota Girisono berumur Eosen Tengah, sedangkan Anggota Padasan berumur Eosen Tengah - Eosen Akhir.

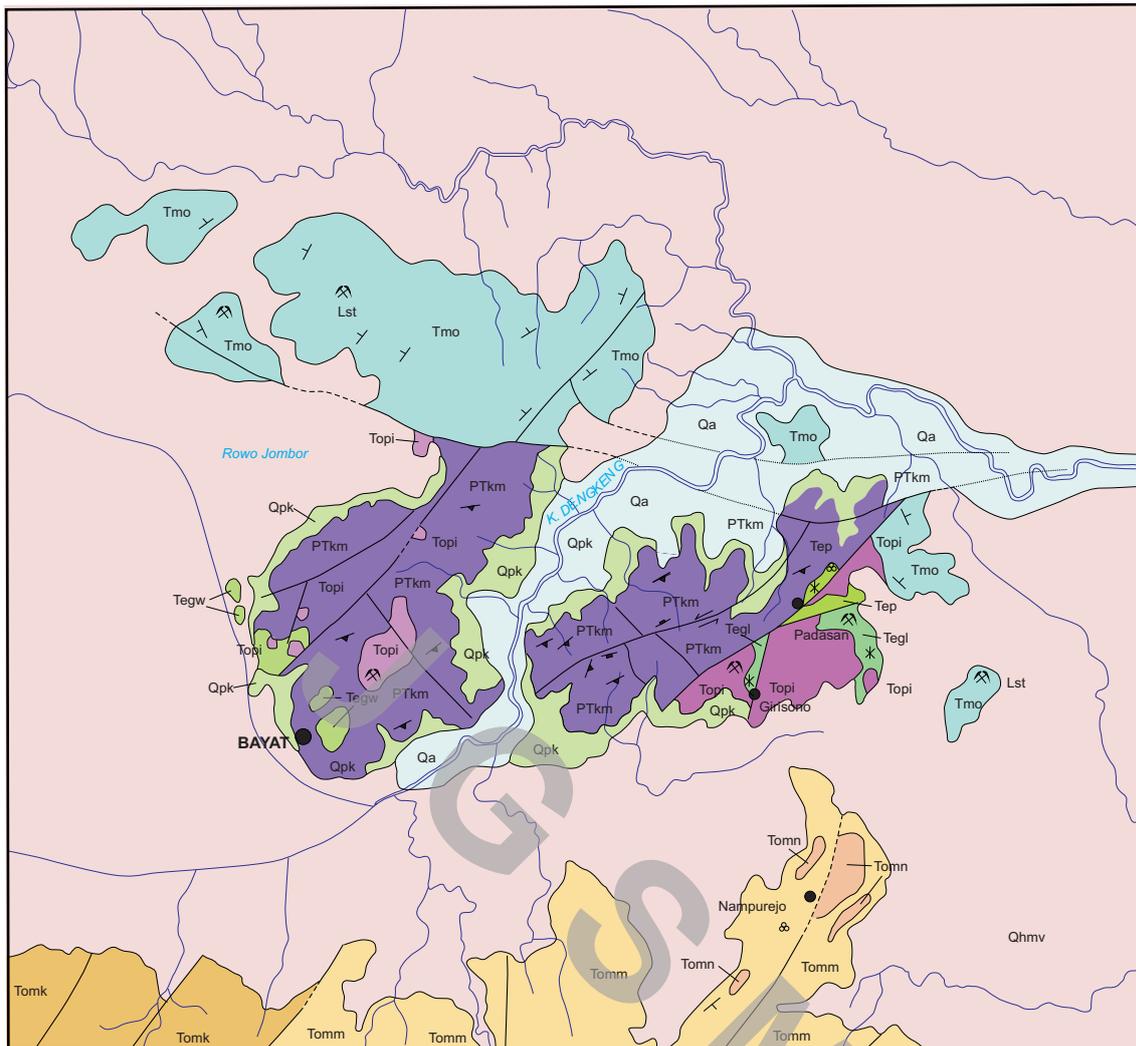
Batuan penyusun Intrusi Pendul terdiri atas andesit, diabas, diorit, dan gabro. Samodra dan Sutisna (1997) serta Ratman dan Samodra (2004) sependapat dengan Soerya-Atmadja dkk. (1991), yang melakukan penarikan K/Ar dua percontoh basal yang memotong Formasi Kebo-Butak. Mereka berkesimpulan bahwa umur Intrusi Pendul adalah 33,1 dan 24,3 juta tahun. Namun lokasi dan keterdapatannya kedua percontoh yang dianalisis tidak dijelaskan secara tepat. Bronto dkk. (2004) menduga lava basal dan tuf hitam Formasi Kebo-Butak berhubungan erat dengan Intrusi Pendul ini.

Pada Perbukitan Jiwo, Formasi Oyo menumpang tidak selaras di atas semua satuan batuan yang lebih tua. Formasi ini tersusun oleh batugamping dan napal berumur Miosen Tengah (Suyoto dan Santoso, 1986; Surono dr., 1992) yang di daerah ini umumnya berlapis baik.

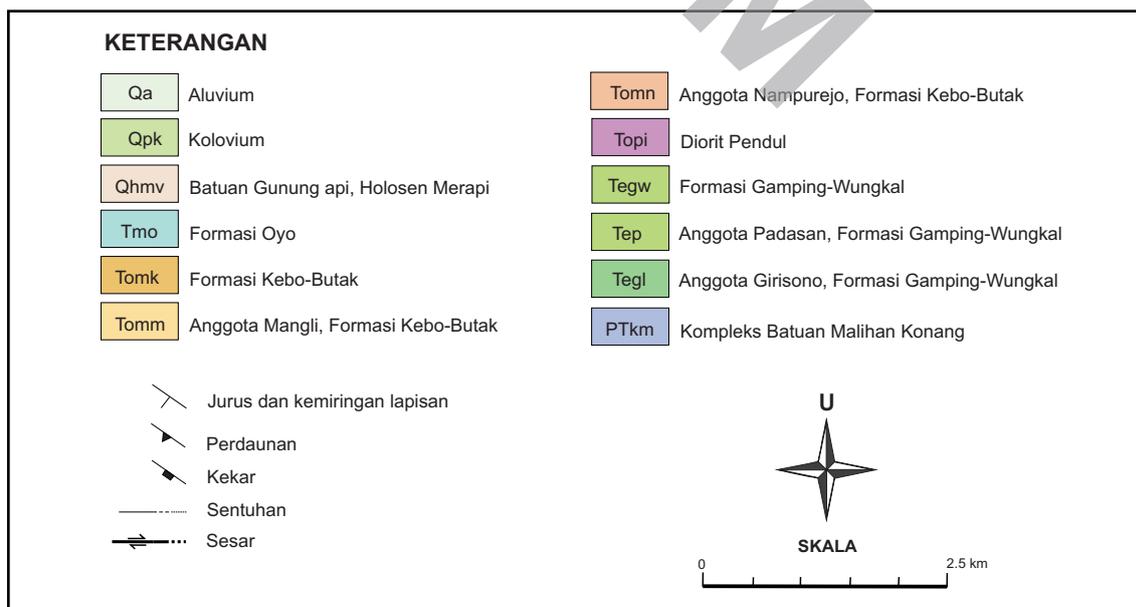
110°36'04"

110°40'40"

7°43'23"



7°48'23"



Gambar 2. Peta geologi Perbukitan Jiwo dan sekitarnya, Bayat, Klaten (Samodra dan Sutisna, 1997).

Kedudukan Stratigrafi Intrusi Pendul

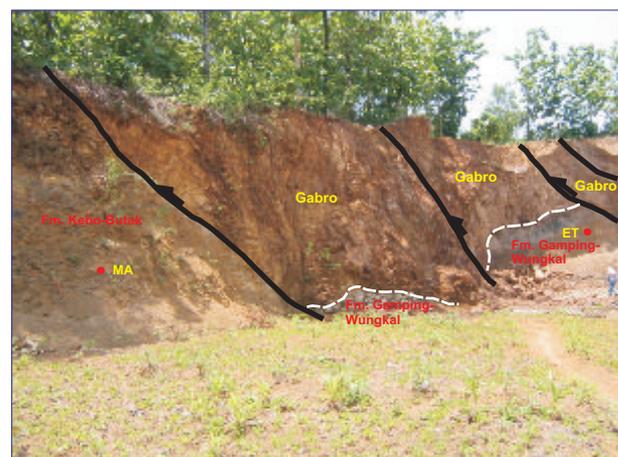
Di lapangan, Intrusi Pendul ditemukan menerobos satuan batuan malihan yang disebut Kompleks Batuan Malihan Konang oleh Samodra dan Sutisna (1997). Umur pasti satuan batuan malihan ini belum jelas benar, akan tetapi dapat dipastikan lebih tua dari Eosen karena mengalasi Formasi Gamping-Wungkal yang berumur Eosen. Di Desa Padasan, gabro mikro tersingkap lebih baik pada koordinat 07°46'37,2" LS, - 110°39'30,8" BT; di bekas penggalian diorit untuk bahan bangunan (Gambar 3). Di sini gabro mikro tampak jelas menerobos batulempung yang berwarna hitam. Pada sentuhannya, batulempung ini menunjukkan gejala pembakaran (*baking effect*) dengan ketebalan pembakaran berkisar dari 25 sampai 40 cm. Batulempung ini (EA, Gambar 3) banyak mengandung fosil nanno yang cukup melimpah, di antaranya *Cribozentrum reticulatum*, *Zygrhablithus bijugatus*, *Discoster saipanensis*, *D. barbadiensis*, *D. deflandrei*, *Ericsonia formosa*, *Reticulofenestra umbilica*, *Helicosphaera compacta*, *H. euphratis*, *Sphenolithus moriformis*, dan *Sphenolithus pseudoradians*. Kandungan fosil nanno tersebut (Limbong, 2005; hubungan tertulis) memberikan umur batulempung tersebut Eosen Akhir. Berdasarkan kumpulan fosil tersebut dan kandungan foraminifera yang melimpah, boleh jadi lingkungan pengendapan satuan ini di laut terbuka. Dengan demikian, diduga batulempung ini merupakan bagian dari endapan Paleogen, *Wungkal Beds*-nya Bothe (1929) atau Formasi Gamping-Wungkalnya Suro dkk. (1992).

Pada singkapan yang sama tetapi tidak terkena pengaruh pembakaran dijumpai lanau (MA, Gambar 3) yang disisipi tuf. Runtunan batuan ini diduga merupakan bagian dari Formasi Kebo-Butak. Batuan ini mengandung fosil nanno yang melimpah, di antaranya *Sphenolithus moriformis*, *S. heteromorphus*, *S. conicus*, *S. belemnos*, *Coccolithus miopelagicus*, *Helicosphaera carteri* dan *H. euphratis*. Himpunan spesies nanno tersebut menunjukkan umur Miosen Awal (zone NN3, Martini, 1971). Kedua hasil analisis paleontologi tadi menunjukkan bahwa gabro mikro yang menerobos atau mengalir di atas batulempung hitam berumur Eosen Akhir dan ditindih lanau yang berumur Miosen

Awal. Dengan demikian umur Intrusi Pendul relatif sama atau lebih muda dari Eosen Akhir dan lebih tua dari Miosen Awal. Hal ini dikuatkan oleh hasil penarikan K/Ar gabro mikro tersebut yang menghasilkan umur $32,852 \pm 6,57$ juta tahun atau Oligosen Awal (2004PK07, Tabel 1).

Umur Mutlak

Dalam penelitian ini, delapan buah percontoh batuan Intrusi Pendul dianalisis untuk mendapatkan umur mutlak. Hasil penarikan radioaktif K/Ar menunjukkan bahwa empat buah percontoh menghasilkan umur: $17,22 \pm 2,84$; $13,85 \pm 5,45$; $30,04 \pm 4,62$ dan $32,84 \pm 6,57$ juta tahun (Tabel 1). Empat percontoh lainnya tidak menghasilkan umur mutlak. Keempat percontoh tersebut diambil dari kelompok Intrusi Pendul di Perbukitan Jiwo. Dengan metode yang sama Sutanto (1993) dan Sutanto dkk. (1994) melakukan penarikan basal dari Gunung Pendul. Mereka menghasilkan umur $31,29 \pm 0,90$, $33,15 \pm 1,00$ dan $39,82 \pm 1,49$ juta tahun. Soeria-Atmadja dkk. (1994) juga melakukan penarikan batuan dari Bayat dan Tegalrejo (sekitar 3 km di selatan Bayat) yang menghasilkan umur berturut-turut $33,15 \pm 1,00$ dan $24,25 \pm 0,65$ juta tahun. Hasil penarikan K/Ar tersebut dikumpulkan dalam Tabel 1, yang menunjukkan bahwa batuan beku di Gunung Pendul dan sekitarnya terdiri atas tiga episode. Episode pertama berumur antara $39,82 \pm 1,49$ juta tahun dan $30,04 \pm 4,62$ juta tahun, atau Eosen Tengah - Oligosen Awal, sedangkan episode kedua terjadi



Gambar 3. Singkapan Intrusi Pendul pada bekas lokasi penambangan batu bangunan di Desa Padasan, Bayat. Pada Formasi Gamping-Wungkal tampak adanya pembakaran.

pada $24,25 \pm 0,65$ juta tahun lalu atau Miosen Awal. Sebenarnya batuan yang menggambarkan episode kedua ini tidak diambil dari Perbukitan Jiwo, tetapi dari Tegalrejo, sekitar 3 km di sebelah selatannya. Episode ketiga berlangsung antara $17,220 \pm 2,84$ dan $13,852 \pm 5,45$ juta tahun lalu atau Miosen Tengah. Fakta ini menunjukkan bahwa pada Perbukitan Jiwo sendiri ada dua episode magmatisme, Eosen Tengah - Oligosen Awal dan Miosen Tengah.

Petrografi dan Mineralogi

Pemerian batuan Intrusi Pendul, selain untuk kepentingan makalah ini, juga dilakukan dalam rangka pembuatan material acuan standar batuan untuk laboratorium uji petrografi, mineralografi dan penarikhan Kalium-Argon. Hasilnya merupakan laporan yang tidak diterbitkan sebagai pertanggung-jawaban kegiatan Proyek Pengembangan Laboratorium dan Sarana Survei Geologi, Tahun Anggaran 2004 (Kawoco dkk., 2004; Amar dkk., 2004). Petrografi batuan Intrusi Pendul juga telah

Tabel 1. Hasil Penarikhan K/Ar dari Intrusi Pendul, Bayat

NO	NOMOR PERCONTOH	LOKASI	NAMA BATUAN	KOORDINAT	UMUR MUTLAK	UMUR NISBI
1	2004PK01	Penggingan, Bayat	Diorit mikro	S07°45'57,4" E110°48'37,6"	17,220 ± 2,84 Juta tahun	Miosen Tengah
2	2004PK02	G. Bokol, Cermo, Bayat	Diabas	S07°48'37,6" E110°38'32,3"	30,04 ± 4,62 Juta tahun	Oligosen Awal
3	2004PK05	Sutojayan, Bayat	Diorit	S07°45'08,3" E110°38'03,2"	13,852 ± 5,45 Juta tahun	Miosen Tengah
4	2004PK07	G. Pendul, Padasan, Bayat	Gabro mikro	S07°46'37,2" E110°39'30,8"	32,852 ± 6,57 Juta tahun	Oligosen Awal
5*	By50	Bayat	Diabas	-	39,82 ± 1,49 Juta tahun	Eosen Tengah
6*	By47	Bayat	Diabas	-	31,25 ± 0,90 Juta tahun	Oligosen Awal
7*	By48	Bayat	Basalt	-	33,15 ± 1,00 Juta tahun	Oligosen Awal
8*	By52	Tegalrejo	Basalt	-	24,25 ± 0,65 Juta tahun	Miosen Awal

Tabel 2. Komposisi Mineral Intrusi Pendul

NO.	PERCONTOH BATUAN	LOKASI	PLAGIO-KLAS (%)	PIROKSEN (%)	KALIUM FELSPAR (%)	HOREN-BLEND (%)	KUARSA (%)	OLIVIN (%)	MINERAL BIJIH (%)	MINERAL UBAHAN (%)	NAMA BATUAN
1	04AM05	Desa Cermo, Bayat	44	18	2	-	2	-	4	20	Andesit porfiri
2	04/PK/02	G. Bokol, Bayat	46	12	30	-	4	-	2	6	Diabas Diabas
3	04/PK/03	G. Bulu, Bayat	60	22	3	-	2,5	-	3	9,5	Diabas
4	04/AS/03	Jokotuo, Bayat	68	22	-	-	-	-	-	8	Diabas
5	04/AS/04C	G. Pendul, Bayat	56	34	-	-	-	-	4	6	Diabas
6	04/AS/09	Desa Cermo, Bayat	58	22	-	-	-	-	5	15	Diabas terubah
7	04/PK/04	G. Bulu, Bayat	54	20	12	-	6	-	3	5	Diorit
8	04/PK/05	Desa Sutojayan, Bayat	48	28	9	6	2	-	2	5	Diorit
9	04/PK/08	G. Pendul, Bayat	58	18	6	-	4	-	2	12	Diorit
10	04/PK/01	Penggingan, Bayat	53	20	8	6	3	-	2	8	Diorit mikro
11	04/AS/01	G. Bulu, Bayat	58	33	-	-	-	-	-	6	Diorit mikro
12	04/AS/05	G. Pendul, Bayat	67	23	-	-	-	-	2	10	Diorit mikro
13	04AM02	Desa Penggingan, Bayat	54	20	-	-	0,5	-	3,5	21,5	Diorit mikro
14	04AM06	G. Bulu, Bayat	63	17	0,5	-	1,5	-	3	15	Diorit mikro
15	04AM09C	G. Pendul, Bayat	60	20	-	-	-	-	4	16	Diorit mikro
16	04AM10	Desa Sutojayan, Bayat	60	20	1	-	2	-	2	14	Diorit mikro
17	04AM09B	G. Pendul, Bayat	57	17	-	-	-	-	5	21	Diorit mikro terubah
18	04AM09A	G. Pendul, Bayat	51	31	-	-	-	-	2,5	15,5	Dolerit
19	04/PK/06	G. Pendul, Bayat	58	24	-	-	-	9	2	7	Gabro
20	04/PK/07	G. Pendul, Bayat	52	27	-	-	-	10	1	10	Gabro
21	04/AS/02	Desa Sutojayan, Bayat	65	24	-	-	-	-	-	10	Gabro piroksen
22	04/AS/06	Giriharjo, Bayat	70	17	-	-	-	-	1	12	Gabro piroksen
23	04/AS/04A	G. Pendul, Bayat	55	20	-	-	-	-	2	23	Gabro terubah
24	04/AS/04B	G. Pendul, Bayat	60	21	-	-	-	-	2	17	Gabro terubah

dibahas oleh Sutanto (2004). Uraian berikut merupakan gambaran umum petrografi dan kandungan mineral batuan Intrusi Pendul, yang sebagian diringkas dari berbagai sumber itu.

Dari lima belas percontoh yang dianalisis dan dari laporan yang ada, batuan Intrusi Pendul memperlihatkan variasi yang bersifat basal sampai menengah, seperti gabro, diabas (dolerit), diorit, dan andesit porfir. Berbagai jenis batuan ini umumnya holokristalin, ekuigranular, kasar sampai sedang, kecuali andesit yang bertekstur porfiritik. Tekstur subopitik sampai ke diabasik sering muncul pada batuan yang lebih basalik.

Plagioklas merupakan mineral utama terbanyak yang muncul di setiap batuan, dengan variasi 44% - 76% (Tabel 2). Plagioklas jenis bitownit, labradorit sampai andesin merupakan mineral yang sangat dominan pada masing-masing batuan yang bersifat basal sampai menengah. Mineral ini umumnya berbentuk pelat-prisma, subhedral, dan beberapa euhedral, berukuran sampai 3,6 mm, yang sebagian kecil telah berubah menjadi mineral lempung, kalsit, dan terkarsikan. Kembaran albit dan kombinasi kalsbad-albit sangat umum dijumpai pada mineral ini. Beberapa plagioklas memperlihatkan zonasi komposisi, tetapi jenisnya sukar ditentukan.

Piroksen merupakan jenis mineral kedua terbanyak yang hadir dengan variasi komposisi 12% - 34% (Tabel 2). Mineral ini hadir dalam dua generasi, yaitu ortopiroksen dan klinopiroksen, dengan jenis kedua lebih dominan dari yang pertama. Piroksen ini berbentuk prisma, subhedral sampai anhedral, berukuran sampai 1,8 mm. Pada sejumlah percontoh, plagioklas dan piroksen nampak tumbuh bersama membentuk tekstur subopitik dan bahkan diabasik. Sebagian piroksen, terutama di pinggiran kristal, sudah berubah menjadi klorit, oksida besi, dan sedikit kalsit.

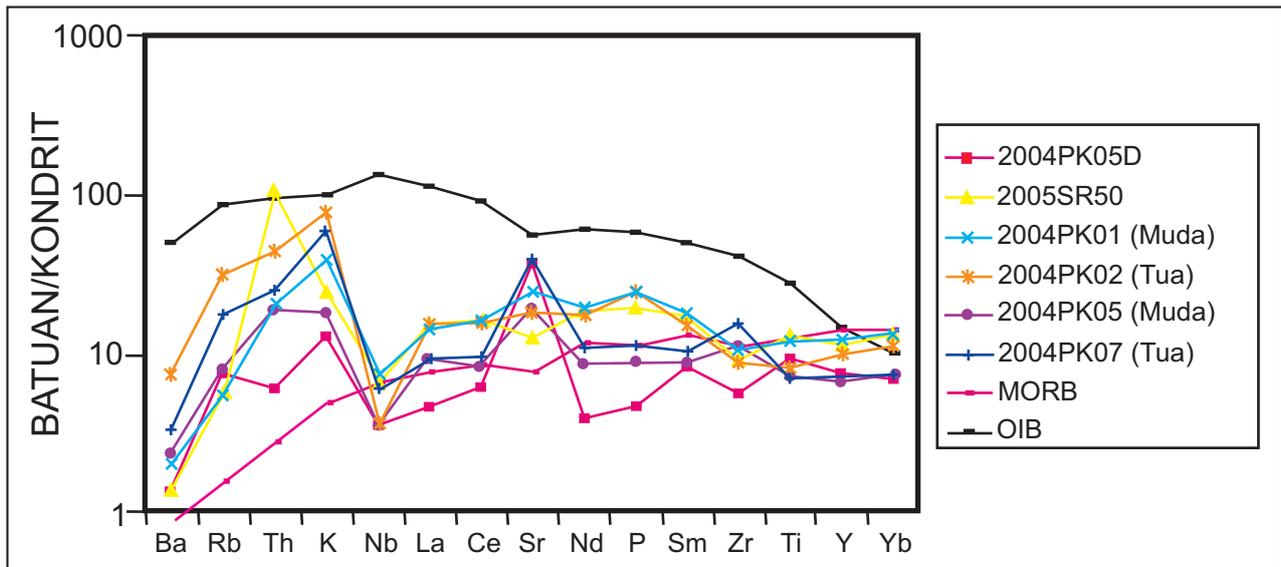
Olivin sangat jarang dijumpai, kecuali yang muncul pada dua percontoh batuan gabro (9 - 10%) dan sedikit (< 1%) dalam batuan diorit, sementara horeblenda berwarna kecoklatan pada dua percontoh diorit (04/PK/01 dan 04/PK/05). Alkali felspar muncul sangat sedikit, umumnya < 10%,

dalam batuan diorit. Magnetit hadir sebagai mineral penyerta di seluruh batuan, yang jumlahnya rata-rata sekitar 2 -3% dan maksimum 5%.

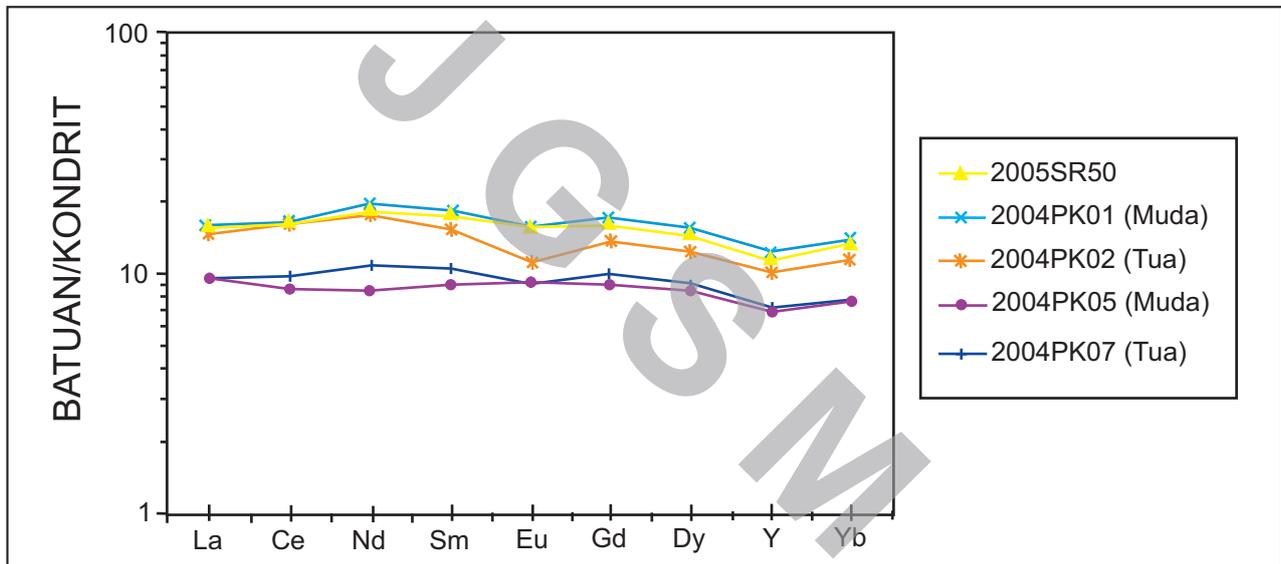
Geokimia

Sebanyak enam (6) percontoh batuan telah dianalisis unsur jejaknya (*trace elements*) dan hasilnya ditunjukkan sebagai diagram laba-laba (Gambar 4). Unsur yang sama untuk basal tengah samudera (*mid oceanic ridge* = MORB) dan di dalam lempeng (*oceanic island basalt* = OIB) disertakan sebagai pembanding. Pada gambar ini terlihat bahwa konsentrasi berbagai unsur ion litofil besar (Ba, Rb, Th, dan K) yang bersifat *mobile*, mengalami pengayaan dibandingkan dengan unsur itu di MORB, tetapi ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan OIB. Sebaliknya konsentrasi unsur Nb dan Zr, yang *immobile*, terlihat sebanding dengan MORB. Ciri geokimia batuan demikian sangat umum mencerminkan batuan yang berasal dari magma yang terbentuk di daerah busur penunjaman. Anomali positif Sr merupakan ciri yang sangat menonjol pada batuan Intrusi Pendul.

Selain unsur jejak, lima percontoh batuan telah dianalisis unsur tanah langkanya (*rare-earth elements*) dan hasilnya ditunjukkan di dalam diagram laba-laba (Gambar 5). Percontoh 04PK05 (diorit) dan 04PK07 (gastro) mewakili batuan Eosen Akhir - Oligosen Tengah, dan sisanya 04PK01 (diorit), 04PK02 (diabas) dan 05SR50 (gastro mikro) dari batuan Miosen Awal - Tengah. Gambar ini memperlihatkan perbedaan yang nyata antara keduanya. Kandungan unsur tanah langka batuan Eosen Akhir - Oligosen Tengah lebih rendah dibandingkan dengan kandungan unsur yang sama dalam batuan Miosen Awal - Tengah. Ciri lain ialah keduanya mempunyai pola unsur tanah langka yang datar dari unsur tanah langka ringan ke unsur tanah langka berat (La/Yb kecil), dan keduanya tidak pernah berpotongan. Anomali negatif unsur Eu, walaupun hanya kecil, mempunyai makna yang signifikan sebagai indikasi petrogenesis magmanya. Berikut diskusi dan pembahasan petrogenesis magma Intrusi Pendul, berdasarkan umur, jenis dan komposisi kimia batuan.



Gambar 4. Diagram laba-laba unsur jejak batuan Intrusi Pendul.



Gambar 5. Diagram laba-laba unsur tanah langka batuan Intrusi Pendul.

DISKUSI

Walaupun batuan Intrusi Pendul bervariasi dari yang basaltik (gabro, diabas) sampai menengah (diorit, andesit), dan seperti telah didiskusikan, menunjukkan ada tiga periode kegiatan magma, hubungan langsung antara komposisi dan umur batuan tidak ada. Batuan basaltik (diabas, gabro) sampai andesitik (andesit) terbentuk pada periode magmatisme Eosen Tengah - Oligosen Awal, sedangkan pada periode Miosen Tengah muncul diorit. Periode Miosen Awal tidak muncul di Kompleks Intrusi Pendul, Perbukitan Jiwo; tetapi di

sekitar 3 km sebelah selatannya. Diskusi selanjutnya akan lebih ditekankan pada petrogenesis berdasarkan sifat kandungan kimia batuan, terutama unsur jejak dan unsur tanah langkanya.

Seperti sudah dibahas sebelumnya bahwa kandungan unsur jejak batuan Intrusi Pendul mencirikan batuan yang berasal dari magma hasil penunjaman. Tingginya kandungan unsur ion litofel besar pada magma di daerah penunjaman telah disepakati oleh sebagian besar ahli (misalnya yang terbaru Foden dan Green, 1992; McCulloh dan Gamble, 1991) sebagai hasil peleburan baji mantel yang sudah diperkaya oleh unsur ion litofel besar.

Basal hasil peleburan ini kemudian naik ke permukaan sambil berdiferensiasi dengan mengkristalkan plagioklas-ortopiroksen/olivin-augit-magnetit (*POAM fractionation*) dan menghasilkan magma andesitik kalk-alkali. Unsur ion litofil besar yang *mobile* ini dipercaya berasal dari tunjaman kerak samudera yang terlepas bersama air ketika kerak mengalami peleburan dan kemudian terangkut ke baji mantel di atasnya. Namun, sebagian ahli lain (misalnya Defant and Drummond, 1990; Peacock dkk., 1994; Reich dkk., 2003) percaya bahwa mekanisme lain, yaitu peleburan kerak samudera yang menunjam merupakan sumber magma di daerah busur.

Komposisi kimia batuan Intrusi Pendul tidak mencirikan bahwa batuan berasal dari magma hasil peleburan kerak. Hal ini ditandai oleh rendahnya kandungan Sr (< 419 ppm) dan aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 15\%$) dan tingginya unsur tanah langka berat ($Y > 23$ ppm; $Yb > 1,4$ ppm). Sebaliknya, magma Pendul ditafsirkan sebagai hasil fraksinasi magma basal yang lebih primitif pada tekanan rendah dengan melibatkan plagioklas dan piroksen. Horenblenda mungkin terlibat hanya pada magma yang menengah (andesitik). Fraksinasi plagioklas akan mengakibatkan rendahnya kandungan Sr dan Al_2O_3 . Anomali positif unsur Sr, di antara Ce dan Nd (Gambar 3), selain merupakan unsur "inkompatibel" (*incompatible elements*) yang dapat berasal dari peleburan kerak samudera, disebabkan pula oleh adanya akumulasi plagioklas. Hal ini sesuai dengan data petrografi batuan dengan plagioklas sebagai mineral yang sangat dominan (44 - 76%) di dalam batuan. Unsur tanah langka berat (Y dan Yb) masih nisbi tinggi, walaupun piroksen (orto- dan klinopiroksen) hadir cukup signifikan (12 - 34% Tabel 2). Hal ini disebabkan oleh rendahnya koefisien partisi kedua unsur itu antara kristal piroksen dan cairan magma basal (0,1 - 0,8; dikompilasi oleh Hartono, 1994). Selama fraksinasi plagioklas terjadi bersamaan dengan fraksinasi piroksen (dan atau horenblenda), pengkristalan piroksen (dan atau horenblenda) tidak akan menurunkan konsentrasi Y dan Yb. Hasil penelitian (misalnya Defant dan Drummond, 1990) menunjukkan bahwa diperlukan fraksinasi horenblenda sekitar 60% untuk dapat menghasilkan magma dengan kandungan Y dan Yb sama seperti magma hasil peleburan kerak samudera.

Pola unsur tanah langka batuan Intrusi Pendul (Gambar 5), baik yang tua (Eosen Tengah - Oligosen Awal) maupun yang muda (Miosen Awal dan Miosen Tengah), dan yang datar (La/Yb kecil) menunjukkan bahwa tingkat diferensiasi masih rendah. Sebaliknya, pola yang datar ini juga menunjukkan bahwa tidak ada peran garnet dan amfibol dalam petrogenesis Intrusi Pendul pada tekanan tinggi, yang berarti bahwa magmanya bukan merupakan hasil peleburan kerak samudera yang menunjam. Walaupun kecil, Eu memperlihatkan anomal negatif yang memperkuat interpretasi adanya fraksinasi plagioklas.

Kandungan unsur tanah langka batuan Intrusi Pendul juga memberikan gambaran bahwa antara magma intrusi tua dan muda tidak berhubungan genetik. Kedua kelompok batuan ini ditafsirkan berasal dari dua magma yang berbeda. Pola unsur tanah langka batuan Intrusi Pendul tua dan muda yang nisbi sejajar menandai bahwa antara keduanya tidak mempunyai hubungan genetik secara fraksinasi-kristalisasi, yang berarti magma yang satu bukan berasal dari magma yang lain. Hal ini diperkuat dengan data komposisi batuan, dengan munculnya batuan basaltik di kelompok muda (04PK02), dan sebaliknya batuan andesitik (04PK05) juga ada di kelompok tua. Hal yang sama, diorit (04PK01) ditafsirkan bukan berasal dari magma induk gabro (04PK07). Secara ringkas dapat dikatakan bahwa, walaupun intrusi Eosen Akhir - Oligosen Awal ditandai oleh batuan yang sama dengan intrusi Miosen Tengah, kedua intrusi ini berasal dari magma induk yang berbeda. Namun demikian tafsiran ini tentu masih sangat awal, mengingat masih sangat terbatasnya data umur dan kimia batuan.

Pegunungan Selatan mengalami tektonik kuat pada Eosen Akhir dan Miosen Tengah (Sudarno, 1997), dan keduanya menyebabkan pola sesar timur laut - barat daya. Diduga kedua periode tektonik itu memicu kegiatan dua episode magmatisme di Pegunungan Jiwo tersebut di atas. Hall (2002) dan Smith (2005) membagi kegiatan tektonik Tersier di Jawa Tengah dan Jawa Timur menjadi Eosen Tengah - Oligosen Awal, Oligosen Akhir - Miosen Awal, akhir Miosen Awal - Miosen Tengah, dan Miosen Akhir - sekarang. Pada Eosen Tengah itulah dimulai subdaksi di sepanjang Palung Jawa. Proses subdaksi ini berlanjut terus sampai sekarang sehingga membentuk rangkaian Pegunungan Selatan dan gunung api aktif di bagian utaranya.

Di Perbukitan Jiwo (Bayat) dan sekitarnya, periode tektonik pertama (Eosen Tengah - Oligosen Awal) diikuti oleh kegiatan magmatisme yang menghasilkan batuan beku berupa andesit, diabas, dan gabro mikro (Tabel 1). Pada periode tektonik kedua (Oligosen Akhir - Miosen Awal), kegiatan magmatisme di Pegunungan Selatan meningkat pesat yang ditandai dengan adanya beberapa letusan besar, yang salah satunya ialah intrusi dangkal di Tegalrejo, selatan Perbukitan Jiwo. Pada periode ketiga (Miosen Tengah) kegiatan vulkanisme agak mereda, namun di beberapa tempat masih terjadi kegiatan magmatisme, termasuk pada Perbukitan Jiwo yang menghasilkan batuan beku berupa diorit.

KESIMPULAN

Batuan Intrusi Pendul (yang telah umum disebut Diorit Pendul) diketahui menerobos Formasi Gamping-Wungkal yang berumur Eosen, dan ditindih tak selaras oleh Formasi Kebo-Butak yang berumur Miosen Awal. Hasil penarikan K/Ar menunjukkan bahwa Intrusi Pendul dibentuk oleh tiga episode kegiatan magmatisme, yaitu periode $39,82 \pm 1,49 - 33,15 \pm 1,00$ jtl atau Eosen Akhir - Oligosen Awal, periode kedua $31,29 \pm 0,90$ dan $24,25 \pm 0,65$ jtl atau Oligosen Akhir - Miosen Awal, dan periode $17,220 \pm 2,84 - 13,852 \pm 5,45$ jtl atau Miosen Tengah. Ketiga periode magmatisme ini berhubungan erat dengan perkembangan tektonik Pegunungan Selatan. Di Perbukitan Jiwo, hanya periode pertama dan ketiga yang terekam dengan baik, sedangkan periode kedua ditandai dengan tersingkapnya batuan di Tegalrejo, sekitar 3 km di selatan Perbukitan Jiwo.

ACUAN

- Amar, Sunata, W., Subandrio, J., Sukandi, U., Yulyati, Heriyanto, Tohadi, T. dan Sumaryadi, 2004. Pembuatan material acuan standar batuan untuk laboratorium uji petrografi dan mineragrafi. Laporan Proyek Pengembangan Laboratorium dan Sarana Survei Geologi, Tahun Anggaran 2004, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.
- Bothe, A.Ch.D., 1929. Djiwo Hills and Southern Range. *Fourth Pacific Science Congress Excursion Guide*, 14p.
- Bronto, S., Hartono, G. dan Astuti, B., 2004. Hubungan antara batuan beku intrusi dan ekstrusi di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Klaten, Jawa Tengah. *Majalah Geologi Indonesia*, v. 19, n. 3, pp. 147-163.
- Foden, J. D. and Green, D.H., 1992. Possible role of amphibole in the origin of andesite: some experimental and natural evidence. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 109: 479-493.
- 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, pp. 353-434.

Komposisi batuan penyusunnya tidak dapat dipisahkan, baik periode pertama maupun yang lebih muda, dan terdiri atas batuan basaltik sampai andesitik, berupa gabro, diabas, diorit, dan andesit porfir. Kandungan unsur jejak dan langka batuannya, menunjukkan bahwa magma Pendul terbentuk di daerah penunjaman, yang sumbernya berasal dari baji mantel di atas kerak samudera yang menunjам, yang sudah diperkaya oleh unsur inkompatibel yang berasal dari kerak samudera yang menunjам. Kedua magmatisme (periode pertama dan ketiga) ini merupakan hasil diferensiasi magma induk yang berbeda. Magma induk yang lebih tua mempunyai kandungan unsur tanah langka lebih rendah dibandingkan dengan magma induk yang muda. Tingkat diferensiasinya masih rendah, dan melibatkan kristalisasi, terutama plagioklas dan piroksen (orto- dan klinopiroksen), sedangkan kristalisasi horenblenda terjadi di magma andesitik.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan rekan-rekan di GeolLabs, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, terutama Kurnia, U. R. Anggawinata, P. Kawoco, A. Sondjaja, Amar, dan Undang. Ucapan yang sama ditujukan kepada Dr. S. Bronto yang telah banyak memberikan sumbangan pemikiran dalam peningkatan mutu tulisan ini. Kepada Sudijono dari Program Dinamika Cekungan, penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuannya menggambar dalam penyusunan manuskrip ini.

- Hartono, U., 1994. *The petrology and geochemistry of the Wilis and Lawu volcanoes, East Java, Indonesia : Appendix 8 Partition coefficient compilation*. University of Tasmania, Ph.D Thesis. Unpub.
- Kawoco, P., Sudarno, Amirudin, Rukman, Kusnadi, D., Rustami, I., Sujatnika dan Situmorang, J., 2004. Pembuatan material acuan standar batuan untuk laboratorium uji penarikan Kalium Argon. Laporan Proyek Pengembangan Laboratorium dan Sarana Survei Geologi, *Pusat Penelitian dan pengembangan Geologi*, Bandung.
- Mahfi, M., 1984. A paleomagnetic of Miocene and Eocene rocks from Central Java, Indonesia. Thesis Master of Arts, University of California.
- McCulloh, M.T., M.T. and Gamble, J.A., 1991. Geochemical and geodynamical constrains on subduction zone magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 102: 358-374.
- Peacock, S.M., Rushmer, T. and Thompson, A.B., 1994. Partial melting of subducted oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121: 227-224.
- Ratman, N. dan Samudra, H., 2004. Stratigrafi batuan Eosen di Perbukitan Jiwo, Jawa Tengah. *Journal Sumber Daya Geologi*, v.XIV, n. 3, pp. 148-159.
- Reich, M., Parada, M.A., Palacios, C., Dietrich, A., Schultz, F. and Lehman, B., 2003. Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of Central Chile: metallogenic implications. *Mineralium Deposita*, 38: 876-885.
- Samodra, H. dan Sutisna, K., 1997. Peta Geologi Lembar Klaten (Bayat), Jawa. Skala 1 : 50.000. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung.
- Smith, H., 2005. *Eocene to Miocene basin history and volcanic activity in East java, Indonesia*. PhD thesis, University of London, 470p.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. dan Priadi, B. 1991. The Tertiary magmatic belts in Java. *Proceedings of the Silver Jubilee Symposium on the dynamics of subduction and its products*, Research and Development Centre for Geotechnology-LIPI; Yogyakarta, September 17-19, 1991.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. dan Priadi, B. 1994. The Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of Southeast Asia earth Sciences*, v.9, no. 2, 13-27.
- Sudarno, Ign., 1997. Kendali tektonik terhadap pembentukan struktur pada batuan Paleogen dan Neogen di Pegunungan Selatan, daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya. Tesis Magister pada *Institut Teknologi Bandung*, 167p.
- Surono, Toha, B. dan Sudarno., I. Sudarno, 1992. Peta geologi Lembar Surakarta dan Giritontro, Jawa, Skala 1 : 100.000. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung.
- Sutanto, 1993. Evolutions geochimiques et geochronologiques du magmatisme Tertiaire de Java (Indonesie). Rapport de Stage de DEA, Universite de Bretagne Occidentale, 76p.
- Sutanto, 2004. Distribusi spasial dan temporal batuan vulkanik Tersier di Jawa Tengah dan Jawa Timur. *Buletin Teknologi Mineral*, v. 17, n. 2, 65-71.
- Sutanto, Soeria_Atmadja, R., Maury, and R.C., Bellon, H., 1994. Geochronology of Tertiary volcanism in Jawa. *Prosiding Geologi dan Geotektonik P. Jawa, sejak Mesozoik - Kuarter*, 73-76.
- Suyoto dan Santoso, K., 1986. Klasifikasi stratigrafi Pegunungan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Makalah ini dibacakan pada pertemuan Ilmiah Tahunan ke XV IAGI.