

B.01

ISSN 0216-1061



MAJALAH GEOLOGI INDONESIA

Dr. Gendoet Hartono, ST, MT
STTNAS YOGYAKARTA

Vol. 19, No. 2, Agustus 2004



Penerbit/Publisher:
IKATAN AHLI GEOLOGI INDONESIA
Indonesian Association of Geologists

Majalah Geol. Indo	Vol. 19	No. 2	Hlm. 75 - 138	Jakarta Agustus 2004	ISSN 0216-1061
-----------------------	---------	-------	---------------	-------------------------	----------------

Volume 19 No. 2, Agustus 2004

Diterbitkan oleh:

Published by:

Ikatan Ahli Geologi Indonesia

Gedung Geologi dan Sumberdaya Mineral Lt. 4

Jl. Prof. DR. Supomo SH No. 10

Jakarta 12870

Telp. : 021-83702848

Facsimile : 021-83702848

e-mail : iagisek@cbn.net.id

Terbit Pertama kali : Tahun 1960

First published : 1960

Frekwensi terbit 3 kali setahun

Published every 4 months

Cover Figure:

Gambar Sampul/Cover Figure:

Aliran lava basal mengintrusi perlapisan batuan klastika gunungapi fraksi halus di bawahnya.

Lokasi K. Tegalrejo di sebelah selatan Bayat, Klaten, Jawa Tengah (Oktober, 2004).

Dipotret oleh Sutikno Bronto

A basaltic lava flow intruded fine grain volcanoclastic layers.

Location Tegalrejo river in the south of Bayat, Klaten, Central Java.

Photographed by Sutikno Bronto

Penanggung Jawab/Insured Editor: Andang Bachtiar (Ketua Umum IAGI). **Pemimpin Redaksi/Chief Editor:** Hill. Gendoet Hartono. **Wakil Pemimpin Redaksi/Vice Chief Editor:** Wartono Rahardjo. **Sekretaris Redaksi/Secretary Editors:** Jarot Setyowiyoto, Setyo Pambudi. **Dewan Redaksi/Board Editors:** Kuntadi Nugrahanto, Agus Handoyo H., Bambang Manumayoso, Sukmandaru Prihatmoko, Abdurrachman Assegaf, F. Hasan Sidi, Hanang Samodra, Untung Sudarsono. **Tim Redaksi/Team Editors:** Hardoyo Rajiyowiryono, Sutikno Bronto, Sutanto, Ratdomopurbo, Haryadi Djamal, Pri Utami, Sari Bahagiarti K., Bambang Prastistho, Heru Hendrayana. **Penata Letak/Lay Out:** Agus Hendratno, Hariyono Utomo, Partama Misdiyanta. **Distributor:** Sekretariat IAGI Pusat. **Alamat Sekretariat/Address of Secretariat:** Kantor Pusat IAGI Gedung Geologi dan Sumberdaya Mineral Lt. 4 Jl. Prof. DR. Supomo SH No. 10 Jakarta 12870, Telp./Fax. (021) 83702848, e-mail: iagisek@cbn.net.id. **Alamat Pengiriman Naskah/Address for Submitting Paper:** Kampus STTNAS, Gedung E Lt. 4, Jl. Babarsari, Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 485390, 486986, Fax. (0274) 487249, e-mail: hillgendoet@sttnas.ac.id.

DAFTAR ISI

	Halaman
Peran Sistem Informasi Gunungapi dalam Penanggulangan Bencana: Studi Kasus G. Merapi <i>Supriyati D. Andreastuti</i>	75
Plio-Pleistocene Volcanic Rocks from Tanatoraja South Sulawesi <i>Bhakti H. Harahap</i>	81
Permasalahan Geologi Gunungapi di Indonesia <i>S. Bronto, Ev. Budiadi, & G. Hartono</i>	91
Gold Mineralization At Pantain Bancah Prospect, Pelaihari District, South Kalimantan <i>Hamdan Z. Abidin</i>	106
Potensi Sumber Gempabumi di Sulawesi <i>Kertapati, Soehaimi dan Setiawan</i>	117
Seismotektonik dan Mekanisme Gempabumi Merusak Nabire 6 Februari 2004 <i>Soehaimi, Kertapati, dan Setiawan</i>	131

PERMASALAHAN GEOLOGI GUNUNGAPI DI INDONESIA

Oleh:

S. Bronto^{*)}, Ev. Budiadi^{**)}, & G. Hartono^{**)}

SARI

Penelitian geologi sejak tiga dasa warsa ini agak condong kepada arti sempit stratigrafi sehingga kurang mengembangkan arti luas stratigrafi sebagai ilmu yang membahas aturan, hubungan dan kejadian macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu. Hal ini sangat terasa setelah menghadapi permasalahan geologi di daerah batuan gunungapi termasuk batuan terobosan berumur Tersier atau lebih tua. Berlandaskan pemahaman geologi sedimenter, kebanyakan ahli geologi memandang batuan gunungapi sebagai batuan sedimen, setelah mengendap kemudian diterobos oleh magma yang membentuk batuan beku terobosan. Secara volkanologi, berdasarkan prinsip *the present is the key to the past*, batuan gunungapi dan batuan terobosan tersebut merupakan hasil satu kesatuan proses volkanisme yang kejadiannya dalam waktu relatif bersamaan, sebagai bahan ekstrusiva dan intrusiva. Sebagai salah satu bahan ekstrusiva, endapan turbidit gunungapi dapat terbentuk langsung dari erupsi dan diendapkan pada lereng atau kaki gunungapi. Selanjutnya, dengan prinsip horisontalitas, para ahli geologi juga beranggapan bahwa perlapisan batuan gunungapi yang miring dinyatakan sudah terpengaruh oleh kegiatan tektonika. Dari sudut pandang volkanologi, perlapisan miring batuan gunungapi itu dapat merupakan kemiringan asli pada tubuh gunungapi. Bahkan, struktur sesar berpola memancar dan konsentris, serta lipatan berpola memusat dapat juga disebabkan oleh kegiatan gunungapi. Untuk menjawab permasalahan geologi gunungapi tersebut maka pemahaman terhadap genesa batuan gunungapi perlu terus dikembangkan, yang mencakup penentuan sumber erupsi, mekanisme pembekuan/pengendapan, lingkungan pengendapan dan umur. Dalam rangka menentukan pusat erupsi dan merekonstruksi bentuk tubuh serta sebaran gunungapi Tersier dilakukan pendekatan secara geomorfologi, sedimentologi, struktur geologi, stratigrafi, petrologi, geokimia dan pentarikan secara radiometri.

Kata kunci: geologi, gunungapi, Indonesia.

ABSTRACT

So far, geologists seem to point out on the *sensu stricto* meaning of stratigraphy causing the understanding of its broader meaning that deals with arrangement, relationship and the origin of rocks in nature, is less developed. This has been realized especially in conjunction with geological problems in volcanic rocks including sub volcanic intrusions that have Tertiary or older ages. Based on sedimentary geology, most geologists have considered volcanic rocks as sedimentary rocks which after deposition they were intruded by magma to form intrusive igneous rocks. Following a principal geology, *the present is the key to the past*, volcanologists are convinced the formation of volcanic rocks and intrusive rocks nearby is in a single process, namely volcanism. Those rocks were formed relatively in the same time as extrusive and intrusive material. One of extrusive material, i.e. volcanic turbidites, may be generated directly by a volcanic eruption and then were deposited on volcanic slope and surrounding areas. Beginning with a principal of horizontality, among geologists also believe that dipping of volcanic rock layers has been affected by tectonics. From volcanological point of view, those dipping rocks could be original dips in a volcanic body. Moreover, radial and concentric faults and concentric pattern of folds can be derived by volcanism. These volcanic geological problems urgently require to develop the understanding of genesis and relationship of volcanic rocks. In order to localize Tertiary volcanic eruption centres, it is suggested to approach by analyzing geomorphology, sedimentology, geologic structure, stratigraphy, petrology, geochemistry and radiometric dating.

Keywords: geology, volcano, Indonesia.

^{*)} Puslitbang Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung 40112

^{**)} STTNAS Yogyakarta, Jl. Babarsari, Yogyakarta 55281

PENDAHULUAN

Selama ini pembelajaran geologi sangat dilandasi oleh hasil pemikiran dan penelitian dari daerah non gunungapi, sebagai contoh konsep turbidit klasik dan model fasies (misal: Mutti, 1992, Walker, 1978, 1984; Walker, 1992a & b). Daerah sedimentasi dipandang sebagai cekungan yang luas (lautan) dan relatif stabil sehingga prinsip stratigrafi 'kueh lapis' serta prinsip horizontalitas perlapisan batuan sedimen menjadi landasan utama bagi para ahli geologi. Kondisi tersebut memang lebih memudahkan untuk melakukan korelasi stratigrafi di daerah sangat luas. Lagipula, jika perlapisan batuan sudah miring, terlipat dan atau tersesarkan maka hal itu dapat dipastikan sudah terngaruh oleh kegiatan tektonika. Selanjutnya, bila batuan sedimen itu diterobos oleh batuan beku, maka proses sedimentasi sangat jelas berbeda dengan proses magmatisme.

Namun demikian perlu diperhatikan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia tersusun oleh batuan gunungapi yang merupakan hasil kegiatan volkanisme paling tidak sejak Jaman Tersier-Kuarter hingga masa kini, dan bahkan masih akan berlanjut ke waktu mendatang. Genesa pembentukan batuan gunungapi tidak begitu saja disamakan dengan sedimentasi di dalam cekungan lautan yang stabil. Di dalam kegiatan volkanisme, proses sedimentasi saling kait mengkait dengan proses magmatisme, sehingga sering tidak mudah dipisahkan. Lebih daripada itu, tidak menutup kemungkinan pembentukan struktur geologi juga dapat disebabkan oleh proses volkanisme. Lebih rumit lagi, kegiatan tektonika di Indonesia juga sangat aktif, termasuk berpengaruh kuat di daerah batuan gunungapi, baik sebelum, selama maupun sesudah pembentukan batuan tersebut.

Oleh sebab itu, agaknya diperlukan perubahan atau paling tidak modifikasi terhadap cara pandang pembelajaran geologi dengan mengkombinasikan antara prinsip-prinsip geologi dari daerah kraton dengan kondisi geologi di Indonesia terutama yang berkaitan dengan batuan gunungapi. Tulisan ini bertujuan untuk memaparkan permasalahan yang timbul karena belum adanya literatur pokok yang memadukan kaidah-kaidah geologi dari daerah kraton dengan kondisi geologi gunungapi. Permasalahan tersebut secara garis besar dibagi menjadi 2 kelompok, yakni permasalahan

stratigrafi batuan gunungapi dan struktur geologi. Namun sebelum membahas permasalahan pertama, akan dipaparkan terlebih dahulu pengertian stratigrafi seperti yang dimuat di dalam Sandi Stratigrafi Indonesia (Komisi SSI, 1975, 1996).

PENGERTIAN STRATIGRAFI

Secara filosofi, geologi mempunyai 2 cabang ilmu utama, yakni 'batuan' (*rocks*) dan 'struktur' (*structure*). 'Batuan' mencakup seluruh cabang ilmu geologi yang membahas perihal batuan dan rangkumannya dimasukkan ke dalam stratigrafi. Termasuk di dalam kelompok ini antara lain sedimentologi, paleontologi, petrologi, geokronologi dan geokimia. "Struktur' lebih ditekankan terhadap pembahasan struktur geologi dan analisis tektonika, walaupun struktur primer batuan dan struktur gunungapi tidak diabaikan.

Mengacu Sandi Stratigrafi Indonesia Bab I Pasal 1 (Komisi SSI, 1996), dinyatakan bahwa stratigrafi dalam arti luas adalah ilmu yang membahas aturan, hubungan dan kejadian (genesa) macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu, sedangkan dalam arti sempitnya ialah ilmu pemerian lapisan-lapisan batuan. Pengertian sempit stratigrafi itu mensiratkan bahwa untuk menamakan batuan atau satuan batuan cukup didasarkan pada pemerian apa adanya dari obyek yang diperiksa. Sebagai contoh penamaan batupasir hitam didasarkan pada warna (hitam), tekstur klastika dan ukuran butir pasir. Penamaan breksi aneka bahan (*polymict breccias*) didasarkan pada tekstur klastika, terdiri dari fragmen meruncing yang tersusun oleh aneka ragam komponen, tertanam di dalam matriks. Bahkan untuk memberikan nama satuan litostratigrafi (Bab II pasal 13, SSI, 1996) dan satuan litodemik (Pasal 21, 23 & 24) cukup bersendi pada ciri-ciri litologi di lapangan. Berhubung tata cara penamaan ini lebih mudah dan cepat menuju ke sasaran, yakni penamaan batuan atau satuan batuan secara pemerian, maka mungkin tanpa disadari selama ini kita terlalu berat berpegang pada arti sempit stratigrafi. Namun demikian tata nama ini kurang bisa menjelaskan kejadian batuan itu dan hubungannya secara genesa dengan batuan lain di sekitarnya seperti yang dimaksudkan di dalam pengertian stratigrafi secara luas.

Sebaliknya, pengertian luas stratigrafi, selain memerlukan data dan penamaan secara pemerian juga menghendaki pemahaman kejadian dan hubungan (secara genesa) sebelum diberikan nama secara genesa berdasarkan peraturan yang berlaku (Bronto, 2004). Untuk batuan gunungapi yang terjadi pada masa kini, karena baik sumber, proses/mekanisme, lingkungan pengendapan dan umur teramati langsung dengan mata kepala, maka penamaan secara genesa dapat langsung diberikan. Bahkan dalam banyak hal, pemerian batuan dilakukan setelah mengetahui genesa dan nama secara genesa dari batuan tersebut. Misalnya, penamaan endapan awan panas Merapi 1994. Nama itu diberikan terhadap batuan yang bersumber dari G. Merapi, sebagai akibat longsornya kubah lava yang terbentuk sebelumnya, dimana prosesnya secara mengalir menuruni lereng selatan dengan warna dan bentuk seperti awan, membakar hutan dan pemukiman yang terlenda, kemudian mengendap terutama di dalam lembah Kali Boyong pada 22 November 1994. Setelah itu dilakukan pemerian terhadap endapan awan panas tersebut yang ternyata berupa endapan abu dan bongkah andesit berbagai ukuran hingga mencapai diameter 3 - 5 m, tidak terpilah, mengandung kayu dan kerangka manusia terarangkan, masih panas, di bagian dalam endapan bertemperatur 100 - 300 °C, berwarna abu-abu terang sampai agak kemerahan serta berbau belerang, ketebalan di dasar Kali Boyong bervariasi dari 3 - 8 m. Contoh lain adalah penamaan satuan stratigrafi gunungapi yakni khuluk gunungapi. Untuk gunungapi aktif masa kini, karena lokasi, bentuk dan kegiatannya sudah sangat jelas, maka penamaan satuan stratigrafi gunungapi tidak banyak mengalami kesulitan. Sebaliknya bagi gunungapi yang sudah tererosi lanjut dan berumur tua maka untuk memberikan nama satuan stratigrafi gunungapi dibutuhkan penelitian dari berbagai aspek pendekatan, misalnya mulai dari pendekatan geomorfologi, sedimentologi, stratigrafi, struktur geologi, geokronologi dan petrologi-geokimia. Hal ini berarti bahwa untuk batuan gunungapi yang terbentuk pada masa lampau, karena kegiatannya tidak teramati secara langsung, maka penamaan secara genesa didasarkan pada hasil pemerian aktivitas gunungapi masa kini. Jadi, pada tahap pertama adalah melakukan pemerian kemudian dilakukan analisis genesa setelah itu diberikan nama batuan/satuan batuan.

Sebagai contoh batupasir hitam tersebut di atas, ternyata tersusun hampir semuanya oleh gelas gunungapi yang memperlihatkan tekstur serat gelas (*glass shards*), berasosiasi dan mempunyai komposisi kimia sama dengan lava bantal. Hal itu menunjukkan bahwa batupasir hitam itu adalah endapan piroklastika hasil letusan gunungapi bawah laut, sedangkan aliran lava bantal merupakan bahan lelehannya (Bronto dkk., 2002). Breksi aneka bahan dengan komponen fragmen beragam dan meruncing sangat meruncing sulit diterangkan sebagai bahan rombakan dari batuan yang sudah ada melalui proses erosi dan transportasi. Dengan demikian salah satu alternatif kejadiannya adalah merupakan hasil letusan hidroklastika sampai freatomagmatik yang mungkin mengawali letusan magmatik suatu gunungapi pada waktu itu. Gas magma bercampur uap air panas bertekanan tinggi meledak dan membongkar berbagai macam batuan tua di atasnya sehingga menjadi bahan hamburan berbentuk meruncing-sangat meruncing. Penamaan Formasi Jampang (misal: Martodjojo, 1984, 2003) di bagian selatan Jawa Barat, Formasi Andesit Tua di Kulon Progo (Rahardjo dkk., 1977) dan Formasi Nglanggeran di Pegunungan Selatan Yogyakarta-Jawa Timur (Surono dkk., 1992) serta Formasi Notopuro di Sangiran dan Jawa Timur (Sartono, 1978), semata-mata hanya didasarkan kesamaan ciri litologi di lapangan. Namun sebenarnya batuan gunungapi tersebut berasal dari banyak sumber dan diendapkan dengan berbagai mekanisme transportasi, di lingkungan darat maupun laut. Jadi hal itu bukan merupakan batuan yang diendapkan di dalam suatu cekungan besar yang membentang luas dari Jawa Barat hingga Jawa Timur seperti Lautan Pasifik atau Atlantik pada masa kini.

Prosedur penamaan secara genesa ini memang memerlukan pembelajaran yang lebih cermat, waktu dan biaya lebih banyak dan sering berkadar interpretasi tinggi. Namun demikian, hal ini sangat membantu dalam menyusun model geologi dan aplikasinya dalam rangka pengelolaan sumber daya alam dan mitigasi bencana. Bahkan perlu diingat, bahwa penamaan batuan beku, sedimen dan metamorf sebenarnya juga berdasarkan genesa. Batuan beku adalah batuan yang terbentuk sebagai akibat proses pembekuan magma; baik di dalam bumi maupun di permukaan. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk sebagai akibat proses sedimentasi

bahan alam secara fisik, biologi atau kimia. Batuan metamorf adalah batuan yang terbentuk sebagai akibat proses tekanan dan temperatur tinggi serta waktu yang lama di dalam bumi. Sekalipun demikian, untuk pembelajaran dasar-dasar geologi bagi pemula tetap diperkenalkan arti sempit stratigrafi. Agar tidak mengalami kemandegan berfikir, mereka perlu diberi pancingan persoalan yang menuju arti luas stratigrafi. Contohnya, batuan gunungapi itu termasuk batuan beku atau batuan sedimen; bagaimana terjadinya breksi gunungapi dengan matrik batulumpur. Untuk ahli geologi (senior) seyogyanya lebih memperhatikan dan mengembangkan pengertian stratigrafi secara luas.

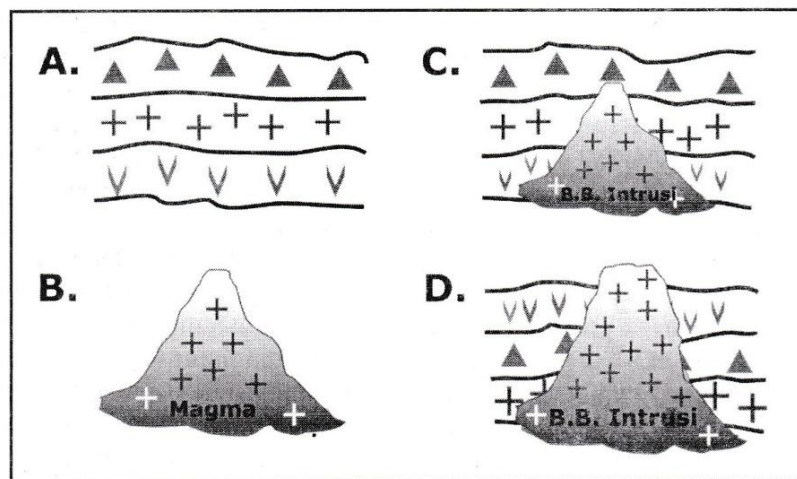
MASALAH STRATIGRAFI

Daerah yang tersusun oleh batuan gunungapi seperti halnya di Pegunungan Kulon Progo, Yogyakarta dan Pegunungan Selatan Jawa, bahan penyusun biasanya terdiri dari batuan klastika gunungapi (seperti breksi dan tuf) serta batuan beku ekstrusi dan intrusi. Kejadian dan hubungan genesa batuan-batuan tersebut dapat ditinjau dari 2 pandangan, yakni pandangan mayoritas para ahli geologi dari tahun 1970-an sampai sekarang dan pandangan volkanologi. Di bawah ini dijelaskan perbedaan kedua pandangan tersebut.

PANDANGAN MAYORITAS 1970-AN - SEKARANG

Pandangan ini dikembangkan oleh para ahli geologi yang berkecimpung di dalam sedimentologi, paleontologi dan stratigrafi daerah kraton dan non gunungapi (misal: Middleton & Bouma, 1973; Normark, 1978; Mutti, 1992; Walker & James, 1992; Lajoie & Stix, 1992). Pandangan ini masuk ke Indonesia seiring dengan peningkatan eksplorasi hidrokarbon, yang beranggapan bahwa perlapisan batuan klastika gunungapi dan batuan beku luar (sering disebutkan hanya sebagai sisipan), yang keduanya tidak diketahui sumbernya, secara sedimentologi terbentuk di dalam cekungan pengendapan (yang luas, Gb. 1a). Di bawah cekungan, magma sedang bergerak ke atas (Gb. 1b) yang kemudian menerobos perlapisan batuan gunungapi sehingga membentuk batuan beku intrusi (Gb. 1c). Apabila kedua kelompok batuan tersebut kemudian terangkat dan tererosi maka barulah tersingkap batuan intrusi itu (Gb. 1d).

Dari pemahaman tersebut tersirat bahwa antara batuan klastika gunungapi dan batuan beku luar di satu sisi, dengan batuan beku intrusi di lain sisi, tidak ada hubungan secara genesa magmatisme dan volkanisme sekalipun komposisi dan afinitasnya relatif sama, misalnya



Gbr 1. Sketsa penampang pembentukan batuan gunungapi dan batuan beku intrusi, versi 'geologi sedimenter'.

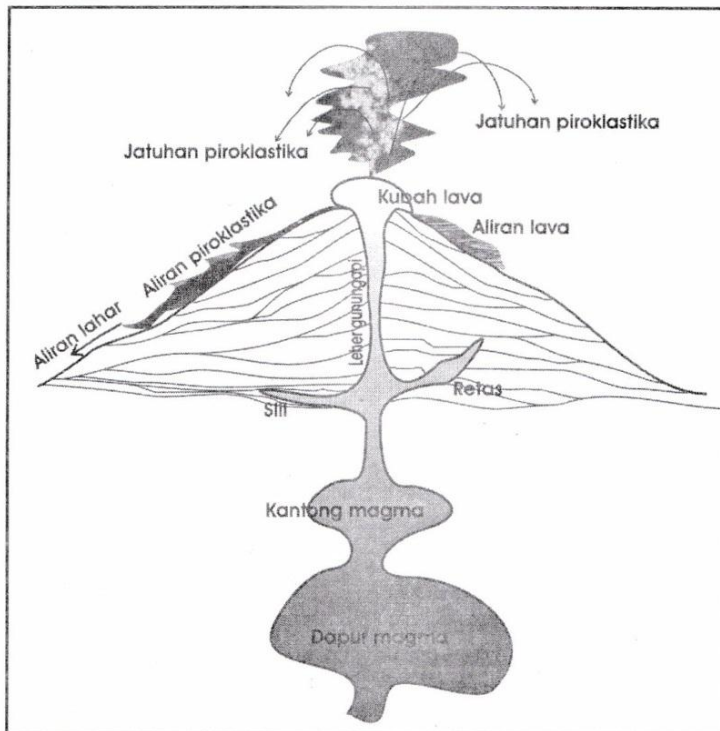
- Batuan gunungapi yang terdiri dari batuan klastika gunungapi dan batuan beku luar yang tidak diketahui sumbernya, diendapkan di dalam cekungan sedimentasi (lautan).
- Di bawah cekungan terbentuk magma yang kemudian bergerak ke atas.
- Magma menerobos perlapisan batuan gunungapi membentuk tubuh batuan beku intrusi.
- Daerah cekungan terangkat menjadi daratan dan tererosi sehingga batuan beku intrusi tersingkap bersama-sama dengan batuan gunungapi.

keduanya adalah andesit kapur alkali. Kelompok batuan klastika gunungapi dan batuan beku luar yang membentuk perlapisan dipandang sebagai proses geologi sedimenter, sedangkan penerobosan magma sebagai proses magmatisme, dimana keduanya merupakan dua proses yang berbeda dalam ruang dan waktu. Hampir seluruh peta geologi regional yang diterbitkan oleh Puslitbang Geologi, dimana terdapat batuan gunungapi, batuan beku ekstrusi dan intrusi, menganut faham ini. Bahkan, di dalam peta geologi lembar Yogyakarta (Rahardjo dkk., 1977), batuan gunungapi dimasukkan ke dalam kolom batuan sedimen dengan nama Andesit Tua Formasi van Bemmelen, sementara batuan beku intrusi ditempatkan di bawah kolom batuan terobosan. Di dalam kolom batuan gunungapi hanya diisi satuan batuan gunungapi berumur Kuarter, tetapi tidak ada satuan batuan gunungapi berumur Tersier. Pandangan ini menunjukkan kurangnya perhatian terhadap kejadian dan hubungan antara batuan klastika gunungapi, batuan beku luar dan batuan beku intrusi sebagai satu kesatuan proses magmatisme dan volkanisme.

PANDANGAN VOLKANOLOGI

Berdasarkan tataan tektonika, kegiatan magmatisme dan volkanisme di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama dari P. Jawa, Sumatra sampai dengan Nusa Tenggara, berkaitan dengan penunjaman kerak samudera India di bawah kerak benua Asia. Magma yang terbentuk itu mempunyai kecenderungan untuk bergerak naik ke permukaan bumi. Apabila magma mencapai ke permukaan bumi, apakah di dasar laut atau di daratan, maka terjadilah erupsi gunungapi (Gb. 2) yang prosesnya bisa secara letusan (*explosive eruptions*) dan atau lelehan (*effusive eruptions*). Erupsi secara letusan menghasilkan bahan eksplosiva, misalnya endapan piroklastika. Mekanisme pembentukan endapan eksplosiva dapat secara jatuh bebas, aliran gravitasi atau serukan (*surges*). Bahan tersebut, terutama endapan aliran piroklastika di darat, bila bercampur dengan air yang berasal dari danau kawah, hujan, sungai atau pencairan es, dapat membentuk aliran lahar.

Sementara itu erupsi secara lelehan dapat



Gbr 2. Sketsa penampang kegiatan gunungapi. Erupsi gunungapi dapat secara letusan dan lelehan. Bahan letusan berupa jatuhan piroklastika dan aliran piroklastika, sedang bahan lelehan membentuk aliran lava dan kubah lava. Endapan piroklastika yang tercampur dengan air membentuk aliran lahar. Magma yang tidak mampu mencapai permukaan atau tertinggal di dalam tubuh gunungapi membentuk batuan beku intrusi, berupa sill, retas & sumbat lava atau leher gunungapi. Magma di dalam kantong dan dapur magma setelah mendingin membentuk tubuh batuan beku intrusi yang bertekstur lebih kristalin.

berupa aliran lava atau kubah lava. Aliran lava terjadi bila magma yang keluar dari dalam bumi kemudian membentuk aliran massa yang mungkin dapat keluar dari dalam kawah menuju lereng luar dari gunungapi itu. Kubah lava, karena viskositas magmanya lebih tinggi, hanya menumpuk di atas lubang kepundan atau di dalam kawah, berbentuk kubah.

Di dalam erupsi gunungapi, magma tidak selalu mampu mencapai ke permukaan bumi, atau sebagian tertinggal di bawah/ di dalam tubuh gunungapi membentuk batuan intrusiva dangkal (*subvolcanic intrusions*). Bentuk-bentuk tubuh batuan terobosan itu dapat berupa sill (*cryptodomes*), retas (*dikes*) dan leher gunungapi (sumbat lava, *volcanic necks*). Vulkanisme yang meliputi proses intrusi dangkal dan ekstrusi tersebut dapat terjadi berulang-ulang selama periode kegiatan dan hidupnya gunungapi. Semakin sering terjadi kegiatan dan semakin lama gunungapi itu 'hidup' (aktif), maka semakin kompleks stratigrafi batuan gunungapi yang dihasilkan.

Pandangan secara volkanologi ini menyiratkan bahwa:

1. Bahan eksplosiva atau sering disebut batuan piroklastika (dan hidroblastika) gunungapi, batuan beku luar (aliran dan kubah lava) serta batuan beku intrusi merupakan satu kesatuan proses volkanisme yang membentuk tubuh gunungapi.
2. Secara waktu geologi, proses intrusi, ekstrusi secara letusan dan lelehan dapat terjadi secara bersamaan atau berselang-seling, tergantung pada dinamika magma dan karakter gunungapi. Dengan kata lain proses-proses itu dapat berlangsung pada waktu yang sama, tidak selalu harus dipisahkan oleh waktu geologi yang sangat lama.
3. Kegiatan gunungapi di dasar laut dapat membentuk tubuh gunungapi yang semakin besar dan tinggi sehingga muncul sebagai pulau gunungapi atau gunungapi di daratan. Pada pulau gunungapi atau gunungapi di tepi pantai, lingkungan pengendapan batuan gunungapi dapat menerus dari darat, pantai hingga laut dangkal dan laut dalam.
4. Pada saat gunungapi masih aktif, di lingkungan daratan, batuan gunungapi primer mempunyai hubungan menjari dengan endapan rombakkannya. Jika gunungapi itu sudah mati, batuan primer gunungapi itu ditutupi secara tidak selaras

oleh endapan epiklastika. Fasies batuan gunungapi yang diendapkan di laut mempunyai kedudukan menjari dengan fasies batuan non gunungapi.

5. Di bawah permukaan bumi atau di dalam tubuh gunungapi batuan beku intrusi yang terbentuk sebelumnya diterobos oleh batuan intrusi yang lebih muda (*crossed cutting relationship*) yang mencerminkan kegiatan volkanisme berikutnya. Tubuh batuan beku intrusi tersebut dapat tersingkap di dinding kawah atau kaldera gunungapi, atau setelah gunungapi itu mati dan mengalami erosi pada tingkat dewasa lanjut. Adanya kesatuan proses volkanisme yang menghasilkan batuan intrusi dan ekstrusi pada suatu gunungapi sebenarnya sudah diperkenalkan oleh Williams & McBirney (1979), dimana tubuh kerucut gunungapi secara lateral dibagi menjadi *near-vent or central facies*, *flank or proximal facies* dan *distal or aluvial facies*. Pendapat ini dimodifikasi oleh Vessel & Davies (1981) dengan menambahkan fasies medial diantara fasies proksimal dan distal. Selanjutnya, penulis mengembangkan pada tulisan-tulisan terdahulu (Bronto, 1997; Bronto dkk., 1998; Bronto dkk., 1999; Bronto dkk., 2002; Bronto, 2003a; Bronto & Hartono, 2003).
6. Dengan demikian diperlukan kehati-hatian dan kecermatan untuk memahami stratigrafi batuan gunungapi, apalagi seperti di Pegunungan Kulon Progo, bila benar ada 3 gunungapi Tersier yang masa aktifnya berbeda (van Bemmelen, 1949).

MASALAH STRUKTUR GEOLOGI

Selama ini para ahli geologi memandang bahwa struktur geologi lebih dikaitkan dengan kegiatan tektonika. Berdasar prinsip horisontalitas, maka semua batuan yang telah mempunyai jurus dan kemiringan tertentu diyakini sudah terpengaruh oleh gaya tektonika. Dengan demikian terdapatnya sesar geser, sesar naik, lipatan (dan sesar normal) hampir selalu dipandang sebagai akibat gaya tektonika (misal Moody & Hill, 1956; Davis & Reynolds, 1996; Sapiie & Harsolumakso, 2001).

Berdasarkan pembelajaran volkanologi, di daerah batuan gunungapi, proses volkanisme ternyata dapat juga menghasilkan struktur geologi. Pola jurus perlapisan batuan yang

mengelilingi tubuh gunungapi dan nilai kemiringannya menurun secara berangsur dari daerah lereng atas menuju ke kaki dipandang sebagai kemiringan awal atau kemiringan asli (*initial/original dips*) pada waktu bahan erupsi gunungapi itu diendapkan. Kemiringan asli perlapisan batuan gunungapi ini bervariasi mulai kurang dari 5 derajat di kaki dan dataran di sekeliling gunungapi sampai dengan sekitar 35 derajat pada lereng atas dan daerah sekitar puncak (Gb. 3).

Gerakan magma ke permukaan bumi dipandang sebagai gaya berarah vertikal yang menyebabkan terjadinya inflasi dan deflasi pada tubuh gunungapi (Gb. 4). Inflasi adalah perubahan terungkitnya lereng gunungapi sehingga menjadi lebih curam, terutama di bagian lereng atas. Kondisi ini menyebabkan proyeksi jarak datar antara titik yang diamati dengan lokasi pengamatan menjadi lebih pendek. Sebaliknya deflasi adalah terungkitnya lereng gunungapi sehingga menjadi lebih landai atau kembali ke keadaan seperti sebelum terjadi inflasi. Kondisi ini menyebabkan proyeksi jarak datar antara titik yang diamati dengan lokasi pengamatan menjadi lebih panjang atau kembali seperti sebelum terjadi inflasi. Inflasi terjadi bila magma sedang naik ke permukaan, sedang deflasi berlangsung setelah terjadi erupsi, magma sudah tidak aktif menekan ke atas atau bahkan sudah membeku di dalam tubuh gunungapi membentuk batuan intrusi dangkal.

Pada waktu inflasi diameter kawah dipaksa melebar sehingga bibir kawah robek dan membentuk kekar/rekahan berpola radier. Karena perbedaan rapat massa perlapisan batuan, efek gravitasi dan gaya vertikal magma setiap naik ke permukaan, maka untuk kesetimbangan posisi batuan dapat terjadi sesar normal melalui bidang rekahan tersebut (Gb. 5). Proses perulangan naiknya magma ke permukaan ini memungkinkan sesar normal itu berkembang semakin panjang dan dalam sehingga mampu memotong tubuh batuan intrusi yang sudah ada. Hal tersebut dapat terlihat dari sesar normal berpola radier di daerah G. Ijo dan G. Kukusan, Pegunungan Kulon Progo (Rahardjo dkk., 1977). Berhubung proses geologi yang sangat lama, berupa gerakan penurunan menjadi laut (cekungan sedimentasi) dan kemudian pengangkatan kembali menjadi daratan maka batuan yang lebih muda dan semula tidak tersesarkan, bisa saja ikut tersesarkan sebagai

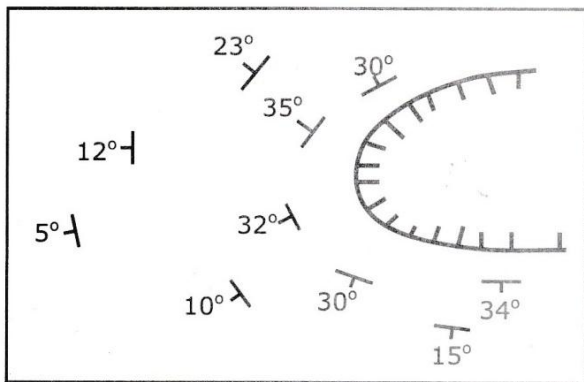
akibat reaktivasi sesar-sesar tua di bawahnya. Hal ini untuk menjelaskan mengapa batuan di dalam Formasi Sentolo (berumur muda) ikut tersesarkan berpola radier mengikuti sesar-sesar pada Andesit Tua Formasi van Bemmelen dan batuan intrusi andesit-dasit.

Berhubung tubuh gunungapi pada umumnya berbentuk kerucut dan adanya resultante gaya vertikal dan gaya horisontal, maka sesar normal di daerah puncak-lereng atas gunungapi, ke arah lereng bawah gerakannya agak melengser kesamping. Hal ini dapat menyebabkan sesar normal tersebut menjadi sesar miring (*oblique*) di lereng bawah, atau bahkan menjadi sesar geser pada lereng bawah dan kaki gunungapi. Di kawasan dataran sekeliling gunungapi tegasan utama berubah ke arah horisontal sehingga dapat menyebabkan terbentuknya struktur perlipatan atau sesar turun (Gb. 6), atau bahkan sesar naik pada batuan di sekeliling gunungapi tersebut. Di dalam peta geologi lembar Purwokerto dan Tegal itu, sebagai akibat dinamika volkanisme G. Slamet, maka batuan sedimen yang lebih tua di sekelilingnya ikut juga tersesarkan. Dalam hal ini meskipun batuan sedimen itu terbentuk pada Jaman Tersier, pembentukan sesarnya terjadi pada umur Kuartar masa kini, yakni selama kegiatan G. Slamet berlangsung. Sebagai salah satu implikasi dari proses geologi tersebut adalah bahwa daerah di sebelah utara dan timur G. Slamet merupakan wilayah yang rawan gempa dan gerakan tanah.

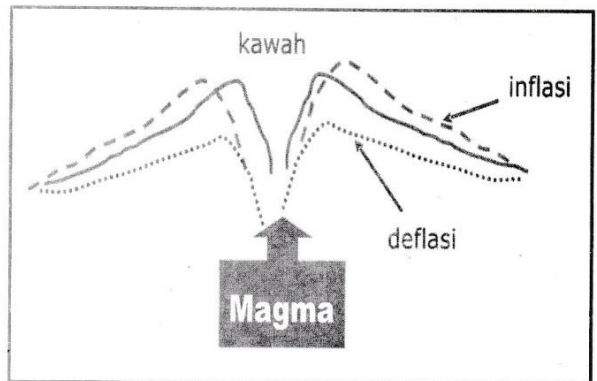
Dari uraian di atas, agaknya perlu juga dicermati data struktur geologi di dalam batuan gunungapi, apakah murni sebagai akibat volkanisme, sebagai akibat kegiatan tektonika saja atau sudah merupakan kombinasi antara dua proses geologi tersebut.

DISKUSI

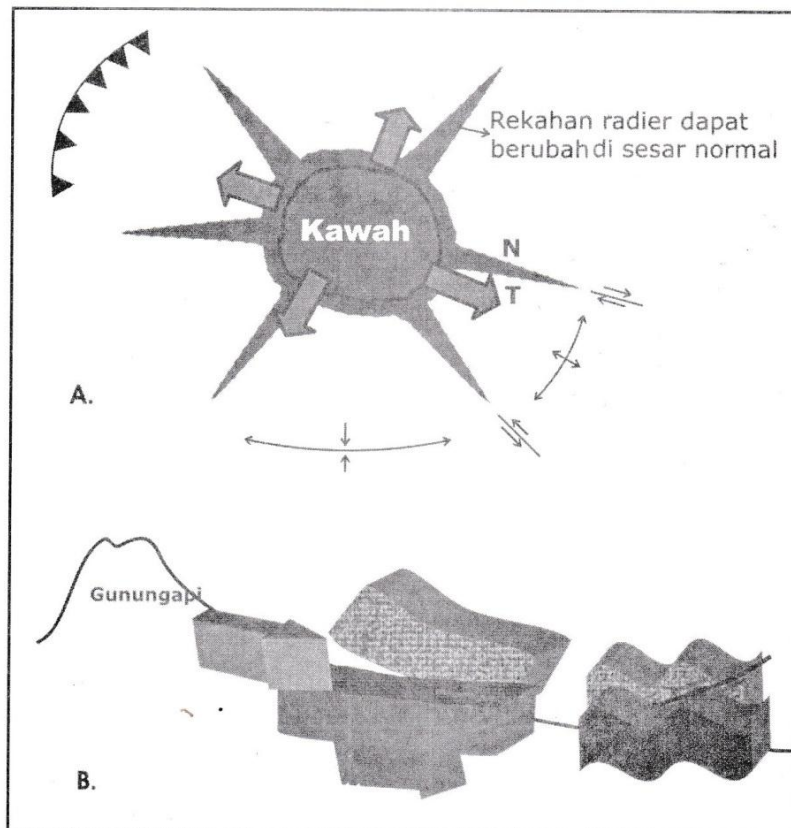
Pandangan mayoritas ahli geologi tersebut di atas memberikan kesan bahwa batuan asal gunungapi (yang dipandang sebagai batuan sedimen) sudah terbentuk lebih dahulu, sedangkan batuan beku intrusi terbentuk kemudian. Proses pembentukan batuan gunungapi dan batuan intrusi itu dipisahkan oleh waktu geologi yang cukup lama. Sebagai contoh Formasi Jampang di sebelah barat laut Kota Bandarwaru terbentuk pada Oligosen Miosen Awal, sedangkan intrusi andesit piroksen terbentuk pada Kala Pliosen (Koesmono dkk.,



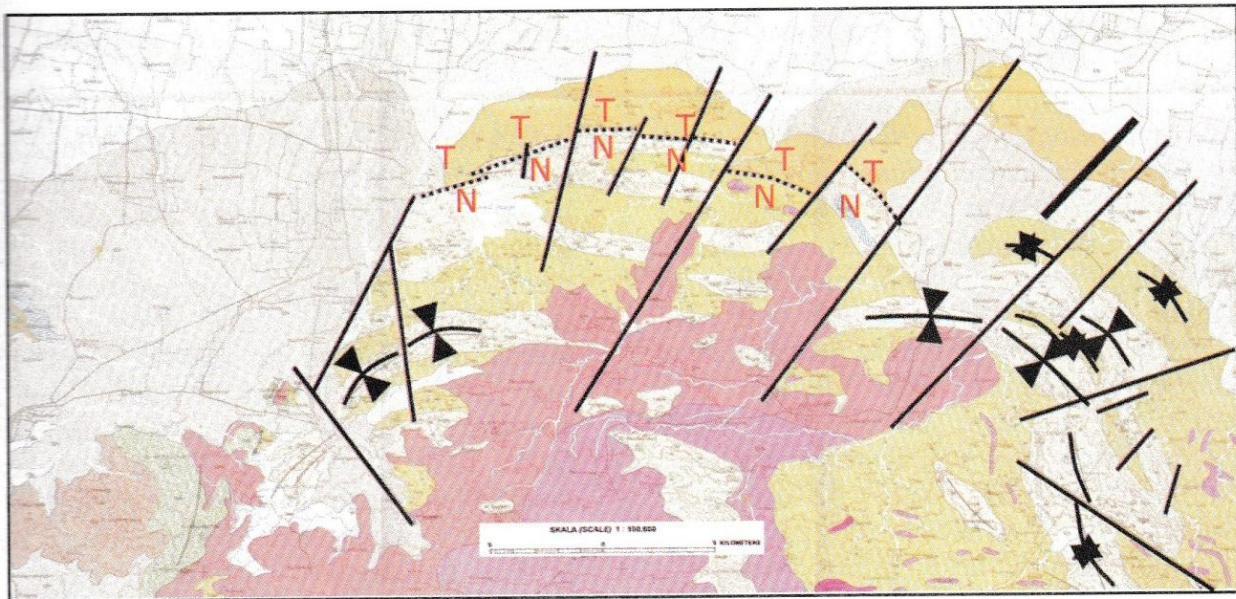
Gbr 3. Sketsa pola konsentris jurus perlapisan batuan gunungapi dengan nilai kemiringan menurun secara berangsur dari lereng atas menuju kaki. Kenampakan ini dipandang sebagai jurus dan kemiringan awal atau asli pada waktu bahan erupsi gunungapi diendapkan.



Gbr 4. Perubahan inflasi dan deflasi pada lereng gunungapi sebagai akibat gerakan magma ke permukaan bumi yang dipandang sebagai gaya berarah vertikal. Inflasi terjadi pada saat magma naik ke permukaan sehingga mengungkit lereng gunungapi menjadi lebih curam. Deflasi terjadi pada saat magma turun ke dapur magma atau membeku di dalam tubuh gunungapi sehingga lereng gunungapi menjadi lebih landai atau kembali seperti sebelum terjadi inflasi.



Gbr 5. Perubahan inflasi dan deflasi secara berulang-ulang menyebabkan diameter kawah dipaksa melebar sehingga bibir kawah robek dan membentuk kekar (rekahan) berpola radier. Pada perkembangannya, karena perbedaan rapat massa perlapisan batuan, efek gravitasi dan gaya vertikal magma setiap naik ke permukaan, maka untuk kesetimbangan posisi batuan dapat terbentuk sesar normal melalui bidang rekahan tersebut.



Gbr 6. Sesar berpola radier dan lipatan berpola konsentris di sebelah utara dan timur G. Slamet, Jawa Tengah (disitir dari Djuri dkk., 1996). Pola sesar dan lipatan tersebut diinterpretasikan sebagai akibat kegiatan volkanisme G. Slamet.

1996). Di lain pihak, pandangan secara vulkanologi lebih cenderung menyatakan bahwa proses intrusi dan ekstrusi selama kegiatan volkanisme berjangka waktu geologi sangat pendek. Berdasar analisis data statistik, Ferari (1995) melaporkan bahwa periode kegiatan gunungapi bervariasi dari 647 ribu tahun sampai dengan 14 juta tahun, sedangkan masa istirahatnya dapat mencapai 1 juta tahun (Tabel 1).

Untuk membuktikan mana yang benar dari dua pandangan tersebut tentunya diperlukan analisis umur secara radiometri terhadap batuan intrusi dan batuan ekstrusi di sekitarnya. Pada saat ini penentuan umur batuan dapat menggunakan berbagai metoda termasuk KAR, namun menurut Smyth dkk. (2003) metoda ArAr dan U-Pb mempunyai ketepatan lebih tinggi.

Model fasies yang dikembangkan oleh Walker (1978; 1984; 1992a & b) telah diterapkan antara lain di Pegunungan Selatan, Daerah dapan

Istimewa Yogyakarta (Rahardjo, 1983; Suryono & Setyowiyoto, 2001) serta dikembangkan oleh Lajoie & Stix (1992). Model tersebut menggambarkan sedimentasi bahan epiklastika atau batuan silisiklastika (*siliciclastic rocks*) dan kemudian diaplikasikan ke batuan klastika gunungapi (*volcaniclastic rocks*). Pandangan ini menggambarkan bahwa dalam proses sedimentasi tersebut seluruh batuan gunungapi dipandang sebagai bahan rombakan batuan gunungapi yang lebih tua atau hasil pengerjaan ulang endapan hasil langsung erupsi gunungapi. Sebagai contoh, endapan letusan G. Galunggung pada tahun 1982 yang diangkut melalui aliran Ci Tanduy dan Ci Wulan kemudian masuk ke Samudera India di selatan Jawa Barat. Demikian pula, endapan erupsi G. Merapi yang ditranspor ke selatan melalui Kali Opak dan Kali Progo hingga masuk ke lautan India di selatan Yogyakarta. Hal serupa terjadi juga pada endapan G. Semeru di Jawa Timur. Selain hal tersebut

Tabel 1. Data statistik durasi (lama hidup) dan waktu istirahat setiap tipe gunungapi di dunia (Ferari, 1995).

Tipe Gunungapi	Durasi (ribu tahun)		Waktu istirahat (tahun)		
	Rata-rata	Maksimum	Rata-rata	Maksimum	Minimum
Kaldera tunggal	846	3.800	130.751	850.000	1.467
Kompleks kaldera	3.778	14.000	673.714	1.000.000	85.000
Gunungapi strato (S-I)	600	1.800	309	5.300	3
Gunungapi strato (I-M)	240	1.300	15	50	< 1
Gunungapi monogenesis	2.987	5.700	2.750	-	-
Gunungapi tameng	647	6.200	< 1	-	-

sudah menunjukkan proses pengerjaan ulang, maka jarak antara lokasi pusat erupsi dan endapan gunungapi primer dengan cekungan resedimentasi sangat jauh (> 30-50 km).

Batuan gunungapi primer seperti aliran lava dan kubah lava yang pada umumnya berkomporsi andesit dan mempunyai kekentalan cukup tinggi tidak mungkin mengalir atau terangkut dalam jarak demikian jauh dan diendapkan di tempat yang sama dengan batuan epiklastika gunungapi dalam keadaan utuh seperti kondisi di dekat sumber erupsi. Lebih lanjut, daerah cekungan sedimentasi itu berada di depan busur (*Fore Arc Basins*). Di daerah itu tidak ada aktivitas magmatisme yang membentuk tubuh-tubuh batuan beku intrusi (dangkal), karena batuan terobosan itu hanya terbentuk di busur magma. Bila yang menjadi dasar adalah konsep turbidit dan model fasies tersebut di atas dimana batuan tersusun oleh bahan klastika maka bahan itu secara umum kurang resisten dibanding dengan batuan gunungapi primer dan masif yang terdiri atas aliran lava dan kubah lava atau bahan beku luar.

Dari pemikiran itu timbul persoalan, yakni kalau endapan turbidit epiklastika gunungapi Tersier di Jawa khususnya dan di Indonesia pada umumnya pada saat ini masih terbentang luas, seharusnya batuan gunungapi primer yang menjadi sumbernya dan lebih resisten masih ada dan dapat dikenali. Apalagi jika batuan gunungapi primer tersebut masih di bawah muka laut, tentunya sebarannya lebih melimpah lagi. Apa mungkin batuan gunungapi primer berumur Tersier tersebut sudah habis tererosi?

Soeria-Atmadja dkk. (1994) menyatakan adanya 3 busur magma Tersier di P. Jawa yang keberadaannya di bawah atau berdekatan dengan batuan gunungapi Tersier yang dipandang sebagai endapan turbidit (Martodjojo, 1984, 2003; Rahardjo, 1983; Suryono & Setyowiyoto, 2001). Mengacu prinsip *the present is the key to the past*, dimana di atas busur magma Kuarter adalah busur gunungapi Kuarter, tempat beradanya sumber erupsi dan batuan primer gunungapi, serta jarak yang jauh antara lokasi sumber erupsi dengan cekungan sedimentasi endapan turbidit berdasar model fasies, maka keberadaan endapan turbidit batuan gunungapi Tersier di atas busur magma Tersier menjadi tidak wajar. Atau, keduanya dibatasi oleh sesar naik sangat besar yang memindahkan endapan turbidit tersebut dari tempat yang jauh ke atas busur

magma? Sejauh ini, belum ada bukti yang mendukung alternatif ini.

Pengamatan selama ini menunjukkan bahwa kemunculan gunungapi ada di lingkungan darat, pantai, sebagai pulau gunungapi dan di bawah muka laut (*submarine volcanoes*). Selain gunungapi di daratan, bahan primer dapat diendapkan di lingkungan laut, baik berupa aliran lava, aliran piroklastika maupun jatuhnya piroklastika. Batuan piroklastika fraksi halus (tuf) karena ringan dapat diendapkan jauh dari sumbernya. Sebaliknya, batuan piroklastika fraksi kasar (aglomerat, breksi piroklastika mengandung blok dan bom gunungapi), aliran lava dan apalagi kubah lava merupakan bahan primer gunungapi yang diendapkan atau membeku di dekat sumber erupsinya. Kejadian erupsi gunungapi masa kini itu juga sudah dikemukakan di dalam banyak literatur vulkanologi (misal: MacDonald, 1972; Fisher & Schminke, 1984; Cas & Wright, 1987; McPhie, dkk, 1993).

Aliran piroklastika yang masuk ke dalam air laut juga dapat menimbulkan arus turbid dan endapan keruh yang dapat dibandingkan dengan endapan turbidit klasik, hanya letaknya relatif dekat dengan sumber erupsi. Demikian pula endapan longsoran gunungapi (*volcanic debris avalanches*, e.g. Siebert, 1984; Glicken, 1984; Ui, 1983, 1995; Ui dkk., 1986; *rock slide avalanches*, voight et al. 1981) yang masuk ke laut dapat membentuk arus turbid dan endapan keruh.

Kembali ke batuan gunungapi Tersier, kenyataannya batuan tersebut terletak berdampingan dengan batuan terobosan tanpa dibatasi oleh struktur sesar sangat besar, keduanya mempunyai komposisi dan afinitas relatif sama (andesit kapur alkali). Di dalam batuan gunungapi sendiri terdapat aliran lava (batuan beku luar yang sering hanya disebutkan sebagai sisipan), bom dan blok gunungapi yang menyatu di dalam breksi piroklastika dan aglomerat. Data tersebut menunjukkan adanya satu kesatuan proses magmatisme (bahan intrusiva) dengan vulkanisme (bahan ekstrusiva). Apabila batuan klastika gunungapi menunjukkan kemiringan dengan ciri-ciri endapan turbidit maka kejadiannya memang mungkin di lingkungan laut, tetapi masih di lereng, kaki atau dataran bawah laut di sekeliling kerucut gunungapi Tersier. Jadi istilah "*volcanic turbidites*" seharusnya mempunyai pengertian

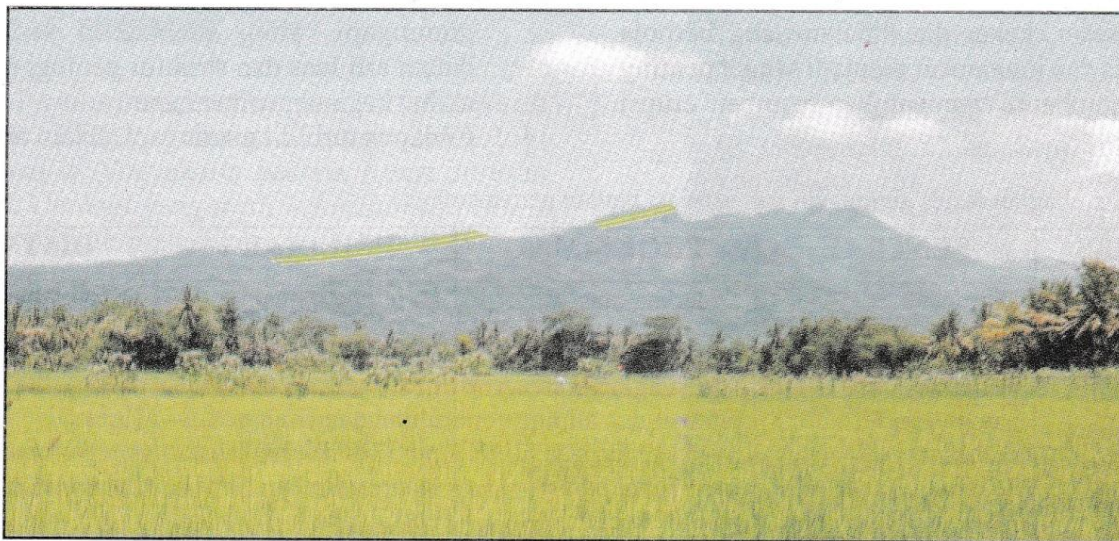
deskriptif (tersusun oleh batuan gunungapi) dan pengertian genesa (kejadiannya dapat langsung berhubungan dengan erupsi gunungapi).

Bentuk tubuh gunungapi Tersier tidak lagi sejelas kerucut gunungapi Kuartar-masa kini, karena telah mengalami proses erosi yang sangat kuat dan lama (Bronto, 2003b). Oleh sebab itu diperlukan berbagai pendekatan untuk menentukan sumber erupsi dan merekonstruksi bentuk dan sebaran tubuh gunungapi Tersier tersebut. Pendekatan itu antara lain berdasar analisis geomorfologi, sedimentologi, stratigrafi, struktur geologi, petrologi-geokimia dan geokronologi. Pendekatan geologi bawah permukaan dilakukan dengan penyelidikan secara geofisika dan pemboran.

Pendekatan secara geomorfologi merupakan langkah awal, baik melalui penginderaan jauh maupun pengamatan langsung di lapangan. Indikasi awal ini berupa pola memancar (*radier*) aliran sungai dan punggung perbukitan/pegunungan dari suatu titik atau daerah. Lokasi titik itu dapat berupa cekungan (sebagai bekas kawah/kaldera), atau tinggian (yang tersusun oleh batuan beku intrusi/kubah lava). Lereng punggung perbukitan itu melandai menjauhi sumber erupsi, sedangkan yang menghadap ke sumber erupsi lebih curam. Pada gawir samping kadang-kadang nampak perlapisan sejajar dengan kelerengan punggung perbukitan tersebut. Kenampakan ini antara lain dapat diamati di Pegunungan

Menoreh, Brobudur (Gb. 7), kawasan G. Ijo G. Kukusan, Pegunungan Kulon Progo, Yogyakarta, serta G. Gajahmungkur di sebelah utara Wonogiri, Jawa Tengah.

Pendekatan secara sedimentologi, terutama meliputi tekstur dan struktur sedimen untuk batuan klastika gunungapi serta struktur pendinginan/pembekuan untuk batuan beku luar/aliran lava. Secara tekstur bahan klastika maka semakin menjauhi pusat erupsi bentuk butir semakin mengecil dan membulat (untuk fraksi kasar), sedangkan struktur sedimen (imbrikasi, silangsiur, arah sumbu terpanjang fragmen dan *flute cast*) berpola radier menjauhi sumber erupsi. Struktur aliran lava antara lain bekas lubang gas berbentuk elip, arah memanjang kristal dan struktur aliran pada lava gelas juga dapat membantu menentukan arah sumber erupsi. Pada lava bantal di Watuadeg, Kecamatan Berbah-Sleman, Yogyakarta dan Bayat, Klaten-Jawa Tengah struktur aliran cukup jelas ditunjukkan oleh bentuk tubuh lava memanjang menyerupai bantal guling atau sosis dan struktur mikro lainnya. Dari pengukuran struktur aliran lava bantal di Watuadeg tersebut Bronto dan Mulyaningsih (2001) menyimpulkan bahwa sumber erupsi berada di bukit kecil di sebelah barat laut singkapan lava bantal di K. Opak. Pada lava muda, bentuk sebaran lateralnya juga mencerminkan pola aliran memancar dari kawah gunungapi. Khusus endapan jatuhnya piroklastika atau tefra, yang sudah diketahui posisi



Gbr 7. Perlapisan batuan gunungapi di Pegunungan Menoreh, Borobudur yang mempunyai kedudukan sejajar dengan kelerengan punggung perbukitan. Kedudukan tersebut berpola radier menjauhi perbukitan G. Gandul yang tersusun oleh batuan intrusi andesit dan diperkirakan sebagai bekas dapur magma G. Menoreh yang aktif pada Jaman Tersier (van Bemmelen, 1949). Foto menghadap ke barat, diambil di sebelah barat kota Muntilan.

stratigrafinya, dan dapat dirunut dalam daerah cukup luas serta perlapisannya relatif utuh, dapat dibuat peta isopah dan peta isopleth untuk menentukan sumber erupsinya, berdasar analisis butir terbesar rata-rata dan ketebalan perlapisan endapan.

Berdasar stratigrafi, asosiasi perlapisan batuan gunungapi mulai dari pusat erupsi hingga daerah pengendapan terjauh dibagi menjadi 4 fasies, yakni fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial dan fasies distal (Vessel & Davies, 1981). Tabel 2 memperlihatkan asosiasi perlapisan batuan untuk masing-masing fasies gunungapi. Berdasar data di dalam peta geologi, terutama asosiasi batuan di dalam fasies sentral dan proksimal, Bronto (2003b) mengidentifikasi 10 titik erupsi gunungapi berumur Oligo-Miosen dan 15 gunungapi berumur Mio-Pliosen di Jawa Barat. Gambar 8 memperlihatkan perlapisan aliran lava yang terdiri dari batuan beku masif dan breksi autoklastika yang dijumpai di lereng sebelah baratdaya Pegunungan Menoreh. Perlapisan aliran lava tersebut secara umum miring kearah baratdaya. Data tersebut diinterpretasikan sebagai fasies proksimal bagian baratdaya dari G. Menoreh dan kemiringan perlapisan masih mencerminkan kemiringan asli.

Pendekatan analisis struktur geologi selain untuk membantu menentukan sumber erupsi gunungapi, juga sekaligus dapat menjelaskan apakah struktur tersebut sebagai akibat proses vulkanisme atau kegiatan tektonika. Dalam hal ini jurus dan kemiringan perlapisan batuan, struktur sesar, kekar dan lipatan yang berpola konsentris dan memancar menjadi sangat penting dalam membantu menentukan sumber erupsi gunungapi.

Penelitian petrologi-geokimia akan menjelaskan apakah antara batuan intrusiva dan batuan ekstrusiva mempunyai hubungan magmatisme (*co-magmatic*) atau tidak. Lebih daripada itu metode ini juga merupakan langkah awal untuk melakukan analisis umur secara radiometri guna mengetahui sejarah kegiatan magmatisme dan vulkanisme di daerah tersebut. Berdasar penginderaan jauh dan petrologi-geokimia Hartono dkk. (2000) dan Hartono (2000) melaporkan adanya 5 khuluk gunungapi Tersier di Pegunungan Selatan Yogyakarta, Jawa Tengah, mulai dari Parangtritis di sebelah barat sampai dengan G. Gajahmungkur di utara Wonogiri.

KESIMPULAN

Dari uraian permasalahan geologi gunungapi tersebut dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Perlu terus dikembangkan pemahaman arti luas stratigrafi terutama terhadap batuan gunungapi yang mencakup batuan intrusiva (dangkal) dan batuan ekstrusiva.
2. perlu diklarifikasi perbedaan pandangan antara mayoritas ahli geologi non-gunungapi dan vulkanologi dengan langkah awal melakukan banyak analisis radiometri terhadap batuan intrusiva dan ekstrusiva.
3. Kebenaran pandangan vulkanologi tersebut dapat menjadi dasar untuk memodifikasi metoda pembelajaran terhadap geologi gunungapi, yang mencakup stratigrafi dalam arti luas dan struktur geologi sebagai akibat kegiatan vulkanisme.
4. Endapan turbidit gunungapi, selain tersusun

Tabel 2. Pembagian fasies gunungapi dan asosiasi batuan penyusunnya.

FASIES	SENTRAL	PROKSIMAL	MEDIAL	DISTAL
Letak	Di puncak	Di lereng atas	Di lereng tengah	Di kaki/dataran
Batuan beku dan batuan gunungapi	Kubah lava, tubuh intrusi dangkal, batuan/xenolit metamorf	Aliran lava, breksi/aglomerat jatuhnya dan aliran piroklastika, sisa gunungapi parasit (intrusi kecil)	Breksi/aglomerat piroklastika, tuf-lapili aliran dan jatuhnya piroklastika, breksi lahar-sedimen epiklastika	Sedimen epiklastika (breksi, konglomerat, batupasir, dll.)
Alterasi hidrotermal	Sangat intensif	Intensif	Jarang	Absen
Klastika	Autoklastika, piroklastika	Autoklastika, piroklastika	Piroklastika, epiklastika	Epiklastika
Mineralisasi	Primer intensif	Primer	Primer, plaser	Plaser



Gbr 8. Perlapisan aliran lava yang terdiri dari batuan beku masif (simbol +) dan breksi autoklastika (simbul Δ) di K. Jebol, sebelah timur Loano (lebih kurang 3 km), jalan kearah Banyuasin, Purworejo.

oleh bahan gunungapi, mekanisme sedimentasinya dapat secara langsung dari erupsi gunungapi dan diendapkan pada lereng dan kaki di sekeliling gunungapi.

5. Untuk menentukan pusat erupsi gunungapi dan merekonstruksi bentuk tubuh serta sebaran gunungapi Tersier dilakukan pendekatan geologi permukaan secara geomorfologi, sedimentologi, stratigrafi, struktur geologi, petrologi-geokimia dan pentarikhan secara radiometri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Ketua Sekolah Tinggi Teknologi Nasional di Yogyakarta beserta Ketua Jurusan Teknik Geologi yang telah mengundang penulis pertama untuk melakukan presentasi di kampus institusi itu pada 9 April 2004 dan sekaligus memandu para dosen pada kunjungan lapangan di Pegunungan Menoreh, Kulon Progo, 10-11 April 2004. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Kepala Puslitbang Geologi di Bandung yang telah mengizinkan penulis pertama untuk melakukan presentasi dan pemanduan kunjungan lapangan bagi para dosen Teknik Geologi STTNAS Yogyakarta tersebut. Kepada para dosen diucapkan pula terimakasih atas partisipasinya secara aktif dalam diskusi selama presentasi dan kunjungan di lapangan. Kami juga berterimakasih kepada Bapak Prof. Dr. H.

Sukendar Asikin yang telah memberikan koreksi, kritik dan saran terhadap makalah ini. Tidak lupa, kepada semua pihak yang telah membantu diterbitkannya makalah ini di dalam Majalah Geologi Indonesia, penulis menyatakan penghargaan yang setinggi-tingginya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bronto, S. & S. Mulyaningsih, 2001, Volcanostratigraphic development from Tertiary to Quaternary: A case study at Opak River, Watuadeg-Berbah, Yogyakarta, abstr., 30th Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong., Sept. 10-12, 2001, Yogyakarta, 158.
- Bronto, S. & U. Hartono, 2003, Strategi penelitian emas berdasar Konsep Pusat Gunungapi, Prosid. Koloq. Energi dan Sumber Daya Mineral 2002, Balitbang ESDM, 13-14 Jan. 2003, P3Tekmira, Bandung, 172-189.
- Bronto, S., 1997, Penelitian gunungapi Tersier dan implikasinya terhadap bahan tambang, Koloq. & Pameran Pertamb., Ditjend PU, DPE, 11-13 Nov., PPTM, Bandung.
- Bronto, S., 2003a, Kendala Penerapan Satuan Stratigrafi Gunungapi, *Majalah Geologi Indonesia*, vol. 18, no. 1, 23-37.
- Bronto, S., 2003b, Gunungapi Tersier Jawa Barat: Identifikasi dan Implikasinya,

- Majalah Geologi Indonesia*, vol. 18, no. 2, 111-135.
- Bronto, S., 2004, Deskripsi dan Penamaan Batuan Gunungapi, Bahan Kuliah Tamu, HMTG, Jurs. Teknik Geologi FT-UGM, 10 Feb. 2004, 33 h, tak terbit.
- Bronto, S., G. Hartono & D. Purwanto, 1998, Batuan Longsorán Gunungapi Tersier di Pegunungan Selatan: Studi Kasus di K. Ngalang, K. Putat, dan Jentir, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta, Prosid. PIT XXVII IAGI, 8-9 Des. 1998, Yogyakarta, 344-349.
- Bronto, S., S. Pambudi & G. Hartono, 2002, The genesis of volcanic sandstones associated with basaltic pillow lavas: A case study at the Djiwo Hills, Bayat area (Klaten-Central Java), *J. Geol. dan Sumber Daya Mineral*, v. XII, n. 131, 2-16.
- Bronto, S., W. Rahardjo & G. Hartono, 1999, Penelitian Gunungapi Purba di Kawasan Kali Ngalang, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta serta Implikasinya Terhadap Pengembangan Sumber Daya Geologi, Prosid. Seminar Nasional Sumberdaya Geologi, 40 tahun (Panca windu) Jurusan Teknik Geologi, FT-UGM, Yogyakarta, 20-21 Sept. 1999, 222-227.
- Cas, R.A.F. & J.V. Wright, 1987, *Volcanic Succession: Modern and ancient*, Allen & Unwin, London, 528.
- Davis, G.H & S.J. Reynold, 1996, *Structural Geology of Rocks and Regions*, John Wiley & Sons. Inc., 776.
- Djuri, M., H. Samodra, T.C. Amin & S. Gafoer, 1996, Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa, skala 1 : 100.000, P3G, Bandung.
- Ferari, L., 1995, Data base for assessment of volcano capability, IAEA, contract BC: 100.1010.5410.241.I.201.94CL9070.
- Fisher, R.V. & H.U. Schminke, 1984, *Pyroclastic Rocks*, Springer Verlag, Berlin, 472.
- Glicken, H., 1986, Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington, PhD thesis, Univ. California, Santa Barbara, 303.
- Hartono, G., 2000, Studi Gunungapi Tersier: Sebaran Pusat Erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta, tesis magister, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung, 168.
- Hartono, G., S. Bronto & S. Yuwono, 2000, Tertiary Volcanism in the Southern Mountains of Yogyakarta-Central Java, Indonesia, abstr., *IAVCEI General Assembly*, Exploring Volcanoes: Utilization of Their Resources and Mitigation of Their Hazards, July, 18-22, 2000, Bali-Indonesia, 255.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1975, Stratigraphic code of Indonesia, *Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, 19.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996, Sandi Stratigrafi Indonesia, *Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, 25 h.
- Kusmono, M., Kusnama & N. Suwarna, 1996, *Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru, Jawa*, skala 1 : 100.000, Edisi kedua, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Lajoie, J. & J. Stix, 1992, Volcaniclastic Rocks, in R.G. Walker & N.P. James (Eds.): *Facies Models*, Geol. Assoc. of Canada, 101-118.
- MacDonald, G.A., 1972, *Volcanoes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510.
- Martodjojo, S., 1984, Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat, Disertasi S3, Fak. Pasca Sarjana, ITB, Bandung, 396 h.
- Martodjojo, S., 2003, *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*, Penerbit ITB, Bandung, 238.
- McPhie, J., M. Doyle & R. Allen, 1993, *Volcanic Textures, A Guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*, Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, Univ. Tasmania, 196.
- Middleton, G.V. & A.H. Bouma (Co-Chairmen), 1973, Turbidites and deep-water Sedimentation, Lecture notes for a Short Course, sponsored by the Pacific Section S.E.P.M., and given in Anaheim, May 12, 1973, Los Angeles, California, 93 p.
- Moody, J.D & J.D. Hill, 1956, Wrench-fault tectonics. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 67, 1207-1246.
- Mutti, E., 1992, Turbidite Sandstones, *Istituto di Geologia, Universita di Parma*, 275 p.
- Normark, W.R., 1978, Fan Valleys, Channels, and Depositional Lobes on Modern Sumarine Fans. Characters for Recognition of Sandy Turbidite Environments, *The American Association of Petroleum Geologists Bull. (AAPG)*, vol. 62, no. 6, 912-931.
- Rahardjo, W., 1983, Paleoenvironmental

- Reconstruction of the sedimentary sequence at Baturagung Escarpment, Southern Mountains, Central Java, *Prosid. PIT XII IAGI*, 6-8 Des., 1983, Yogyakarta, 135-140.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi & H.M.D. Rosidi, 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, P3G, Bandung.
- Ratman, N. & I. Pratomo, 2002, Tinjauan kembali stratigrafi Tersier P. Lombok bagian selatan, *J. Geol. dan Sumber Daya Mineral*, v. XII, n. 127, 2-14.
- Sapiie, B. & A.H. Harsolumakso, 2001, Understanding Structural Geology and Tectonic Processes Using Sandbox Modeling, abstr., *30th Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong.*, Sept. 10-12, 2001, Yogyakarta, 283.
- Sartono, S., 1978, The site of Homo erectus mandible *F. Modern. Quat. Res. Southeast Asia*, 4, 19-24.
- Siebert, L., 1984, Large volcanic debris avalanches: Characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions, *J. Volc. Geoth. Res.*, 22, 163-197.
- Simanjuntak, T.O. & Suroño, 1992, Peta Geologi Lembar Pangandaran, Jawa, skala 1 : 100.000, P3G, Bandung.
- Smyth, H., R. Hall, J. Hamilton & P. Kinny, 2003, Volcanic origin of quartz-rich sediments in East Java, *Proceed. IPA 29th Ann Conv. & Exhibit.*, IPA03-G-014, Octb. 2003, Jakarta, 15.
- Soeria-Atmadja, R., R.C. Maury, H. Bellon, H. Pringgoprawiro, M. Polve & B. Priadi, 1994, Tertiary magmatic belts in Java, *J. SE Asian Earth Sci.*, v. 9, n. 12, 13-2.
- Suroño, B. Toha, I. Sudarno & S. Wiryosuyono, 1992, Peta Geologi Lembar Giritontro Surakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, P3G, Bandung.
- Suryono, S.S. & J. Setyowiyoto, 2001, Stratigraphic of Kebo-Butak Formation: Deep water clastic sediments model, Ext. Abstr., *30rd Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong.*, G67-P, Yogyakarta, 10-12 Sept. 2001, 301-302.
- Ui, T., 1983, Volcanic dry avalanche deposits Identification and comparison with non-volcanic debris stream deposits, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 22, 163-197.
- Ui, T., 1995, Characterization of debris avalanches associated with volcanic activity, paper presented at *the Workshop on Debris Avalanche and Debris Flow of Volcano*, Science & Technology Agency, National Research Institute for Earth Scientific and Disaster Prevention, 7-11 March, 1995, Tsukuba Center Inc., Tsukuba, Japan, 15-20.
- Ui, T., H. Yamamoto & K. Suzuki-Tamata, 1986, Characterization of debris avalanche deposits in Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 29, 231-243.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732.
- Vessel, R.K. & D.K. Davies, 1981, Non Marine Sedimentation in an Active Fore Arc Basin, in F.G. Etridge & R.M. Flores (Eds.), *Recent and Ancient Non Marine Depositional Environments: Models for Exploration*, *Society of Economics Paleontologists, Spec. Publ. 31*.
- Voight, B., H. Glicken, R.J. Janda & P.M. Douglass, 1981, Catastrophic rockslide avalanche of May 18, in: P.W. Lipman & D.R. Mullineaux (Eds.), *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washinton*, U.S. Geol. Surv. Pap., 98, 347-377.
- Walker, R. G., 1992a, Facies, facies models and modern stratigraphic concepts, in R. G. Walker & N. P. James, eds., *Facies Models: Response to sea level change*, Geol. Assoc. of Canada, 1-14.
- Walker, R. G., 1992b, Turbidites and sub marine fans, in R. G. Walker & N. P. James eds., *Facies Models: Response to sea level change*, Geol. Assoc. of Canada, 239-264.
- Walker, R.G. & N.P. James, (Eds.), 1992, *Facies Models: Response to Sea Level Change*, Geol. Assoc. Canada, 409.
- Walker, R.G., 1978, Deep Water Sandstone Facies and Ancient Submarine Fans: Models for Exploration for Stratigraphic Traps, *The Amer. Assoc. of Petro. Geol. Bull. (AAPG)*, v. 62, n. 6, 932-966.
- Walker, R.G., 1984, Turbidites and Associated Coarse Clastic Deposits, in Walker, R. G., ed., *Facies Models*, 2nd edition: Geological Association of Canada, Geoscience Canada Reprint Series 1, 171-188.
- Williams, H. & A.R. McBirney, 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 398.