Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 1 Maret 2007: 43-54

Gunung api maar di Semenanjung Muria

SUTIKNO BRONTO[1] dan SRI MULYANINGSIH[2]

[1]Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro No. 57 Bandung, Indonesia
[2]Teknik Geologi IST AKPRIND, Jln. Kalisahak No. 28 Yogyakarta, Indonesia

SARI

Tiga gunung api maar telah diketahui dengan baik di Semenanjung Muria, yaitu Maar Bambang, Maar Gunungrowo, dan Maar Gembong. Maar tersebut merupakan hasil erupsi gunung api monogenesis sebagai produk interaksi antara sumber panas (magma), dengan air bawah permukaan dan batuan dasar karbonat. Kegiatan tersebut mampu menghasilkan gas dan uap air bertekanan sangat tinggi, sehingga menimbulkan letusan freatik yang dapat diikuti oleh letusan freatomagmatik dan letusan magmatik serta diakhiri dengan ekstrusi lava. Analisis citra satelit berhasil mengidentifikasi dua belas penampakan lingkaran, termasuk Maar Bambang, Maar Gunungrowo, dan Maar Gembong. Data pendukung bentang alam di lapangan berupa cekungan melingkar yang dikelilingi oleh perbukitan melandai secara memancar menjauhi cekungan kawah maar itu. Singkapan batuan dan inti bor di area penampakan lingkaran yang diduga sebagai gunung api maar adalah aliran lava, breksi piroklastika, batulapili, dan tuf, yang terletak jauh (30-40 km) dari pusat erupsi Gunung Api Muria dan Gunung Api Genuk. Salah satu penampakan lingkaran Jepara juga didukung oleh data anomali negatif gaya berat (<30 mgal) yang membentuk pola lingkaran. Pada masa mendatang, letusan gunung api maar masih dimungkinkan apabila terjadi reaktivitas kegiatan tektonika di wilayah Semenanjung Muria dan sekitarnya.

Kata kunci: gunung api maar, Semenanjung Muria, penampakan lingkaran, letusan freatik, letusan freatomagmatik

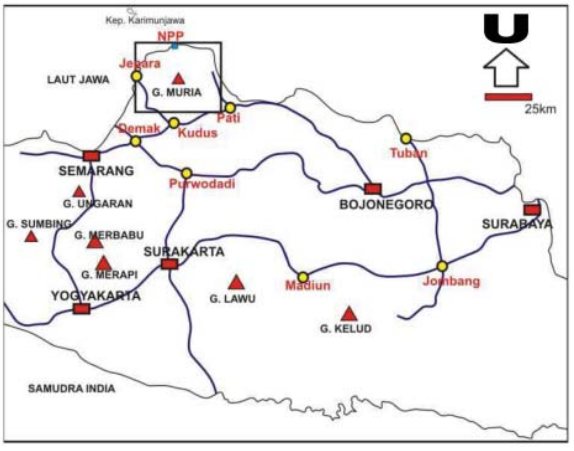
ABSTRACT

Three maars are well identified in the Muria Peninsula, i.e. Bambang Maar, Gunungrowo Maar, and Gembong Maar. The maars were formed by monogenetic volcanic eruptions due to the interaction between heat source (magma), groundwater and calcareous basement rocks. This interaction is able to produce very high pressure of gas and steam causing phreatic explosions, followed by phreatomagmatic- or even magmatic explosions and ended by a lava extrusion. Satellite image analyses have recognized twelve circular features, comprising Bambang Maar, Gunungrowo Maar, and Gembaong Maar. Phisiographically, these maars are characterized by circular depressions which are surrounded by hills that are gently sloping down away from the crater or having a radier pattern morphology. Outcrops and drilling core in the circular areas that are considered as volcanic maars are lava flows, pyroclastic breccias, lapillistones, and tuffs, located far away from the eruption centres of Muria and Genuk Volcanoes. One of the circular features, i.e. Jepara Circular Feature, is also supported by negative anomaly (<30 mgal) showing a circular pattern. In the future, a maar volcano could possibly erupt depending on the tectonic reactivity in the region.

***Keywords**: maar volcano, Muria Peninsula, circullar feature, phreatic explosion, phreatomagmatic explosion*

PENDAHULUAN

Semenanjung Muria terletak di sebelah timur laut kota Semarang, ibukota Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Daerah ini terbagi menjadi tiga wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Jepara di bagian barat - utara, Kabupaten Pati di bagian timur - tenggara, dan Kabupaten Kudus di bagian selatan. Di tengah-tengah Semenanjung Muria terdapat Gunung api Muria, yang berdasarkan klasifikasi Direktorat



Gambar 1. Peta lokasi dan situasi daerah penelitian di Semenanjung Muria. NPP (*Nuclear Power Plant*): calon tapak PLTN di Ujung Lemah Abang (ULA).

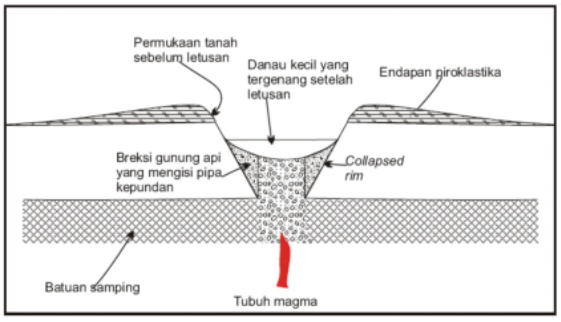
Vulkanologi tidak termasuk gunung api aktif (van Padang, 1951; Kusumadinata, 1979). Sejak tahun 1979, tepi utara semenanjung ini telah disebut-sebut sebagai lokasi terpilih untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Pemilihan lokasi tersebut berkaitan dengan salah satu pertimbangan bahwa Semenanjung Muria memiliki risiko bahaya gempa bumi dan letusan gunung api terkecil, jika diban-dingkan dengan wilayah lain di Pulau Jawa dan Bali. Penempatan PLTN di Jawa juga mempertimbangkan bahwa konsumsi pemakaian listrik di Jawa - Bali adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan pulau lain di Indonesia.

Dalam rangka pembangunan dan pengembangan PLTN tersebut, studi kelayakan wilayah telah dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) melalui *New Japan Engineering Consultant* (NEWJEC) pada tahun 1992-1996. Pada tahun 1997 hasil kegiatan tersebut telah dievaluasi oleh Badan Atom Dunia (IAEA: *International Atomic Energy Agency*), yang menggarisbawahi adanya potensi bahaya gunung api, sehingga diperlukan penyelidikan vulkanologi, baik di wilayah Semenanjung Muria maupun daerah sekitarnya pada radius 150 km. Dari hasil penyelidikan vulkanologi oleh Tim Teknis Nasional (*National Technical Team*/ NTT, 2000) diketahui adanya tiga gunung api tipe maar di Semenanjung Muria, yaitu Maar Bambang, Maar Gunungrowo dan Maar Gembong, di samping Gunung Api Muria dan Gunung Api Genuk. Selain itu, NTT juga melaporkan adanya singkapan lava, penampakan lingkaran (*circular features*), serta ditemukan batuan beku di dalam inti bor LG3 di wilayah Bangsri, kaki barat laut Gunung Api Muria. Data tersebut mengindikasikan adanya gunung api maar yang lain di daerah Semenanjung Muria.

Makalah ini bertujuan untuk meninjau kembali bentang alam dan litologi penyusun maar yang sudah teridentifikasi, serta menganalisis penampakan lingkaran lainnya yang diduga juga merupakan bekas gunung api tipe maar. Tujuan tersebut dimaksudkan untuk mendukung evaluasi potensi bahaya gunung api di daerah Semenanjung Muria. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan analisis inderaja dan pemeriksaan geologi gunung api di lapangan, ditambah dengan analisis inti bor LG3 yang tersedia di Wisma Kerja Batan di Desa Karanggondang, Kecamatan Mlonggo, Kabupaten Jepara. Daerah penelitian meliputi Semenanjung Muria yang terletak pada koordinat 110^{o} 40'- 111^{o} 00'BT dan 6^{o} 24'- 6^{o} 47'LS, dan dapat dicapai dengan kendaraan bermotor.

Gunung Api Maar

Menurut Schieferdecker (1959) maar adalah suatu cekungan yang umumnya terisi air, berdiameter mencapai 2 km, dan dikelilingi oleh endapan hasil letusannya. Gunung api maar yang cekungan kawahnya tidak berisi air disebut maar kering. Maar juga diartikan sebagai kerucut gunung api monogenesis yang memotong batuan dasar di bawah permukaan air tanah dan membentuk kerucut berpematang landai yang tersusun oleh rempah gunung api berbutir halus hingga kasar, mempunyai diameter kawah bervariasi antara 100 – 3000 m, yang sering terisi air sehingga membentuk danau (Bronto, 2001; Cas & Wright, 1988, Gambar 2). Pandangan dari atas, baik menggunakan foto udara, citra satelit, maupun peta rupabumi, menunjukkan bahwa kawah gunung api maar memperlihatkan penampakan lingkaran (*circular features*) atau cekungan melingkar (*circular depressions*). Wood (*vide* Cas & Wright, 1988) berpendapat bahwa maar banyak ditemukan sebagai kerucut skoria. Menurut Heiken (1971, *vide* Cas & Wright, 1988) kebanyakan letusan maar terjadi pada lingkungan geologi gunung api besar



Gambar 2. Penampang melintang kawah maar yang dibentuk oleh letusan freatik dan freatomagmatik (Cas & Wright, 1988).

bersusunan basal seperti yang ditemukan di Fort Rock, Chrismast Lake Valley Oregon. Munculnya magma ke permukaan hingga menyentuh air tanah tersebut, dikontrol oleh rekahan (sesar) sebagai akibat gaya ekstensi.

Di Indonesia dan selain di kawasan Gunung Api Muria, maar antara lain terdapat di kompleks Gunung Api Dieng, Jawa Tengah, sekitar Gunung Api Lamongan, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur (van Padang, 1951; Kusumadinata, 1979), di kaki Gunung Api Cerme, Jawa Timur (Bronto dan Fernandy, 2000) dan di kaki Gunung Api Gamalama di Pulau Ternate (Bronto dkk., 1982). Batuan dasar di bawah Gunung api Lamongan adalah batuan karbonat, yang apabila bersentuhan dengan magma dapat membentuk gas CO_2, sehingga menambah tekanan gas di bawah permukaan. Pada waktu letusan kawah Sinila, Dieng 1979, di dalam bahan lontaran banyak terdapat fragmen batugamping dan koral. Hal ini mendukung bahwa batu gamping dan air tanah di dalamnya ikut berperanan dalam meningkatkan volume dan tekanan gas.

Secara umum, aktivitas gunung api maar dapat berupa letusan freatik, freatomagmatik, dan magmatik. Letusan freatik terjadi jika pancaran panas magma bersentuhan dengan air tanah di dalam batuan dasar, yang kemudian berubah menjadi uap dengan tekanan semakin tinggi karena adanya batuan penudung (*cap rocks*). Letusan dapat terjadi jika tekanan uap air panas itu sudah lebih besar dari tekanan batuan penudung dan batuan di atasnya. Letusan freatik tersebut menghasilkan material hamburan dalam berbagai ukuran yang berasal dari batuan dasar (*non magmatic material* atau endapan hidroklastika) sebagai akibat proses letusan. Pada letusan freatomagmatik sebagian kecil komponen magma (*magmatic material*) sudah ikut terlontarkan ke luar, sedangkan bahan utama hasil letusan magmatik berasal langsung dari magma itu sendiri yang kemudian membentuk endapan piroklastika. Apabila tekanan gas di dalam magma itu sudah melemah, maka magma keluar secara lelehan (*effusive eruptions*), dapat berupa aliran lava, kubah lava atau sumbat lava. Dengan demikian, secara lengkap rangkaian erupsi gunung api maar diawali oleh letusan freatik, kemudian dilanjutkan dengan letusan freatomagmatik dan magmatik, serta diakhiri dengan erupsi lelehan lava.

Tataan Geologi dan Hasil Penelitian Terdahulu

Bentang alam Semenanjung Muria terdiri atas dataran, perbukitan, dan pegunungan, yang proses geomorfologinya dikontrol oleh kegiatan gunung api. Daerah dataran menempati seluruh pantai barat, utara dan timur, serta dataran Kudus - Pati di sebelah selatan. Litologi penyusun daerah dataran adalah bahan rombakan berupa endapan lahar dan aluvium; secara setempat dijumpai pula endapan piroklastika dan lava. Daerah perbukitan merupakan kaki dan lereng bawah Gunung Api Muria, Gunung Api Genuk dan sekitarnya, serta perbukitan yang terletak di kompleks Gunung Api Patiayam. Litologi penyusun daerah perbukitan adalah lava, endapan piroklastika, dan lahar. Daerah pegunungan meliputi kawasan puncak Muria dan Genuk yang merupakan pusat erupsi gunung api di Semenanjung Muria. Batuan penyusun terdiri atas lava, intrusi, dan breksi piroklastika.

Gunung Api Muria terletak di bagian tengah Semenanjung Muria, sedangkan Gunung Api Genuk berada di sebelah timur laut Gunung Api Muria. Dengan demikian bentang alam Semenanjung Muria dibangun oleh hasil kegiatan atau erupsi Gunung Api Muria dan Gunung Api Genuk beserta gunung api parasitnya pada masa lampau. Aktivitas vulkanisme tersebut kemudian diikuti oleh proses eksogen, mulai dari pelapukan, erosi, transportasi, dan sedimentasi di sekeliling gunung api tersebut yang berlanjut

sampai ke lepas pantai, sehingga membentuk endapan rombakan.

Berdasarkan data geologi regional Lembar Kudus (Suwarti dan Wikarno, 1992), batuan tertua yang tersingkap di daerah Semenanjung Muria adalah Formasi Bulu yang di atasnya menumpang secara berturut-turut Formasi Ujungwatu, batuan Gunung Api Genuk dan Muria. Formasi Bulu terdiri atas batuan sedimen silisiklastika halus (batulempung sampai batupasir karbonatan) dan batugamping berumur Mio-Pliosen yang tersingkap di daerah Semliro di bawah fasies sentral Gunung Api Muria dan di sekitar Gunung Api Genuk. Sementara itu, Formasi Ujungwatu didominasi oleh batuan klastika gunung api kaya batuapung, seperti tuf batuapung, lapili batuapung, dan breksi batuapung. Batuan Gunung Api Genuk dan Muria yang terletak dekat dengan kawah atau pusat erupsi sampai fasies proksimal berupa batuan beku (aliran lava dan intrusi) dan breksi gunung api. Sedangkan daerah kaki dan dataran di sekelilingnya, pada umumnya berupa batuan klastika gunung api fraksi halus-sedang, mulai dari batulanau, batupasir sampai dengan konglomerat dan breksi gunung api. Di permukaan, mulai dari daerah Bangsri sampai dengan Ujung Lemah Abang (ULA) bahan rombakan gunung api tersebut sudah lapuk lanjut membentuk tubuh tanah lempung merah dengan ketebalan antara 3 – 5 m. Singkapan agak segar hanya dijumpai pada beberapa tebing dan dasar aliran sungai.

Berdasarkan 74 data radiometri NTT (2000) dan menurut McBirney dkk. (2003) aktivitas vulkanisme di Semenanjung Muria dibagi menjadi lima periode, yaitu: (1) Genuk Tua, (2) Muria Tua, (3) Muria Tengah, (4) Genuk Muda, dan (5) Muria Muda. Aktivitas Gunung Api Genuk Tua dimulai dengan letusan di lingkungan laut dangkal pada sekitar 2 jtl (juta tahun yang lalu) dan menerus hingga 1,65 jtl. Muria Tua mulai aktif pada 0,84 jtl., namun kelihatannya telah berakhir pada beberapa puluh ribu tahun pada awal 0,8 jtl. Sementara itu, Gunung Api Genuk Muda mengalami aktivitas mulai 0,8 jtl. hingga 0,49 jtl., sedangkan Muria Tengah dan Muda meningkat aktivitasnya hingga 0,32 jtl.

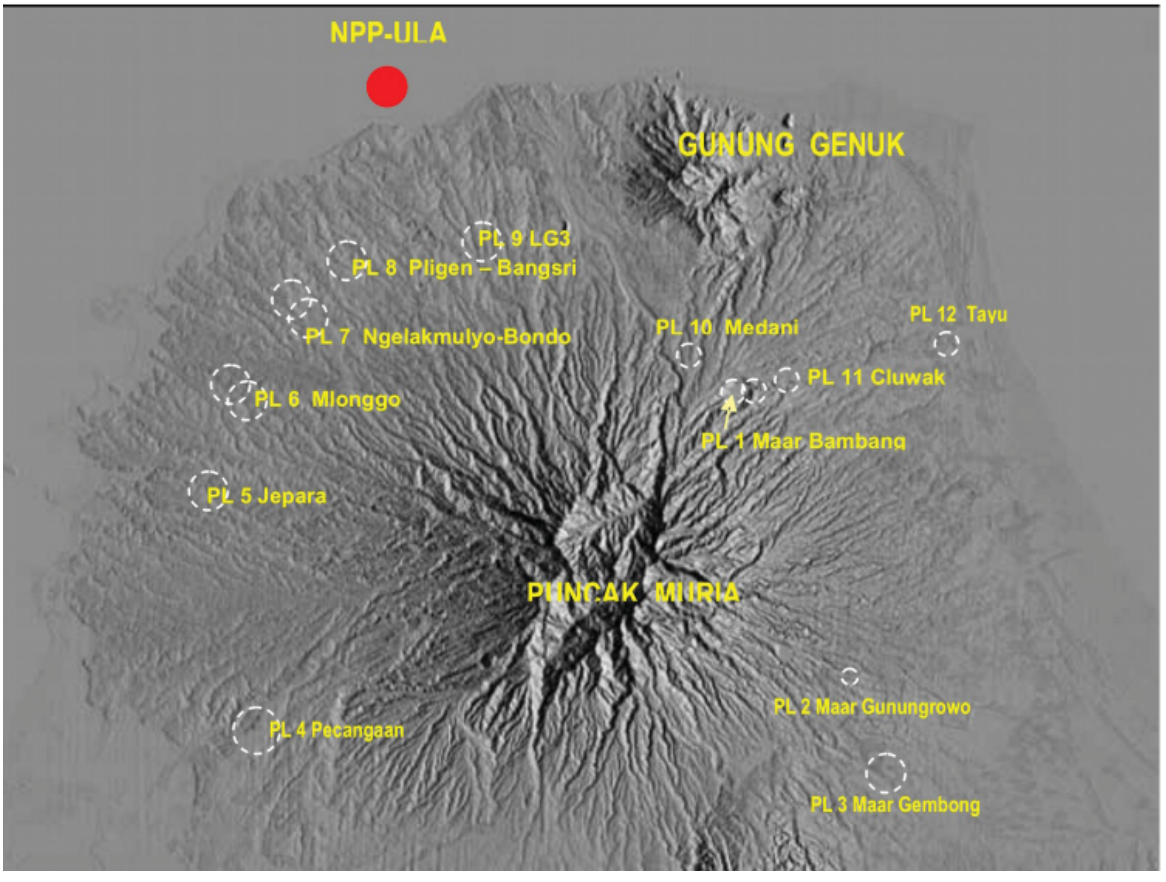
Secara geologis, di kaki gunung api dan dataran sekeliling Gunung Api Muria dan Genuk dijumpai gunung api parasit, baik berupa kubah/sumbat lava (*bocca lava/lava domes*) maupun maar. Keduanya dapat menghasilkan lava koheren (batuan beku aliran lava dan kubah lava), sekaligus breksi gunung api, batulapili, dan tuf. Singkapan lava dan breksi autoklastika yang banyak dijumpai di dataran sekitar Gunung Api Muria, seperti di Kali Banjaran, Kali Pligen, Dusun Ngelakmulyo Desa Bondo, dan lain-lain memunculkan masalah. Daerah tersebut terletak 30-40 km dari puncak Muria dan Genuk, sehingga aliran lava itu tidak mungkin langsung berasal dari kedua pusat erupsi gunung api. Oleh sebab itu, lava tersebut diperkirakan berasal dari titik erupsi di sekitarnya yang mungkin berupa maar atau erupsi gunung api monogenesis lainnya.

Struktur geologi yang ada di Semenanjung Muria berupa kekar dan sesar yang mempunyai pola umum timur laut – barat daya dan barat laut – tenggara. Dari analisis seismik refleksi, pada bagian utara dari Laut Jawa terdapat indikasi sesar yang hampir mirip dengan struktur sesar regional daerah ini (McBirney dkk., 2003). Sesar regional tersebut tercermin dalam Depresi Rembang. Menurut Mallard dkk. (1991) dan Serva (2001), Depresi Rembang terekam sebagai cekungan *pull-apart*, yang dibentuk oleh dua sistem sesar utama di wilayah ini.

Menurut van Bemmelen (1947), Boomgaart (1947), Nicholls and Whitford (1983) dan Maury dkk. (1987), Bellon dkk. (1989), Edwards (1990), Edwards dkk. (1991) produk erupsi Muria dan Genuk merupakan batuan sosonit kalium tinggi yaitu basal, basanit, tefrit, trasit, dan fonolit. Studi petrologi dan geofisika yang berhubungan dengan sifat magmatologinya pun telah ditelaah (Boomgaart, 1947; Maury dkk., 1987; Marzuki dan Sardjono, 1991; Nicholls and Whitford, 1983; dan van Bemmelen, 1947).

Hasil Penelitian

Analisis citra satelit lembar P00003, 115010 dan 1200658 telah berhasil menginterpretasi adanya bentukan atau penampakan lingkaran (*circular features*) di kaki Gunung Api Muria dengan diameter bervariasi dari 750 m hingga 2,5 km. Gambar 3 menunjukkan 12 penampakan lingkaran (PL) di Semenanjung Muria (Tabel 1). Lereng timur laut dan tenggara penampakan lingkaran sudah diyakini sebagai Maar Bambang, Maar Gunungrowo, dan



Gambar 3. Maar Bambang, Gunungrowo, dan Gembong, serta penampakan lingkaran (PL, *circular features*) lainnya yang juga diinterpretasikan sebagai maar di Semenanjung Muria (data dari citra *landsat* no. 115010). NPP-ULA adalah calon tapak pusat listrik tenaga nuklir di Ujung Lemah Abang.

Tabel 1. Daftar maar dan penampakan lingkaran (PL) di sekeliling Gunung Api Muria

No. PL	Nama Maar/ PL
PL 1	Maar Bambang
PL 2	Maar Gunungrowo
PL 3	Maar Gembong
PL 4	Pecangaan
PL 5	Jepara,
PL 6	Mlonggo
PL 7	Ngelakmulyo-Bondo
PL 8	Pligen-Bangsri
PL 9	LG3
PL 10	Medani
PL 11	Cluwak
PL 12	Tayu

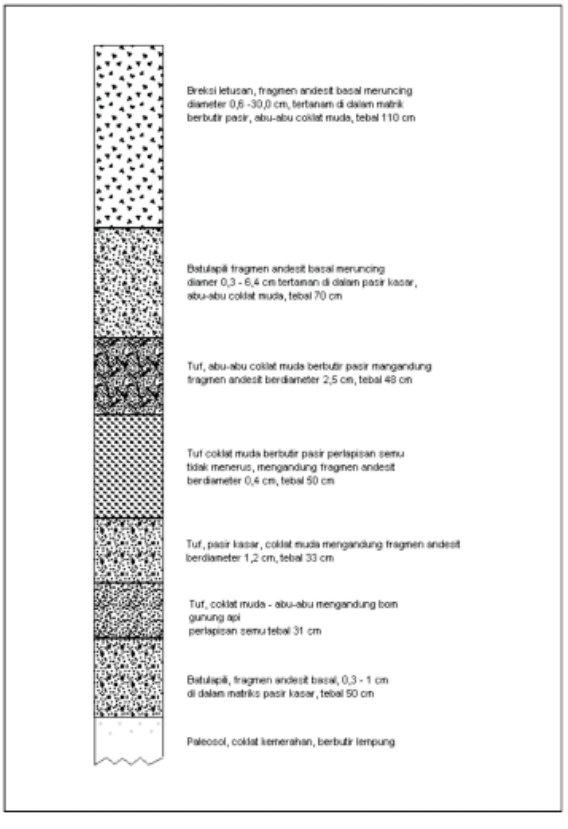
Maar Gembong. Penampakan lingkaran yang lain diidentifikasi hanya berdasar analisis inderaja atau didukung data geologi permukaan yang sangat terbatas. Hal ini karena sebagian besar batuan di daerah ini sudah mengalami pelapukan lanjut membentuk tanah merah yang cukup tebal.

Maar Bambang dan Penampakan Lingkaran di sekitarnya

Maar ini terletak ± 12 km ke timur laut dari puncak Muria pada ketinggian 300 m dpl. dan berdiameter ± 750 m, membentuk cekungan melingkar yang membuka ke timur laut (koordinat 110° 56’24” E, 6° 32’31” S). Pada saat ini dasar Maar Bambang sudah merupakan persawahan dan pemukiman penduduk, yang salah satunya adalah Dusun Bambang, Desa Plaosan, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati.

Sedangkan dinding dan pematang punggungan maar sudah menjadi ladang atau tegal. Beda tinggi maksimum dari dasar maar sampai dengan punggungan pematang tertinggi sekitar 50 meter. Sungai Nglejok yang berhulu di puncak Gunung Api Muria memotong Maar Bambang dan mengalir ke timur laut searah dengan bukaan maar. Morfologi lereng luar Maar Bambang tidak cukup jelas karena pengaruh erosi, yang membentuk perbukitan bergelombang dan pada umumnya sudah menjadi tanah sawah dan ladang.

Singkapan endapan maar berupa breksi letusan, batu lapili, dan tuf ditemukan di pematang maar sisi timur (Gambar 4), tetapi bongkah-bongkah lava juga banyak dijumpai di pematang barat. Endapan maar tersebut menumpang di atas paleosol, yang merupakan tanah permukaan purba sebelum terjadi letusan maar. Dari Gambar 4 itu diketahui tebal sisa endapan maar Bambang 3,92 m. Di lereng luar endapan, maar tidak tersingkap karena sudah tertutup oleh tanah pelapukan tebal. Pada lereng



Gambar 4. Kolom litologi endapan Maar Bambang pada dinding sebelah timur.

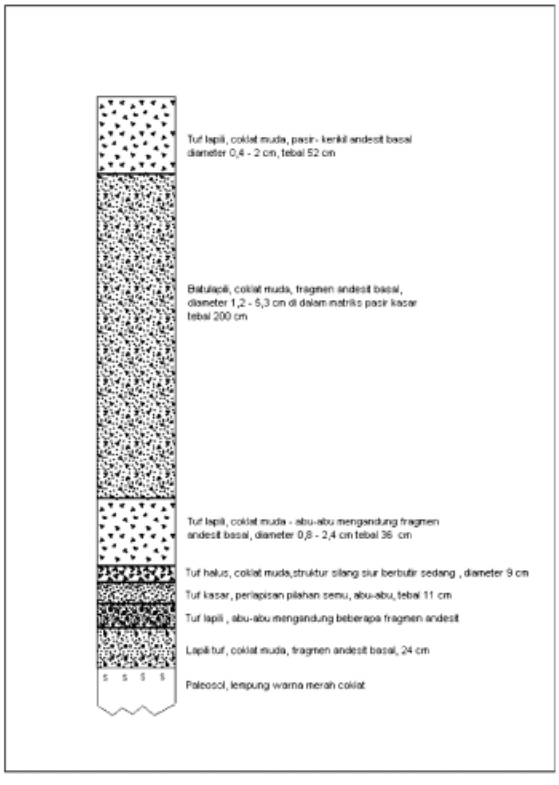
dalam maar sebelah timur laut, yakni di tepi jalan Dusun Plaosan Desa Dukuh, dijumpai aliran lava basanit yang diperkirakan dari Kawah Gunung Api Muria, kemudian masuk ke dalam Maar Bambang ini. Singkapan berupa aliran lava bongkah (*a blocky lava flow*), yang mempunyai ketebalan ± 30 m dengan morfologi miring sedang. Kondisi sebagian lava telah lapuk menjadi tanah lempung merah, namun di antaranya masih banyak bongkah lava berukuran butir 1m – 3 m. Lava basanit ini berwarna abu-abu gelap hingga abu-abu kehijauan, struktur berlubang yang secara bertahap menjadi pejal atau masif, bertekstur porfiri, dengan fenokris piroksen (15-20%), biotit (5-10%), dan felspatoid (leusit: 40-50%), yang tertanam di dalam massa dasar afanit atau tidak kasat mata.

Hasil analisis citra satelit menunjukkan bahwa di sebelah timur Maar Bambang berderet tiga penampakan lingkaran (PL11 Cluwak) yang diduga bekas maar dan terletak di wilayah Kecamatan Cluwak. Penampakan lingkaran Maar Bambang dan bentuk bentang alamnya yang masih utuh menunjukkan bahwa maar itu adalah yang termuda. Deretan PL Cluwak-Maar Bambang yang berarah timur-barat diduga dikontrol oleh struktur rekahan bawah permukaan.

Di sebelah barat laut Maar Bambang, di hulu Kali Gelis Utara, Desa Medani, Kecamatan Cluwak juga terdapat penampakan lingkaran (PL10 Medani). Agak jauh di sebelah timur - timur laut PL Cluwak diidentifikasi penampakan lingkaran 12 yang dinamakan PL Tayu. Penampakan lingkaran ini terletak di sebelah utara Desa Purwokerto, Kecamatan Tayu.

Maar Gunungrowo

Maar Gunungrowo terletak lebih kurang 14 km ke tenggara dari puncak Muria pada ketinggian 300-350 m dpl., termasuk wilayah Desa Sitiluhur, Kecamatan Tlogowungu, Kabupaten Pati (koordinat 110° 57’30” E, 6° 39’54” S). Maar ini berdiameter sekitar 1100 m, berbentuk cekungan melingkar penuh (*circular depression*), tinggi dinding maar bervariasi dari 10 m di bagian timur dan 75 m di bagian barat. Pada saat sekarang maar ini dijadikan waduk penampung air untuk irigasi pertanian. Batuan yang menyusunnya terdiri atas batulapili, tuf lapili, dan tuf (Gambar 5), yang banyak mengandung lapili tumbuhan (*accretionarry lapilli*) sebagai endapan



Gambar 5. Kolom litologi endapan Maar Gunungrowo pada dinding sebelah timur.

seruakan dasar (*base surge*). Di beberapa tempat yang lain endapan maar ini berupa breksi letusan, yang di antaranya dijumpai struktur pembebanan (*bomb sag structures)* karena bom dan blok gunung api jatuh menimpa lapisan abu gunung api yang masih lunak. Endapan maar Gunungrowo ini juga menumpang di atas tanah purba (*paleosol*). Endapan maar tersebut membentuk bukit-bukit di atas pematang maar bagian utara, timur, dan selatan.

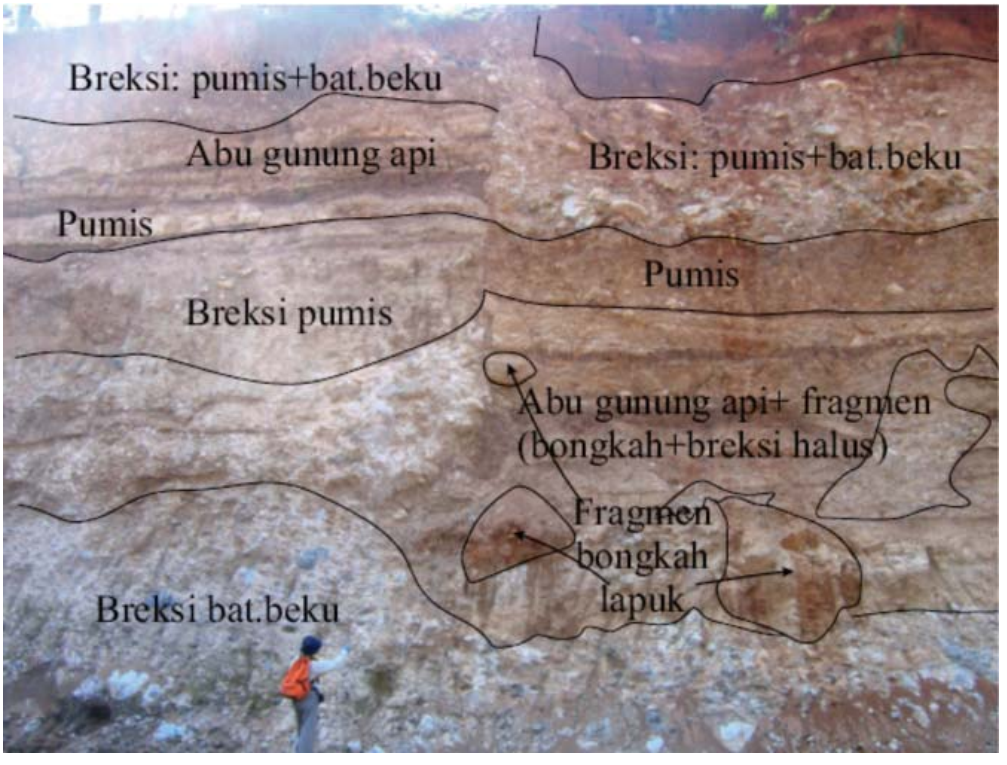
Lebih kurang 100 m di sebelah barat laut maar, tersingkap bongkah lava andesit berukuran 1 m di tepi jalan raya yang kondisinya segar, dan diperkirakan produk dari Gunung Api Muria. Lava andesit tersebut dicirikan oleh warna abu-abu, tekstur porfiritik, struktur vesikuler, dengan fenokris piroksen dan felspar, yang tertanam dalam massa dasar afanitik.

Maar Gembong

Maar Gembong berbentuk setengah lingkaran membuka ke barat laut dengan garis tengah lk. 2,5 km. Bentuk itu karena pada setengah bagian maar sebelah barat laut terisi oleh endapan aliran gravitasi, yang berasal dari Gunung Api Muria. Maar Gembong terletak pada ketinggian 125 m dpl, berjarak ± 15 km dari puncak Muria, dan berada di antara Gunung Api Muria dan Gunung Api Patiayam, Kecamatan Gembong, Kabupaten Pati. Pada saat ini Maar Gembong dijadikan waduk penampung air untuk irigasi pertanian. Dari tempat penggalian tanah urug dan batu di sebelah tenggara maar, tersingkap material hasil letusan berupa breksi gunung api (hidroklastika – piroklastika?) berselang-seling dengan batulapili dan tuf (Gambar 6). Sebagian batulapili dan tuf tersebut membentuk struktur *antidunes*, silang siur dan gradasi normal yang mencirikan endapan seruakan dasar (*base surge*). Pada saluran keluar (*outlet*) waduk di sebelah timur tersingkap breksi dan lava basanit. Singkapan breksi di tepi sungai, sepanjang 10 m dan tebal 2,5 m, terdiri atas fragmen batuan beku berukuran pasir-bongkah, bentuk butir membundar - menyudut tanggung, matriks pasir halus, kemas terbuka, pemilahan buruk, kondisi segar - lapuk. Contoh fragmen breksi berupa basal, berwarna abu-abu gelap, struktur masif, tekstur porfiritik dengan fenokris piroksen, massa dasar afanit. Lava di tebing bagian dasar as bendungan, menebal hingga ke lereng bukit di sebelah menyebelah *outlet* dengan panjang singkapan lk. 50 m dan tebal lebih dari 10 m. Kondisi lava basanit ini segar, berwarna abu-abu gelap, struktur vesikuler sampai masif, tekstur porfiritik dengan fenokris piroksen, yang tertanam di dalam massa dasar bertekstur afanitik. Singkapan pada ±1,5 km ke timur dari waduk berupa perlapisan breksi gunung api dan batupasir tuf (*base surge*) sepanjang lebih dari 100 m dan tebal lebih dari 20 m, kondisi lapuk, berwarna merah bata, fragmen terdiri atas batuan beku berukuran pasir-bongkah dan pumis, kemas terbuka, pemilahan jelek. Pada lokasi ini terdapat sesar turun (?) berarah barat - timur, sedangkan blok utara relatif turun.

Penampakan Lingkaran Pecangaan

Penampakan lingkaran nomor 4 (PL Pecangaan) diperkirakan sebagai maar tua yang berada di kaki barat daya Gunung Api Muria, Desa Ngabul (?) di antara wilayah Kecamatan Pecangaan dan Batealit, Kabupaten Jepara. PL Pecangaan ini terletak ± 35 km



Gambar 6. Singkapan perlapisan breksi gunung api dan endapan abu gunung api di sebelah tenggara Maar Gembong.

ke barat - barat daya puncak Muria, pada ketinggian lk. 70 m dpl. Maar ini mempunyai diameter 1,5-2 km (?), yang diperkirakan dari citra satelit. Data lapangan menunjukkan bahwa daerah ini merupakan pemukiman dan tegalan yang batuannya sudah mengalami pelapukan lanjut. Dengan demikian untuk memastikan keberadaan maar Pecangaan ini diperlukan penelitian geofisika dan geologi bawah permukaan.

Penampakan Lingkaran Jepara

Penampakan lingkaran Jepara terletak di wilayah kota Jepara pada ketinggian 20-25 m dpl., mempunyai diameter lk. 1,5-2 km. Di lapangan, Maar Jepara ini ditandai oleh adanya bentang alam gumuk melengkung yang tersusun oleh breksi gunung api menumpang di atas paleosol endapan sungai. Keyakinan adanya Maar Jepara, selain berdasarkan interpretasi citra satelit dan data geologi permukaan juga didukung oleh data gaya berat yang menunjukkan anomali negatif di wilayah kota Jepara, yakni kurang dari 30 mgal (Marzuki dan Sardjono, 1991).

Penampakan Lingkaran Mlonggo dan Bangsri

Penampakan lingkaran Mlonggo (PL 6) terletak di wilayah Kecamatan Mlonggo, Kabupaten Jepara. Dari citra satelit diketahui ada dua penampakan lingkaran, tetapi pemeriksaan di lapangan belum menemukan data pendukung karena daerahnya tertutup oleh tanah pelapukan, morfologi tidak cukup jelas, serta daerah ini sudah dibudidayakan oleh penduduk setempat. Maar Bangsri ini mencakup penampakan lingkaran nomor 7 (PL Ngelakmulyo-Bondo) dan 8 (PL Pligen-Bangsri), yang terletak di wilayah Kecamatan Bangsri, Kabupaten Jepara. Daerah ini berada 30 – 35 km di kaki barat laut Gunung Api Muria, dengan ketinggian 26 m dpl. Penampakan lingkaran yang diperkirakan sebagai maar tua ini mempunyai variasi diameter antara 1 - 2 km. Bukti adanya maar di daerah ini berupa:

1. dijumpainya bongkah besar lava (ML-1) di Dusun Ngelakmulyo, Desa Bondo (lokasi 06MR18, 110°43-44'BT dan 6°33-34'LS ; Gambar 7),

2. dijumpainya aliran lava dan breksi piroklastika di Kali Pligen (ML-2, lokasi 06MR19; 110°45-46'BT dan 6°31-33'LS, Gambar 8) – Kali Mlonggo, dan

Gambar 7. Singkapan lava basal di Dusun Ngelakmulyo, Desa Bondo.

Gambar 8. Singkapan breksi piroklastika (bawah) dan breksi autoklastika (lava) andesit piroksen (atas) di Sungai Pligen.

3. dijumpainya aliran lava (ML-3) di Kali Banjaran, di bagian hilir Bendung Kedungdowo (Lokasi 06MR16; Gambar 9).

Karena lokasi Dusun Ngelakmulyo, Desa Bondo sangat jauh (35 km) dari Gunung Api Muria, sedangkan ukuran bongkah lava ini mencapai 5 m x 2,6 m, maka fragmen batuan beku itu diyakini bukan *bolder* bahan rombakan dari Gunung Api Muria tetapi bersumber dari titik erupsi di dekatnya. Aliran lava dan breksi piroklastika di Kali Pligen dan Kali Banjaran juga terletak sangat jauh dari Gunung Api Muria, sehingga ketiganya juga diperkirakan dari sumber erupsi di dekatnya. Berhubung ketiga data tersebut dijumpai di lokasi yang relatif berdekatan dan di daerah ini terdapat penampakan lingkaran, maka kemungkinan besar ketiganya berasal dari satu

Gambar 9. Singkapan perlapisan breksi autoklastika (atas) dan breksi piroklastika (bawah) di Dam Kedungdowo, Sungai Banjaran.

sumber, yakni gunung api maar Bangsri.

Singkapan aliran lava yang membentuk breksi autoklastika di Kali Pligen, fragmen ukuran pasir-bongkah, kemas tertutup, pemilahan buruk, kondisi segar-lapuk. Aliran lava ini bersusunan trakit-basanit, berwarna abu-abu, struktur vesikuler, tekstur porfiri, dengan fenokris piroksen dan *feldspatoid* (Ø 0,5-1,5 cm), massa dasar afanit.

Penampakan Lingkaran LG3 (Nomor 9)

Penampakan lingkaran nomor 9 ini terletak di dataran banjir Sungai Balong di dekat Dusun Legundi dan Jarakan, ketinggian 25-32,5 m dengan morfologi dataran - agak miring, berjarak sekitar 40 km dari puncak Gunung Api Muria. Penampakan lingkaran ini berlokasi sangat dekat dengan lubang bor LG3 (NTT, 2000) yang terdapat batuan beku andesit pada kedalaman 50,00-54,75 m (tebal 4,75 m; Gambar 10). Batuan beku dengan tebal 4,75 m dan berjarak sangat jauh (40 km) dari pusat erupsi Gunung Api Muria disangsikan sebagai *bolder* hasil rombakan dari puncak gunung api tersebut. Dari pemeriksaan inti bor LG3 itu diketahui bahwa pada bagian bawah tubuh andesit sampai dengan kontak dengan batuan di bawahnya, yang berupa breksi gunung api, batuan berwarna lebih gelap dibanding dengan tubuh di bagian atasnya. Hal itu menunjukkan bahwa andesit di bagian kontak lebih banyak mengandung gelas dan mendingin lebih cepat daripada tubuh di bagian atasnya. Hal itu menjadi petunjuk bahwa batuan beku andesit di dalam inti bor LG3 merupakan bagian dari suatu aliran lava. Secara umum,

Gambar 10. Kontak lava andesit horenblenda (sebelah kiri *ballpoint*) dengan breksi gunung api (sebelah kanan) di dalam inti bor LG3, yang terletak pada kedalaman 42,17-54,75 m. Pada batas kontak lava berwarna lebih gelap menunjukkan lebih banyak mengandung gelas daripada lava di bagian atasnya.

lava andesit itu berwarna abu-abu terang, struktur masif-berlubang, tekstur porfiri dengan fenokris horenblenda dan *felspatoid*, yang tertanam di dalam massa dasar afanit. Berhubung lokasi LG3 ini sangat jauh dari puncak Gunung Api Muria, maka aliran lava tersebut juga diragukan berasal dari pusat erupsi gunung api tersebut. Aliran lava itu lebih masuk akal berasal dari sumber yang lebih dekat. Pemikiran ini bersama dengan adanya Penampakan Lingkaran nomor 9, mengarah pada dugaan bahwa aliran lava itu berasal dari Maar LG3. Di permukaan, singkapan batuan tidak dijumpai, tetapi hanya berupa tanah lapuk berwarna merah, yang telah menjadi areal persawahan. Maar LG3 ini merupakan titik erupsi gunung api monogenesis yang terletak paling dekat dengan calon tapak PLTN di Ujung Lemah Abang.

Diskusi

Adanya penampakan lingkaran dari citra satelit belum semuanya dapat dikonfirmasi sebagai gunung api maar, hanya berdasarkan data geologi permukaan. Oleh sebab itu penelitian geofisika dan pemboran di lokasi penampakan lingkaran yang masih diragukan sebagai maar perlu dilakukan. Namun demikian, pembentukan gunung api maar di Semenanjung Muria ini agaknya sudah memenuhi sebagian persyaratan, yaitu tersedianya air tanah (dangkal) dan air laut, serta adanya batuan karbonat Formasi Bulu sebagai batuan dasar. Air dan batuan karbonat tersebut berinteraksi dengan magma membentuk gas uap air dan CO_2 yang bertekanan tinggi, sehingga menimbulkan letusan freatik dan freatomagmatik pada maar.

Kemunculan gunung api maar juga dikontrol oleh struktur rekahan yang memungkinkan gas keluar ke permukaan. Pola struktur rekahan memanjang berarah timur-barat mungkin terdapat pada deretan Maar Bambang dan penampakan lingkaran Cluwak, sedangkan struktur rekahan yang mengontrol pembentukan maar Gembong, Maar Gunungrowo dan maar Bambang berarah utara - selatan. Memperhatikan sebaran maar tersebut dan penampakan lingkaran lainnya di sekeliling Gunung Api Muria, pembentukannya dapat dikontrol oleh struktur rekahan yang berpola konsentris atau memancar, berpusat di Gunung Api Muria. Untuk mengetahui kejelasan pola struktur rekahan ini masih diperlukan penelitian geologi bawah permukaan, dengan metode gaya berat dan pemboran inti.

Berdasarkan hasil analisis radiometri dengan menggunakan metode Ar/Ar beberapa batuan gunung api hasil erupsi gunung api maar di Semenanjung Muria sudah diketahui umur pembentukannya (NTT, 2000; McBirney dkk., 2003). Aliran lava andesit piroksen di Dusun Ngelakmulyo, Desa Bondo berumur 0,637 ± 0,3 jt. dan di Sungai Banjaran 0,75 ± 0,2 jt. Batuan klastika gunung api produk Maar Bambang dan Maar Gunungrowo, serta aliran lava basanit Maar Gembong mempunyai kisaran umur 0,59 ± 0,03 jt. sampai 0,50 ± 0,2 jt. Data tersebut menunjukkan pembentukan maar sudah cukup tua, berumur 500.000 tahun atau lebih. Namun demikian, bentuk bentang alam maar Gunungrowo yang masih berupa cekungan melingkar sempurna, padahal di daerah tropis yang banyak hujan dan tingkat erosi tinggi, ada keraguan bahwa maar tersebut terbentuk lebih muda lagi. Hal itu diperkuat lagi dengan meningkatnya aktivitas Gunung Api Muria hingga 320 ribu tahun yang lalu, yang menjadi sumber panas utama dalam pembentukan uap air bertekanan tinggi dan dapat menimbulkan letusan maar pada waktu berikutnya. Informasi ini bersamaan dengan adanya gas berasal dari magma (NTT, 2000) yang memungkinkan bahwa di Semenanjung Muria

masih terdapat mempunyai potensi bahaya letusan gunung api. Berhubung penampakan lingkaran LG3 adalah yang paling dekat dengan calon tapak PLTN di Ujung Lemah Abang, maka kemungkinan terjadinya reaktivitas pembentukan gunung api maar harus menjadi pertimbangan utama di daerah Semenanjung Muria.

Berdasarkan analisis petrogenesis (Edwards, 1990; Edwards dkk., 1991), batuan Gunung Api Muria Muda berasal dari selubung bumi, yang tidak berhubungan dengan penunjaman kerak bumi, melainkan melalui celah *hot spot* atau pemekaran kerak bumi di sebelah utara busur gunung api Jawa. Untuk dapat sampai di permukaan dalam bentuk cairan, magma harus bergerak sangat cepat melalui sistem diapir. Struktur celah atau rekahan dalam (*deep seated structures*) yang dapat menerus sampai ke permukaan tentunya dihasilkan oleh kegiatan tektonika yang sangat kuat. Apabila pada masa mendatang terjadi lagi kegiatan tektonika sangat kuat di kawasan Semenanjung Muria, hal itu akan memicu reaktivitas Gunung Api Muria atau gunung api lainnya di daerah ini. Dengan demikian, penelitian neotektonik, termasuk analisis struktur bukaan, di wilayah ini dan sekitarnya sangat diperlukan. Posisi struktur bukaan menjadi dasar untuk memperkirakan lokasi kemungkinan terjadinya maar atau jenis erupsi gunung api lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis citra satelit, di Semenanjung Muria telah dapat diidentifikasi tiga gunung api maar dan sembilan penampakan lingkaran yang juga diduga sebagai maar. Ketiga maar itu adalah Maar Bambang, Maar Gunungrowo, dan Maar Gembong. Penampakan lingkaran Bangsri didukung oleh adanya singkapan aliran lava, bongkah lava, dan breksi piroklastika. Penampakan Lingkaran LG3 didukung oleh adanya lava andesit di dalam inti bor LG3, sedang Penampakan Lingkaran Jepara ditunjang dengan anomali negatif gaya berat di daerah itu. Penampakan lingkaran lainnya belum didukung oleh data permukaan, sehingga masih memerlukan data geologi bawah permukaan.

Kegiatan gunung api maar dapat berupa letusan freatik, freatomagmatik, bahkan sampai magmatik dengan mengeluarkan aliran lava. Produk erupsi letusan berupa breksi letusan, batulapili dan tuf, serta bahan rombakannya. Pada masa mendatang erupsi gunung api maar masih dimungkinkan apabila terjadi reaktivitas tektonika di wilayah Semenanjung Muria dan sekitarnya. Oleh sebab itu penelitian tektonika perlu dilakukan untuk mendukung studi kelayakan pembangunan PLTN di daerah Semenanjung Muria ini.

Ucapan Terima Kasih—Dengan tersusunnya makalah ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Jajaran Pimpinan Pusat Survei Geologi yang telah mendukung pendanaan kerja lapangan dan analisis laboratorium. Kepada Ari Kusniadi, S.T. juga diucapkan terima kasih karena telah banyak membantu kelancaran kerja di lapangan. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada Kepala BATAN dan stafnya, yang telah mengijinkan penggunaan data inti bor untuk melakukan penelitian ini.

ACUAN

Bellon, H., Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Suparka, E., and Yuwono, Y.S., 1989. Chronology and Petrology of back arc volcanism in Java, Proc. Reg. Conf. Geol. Min. Hyd. Res. SE Asia. In R.P. Koesoemadinata & D. Noeradi (Eds.), 2003, *Indonesian Island Arcs: Magmatism, Mineralization, and Tectonic Setting*, Penerbit ITB, Bandung, p. 174-186.

Boomgaart, L., 1947. Some data on the Muriah volcano (Java) and its leucite-bearing rocks. *K. Ned. Akad. Wet*., 50, p. 649-652.

Bronto, S. dan Fernandy, A., 2000. Setu Patok sebagai gunungapi maar di daerah Cirebon. *Prosid PIT 29 IAGI*, Bandung, Nov. 21-22, p. 163-172.

Bronto, S., R.D. Hadisantono dan J.P. Lockwood, 1982. *Peta Geologi G. Gamalama, Ternate*. Direkt. Vulkanologi, Bandung.

Edwards, C.M.H., 1990. *Petrogenetic of tholeiitic, calc-alkaline and alkaline volcanic rocks, Sunda arc, Indonesia*, PhD. Thesis, Royal Holloway and Bedford New College, Univ. of London, UK, 373 pp.

Edwards, C.M.H., M. Martin and, T. Mathew, 1991. Evidence from Muria, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. *J. Petrol*., 32, p. 555-592.

Kusumadinata, K., (Ed.), 1979. *Data Dasar Gunung Api Indonesia*. Direkt. Vulk., Bandung, 820h.

Mallard, D., Hays, W., and Serva, L., 1991. Earthquake and associated topics in relation to NPP siting. Revision I. Code of Practice. *Safety Standard Series 50-SG-S1, IAEA*, 70 pp.

Marzuki dan Sardjono, 1991. *Peta anomali gaya berat*

Lembar Kudus, skala 1:100.000, Jawa. Puslitbang Geologi, Bandung.

Maury, R.C., Soeria-Atmadja, and R., Bellon, H., 1987. Nouvelles donnees geologiques sur les deux association magmatiques du volcan Muria (Java, Indonesia). *C. R. Ser.*, 2 304, p. 175-180.

McBirney, A.R., Serva, L., Guerra, M., and Connor, C.B., 2003. Volcanic and seismic hazards at a proposed nuclear power site in Central Java. *J. Volc. and Geoth. Res*. 126, p. 11-30.

National Technical Team (NTT), 2000. Volcanological Aspects of Muria Volcanic Complex and Their Hazard Assessment, National Nuclear Energy Agency (BATAN), unpublished report.

Nicholls, I.A. and D.J. Whitford, 1978. Geochemical Zonation in the Sunda Volcanic Arc. *Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.*, v. 9, no. 3, p. 93-97.

Nicholls, I.A. and Whitford, D.J., 1983. Potassium-rich volcanic rocks of the Muria complex, Java, Indonesia: product of magma source, *J. Volc. Geoth. Res*., 18, p. 337-359.

NTT (National Technical Team), 2000. Volcanological Aspects of Muria Volcanic Complex and Their Hazard Assessment Report, Unpublished report to National Nuclear Energy Agency (BATAN): Feasibility Study of Nuclear Power Plant at Muria Penninsula, Central Java, Indonesia.

Schieferdecker, A.A.G. (Ed.), 1959. *Geological Nomenclature*, Royal Geol. and Mining Soc. of the Netherlands, J. Noorduijn en Zoon N.V., Gorinchem, 523pp.

Serva, L., 2001, Siting of high risk industrial facilities: the role of natural phenomena such as earthquakes. *Proceed. of the European Conference on Safety and Reliability*, ESREL 2001, Turi, vol. 2, p. 1257-1264.

Suwarti, T. dan Wikarno, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, skala 1:100.000, Jawa*. Puslitbang Geologi, Bandung.

van Bemmelen, R.W., 1947. The Muriah Volcano (Central Java) and the origin of its leucite-bearing rocks. *K. Ned. Akad. Wet*. 50, p. 653-658.

van Padang, 1951. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, v.1., Indonesia, *Internat. Volc. Assoc., Napoli*, 271 pp.