



**Bulletin of Scientific
Contribution
GEOLOGY**

**Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



**Volume 23, No.1
April 2025**

**PENERAPAN SANDI STRATIGRAFI INDONESIA DALAM PEMETAAN GEOLOGI GUNUNG
API DI KULONPROGO**

Hill G Hartono¹⁾ & Adjat Sudradjat²⁾

¹⁾Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

²⁾Purnabakti Guru Besar Volkanologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jln Raya Bandung-Sumedang Km21,

Jatinangor, Kab. Sumedang 45363, Jawa Barat

Koresponden Email: hilghartono@itny.ac.id

ABSTRACT

In the Indonesian Stratigraphic Code (SSI) 1973, updated respectively in 1996 and 2023, it is formulated the concept of volcano stratigraphy in geologic mapping of the volcanic terrain consisting of lithologic unit, gumuk (hill), khuluk (volcano), bregada (group) and manggala (super group). The concept has been applied in the geologic mapping of Kulonprogo Pre-Quaternary volcanic terrain. The application enables to identify further the eruption products, so far has been described as a single lithologic unit. The existing geologic map shows three batholiths, namely Ijo, Gajah and Menoreh located respectively in southwest-northeast direction. Based on this finding, it is interpreted that the batholiths represent the eruption centers of three volcanoes.

According to the rule of the stratigraphic code, each of those volcanoes are respectively classified as khuluk. The latest findings, however found out that each batholith contains some conduits, leading into conclusion that the batholith contains several eruption centers. It is therefore the status of the batholith represent a bregada. Based on these new findings, Kulonprogo Mountain is classified as manggala consisting of Gajah Bregada, Ijo Bregada and Menoreh Bregada which respectively composed of Bujel Khuluk, Pencu Khuluk, Ijo Khuluk, Kukusan Khuluk and Gupit Khuluk. Combined the classification with the facies analysis resulted in the interpretation of the delineation of differentiated lithostratigraphic units based on source, description and genesis.

Keywords: Indonesian Stratigraphic Code, volcano stratigraphy, Kulonprogo, bregada, khuluk

ABSTRAK

Dalam Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI) 1973 yang dimutakhirkan tahun 1996 dan tahun 2023, dicantumkan mengenai konsep stratigrafi gunung api. Konsep ini memformulasikan kaidah stratigrafi dalam pemetaan batuan gunung api yang mencakup satuan batuan sebagai satuan paling kecil, gumuk, khuluk, bregada dan manggala sebagai satuan stratigrafi dengan hierarki yang semakin besar. Konsep ini dicoba diaplikasikan dalam pemetaan geologi gunung api Prakuarter di Pegunungan Kulonprogo. Hasilnya menunjukkan bahwa konsep ini dapat mengurai lebih jauh produk letusan yang selama ini dipetakan sebagai satu unit batuan. Pada peta geologi ditampilkan adanya tiga tubuh batolit yaitu Ijo, Gajah dan Menoreh. Lokasi ketiganya berderet dari baratdaya ke timurlaut. Berdasarkan peta tersebut, maka diinterpretasikan bahwa ketiga tubuh batolit merupakan pusat letusan, sehingga disimpulkan bahwa terdapat tiga tubuh gunung api. Dalam konsep stratigrafi, maka ketiga tubuh gunung api tersebut memiliki status khuluk. Akan tetapi penelitian lebih lanjut mengungkapkan adanya beberapa conduit, sehingga disimpulkan bahwa pada satu tubuh batolit terdapat beberapa pusat letusan. Dengan demikian maka statusnya berubah menjadi bregada. Berdasarkan hal tersebut maka Pegunungan Kulonprogo merupakan suatu manggala yang terdiri atas Bregada Gajah, Bregada Ijo dan Bregada Menoreh. Bregada tersebut masing-masing diurai lebih lanjut menjadi Khuluk Bujel,

Khuluk Pencu, Khuluk Ijo, Khuluk Kukusan dan Khuluk Gupit. Dikombinasikan dengan analisis fasies maka dapat dilakukan deliniasi yang memisahkan produk gunung api dalam beberapa satuan batuan berdasarkan sumber, deskripsi dan genesis.

Katakunci: Sandi Stratigrafi Indonesia, stratigrafi gunung api, Kulonprogo, bregada, khuluk

PENDAHULUAN

Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI) disusun pada tahun 1973 dan dimutakhirkan berturut-turut pada tahun 1996 dan tahun 2023. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI) mengambil inisiatif untuk menyusun SSI mengingat telah banyaknya pemetaan geologi dilakukan di Indonesia, baik semasa kolonial maupun sesudah kemerdekaan. Satuan yang digunakan dalam pemetaan terdiri dari berbagai ragam, baik berupa zona, kelompok (*group*), seri, anggota (*member*), *stage*, *bed*, *layer*, *lagen*, horizon dan nama batuan bahkan *seam*.

Selain satuan yang digunakan dalam pemetaan geologi permukaan, terdapat pula satuan di bawah permukaan yang digunakan oleh dunia industri khususnya perminyakan yang mengidentifikasi batuan dalam kaitannya dengan potensi keekonomiannya. Pada masa itu tercatat sebanyak 374 satuan yang tersebar di seluruh Indonesia (Marks, 1957). Nama-nama satuan stratigrafi tersebut diketahui dari sebanyak 200 referensi yang terbit pada jaman kolonial.

Satuan yang telah diidentifikasi diterbitkan dalam sebuah leksikon (kamus) stratigrafi yang memuat nama-nama yang diurut berdasar abjad. Melengkapi penerbitan tersebut telah disusun atlas leksikon stratigrafi yang menampilkan peta penyebaran satuan di lokasi tipe. Atlas ini merupakan hasil kompilasi oleh Jawatan Geologi Indonesia (P3G, 1961). Sebanyak 188 lokasi telah diidentifikasi berdasarkan literatur yang terbit pada jaman kolonial.

Dengan adanya SSI, maka diharapkan penamaan satuan peta dari berbagai kegiatan geologi akan memiliki acuan yang sama, sehingga dapat diperoleh keseragaman. Korelasi antar satuan peta dapat dilakukan dengan lebih mudah dan lebih teliti. Terlebih-lebih dalam pemetaan geologi di daerah gunung api, SSI mendorong kemungkinan satuan peta diurai lebih lanjut, sehingga dapat menampilkan pelampiran produk, genesis dan pusat letusan. Hal ini sangat penting bagi penyusunan zonasi risiko gunung api dan juga untuk eksplorasi energi panas bumi.

Dalam upaya untuk memahami lebih mendalam geologi Pegunungan Kulonprogo telah dicoba untuk menerapkan konsep stratigrafi gunung api berdasarkan kepada kaidah SSI. Pegunungan Kulonprogo terletak di perbatasan antara Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta

(Gambar 1).

Penyelidikan dan pemetaan telah banyak dilakukan (van Bemmelen, 1949, 1995; Rahardjo, dkk., 1977, 1995; dan Syafri, dkk., 2013). Semua kegiatan pemetaan tersebut telah menggunakan satuan batuan sebagai dasar pemetaan. Sejauh ini pemetaan geologi di Pegunungan Kulonprogo cenderung dan bahkan secara nyata mengikuti kaidah satuan dalam konsep stratigrafi batuan sedimen. Dengan demikian satuan yang ditampilkan adalah Formasi Sentolo (sedimen), satuan breksi dan ikutannya (endapan vulkanik), intrusi dan batolit serta paling muda Formasi Jonggrangan (sedimen). Batuan utama yang berupa batuan vulkanik yang mencakup hampir seluruh Pegunungan Kulonprogo, dibagi atas dua satuan yaitu breksi (piroklastika dan efusif) dan intrusi dengan berbagai posisi dan ukuran (intrusi, gang, batolit).

Dengan mengaplikasikan konsep SSI, diharapkan satuan breksi dapat diidentifikasi lebih lanjut berdasar kepada pusat letusannya. Selanjutnya satuan-satuan ini dapat digabung dalam hierarki stratigrafi yang lebih besar yaitu gumuk, khuluk, bregada dan manggala.

SANDI STRATIGRAFI INDONESIA (SSI)

Dengan meningkatnya penyelidikan geologi pada masa sesudah kemerdekaan, maka bertambah banyak nama satuan peta yang diciptakan. Oleh karena itu pada tahun 1972 Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI) mengambil inisiatif untuk menyusun sandi (*code*) stratigrafi Indonesia yang diharapkan dapat menjadi pegangan dan kesepakatan dalam konsepsi dan tatanama satuan stratigrafi. Sandi stratigrafi ini berhasil dipublikasikan oleh Komisi Sandi Stratigrafi IAGI sebagai Sandi Stratigrafi Indonesia atau untuk selanjutnya disebut SSI (IAGI, 1973).

Dalam SSI edisi pertama, satuan peta geologi hanya menyangkut batuan sedimen yang didasarkan kepada azas tata-nama stratigrafi. SSI membagi penamaan satuan stratigrafi atas Satuan Litostratigrafi, Biostratigrafi, Kronostratigrafi dan Geokronologi. Batuan beku dan batuan metamorfosa digolongkan ke dalam Satuan Lithostratigrafi.

Mengingat luasnya penyebaran batuan vulkanik di Indonesia, maka dalam edisi ke dua (1996) yang merupakan pemutakhiran dari edisi pertama (1973), telah

dicantumkan satuan peta yang berkaitan dengan batuan vulkanik (IAGI). Batuan jenis ini menyebar cukup luas sebagai produk aktivitas magmatik yang terjadi pada Masa Kenozoikum.

Dalam edisi 1996, SSI telah mencantumkan prinsip dasar Stratigrafi Batuan Gunung Api (*Volcano Stratigraphy*) yang mengekspresikan urutan kegiatan magmatik suatu gunung api. Sebagaimana juga pada batuan sedimen, dalam stratigrafi batuan gunung api, dikenal tingkatan yang dimulai dari satuan paling kecil yaitu batuan, diikuti dengan gumuk, khuluk, bregada dan manggala (Tabel 1).

Dalam SSI batuan vulkanik diperlakukan sebagaimana batuan sedimen. Identifikasi sukseksi batuan dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah-kaidah yang berlaku pada batuan sedimen (Cas & Wright, 1987). Pada tahap berikutnya (Wirakusumah, 2012 dan Hartono, 2024) diperkenalkan satuan stratigrafi batuan gunung api yang lebih besar yaitu Busur (*Arc*), sebagaimana terlihat dalam ilustrasi urutan pengelompokan satuan batuan gunung api tersebut (Gambar 2).

Dengan memasukkan sistem tektonik regional ini maka urutan satuan pada pemetaan geologi batuan gunung api, dari yang terkecil ke yang terbesar adalah satuan batuan, gumuk, khuluk, bregada, manggala dan busur. Definisi setiap tingkatan dalam stratigrafi gunung api adalah sebagai berikut (Wirakusumah, 2012 dan Hartono, 2024):

1. Khuluk adalah satuan dasar dalam satuan stratigrafi gunung api. Khuluk merupakan kumpulan satuan batuan yang dihasilkan oleh satu atau lebih titik erupsi tetapi berada pada satu tubuh gunung api;
2. Gumuk adalah bagian dari khuluk yang terbentuk sebagai hasil erupsi pada khuluk tersebut. Batas sebaran gumuk dapat melampaui pelamparan suatu khuluk. Gumuk harus dapat dipetakan pada peta skala 1:50.000 atau lebih besar;
3. Bregada terdiri atas beberapa khuluk. Batas penyebaran khuluk tidak boleh melampaui pelamparan bregada. Bregada dipetakan pada peta bersekala 1:100.000. Bregada lebih sering digunakan untuk batuan hasil pembentukan kaldera;
4. Manggala merupakan gabungan beberapa bregada. Batas penyebaran manggala adalah batas gabungan seluruh bregada. Manggala biasanya berhubungan dengan pembentukan kaldera pada satu atau lebih tubuh gunung api. Manggala dipetakan pada peta bersekala 1:100.000.
5. Busur (*arc*) adalah tingkat yang paling tinggi dalam satuan stratigrafi gunung api. Busur merupakan kumpulan khuluk,

bregada dan manggala yang mempunyai kedudukan tektonik yang sama dan dipetakan pada peta bersekala 1:1.000.000. Dengan memasukkan unsur busur dalam SSI, maka tektonik regional merupakan bagian yang tak terpisahkan dari stratigrafi gunung api. Di Indonesia telah dilakukan banyak penelitian tektonik regional (Hamilton, 1979; Katili, 1975; dan Hall, 2002) yang mencantumkan lokasi dan karakteristik busur. Busur Sunda dan Busur Banda merupakan busur yang mencakup seluruh bagian selatan Kepulauan Indonesia.

Dalam peta tektonik regional Indonesia, busur yang memiliki keterkaitan dengan gunung api Kenozoikum adalah Busur Sunda dan Busur Banda. Busur Sunda merentang dari Sumatera sampai Sumbawa, sedangkan Busur Banda dari Pulau Flores sampai Kepulauan Banda. Busur Sunda mengalami perubahan lokasi sepanjang Kenozoikum sehingga dikenal Busur Sunda Purba dan Busur Sunda Sekarang (*Recent*).

HASIL PENERAPAN SSI DALAM PEMETAAN GEOLOGI PEGUNUNGAN KULONPROGO

Batuan vulkanik Kompleks Gunung Api Kulonprogo merupakan gunung api purba berumur Oligo-Miosen (van Bemmelen, 1949, 1970). Penentuan umur batuan menunjukkan paling tua $29,63 \pm 2,26$ juta tahun, sedangkan paling muda $22,64 \pm 1,13$ juta tahun (Soeria-Atmadja, dkk., 1994). Penentuan umur ini dilakukan pada batuan intrusi dan aliran lava. Penyebaran batuan vulkanik di wilayah Pegunungan Kulonprogo memanjang pada arah baratdaya-timurlaut. Batuan vulkanik di Kulonprogo merupakan suatu kompleks batuan yang dihasilkan oleh beberapa pusat erupsi. Batuan hasil erupsi terdiri atas piroklastik, lava, intrusi dan batuan beku dalam atau batolit (*batolith*). Penyebaran gunung api yang terisolasi di Pegunungan Kulonprogo, membuka peluang untuk menerapkan konsep stratigrafi gunung api SSI secara lengkap. Dengan menampilkan geologi batuan gunung api berdasar konsep SSI, maka urutan kegiatan magmatik daerah tersebut dapat diungkap. Selain itu penyebaran setiap jenis batuan dan genesisnya dapat pula diidentifikasi. Sejauh ini kompleks batuan vulkanik di Kulonprogo dipetakan dengan berdasarkan satuan batuan. Batuan tefra terutama breksi piroklastik tidak dipisahkan walaupun sumber letusannya berbeda. Hal ini disebabkan karena batuan tersebut memiliki karakter dan komposisi yang sama. Tubuh batolit telah dapat diidentifikasi dan dibedakan dari produk piroklastik (van Bemmelen, 1949, 1970). Namun produk

piroklastik disatukan dalam satu unit batuan, walaupun sumber letusannya berbeda. Peneliti selanjutnya pada umumnya mengikuti konsep tersebut dan mengidentifikasi tiga pusat letusan dan produk batuan piroklastik.

Beberapa intrusi sebagai kegiatan magmatik yang mengikuti kegiatan utama, terjadi pada ketiga pusat letusan tersebut. Dalam peta skala 1:50.000 kegiatan magmatik jenis ini tidak dapat dimunculkan. Pada umumnya intrusi tersebut berupa gang (*dyke*) dengan ukuran beberapa meter dan intrusi dengan diameter kurang dari 50 meter.

Dengan teridentifikasinya tiga pusat letusan, maka satuan breksi Pegunungan Kulonprogo dapat dibagi atas tiga unit. Batas antara unit dianalisis berdasarkan posisi setiap pusat letusan. Analisis geomorfologi dengan bantuan citra satelit dapat mempertajam identifikasi setiap satuan breksi tersebut. Ketiga pusat letusan menyebar pada arah baratdaya-timurlaut.

Kegiatan vulkanik purba di Kulonprogo dimulai dengan letusan Gunung Ijo di bagian selatan. Kemudian diikuti secara berurutan dan bersamaan oleh kegiatan Gunung Gajah di bagian tengah. Dalam pemetaan, produk tepa letusan kedua gunung api ini tidak dapat dipisahkan karena keduanya memiliki komposisi yang sama yaitu berupa andesit yang mengandung piroksen. Ketika kegiatan Gunung Gajah berhenti, Gunung Ijo masih terus aktif dan menghasilkan batuan yang berkomposisi relatif asam yang didominasi oleh hornblende augit (Tabel 2).

Pada fase berikutnya ketika aktivitas Gunung Ijo masih berlangsung, di bagian utara-timurlaut terjadi kegiatan Gunung Menoreh. Batuan di sini berkomposisi sama dengan Gunung Ijo, namun produk selanjutnya berkembang menjadi batuan yang lebih asam terutama dasit. Ketika Gunung Ijo mencapai fase akhir, kegiatan Gunung Menoreh masih berlanjut dan menghasilkan batuan yang lebih asam berupa andesit trachi.

Secara petrografis batuan yang dihasilkan kegiatan vulkanik di Pegunungan Kulonprogo, menunjukkan evolusi magma asal yang berkomposisi basa menuju magma yang relatif lebih asam. Titik kegiatan dimulai di bagian tengah Pegunungan Kulonprogo yang menghasilkan batuan yang relatif basa dengan dominasi hipersten dan augit piroksen. Kemudian bergeser ke selatan yang menghasilkan batuan vulkanik dengan dominasi *hornblende*. Selanjutnya bergeser ke utara dengan produk yang relatif kaya akan kuarsa. Walaupun gambaran perubahan

komposisi batuan secara konseptual dapat diketahui, namun satuan batuan vulkanik yang dihasilkannya tidak dapat dipisahkan karena secara keseluruhan memiliki komposisi yang relatif sama berupa batuan andesit.

Metoda yang digunakan dalam mengaplikasikan SSI pada pemetaan geologi gunung api di Kulonprogo adalah analisis morfologi dari citra satelit (DEM). Metoda ini menghasilkan data utama untuk mengidentifikasi sumber batuan. Ekspresi morfologi memberikan gambaran penyebaran batuan dari satu sumber. Dengan demikian maka dapat disusun stratigrafi gunung api yang mengikuti kaidah SSI.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat tiga sumber letusan yang kini telah tersingkap dan membentuk batolit (van Bemmelen, 1949, 1970). Dengan demikian maka dapat dilakukan pemisahan satuan batuan berdasarkan kepada sumber letusannya. Secara stratigrafi ketiga batolit tersebut dapat dikelompokkan sebagai khuluk. Namun berdasarkan penelitian lebih lanjut diketahui bahwa di dalam batolit, terdapat beberapa pusat letusan (Rahardjo, dkk., 1977, 1995; dan Syafri, dkk., 2013). Dengan demikian status khuluk dinaikkan menjadi bregada, sedangkan pusat intrusi di dalam tubuh batolit berstatus khuluk. Di dalam tubuh Gunung Api Ijo terdapat pusat erupsi Gunung Api Kukusan dan Gunung Api Ijo. Selanjutnya di dalam tubuh Gunung Api Gajah terdapat Gunung Api Pencu dan Gunung Api Bujel, sedangkan pada tubuh Gunung Api Menoreh terdapat Gunung Api Gupit (Hartono, 2024). Pusat kegiatan ini merupakan fase dari proses magmatisme batolit (Gambar 3).

Dengan telah diketahuinya lokasi bregada beserta khuluknya masing-masing, maka pemetaan geologi dapat lebih lanjut mendeliniasi setiap satuan batuan yang didasarkan kepada jenis batuan (piroklastika, efusif, petrografi, ukuran butir) dan genesis (jatuhan, aliran) serta intrusi. Status intrusi dalam urutan stratigrafi dinamakan gumuk.

Deliniasi sebuah bregada dapat diidentikan dengan deliniasi sebuah cekungan berdasar kepada penyebaran batuan sedimen. Batas suatu bregada ditentukan oleh penyebaran batuan pada khuluk. Deliniasi setiap khuluk dapat diidentikkan dengan deliniasi batuan sedimen pada suatu sub-basin. Penyebaran jenis batuan, akan dapat memberikan identifikasi batas khuluk.

Setiap satuan batuan yang sudah dikenali di lapangan dapat dirinci atas facies. Terminologi dan ciri setiap facies didasarkan kepada konsep yang diajukan oleh Williams

& McBirney (1979). Konsep tersebut membagi endapan batuan gunung api atas Facies Sentral, Proximal dan Distal. Dari penyebaran facies ini lokasi pusat letusan dapat diketahui (Hartono, 2010). Sebaliknya, bila pusat letusan masih dapat diidentifikasi, maka penyebaran facies dapat deliniasi. Dalam pemetaan geologi Pegunungan Kulonprogo pusat letusan masih dapat diidentifikasi dengan baik, sehingga penyebaran facies dapat direkonstruksi.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka Pegunungan Kulon Progo dibentuk oleh Bregada Ijo, Bregada Gajah dan Bregada Menoreh. Dengan demikian Pegunungan Kulonprogo memiliki kedudukan stratigrafi sebagai manggala (Gambar 4).

Deliniasi Pegunungan Kulonprogo sebagai manggala dapat dilakukan tanpa harus mempertimbangkan kelompok gunung api lainnya yang berbatasan. Manggala Kulonprogo adalah merupakan kumpulan dari tiga bregada yang masing-masing dibangun oleh tiga khuluk. Kehadiran gumuk berupa intrusi-intrusi yang berukuran relatif kecil, tidak dapat dimunculkan dalam peta, namun dapat diidentifikasi berupa titik lokasi.

Satuan paling kecil dalam pemetaan geologi batuan gunung api di Pegunungan Kulonprogo adalah satuan piroklastik jatuhan, aliran lava dan intrusi. Batuan piroklastik jatuhan didominasi oleh breksi. Langkah selanjutnya adalah menyusun kolom stratigrafi batuan gunung api Pegunungan Kulonprogo. Berdasar analisis tektonik regional pembentukan gunung api Manggala Kulonprogo dapat diasosiasikan dengan Busur Sunda Purba yang berumur Oligo-Miosen (Tabel 3).

Penyebaran facies dari setiap bregada dapat memberikan petunjuk asosiasi breksi terhadap pusat letusannya. Oleh karena Pegunungan Kulonprogo tertutup oleh produk Gunung Merapi, maka fasies distal tidak dapat diidentifikasi. Dengan mendeliniasi fasies maka penyebaran batuan breksi yang secara litologi relatif seragam, dapat dibagi atas tiga unit. Ketiga unit breksi tersebut dihasilkan oleh tiga bregada yang berbeda.

Batas setiap fasies digeneralisir dalam bentuk lingkaran yang ideal. Batas satuan geomorfologi merupakan salah satu petunjuk dalam mendeliniasi fasies. Dengan cara ini maka ketiga khuluk memberikan petunjuk penyebaran breksi sebagai produknya masing-masing. Lebih lanjut penyebaran fasies setiap khuluk dapat dilakukan (Gambar 5).

Analisis setiap bregada kemudian digabungkan, sehingga dapat diperoleh

gambaran hubungan satu dengan lainnya (Gambar 6). Dengan cara ini maka sebaran batuan breksi yang selama ini merupakan satu satuan dapat dipecah setidaknya secara interpretatif atas tiga unit. Kemudian ditambah dengan unit yang dihasilkan oleh khuluk dalam setiap bregada.

Pada tahap pemetaan geologi tinjau berskala 1:250.000, rincian atas bregada dapat menjadi dasar bagi pemetaan sistematis 1:100.000 sehingga dapat melengkapi Peta Geologi Sistematis Lembar Yogyakarta. Pemetaan rinci di lapangan dengan skala 1:25.000 dapat mengidentifikasi produk efusif yang terdapat di dalam satuan breksi. Selain itu terdapat pula intrusi-intrusi yang merupakan kegiatan vulkanik fase akhir. Kegiatan vulkanisme fase akhir dapat digolongkan sebagai gumuk.

DISKUSI

Dari analisis stratigrafi gunung api dengan mengaplikasikan kaidah SSI, maka dapat diketahui adanya tiga bregada yang membentuk Pegunungan Kulonprogo. Ketiga bregada ini membentuk batuan yang menutupi seluruh pegunungan tersebut dan bagian atas tertindih oleh terbentuknya batuan lain (Pambudi, dkk., 2017), sedangkan batuan yang dibentuk oleh gunung api menindih batuan klastik sebelumnya (Winarti, dkk., 2021). Oleh karena letak pusat letusan gunung api ini berdekatan, maka produknya saling menindih. Penampilan produk ini hampir serupa, sehingga sulit dibedakan. Oleh karena itu sejauh ini produk vulkanik yang dihasilkan ketiga sumber letusan tersebut cenderung untuk disatukan dalam satu unit batuan. Namun demikian dengan penerapan konsep SSI satuan batuan tersebut dapat dipisahkan berdasarkan pendekatan sumber letusan, genesis dan jenis batuannya.

Hasil penelitian sebelumnya mengungkap penyebaran batolit di Pegunungan Kulonprogo yang merupakan pusat letusan yang sudah tererosi sangat dalam (van Bemmelen, 1949, 1970). Batuan sekitar batolit merupakan facies sentral dengan dominasi batuan beku dalam dan lava.

Dari penelitian lebih lanjut diketahui bahwa pada setiap kelompok terdapat beberapa pusat letusan (Rahardjo, dkk., 1977, 1995; Syafri, dkk., 2013; dan Hartono, 2024). Dengan demikian ketiga kelompok ini berstatus bregada, sedangkan pusat letusan berstatus khuluk. Dari setiap bregada dapat deliniasi penyebaran breksi yang tercakup di dalamnya. Interpretasi citra dan analisis geomorfologi membantu dalam menentukan batas penyebaran bregada tersebut.

Interpretasi bregada dan fasiesnya memungkinkan untuk mendeliniasi setiap jenis breksi. Pada penafsiran berbasis fasies ini, batas dibuat secara ideal dengan pusat letusan sebagai sentral. Batas fasies ditarik melingkar.

Dari analisis bentuk batolit, posisi Gunung Ijo merupakan gunung api yang relatif tidak terganggu oleh kondisi sekitar. Bentuk batolit yang bulat menunjukkan bahwa gunung api ini tumbuh dengan simetris. Oleh karena itu perkembangan fasies juga terjadi dengan ideal membentuk lingkaran. Fasies sentral dan proksimal dapat dideliniasi, sedangkan fasies distal telah tertutup oleh produk Gunung Gajah yang pada fase awal terbentuk bersamaan. Fasies distal Gunung Ijo ke arah selatan telah tererosi dan ditutupi alluvium masa kini.

Hal yang berbeda terjadi dengan Gunung Gajah yang mulai aktif hampir bersamaan dengan fase awal Gunung Ijo. Dari bentuk batolit Gunung Gajah, diperkirakan magma gunung ini merupakan percabangan diatrema yang membelok ke arah barat laut karena terhalang oleh batolit Gunung Ijo yang mulai mengeras. Sebagai akibatnya, maka posisi batolit sedikit miring ke arah barat laut.

Kedudukan Gunung Gajah miring pada lereng Gunung Ijo, dapat dilihat dengan jelas dari penyebaran produk klastika jatuhnya yang meluas ke arah timur-timurlaut dan sangat sempit ke arah barat dan baratdaya. Komposisi breksi pada Gunung Api Gajah mengikuti evolusi magma yaitu mulai dengan berkembangnya dominasi *hornblende*. Aliran lava diperkirakan mengarah pada sektor timurlaut.

Bregada ke tiga yaitu Bregada Menoreh diperkirakan terbentuk berkaitan dengan dua kondisi yang mengendalikannya. Pertama, tertahannya konduit magma karena pembekuan dua batolit yaitu Gajah dan Ijo. Kedua, berkembangnya sesar regional pada arah baratdaya-timurlaut sebagai reaksi atas tegasan utama selatan-utara. Perkembangan ini sudah dimulai ketika kegiatan magmatik Gunung Ijo berada pada tahap awal. Posisi Gunung Gajah merupakan ekspresi dari perkembangan sesar ke arah timurlaut. Perkembangan berlanjut dengan lebih intensif dan memberikan peluang kepada saluran magma Gunung Menoreh untuk menerobos. Posisinya menjauhi Bregada Gajah dan Ijo yang bertindak sebagai penghambat.

Dari bentuk batolit dapat diduga bahwa aktivitas magmatik Gunung Menoreh berlangsung bersamaan dengan berkembangnya sesar regional. Hal ini

dibuktikan dengan memanjangnya batolit Bregada Menoreh. Bahkan sangat mungkin kedua fenomena sesar regional dan aktivitas magmatik Pegunungan Kulonprogo adalah merupakan satu sebab. Pertama terbentuk sesar regional sebagai akibat kompresi Lempeng Indoaustralia. Pada tahap ini mulai terjadi aktivitas magmatik Gunung Gajah dan Gunung Ijo. Pada tahap kedua perkembangan sesar ini diperkuat oleh tekanan yang disebabkan oleh aktivitas magmatik Gunung Gajah dan Gunung Ijo. Penafsiran ini diperkuat dengan berhentinya pada lokaksi Gunung Menoreh.

Dari bentuk batolit, Bregada Menoreh dapat dibagi atas tiga khuluk, yaitu Khuluk Selatan, Khuluk Tengah dan Khuluk Utara. Pada Khuluk Selatan dapat diidentifikasi pusat letusan Gupit sehingga Khuluk Selatan dinamakan Khuluk Gupit. Sangat mungkin Bregada Menoreh terbentuk sebagai letusan rekahan (*fissure*).

Produk yang dihasilkan Bregada Menoreh merupakan evolusi lanjut dari dapur magma Bregada Ijo dan Bregada Gajah. Hal ini terbukti dari komposisi breksi yang relatif lebih asam dan didominasi oleh kuarsa dan *hornblende*. Selain itu ukuran butiran relatif kecil dibandingkan dengan piroklastik jatuhnya di Bregada Ijo dan Bregada Gajah. Penampakan di lapangan lebih putih karena komponen tuf yang relatif seimbang dengan komponen produk jatuhnya lainnya. Ukuran butir dan kehadiran tuf menunjukkan bahwa Bregada Menoreh lebih eksplosif dari Bregada Ijo dan Bregada Gajah.

Ukuran butiran dan kehadiran tuf yang relatif seimbang menyebabkan bentuk lereng pada Bregada Menoreh terjal. Erosi vertikal lebih dominan yang diikuti dengan runtuhnya. Oleh karena itu pada Bregada Menoreh banyak lereng yang membentuk dinding dengan yang menunjukkan dominasi tuf. Bahkan pada erosi yang sudah berkembang intensif terdapat pula tiang-tiang ber dinding terjal. Geomorfologi Bregada Menoreh berbeda dengan Bregada Gajah dan Bregada Ijo.

Dari komposisi batuan Bregada Menoreh yang menunjukkan fase lanjutan dari evolusi magma Bregada Ijo dan Bregada Gajah maka dapat disimpulkan bahwa ketiga bregada berasal dari satu sumber magma. Batuan yang paling basa dimulai pada Bregada Ijo bersamaan dengan Bregada Gajah. Kegiatan pada Bregada Gajah berhenti, sedangkan pada Bregada Ijo berlanjut. Pusat kegiatan kemudian bergeser ke utara dengan pembentukan Bregada Menoreh.

Evolusi magma berlanjut dan menghasilkan batuan yang relatif asam pada kegiatan Bregada Menoreh. Perkembangan sesar

regional ke arah utara tidak berlanjut dan berhenti di lokasi Bregada Menoreh. Secara hipotetik posisi magma dari ketiga bregada tersebut dapat digambarkan sebagai pohon yang pipih karena menerobos sepanjang sesar regional (Gambar 6).

Oleh karena di dalam pemetaan geologi gunung api berbasis SSI kedudukan pusat letusan merupakan kunci, maka telah dicoba dilakukan interpretasi perkembangan dan pertumbuhan magma pada Kompleks Gunung Api Pegunungan Kulonprogo tersebut (Gambar 7).

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Aplikasi konsep stratigrafi gunung api berdasarkan SSI, memberikan peluang dalam pemetaan geologi gunung api dengan lebih rinci;
2. Pemetaan geologi di wilayah gunung api dengan aplikasi konsep SSI dapat merekam sejarah kegiatan gunung api dalam ruang dan waktu dengan lebih runut. Berbagai hal dapat terungkap, seperti antara lain evolusi magma dan perkembangan tektonik;
3. Perjalanan sejarah pembentukan Pegunungan Kulonprogo dapat diikuti dengan lebih rinci dengan cara memisahkan setiap bregada dan mendelineasi produk yang dihasilkannya. Hal ini dapat dilakukan dengan mengaplikasikan konsep fasies di dalam stratigrafi gunung api;
4. Dalam pemetaan gunung api berdasarkan konsep SSI, kegiatan tektonik dilibatkan. Busur merupakan satuan stratigrafi gunung api yang paling besar. Terdapat keterkaitan antara vulkanisme dengan kegiatan tektonik.

B. Saran

1. Disarankan agar seluruh kegiatan pemetaan geologi gunung api dapat mengaplikasikan konsep stratigrafi gunung api sebagaimana tercantum dalam Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI);
2. Oleh karena panjangnya busur tektonik di Indonesia, disarankan untuk dapat membagi setiap busur dalam segmen-segmen yang terkait dengan lokasi gunung api yang dipetakan;
3. Peta geologi gunung api individual yang sudah ada disarankan untuk diolah dengan tambahan unsur bregada, khuluk dan identifikasi gumuk, genesis dan analisis fasies dengan memanfaatkan data yang sudah tersedia pada peta gunung api tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

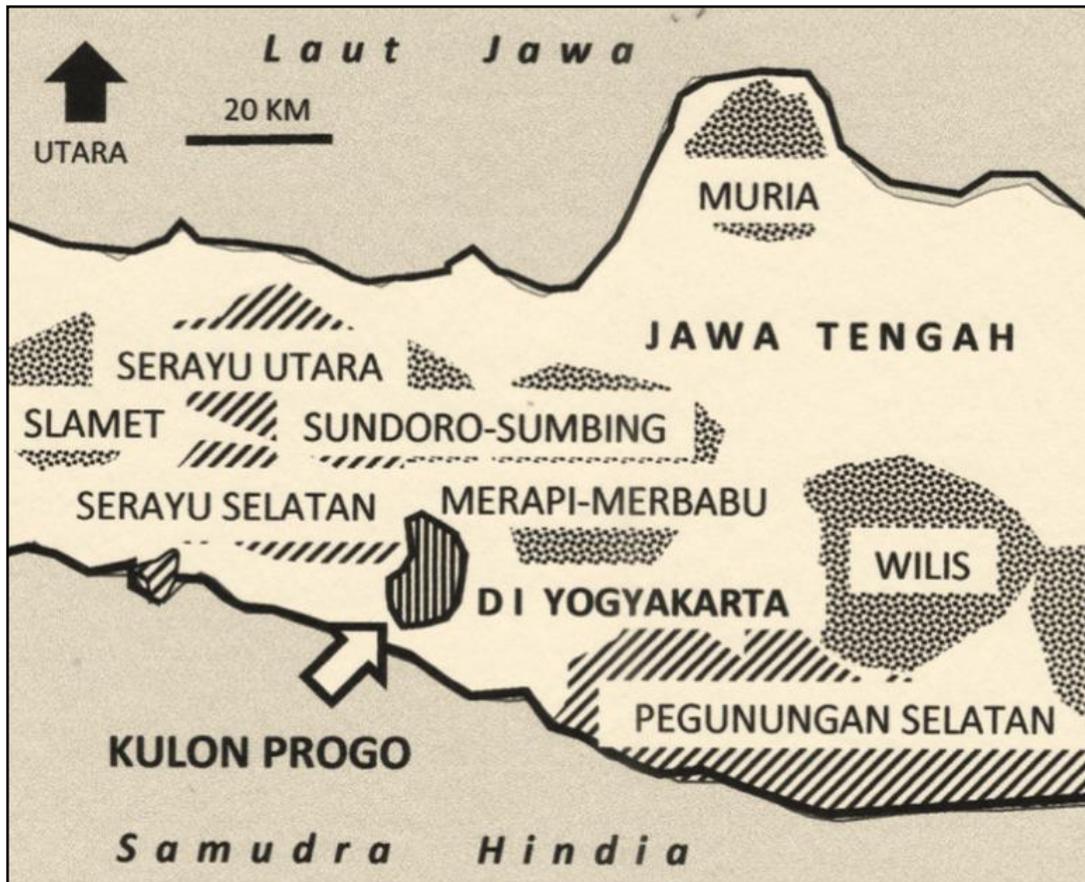
Penulis mengucapkan terimakasih kepada pimpinan Fakultas Teknik Geologi atas kesempatan untuk melakukan riset di

daerah Kulonprogo dalam kerangka pembimbingan pendidikan Doktor. Ucapan yang sama disampaikan kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) fasilitas dan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cas, R. A. F. & Wright, J. V. 1987. Volcanic Succession: Modern and Ancient. Allen & Unwin. London. 534 hal.
- Geological Survey of Indonesia. 1961. Atlas Stratigraphic Lexicon of Indonesia. Publikasi Keilmuan No. 31 A - Seri Geologi. Djawatan Geologi Bandung. 135 h dengan lampiran
- Hall, R. 2002. Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific. Computer-Based Reconstructions, Model and Animations. Journal of Asia Earth Sciences. 20 p 353-431. doi 10.1016/s1367-9120.11144/1354-079309-830
- Hamilton W. 1979. Tectonics of Indonesian Region. US Geological Survey Professional Paper 1078
- Hartono, G. H. 2010. Peran Paleovulkanisme dalam Tataan Produk Batuan Gunung Api Tersier di Gunung Gajahmungkur, Wonogiri, Jawa Tengah. Disertasi. Unpad. Bandung. 335 h. Tidak diterbitkan.
- Hartono, G.H. 2024. Teknik Pemetaan Gunung Api. ITNY Press. 63 h. ISBN 978-623-09-9810-2. Modifikasi. Sumber gambar busur: Darman, H & Sidi, F.(Ed.).2000. An outline of the Geology of Indonesia. IAGI. ISBN 979-8126-04-1
- Ikatan Ahli Geologi Indonesia. 1973, 1996, 2023. Sandi Stratigrafi Indonesia. Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. Pengurus Pusat Ikatan Ahli Geologi Indonesia. 42 hal.
- Katili, J A. 1975. Volcanism and Plate Tectonics in the Indonesian Island Arcs. Tectonophysics. h.165-188
- Marks, P. 1957. Stratigraphic Lexicon of Indonesia. Publikasi Keilmuan No. 31 - Seri Geologi. Pusat Djawatan Geologi Bandung. 233 h dengan lampiran peta
- Pambudi, S., Isnaniawardhani, V., Winantris, Sudradjat A. 2017. Microfacies of Lower Jongrangan Formation at Brajan Section, Banjararum, Kulonprogo, Indonesia. The 2nd Joint Conference of Utsonomiya University and Universitas Padjadjaran. Nov 24, 2017.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H.M.D. 1977, 1995. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa. Sekala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- Soeria-Atmadja R., C. Maury, H. Belon, H. Pringgoprawiro, M. Polves, B. Priyadi.

1994. Tertiary Magmatic Belts in Java, Journal of Southeast Asian Earth Sciences. v. 9, n. 1/2 h. 13-27
- Syafri, I, Budiadi, E. and Sudradjat, A. 2013. Geotectonic Configuration of Kulon Progo Area, Yogyakarta, Indonesia. Indonesian Journal of Geoscience, v. 8 n. 4, h 185-190
- van Bemmelen, R.W., 1949. 1970. The Geology of Indonesia. Martinus Nijhoff. The Hague. 732 h
- Williams & McBirney. 1979. Volcanology. Freeman, Cooper & Co. San Francisco. 397 h
- Winarti, Sukiyah, E., Syafri, I, Nur, A.A. 2021. Kontak Formasi Nanggulan dan Andesit Tua di Gunung Mujil, Kulon Progo, Yogyakarta, Jurnal Kurvatek. v.6, n.1, h 117-124
- Wirakusumah, A.D. 2012. Gunung Api, Ilmu dan Aplikasinya. Edisi khusus Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 203 halaman. ISBN 978-979-551-031-4



Gambar 1. Lokasi Pegunungan Kulonprogo yang mencakup Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta

Tabel 1. Tingkatan satuan dalam Stratigrafi Gunung Api berdasar SSI (1996, 2023)

Umur		Perioda kegiatan	Satuan Stratigrafi				Kegiatan Erupsi	Satuan Batuan												
Relatif	Absolut		Mg	Br	Khu	Gm		Primer						Sekunder						
								k	l	j	a	s	ll	f	lg	lh	fr			

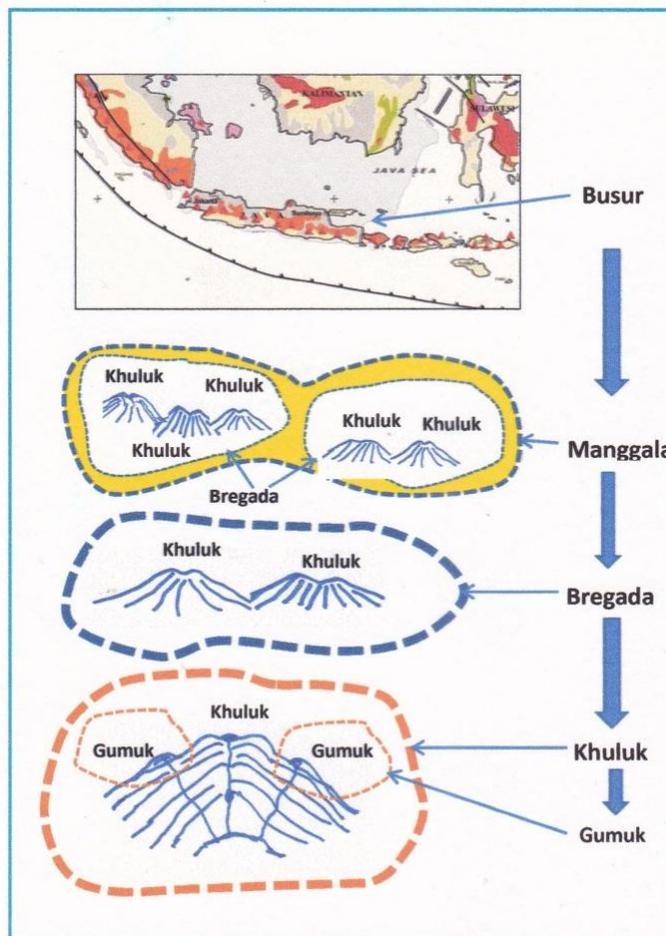
Keterangan: Mg (Manggala), Br (Bregada), Khu (Khuluk), Gm (Gumuk), k (kubah lava), l (lava), j (piroklastika jatuhan), k (piroklastika aliran), s (endapan awan pijar, surge), ll (lahar letusan), f (freatomagmatik), lg (longsoran gunung api), lh (lahar) dan fr (freatik). Pada kolom Kegiatan Erupsi dijelaskan satuan batuan tersebut sebagai hasil erupsi pusat, samping atau eksentrik

Tabel 2. Satuan litologi batuan gunung api di Kulonprogo

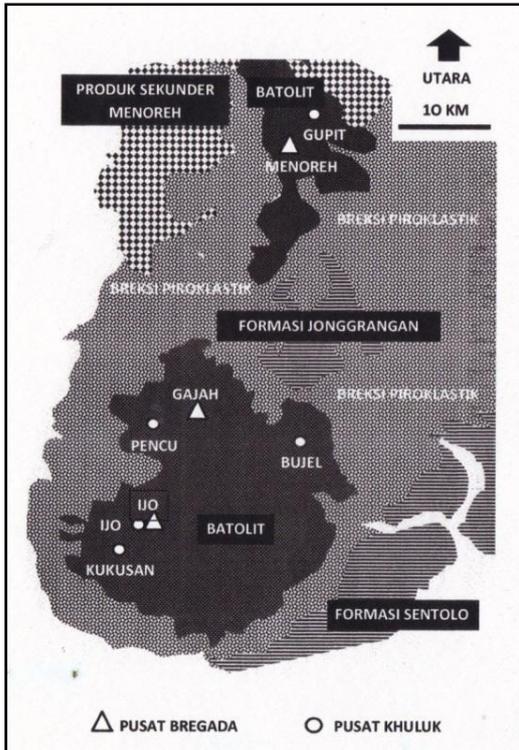
Tengah	Selatan Baratdaya	Utara Timurlaut
Gunung Gajah	Gunung Ijo	Menoreh
		Andesit trachi
	Dasit	Dasit
	Andesit hornblende augit	Andesit hornblende augit
Basaltik piroksen	Andesit piroksen basaltik	

Tabel 3. Konsep dasar stratigrafi batuan gunung api Kulonprogo berdasar SSI

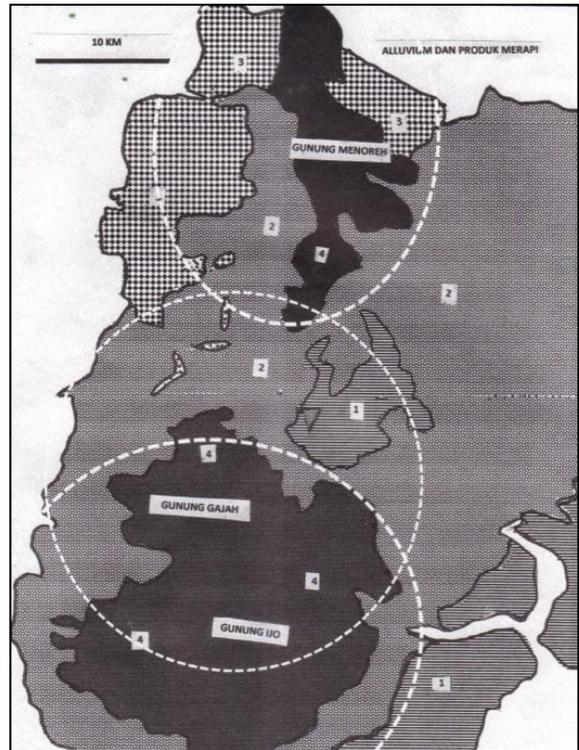
OLIGO - MIOSEN	22,64 ± 1,13 - 29,63 ± 2,26 my	Busur Sunda Purba Segmen Jawa Tengah	Manggala Kulonprogo	Bregada Menoreh	Khuluk Gupit	Lava	andesit trachi
						Gumuk	intrusi dasit
						Piroklastik jatuhan	breksi andesit hornblende augit
				Bregada Gajah	Khuluk Bujel Khuluk Pencu	Piroklastik jatuhan	breksi basaltik piroksen
						lava	basaltik piroksen
						Batolit	basaltik piroksen
				Bregada Ijo	Khuluk Ijo Khuluk Kukusan	Gumuk	intrusi dasit
						Piroklastik jatuhan	breksi andesit hornblende augit
						Gumuk	intrusi andesit basaltik
						Batolit	andesit piroksen basaltik



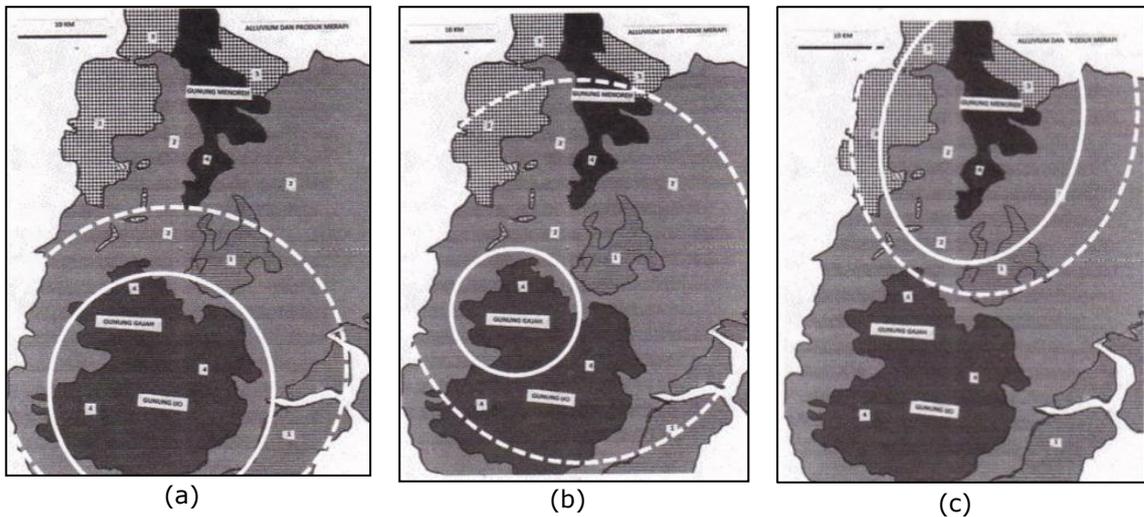
Gambar 2. Ilustrasi terminologi urutan stratigrafi batuan gunung api berdasar SSI (Hartono, 2024; modifikasi)



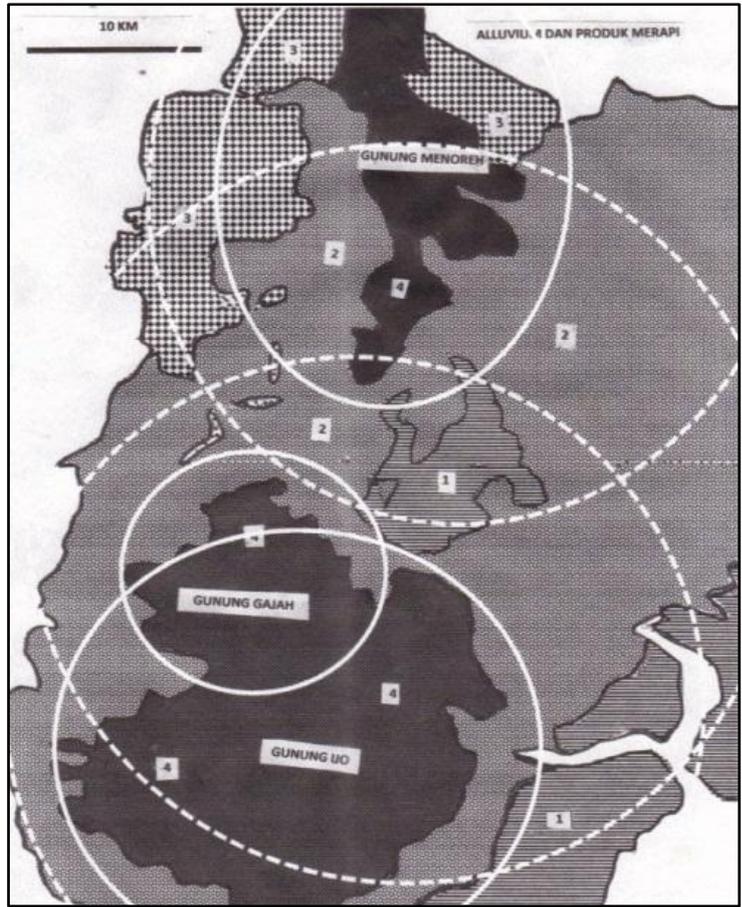
Gambar 3. Bregada dan khuluk beserta lokasinya



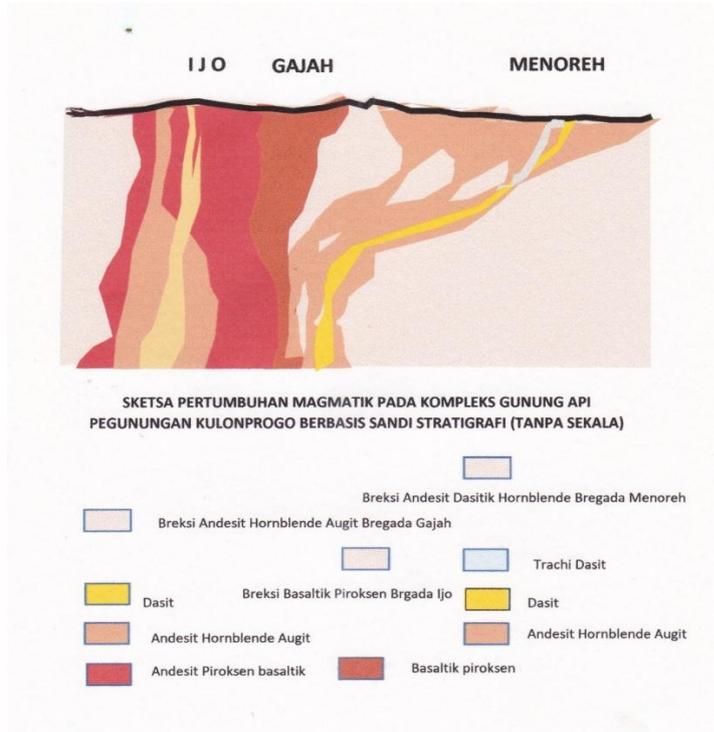
Gambar 4. Delineasi bregada berdasar pusat letusan



Gambar 5. Delineasi bregada beserta identifikasi fasies produk letusan. (a) Bregada Ijo, (b) Bregada Gajah dan (c) Bregada Menoreh. Keterangan: batolit (hitam) breksi (abu-abu), produk sekunder Manoreh (abu muda) dan batuan sedimen Jonggrangan dan Sentolo (garis mendatar) serta alluvium dan produk Merapi (putih)



Gambar 6. Peta gabungan deliniasi tiga bregada dan interpretasi fasies. (Keterangan: garis menerus menunjukkan fasies proksimal garis terputus fasies medial)



Gambar 7. Analisis pertumbuhan magma pada Kompleks Gunungapi. Pegunungan Kulonprogo berbasis aplikasi Sandi Stratigrafi Indonesia yang menekankan sumber letusan sebagai salah satu penciri satuan batuan