

SINOPSIS

Stratigrafi gunung api Indonesia menggambarkan urutan sejarah pembentukan dan pertumbuhan sebuah gunung api. Satuan batuan hasil letusan gunung api dikombinaskan dengan cara pembentukannya merupakan konses dasar vulkanostratigrafi. Hal ini sangat berbeda dengan konsep pembentukan batuan sedimen yang berbasis pengendapan secara gravitasi mengikuti kaidah Steno.

Gunung api di Indonesia berasosiasi dengan busur gunung api laut. Oleh karena itu transisi antara lingkungan darat dan lingkungan laut mendominasi geologi Indonesia.

Buku ini mencoba memberikan gambaran tentang konsep dasar tersebut, probelamatika di daerah transisi dan saran solusi penyelesaiannya. Dengan penerapan konsep vulkanostratigrafi diharapkan unit-unit satuan peta dalam pemetaan geologi dapat dideskripsi dengan lebih rinci.

BUDI MULJANA
ILDREM SYAFRI
ADJAT SUDRAJAT

EDISI PERTAMA
2026



PERAN STRATIGRAFI
GUNUNG API DALAM
SEJARAH GENESIS VULKANIK



PENERBIT GALERI PADI

**BUDI MULJANA
ILDREM SYAFRI
ADJAT SUDRADJAT**

**PERAN STRATIGRAFI
GUNUNG API DALAM
SEJARAH GENESIS
VULKANIK**



Penerbit Galeripadi
2026

PERAN STRATIGRAFI GUNUNG API DALAM SEJARAH GENESIS VULKANIK

@Budi Muljana, Ildrem Syafri dan Adjat Sudradjat

Pengarang : **Budi Muljana, Ildrem Syafri
dan Adjat Sudradjat**
Redaksi : **Nana Sulaksana**

Penerbit :
Penerbit Galeri Padi
Anggota IKAPI
No:343/JBA/2019
Jalan Ir H Juanda 329 Bandung 40135
Email asudradjat@yahoo.com

ISBN

Hak cipta dilindungi Undang-undang
Pasal 77 UU No 19 tahun 2002
All right reserved

KATA PENGANTAR

Buku tentang stratigrafi gunung api dan sejarah genesis vulkanik ini merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para penulis. Buku ini cukup penting sebagai pegangan mahasiswa di dalam memahami geologi Indonesia, khususnya dalam pemetaan geologi di daerah transisi antara endapan produk gunung api di daratan dan sedimentasi di lingkungan laut.

Kondisi geologi Indonesia yang sebahagian besar berasosiasi dengan busur gunung api laut, menyebabkan batuan yang terbentuk merupakan batuan transisional. Oleh karena itu dalam pemetaan geologi seringkali dijumpai satuan peta yang menyatukan facies batuan gunung api dan batuan sedimen dalam satu satuan “tak terbedakan” (*undifferentiated*).

Dengan menerapkan konsep stratigrafi gunung api sebagaimana dipandu oleh Sandi Stratigrafi Indonesia, maka pemetaan lebih rinci satuan peta dapat dilakukan. Dengan demikian sejarah pembentukan gunung api dapat dengan lebih runut ditelusuri.

Para penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pimpinan Fakultas Teknik Geologi dan pimpinan Universitas Padjadjaran atas dorongan untuk menerbitkan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat.

Para penulis,
Budi Muljana, Ildrem Syafri, Adjat Sudradjat

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Pendahuluan	6
1.2. Definisi Vulkanostratigrafi	11
1.3. Sebaran gunung api di tatanan teori tektonik lempeng .	14
1.4. Karakteristik Khas Gunung Api Zona Konvergen	17
1.5. Dua Tipe Utama Vulkanisme Divergen	27
BAB 2 VULKANOSTRATIGRAFI DALAM SANDI	
STRATIGRAFI INDONESIA.....	34
2.1. Vulkanostraigrafi dalam Sandi Stratigrafi Indonesia ...	36
BAB 3 VULKANOSTRATIGRAFI VS LITOSTRATIGRAFI.....	38
3.1. Pendahuluan	39
3.2. Tantangan Penerapan Hukum Superposisi dalam Vulkanostratigrafi.....	40
3.3. Hubungan Timbal Balik	49
BAB 4 PRINSIP DASAR PENYUSUNAN VULKANO STRATIGRAFI	49
4.1. Tujuan penetapan Satuan Gunung Api.....	49
4.2. Identifikasi Pusat Erupsi	50
4.3. Pemetaan Berbasis Satuan Vulkanik	52
4.4. Analisis Hubungan Fisik Antar Endapan	55
4.5. Penggunaan Konsep Hierarki Satuan	55
4.6. Tahapan dalam Pemetaan Gunung Api.....	65
BAB 5 PARAMETER FISIK BATUAN, PETROGRAFI DAN GENESIS.....	85
5.1. Parameter Fisik	87
5.1.1. Tekstur Batuan	87
5.1.2. Struktur Batuan.....	96
5.1.3. Litologi dan Komposisi.....	99
5.2. Parameter Genesis dalam Volcanostratigrafi.....	105
5.2.1. Parameter Kunci dalam Menentukan Genesis Batuan Vulkanik	106

BAB 6 POKOK-POKOK PERMASALAHAN DAN SOLUSI	
DALAM VULKANOSTRATIGRAFI	116
6.1 Penamaan batuan vulkanik Tersier pada zona	
Transisi <td>120</td>	120
6.2 Penamaan istilah pada nama batuan vulkanik.....	129
6.3 Penerapan Prinsip Superposisi	131
6.4 Korelasi batuan gunung api.....	139
6.5 Penerapan Stratigrafi dalam analisis evolusi	
gunung api.....	145
6.6 Solusi	150
DAFTAR PUSTAKA	156
GLOSARIUM TERMINOLOGI TERPILIH	162

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan dengan lebih kurang 130 gunung api aktif tersebar di seluruh wilayahnya. Setiap gunung api tersebut mempunyai karakter pembentukannya sendiri, sehingga sejarah pertumbuhannya perlu dipahami dengan baik. Sejarah gunung api tersebut diamati baik yang terjadi pada saat peradaban manusia belum ada ataupun sudah ada. Studi khusus mengenai pemahaman gunung api api adalah volkanostratigrafi.

Beberapa penulis telah mendefinisikan pengertian dari vulkanostratigrafi seperti Tjia pada tahun 1981 dalam paper yang diterbitkan oleh Bulletin Departemen Teknik Geologi ITB, menyatakan bahwa: “*Volcanostratigraphy concerns the study of the sequence of records of volcanic-activity, especially activity that is not witnessed by volcanologist,*” dan

beliau menyatakan bahwa ada tiga parameter yang perlu dipahami dalam studi vulkanostratigrafi, yaitu :

- a. Pemetaan gunung api,
- b. proses pembentukan produk dari vulkanisme, dan
- c. penentuan umur dari setiap produk vulkanismenya.

Pendapat lain dari Groppelli dan Molist (2013), menyatakan bahwa “*The volcanic stratigraphy is a fundamant subject of field studies in volcanic areas to generate geological maps, to reconstruct the volcanological evolution and eruptive dynamics, to study the physical volcanology and Tephrostratigraphy*”. Pendapat kedua ini pada dasarnya sama yaitu ingin mengetahui karakter pada setiap gunung api tersebut dengan baik. Satu hal mendasar yang perlu diperhatikan adalah hampir semua gunung api Kuarter di Indonesia mempunyai bentuk strato dengan beberapa variasinya. Marti dan kawan- kawan (2018) menyatakan bahwa, “*Volcanic stratigraphy is a fundamental component of geological mapping in volcanic areas as it yields the basic criteria and essential data for identifying the spatial and*

temporal relationships between volcanic products and intra/inter-eruptive processes (earth- surface, tectonic and climatic), which in turn provides greater understanding of the geological evolution of a region”.

Pada pernyataan ini menyatakan bahwa studi vulcanostratigrafi adalah hal mendasar untuk dalam memahami karakter suatu gunung api.

Sukhyar (1982) dalam papernya di konferensi Ikatan Ahli Geologi Indonesia tahun 1982 menyitir pendapat dari Tjia (1981) mengenai definisi dari vulcanostratigrafi. Akan tetapi penulis menambahkan bahwa vulcanostratigrafi adalah konsep yang mempelajari karakter atau tingkah laku suatu gunung api, baik yang tercatat dalam Sejarah manusia ataupun yang tidak.

Pendapat lain menurut Situmorang dan Astadireja (1983) menjelaskan bahwa “Vulkanostratigrafi adalah suatu cara pengelompokan bersistem urutan endapan atau batuan gunung api Kuarter menjadi beberapa satuan Bernama”. Perlu diketahui pada tahun paper ini muncul di Konferensi Ikatan Ahli Geologi di

Yogyakarta tahun 1983, konsep pemetaan geologi gunung api yang diterbitkan oleh badan geologi masih menggunakan konsep Litostratigrafi. Pengusulan perubahan konsep itu baru terjadi setelah dilakukan revisi Sandi Stratigrafi Indonesia di tahun 1996. Pada Sandi Stratigrafi Indonesia tahun 1996 ini mulai dipandang perlunya ada tatanama tersendiri untuk pemetaan gunung api Kuarter di Indonesia. Pada paper ini juga penulis menyatakan secara eksplisit bahwa vulcanostratigrafi adalah suatu konsep pemetaan Geologi untuk gunung api Kuarter (Muljana, 2024).

Groppelli dan Molist pada tahun 2013 memberikan pendapat mengenai vulcanostratigrafi, yaitu “*the volcanis stratigraphy is a fundament subject of field studies in volcanic areas to generate geological maps, to reconstruct the volcanological evolution and eruptive dynamic, to study the physical volcanology and tephrostraigraphy*”. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat di simpulkan bahwa studi vulcanostratigrafi berbasis pada data lapangan suatu

gunung api. Walaupun tidak dinyatakan secara jelas umur dari gunung api tersebut, seperti yang dinyatakan oleh Situmorang dan Astadireja (1983).

Bronto dkk (2016) dalam papernya yang berjudul *Volcanostratigraphy for supporting geothermal exploration*, menyatakan bahwa vulcanostratigrafi adalah “*stratigraphy related to volcanism and its products. This includes stratigraphy for a general scoping of regional area and detailed analysis in a local area*”. Walaupun berkaitan dengan explorasi panasbumi yang biasanya dilakukan pada daerah gunung api Kuarter, akan tetapi definisi yang disampaikan tidak menunjukkan hal tersebut.

Berdasarkan pendapat-pendapat para peneliti terdahulu tersebut mempunyai suatu kesamaan yaitu pertama- tatanama pembagian unit-unit batuan sebagai produk gunung api memerlukan tatanama tersendiri yaitu konsep vulcanostratigrafi; kedua- pemberian nama pada unit batuan secara mudah diberlakukan pada gunung api Kuarter. Hal ini didasarkan pada kenampakan morfologi gunung

apinya masih terlihat dan dapat teramati dengan baik; ketiga-konsep vulcanostratigrafi adalah konsep yang berbasis pada data lapangan akan tetapi hasil petanya dapat menggambarkan genetic suatu gunung api. Sehingga evolusi suatu gunung api dalam kerangka ruang dan waktu dapat teramati dengan jelas.

1.2. Definisi Vulkanostratigrafi

Vulkanostratigrafi adalah cabang ilmu stratigrafi yang secara khusus mempelajari tatanan, hubungan, dan urutan perlapisan batuan yang terbentuk oleh aktivitas vulkanik (gunung api).

Berbeda dengan stratigrafi pada umumnya (litostratigrafi) yang mendasarkan klasifikasi pada jenis dan ciri fisik batuan, vulcanostratigrafi memiliki pendekatan yang unik dengan menjadikan peristiwa letusan dari sumber (gunung api) tertentu sebagai dasar utamanya.

Secara lebih rinci, definisi vulcanostratigrafi mencakup beberapa kekhusan, yaitu:

- a. **Studi Urutan Aktivitas Vulkanik: Tujuan**

utamanya adalah untuk merekonstruksi sejarah letusan sebuah gunung api atau suatu kawasan vulkanik. Ini meliputi pemahaman tentang kapan letusan terjadi, apa saja jenis material yang dikeluarkan, dan bagaimana proses pengendapannya.

- b. **Berbasis Sumber dan Waktu:** Sebuah satuan vulcanostratigrafi tidak hanya didefinisikan oleh jenis batuannya (misalnya lava atau endapan abu), tetapi harus terikat pada sumber erupsi (kawah atau kaldera) dan waktu kejadian yang spesifik. Batuan dengan ciri fisik yang sama bisa saja digolongkan dalam satuan yang berbeda jika berasal dari letusan atau gunung api yang berbeda.
- c. **Mempelajari Hubungan Geometris yang Kompleks:** Endapan vulkanik seringkali tidak mengikuti hukum superposisi (lapisan bawah lebih tua dari lapisan atas) secara sederhana. Vulkanostratigrafi menganalisis hubungan yang rumit seperti endapan yang mengisi lembah,

saling potong-memotong (*cross-cutting*), atau menumpang di atas topografi yang tidak rata.

- d. **Menggunakan Satuan Khusus:** Menurut Sandi Stratigrafi Indonesia, satuan dasar resmi dalam vulcanostratigrafi adalah Khuluk, yaitu kumpulan batuan yang membentuk satu tubuh gunung api. satu episode erupsi spesifik.

Secara sederhana, vulcanostratigrafi adalah ilmu untuk membaca dan menyusun "buku sejarah" sebuah gunung api berdasarkan jejak-jejak lapisan produk letusannya yang tersingkap di alam. Jika Geologi Sejarah adalah "buku" yang menceritakan riwayat panjang planet kita, maka Vulkanostratigrafi adalah penyedia penanda halaman (*bookmark*) dan catatan pinggir (*footnote*) beresolusi tinggi yang memungkinkan kita membaca buku tersebut dengan akurasi dan detail yang luar biasa.

Hubungan keduanya sangat fundamental: vulcanostratigrafi memberikan kerangka waktu dan peristiwa yang sangat presisi, yang menjadi fondasi bagi interpretasi proses-proses lain dalam geologi

sejarah.

Berikut adalah beberapa peran kunci vulcanostratigrafi dalam konteks geologi sejarah:

1. Penyedia Penanda Waktu Geologis yang Akurat (*Time Markers*)

Peristiwa geologis dalam sejarah Bumi seringkali berlangsung sangat lambat (jutaan tahun). Namun, letusan gunung api adalah peristiwa yang secara geologis terjadi seketika (*geologically instantaneous*). Lapisan abu vulkanik (*tephra*) dari sebuah letusan besar dapat menyebar hingga ribuan kilometer dan diendapkan dalam waktu beberapa hari atau minggu. *Tephrochronology*: Ini adalah teknik andalan dalam vulcanostratigrafi. Setiap lapisan tephra memiliki "sidik jari" geokimia yang unik. Dengan mengidentifikasi lapisan tephra yang sama di berbagai lokasi—misalnya di dasar laut, danau, lapisan es, dan situs arkeologi— kita dapat mengkorelasikan catatan sejarah dari berbagai lingkungan tersebut dengan presisi tinggi. Ini membuktikan bahwa semua peristiwa yang terekam tepat di bawah lapisan abu tersebut

terjadi sebelum letusan, dan yang di atas terjadi setelahnya.

2. Kalibrasi dan Penentuan Laju Proses Geologi

Dengan adanya penanda waktu yang presisi dari letusan vulkanik, ahli geologi sejarah dapat menghitung laju (kecepatan) berbagai proses geologis dengan lebih akurat.

Laju Sedimentasi: Dengan menemukan dua lapisan abu vulkanik yang umurnya sudah diketahui dalam sebuah sekuen batuan sedimen, kita bisa menghitung berapa banyak sedimen yang terendapkan per seribu tahun di antara dua letusan tersebut.

Laju Pergerakan Sesar: Jika sebuah lapisan lava atau abu terpotong oleh sesar, umur lapisan tersebut memberikan batasan waktu maksimal kapan pergeseran itu terjadi.

Laju Evolusi dan Kepunahan: Lapisan abu dapat "membingkai" waktu terjadinya suatu peristiwa biologis.

Misalnya, jika fosil suatu spesies hanya ditemukan di bawah lapisan abu letusan X, ini memberikan bukti kuat bahwa spesies tersebut punah sebelum atau saat letusan itu terjadi.

3. Rekonstruksi Iklim dan Lingkungan Purba

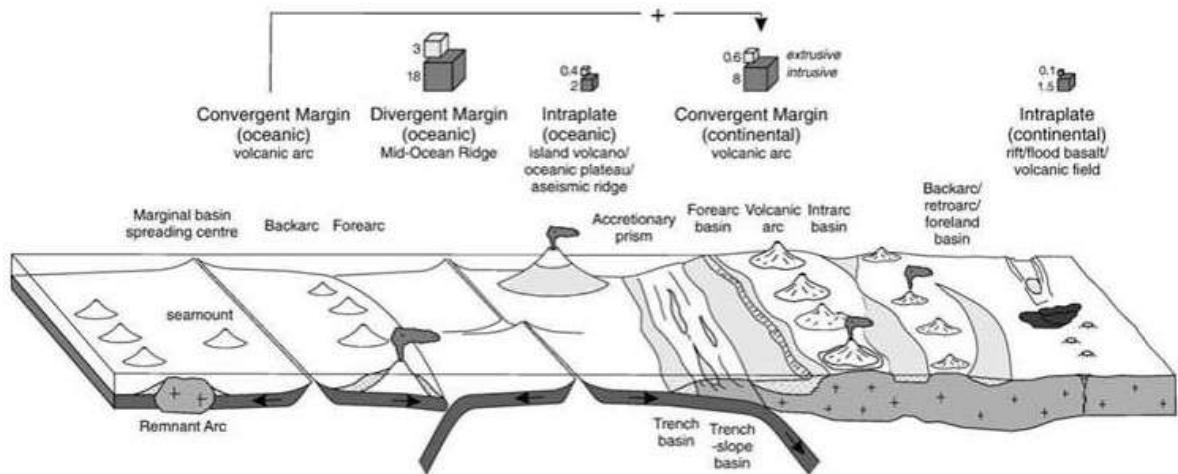
Letusan gunung api, terutama yang berskala besar, dapat memiliki dampak signifikan terhadap iklim global. Vulkanostratigrafi membantu menempatkan peristiwa iklim ini dalam garis waktu yang jelas.

Sandi Stratigrafi Indonesia tahun 1996 dan 2023 pada Bab III mengenai Satuan Stratigrafi Indonesia menyatakan bahwa penyusunan unit batuan hasil produk gunung api dimaksudkan untuk menata batuan tersebut berdasarkan urutan kejadian agar evolusi gunung api mudah dipelajari dan dimengerti.

1.3. Sebaran gunung api di tatanan teori tektonik lempeng

Sebaran gunung api dalam kaitannya dengan teori tektonik lempeng diperlihatkan pada gambar 1.1. Gunung api terbentuk sepanjang batas lempeng

dimana hampir 80% terbentuk di permukaan kaitannya dengan mekanisme *convergent margin*, 15 % berada di zona *divergent margin* pada *mid-ocean ridges* atau *intracontinental rifts* dan sisanya 5% di zona *intraplate* (Fisher dan Schmincke, 1984).



Gambar 1. 1 Sebaran pembentukan gunung api dalam tatanan teori tektonik lempeng (Fisher dan Schmincke, 1984).



Gambar 1. 2 Pola sebaran gunung api yang berhubungan dengan subduksi

<https://education.nationalgeographic.org/resource/plate-tectonics-ring-fire/>

Proses terbentuknya gunung api di zona ini dimulai dari sebuah fenomena geologi yang disebut subduksi. Ketika dua lempeng tektonik bertemu, lempeng yang lebih padat (biasanya lempeng samudra) akan menekuk dan menyusup ke bawah lempeng yang lebih ringan (bisa lempeng benua atau lempeng samudra lainnya).

Saat lempeng yang menunjam ini semakin dalam masuk ke mantel Bumi yang panas, suhu dan tekanan yang ekstrem menyebabkan batuan pada lempeng tersebut serta material sedimen laut yang terbawa mulai meleleh. Proses pelelehan ini juga dibantu oleh adanya air yang terperangkap dalam batuan, yang berfungsi menurunkan titik leleh batuan.

Lelehan batuan ini, yang kita kenal sebagai magma, memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada batuan di sekitarnya. Akibatnya, magma ini akan naik secara perlahan melalui celah-celah di kerak bumi. Sebagian magma mungkin akan mendingin dan membeku di bawah permukaan, namun sebagian lainnya berhasil mencapai permukaan dan meletus, membentuk gunung api.

1.4. Karakteristik Khas Gunung Api Zona Konvergen

Gunung api yang lahir dari zona konvergen memiliki ciri-ciri yang membedakannya dari gunung api di zona lain (seperti zona divergen atau titik panas):

Bentuk Kerucut (Stratovolcano): Umumnya, gunung api di zona ini berbentuk kerucut yang tinggi dan curam, atau dikenal sebagai stratovolcano. Bentuk ini terbangun dari lapisan-lapisan material letusan yang silih berganti antara lava kental dan material piroklastik (abu, lapili, dan bom vulkanik).

Magma Kental dan Kaya Gas: Magma yang dihasilkan dari proses subduksi cenderung bersifat andesitik hingga riolitik. Magma ini lebih kental (viskositas tinggi) dan mengandung banyak gas terlarut (seperti uap air dan karbon dioksida) dibandingkan magma basaltik yang lebih encer.

Letusan Eksplosif: Karena magmanya kental dan kaya gas, tekanan gas di dalam kantung magma akan sulit untuk dilepaskan. Ketika tekanan ini melampaui kekuatan batuan di atasnya, akan terjadi letusan yang sangat dahsyat dan eksplosif. Letusan ini seringkali disertai dengan fenomena berbahaya seperti awan panas (*pyroclastic flow*), aliran lahar, dan hujan abu yang masif.

Rangkaian Gunung Api (Busur Vulkanik): Gunung api

ini tidak terbentuk soliter, melainkan membentuk sebuah barisan atau rantai yang sejajar dengan palung laut (zona di mana lempeng mulai menunjam). Rangkaian ini disebut sebagai busur vulkanik (*volcanic arc*). Jika terbentuk di daratan, disebut busur vulkanik kontinental. Jika terbentuk di lautan, akan menjadi busur kepulauan vulkanik.

Berbeda 180 derajat dari gunung api di zona konvergen yang bersifat merusak, gunung api di zona divergen justru bersifat konstruktif atau membangun. Zona divergen adalah area di mana dua lempeng tektonik bergerak saling menjauh. Aktivitas vulkanik di sini bertanggung jawab atas pembentukan lantai samudra baru dan daratan vulkanik yang unik di dunia.

Proses terbentuknya gunung api di zona ini didasari oleh mekanisme naiknya astenosfer kerana adanya konveksi pada kerak bumi. Konveksi terjadi sebagai suatu siklus, yaitu subduksi di satu sisi dan naiknya astenosfer di sisi lain. Kenaikan astenosfer ini menyebabkan lempeng membuka dan saling menjauh, ter dorong oleh naiknya astenosfer. Astenosfer yang

muncul ke permukaan bumi memiliki komposisi kerak samudera yaitu kaya akan mineral berat dan karena itu bersifat basaltik. Sebagian besar aktivitas ini terjadi jauh di dasar samudra dan tidak terlihat oleh manusia.

1.5. Dua Tipe Utama Vulkanisme Divergen

1. Di Tengah Samudra (Pematang Tengah Samudra): Ini adalah lokasi vulkanisme divergen yang paling umum, menyumbang lebih dari 70% total aktivitas vulkanik di Bumi. Magma basaltik yang naik dari astenosfer membeku, membentuk kerak samudra yang baru. Proses ini menciptakan barisan pegunungan vulkanik bawah laut raksasa yang disebut Pematang Tengah Samudra (*Mid-Ocean Ridge*). Rangkaian ini membentang di seluruh dunia layaknya jahitan pada bola bisbol.
2. Di Daratan (Lembah Retakan): Hal yang sama terjadi di lingkungan kontinen. Namun di tempat ini mekanisme sedikit berbeda, yaitu retakan terjadi sebagai akibat kompresi

dalam pergerakan hanyutnya benua tersebut. Ketika retakan terjadi, maka akan terbentuk lembah besar yang disebut Lembah Retakan (*Rift Valley*). Retakan ini menjadi jalan bagi magma yang berasal dari astenosfer untuk naik ke permukaan dan membentuk gunung api. Seperti juga pada zona divergensi tengah samudra, komposisi magma sangat basa, bahkan relatif cair. Pada zona ini tidak terjadi letusan melainkan kegiatan efusif seperti dikemukakan pada uraian selanjutnya.

A. Karakteristik Khas Gunung Api Zona Divergen

Gunung api di zona ini memiliki sifat yang sangat kontras dengan gunung api Cincin Api:

- Magma Basaltik: Magma yang dihasilkan bersifat basaltik. Ciri utamanya adalah sangat panas, encer (viskositas rendah), dan miskin kandungan gas terlarut.

- Letusan Efusif (Non-Eksplisif): Karena magmanya encer dan gasnya sedikit, tekanan tidak akan menumpuk. Akibatnya, letusan yang terjadi bersifat tenang dan mengalir, atau disebut efusif. Letusan ini biasanya berupa aliran lava yang meluas atau semburan lava (*lava fountain*), bukan ledakan dahsyat yang melontarkan abu ke atmosfer.
- Bentuk Gunung Api Perisai (*Shield Volcano*): Aliran lava basaltik yang encer dapat menyebar jauh sebelum mendingin dan membeku. Tumpukan aliran lava dari waktu ke waktu akan membangun gunung api yang sangat landai dan lebar, menyerupai bentuk perisai. Selain itu, lava juga bisa keluar melalui rekahan panjang di tanah, yang dikenal sebagai *fissure vents*.

Berbeda dengan mayoritas gunung api di dunia yang berbaris rapi di sepanjang batas lempeng (zona konvergen dan divergen), ada tipe gunung api unik

yang muncul secara misterius jauh di tengah-tengah lempeng tektonik. Gunung api ini dikenal sebagai gunung api *intraplate* (*intraplate volcanoes*), yang aktivitasnya tidak dipicu oleh interaksi langsung antar lempeng. Penyebab utama terbentuknya gunung api ini adalah sebuah fenomena yang disebut titik panas (*hotspot*).

B. Proses Terbentuknya: Titik Panas dari Kerak Bumi.

Bagian bawah dari kerak bumi relatif lebih panas dari bagian atas. Oleh karena itu berat jenisnya lebih ringan dan memiliki daya apung (*bouyancy*) yang selalu berusaha untuk menerobos mantel bagian atas. Secara tidak bersistem, di manapun terdapat kerak bumi bagian atas yang lemah, maka kerak bumi dari bawah ini menerobos.

Penerobosan yang paling efisien adalah bentuk jarum berupa titik (*spot*) atau dinamakan jendul (*plume*). Titik Panas (*hot spot*) ini, adalah kolom material batuan yang sangat panas yang naik dari mantel bagian dalam, bahkan mungkin dari

perbatasan inti-mantel.

Mekanisme seperti ini dapat dipahami dari posisi titik panas yang terpaku pada mantel yang dalam yang berada di bawah lempeng tektonik. Oleh karena itu sementara lempeng tektonik di atasnya terus bergerak posisi titik panas selalu berada pada satu tempat. Akibatnya, seiring bergesernya lempeng maka produk titik panas terbawa bergeser dan membentuk serangkaian gunung api. Gunung api yang paling muda dan aktif berada tepat di atas titik panas, sementara gunung-gunung api yang lebih tua dan sudah tidak aktif akan membentuk jejak atau rantai yang menunjukkan arah pergerakan lempeng di masa lalu.

C. Karakteristik dan Contoh Gunung Api Intraplate

Gunung api *intraplate* dapat ditemukan di dua lingkungan utama, yaitu di tengah samudra dan di tengah benua, dengan karakteristik yang sedikit berbeda.

1. Titik Panas di Bawah Lempeng Samudra

Ini adalah tipe yang paling umum dan paling dikenal. Magma yang dihasilkan dari titik panas di bawah kerak samudra yang tipis bersifat basaltik, yang sangat panas, encer, dan miskin gas.

- **Bentuk Gunung Api:** Karena lavanya sangat encer, letusannya bersifat efusif (mengalir tenang). Aliran lava ini menyebar luas sebelum mendingin, membangun gunung api raksasa dengan lereng yang sangat landai, yang dikenal sebagai gunung api perisai (*shield volcano*).
- **Contoh Paling Ikonik:** Kepulauan Hawaii Rantai Kepulauan Hawaii di tengah Lempeng Pasifik adalah contoh buku teks dari vulkanisme titik panas. Titik panas saat ini berada di bawah Pulau Besar Hawaii, membuatnya menjadi lokasi gunung api paling aktif

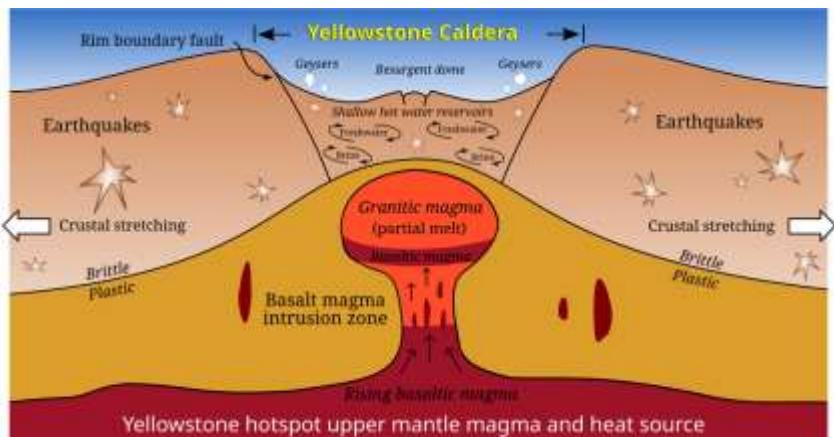
seperti Kīlauea dan Mauna Loa. Seiring Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat laut, terbentuklah jejak rantai pulau-pulau yang lebih tua dan tidak aktif, seperti Maui, O'ahu, dan Kaua'i. Bahkan, di sebelah tenggara Pulau Besar, sebuah gunung api bawah laut baru bernama Loa sedang dalam proses pembentukan dan suatu saat akan muncul ke permukaan.

2. Titik Panas di Bawah Lempeng Benua

Ketika titik panas berada di bawah lempeng benua yang jauh lebih tebal dan kompleks, interaksinya menjadi lebih rumit dan seringkali lebih eksplosif.

- **Bentuk Gunung Api:** Panas dari sembulan mantel akan melelehkan batuan kerak benua yang kaya akan silika. Hal ini menghasilkan magma yang lebih kental (riolitis) dan kaya gas, yang dapat menyebabkan letusan

supervulkanik yang sangat dahsyat. Letusan ini tidak membangun gunung kerucut yang tinggi, melainkan bisa menghancurkan area yang luas dan meninggalkan kawah raksasa yang disebut kaldera.

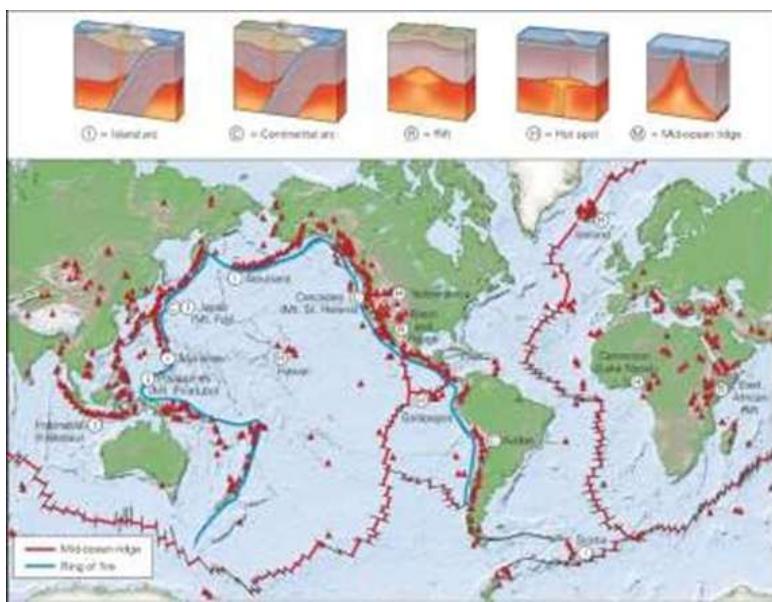


Gambar 1. 3 Penampang kaldera Yellowstone
https://en.wikipedia.org/wiki/Yellowstone_Caldera#/media/File:Yellowstone_Caldera.svg

- **Contoh Paling Ikonik:** Kaldera Yellowstone
Terletak di Amerika Serikat, Taman Nasional Yellowstone adalah sebuah supervulkano aktif yang ditenagai oleh titik panas benua.

Titik panas ini telah menghasilkan sederetan letusan kaldera raksasa yang terbentuk selama jutaan tahun seiring pergerakan Lempeng Amerika Utara bergerak ke arah barat daya. Letusan terakhirnya sekitar 630.000 tahun yang lalu membentuk Kaldera Yellowstone yang luasnya mencapai 55 x 72 kilometer.

Secara ringkas, gunung api intraplate adalah anomali geografis yang membuktikan bahwa aktivitas vulkanik tidak selalu terjadi di tepi lempeng. Mereka adalah jendela untuk melihat proses dinamis yang terjadi jauh di dalam mantel Bumi, meninggalkan jejak berupa rantai pulau-pulau eksotis di samudra atau kaldera raksasa yang menakutkan di daratan.



Gambar 1. 4 Lokasi pembentukan gunung api (<https://geologylearn.blogspot.com/2016/03/relationship-between-volcanism-and-plate-tectonics.html>).

BAB 2

VULKANOSTRATIGRAFI DALAM SANDI STRATIGRAFI INDONESIA

Kondisi geologi Indonesia dengan sebaran gunung api aktif berumur Kuarter sangatlah banyak. Pada Sandi Stratigrafi Indonesia 1973 pemetaan geologi gunung api termasuk kedalam pembagian satuan Litostratigrafi. Sama halnya dengan yang terdapat pada *North American Stratigraphic Code*, yang menyatakan pembagian unit gunung api merupakan bagian dari Litostratigrafi (*Formal units distinguished content, properties, or physical limits Litostratigraphy Units-* halaman 1569 bagian (g), yaitu, “*Volcanic rock. Mappable distinguishable sequences of stratified volcanic rock should be treated as formations or lithostratigraphic units of higher or lower rank. A small intrusive component of a dominantly stratiform volcanic assemblage may be treated informally*” (Gambar 2.1).

Satuan Stratigrafi gunung api dalam Sandi Stratigrafi

Indonesia tahun 1996 dan 2023 terdapat pada Bab III Satuan Stratigrafi Gunung api. Tingkatan satuan Stratigrafi Gunung api dari kecil ke besar adalah Gumuk, Khuluk, Bregada dan Busur.

Gumuk setara dengan Anggota pada satuan Litostratigrafi, Khuluk sebagai satuan dasar setara dengan Formasi. Sementara itu Bregada setara dengan Kelompok dan Busur itu merupakan skala regional dalam kerangka orogenesa.

Oleh karena itu, peta Geologi Regional Gunung api skala 1 : 100.000 yang dikeluarkan oleh Badan Geologi melakukan pendekatan secara deskriptif dengan satuan Litostratigrafi. Contohnya gambar 2.2 dibawah ini yaitu peta geologi gunung api Papandayan dengan satuan batuannya diberi nama seperti antara lain Batuan Gunung api Muda Papandayan. Pengertian satuan gunung api muda ini adalah posisi lapisan batuan berada dibagian atas dari lapisan lainnya atau melalui pendekatan superposisi. Atau penamaan Batuan Gunung api Tua Tak teruraikan bertujuan untuk menjelaskan unit-unit batuan lainnya

seperti lava, breksi vulkanik atau lapisan tuf yang terbentuk dalam fase yang dapat dibedakan dengan fase lainnya dalam rangkaian proses erupsinya.

NORTH AMERICAN STRATIGRAPHIC CODE¹

North American Commission on Stratigraphic Nomenclature

FOREWORD TO THE REVISED EDITION

By design, the North American Stratigraphic Code is meant to be an evolving document, one that requires change as the field of earth sciences evolves. The revisions to the Code that are included in this 2006 edition encompass a broad spectrum of changes, ranging from a complete revision of the section on Biostatigraphic Units (Articles 48 to 50), several wording changes to Article 58 and its remarks concerning Allostratigraphic Units, updating of Article 8 to incorporate changes in publishing methods over the last two decades, and a variety of minor wording changes to improve clarity and self-consistency between different sections of the Code. In addition, Figures 1, 4, 5, and 6, as well as Tables 1 and Tables 2 have been modified. Most of the changes adopted in this revision arose from Notes 40, 43, and 45 of the Commission, all of which were published in the AAPG Bulletin. These changes follow Code amendment procedures as outlined in Article 24.

We hope these changes make the Code a more usable document to professionals and students alike. Suggestions for future modifications or additions to the North American Stratigraphic Code are always welcome. Suggested and adopted modifications will be announced to the profession, as in the past, by serial Notes and Reports published in the AAPG Bulletin. Suggestions may be made to representatives of your association or agency who are current commissioners, or directly to the Commission itself. The Commission meets annually, during the national meeting of the Geological Society of America.

2006 North American Commission
on Stratigraphic Nomenclature

FOREWORD TO THE 1983 CODE

The 1983 Code of recommended procedures for classifying and naming stratigraphic and related units was prepared during a four-year period, by and for North American earth scientists, under the auspices of the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. It represents the thoughts and work of scores of persons, and thousands of hours of writing and editing. Opportunities to participate in and review the work have been provided throughout its development, as cited in the Preface, to a degree unprecedented during preparation of earlier codes.

Publication of the International Stratigraphic Guide in 1978 made evident some inadequacies of the American Stratigraphic Codes of 1961 and 1979. The Commission considered whether to discard our codes, patch them over, or rewrite them fully, and change the law. We believe it is needed to sponsor a code of stratigraphic practice for use in North America, for we can adapt to new methods and points of view more rapidly than a worldwide body. A timely example was the recognized need to develop means of establishing formal nomenclature [genus and high-grade nomenclature] rock units, an objective that is met in that Code, but not yet in the Guide.

The ways in which the 1983 Code (revised 2005) differs from earlier American codes are evident from the Commission. Some categories have disappeared and others are new, but the Code has evolved from earlier codes and from the International Stratigraphic Guide. Some new units have not yet stood the test of long practice, and conceivably may not, but they are introduced toward meeting recognized and defined needs of the profession. Take this Code, use it, but do not consider it because it contains something new or sets dated interests to you. Innovations that prove unacceptable to the profession will expire without damage to other concepts and procedures, just as did the geologic-climate units of the 1961 Code.

The 1983 Code was apparently somewhat innovative because of (1) the decision to write a new code, rather than to revise the 1979 Code; (2) the open invitation to members of the geologic profession to offer suggestions and ideas, both in writing and orally; and (3) the progress in the earth sciences since completion of previous codes. This report

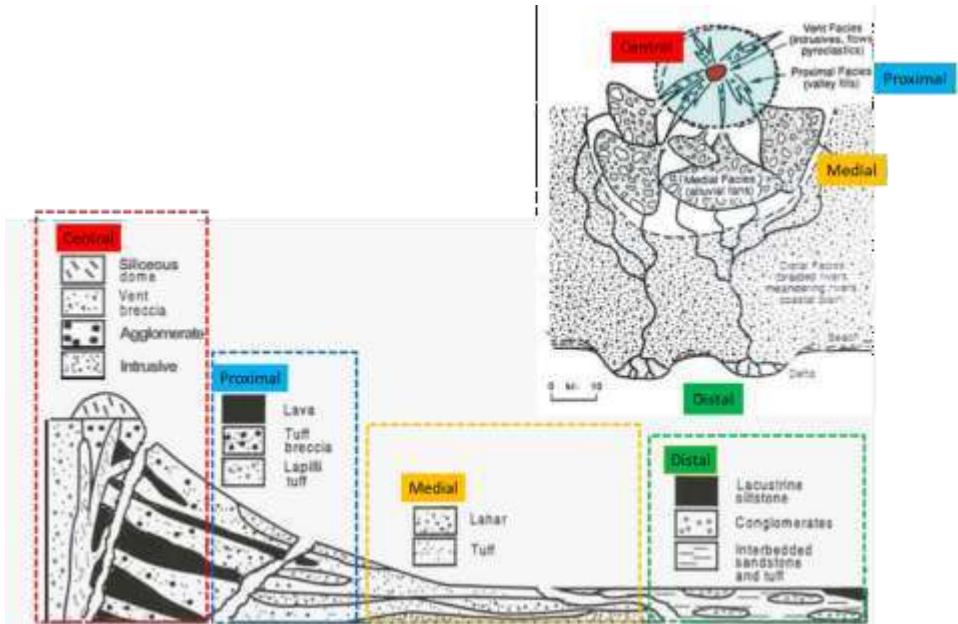
¹Manuscript revised November 12, 2004, presented at session February 10, 2005, revised manuscript received May 15, 2005, final acceptance May 25, 2005, DOI 10.1302/0883-1361-136-1000020.

Gambar 2. 1 North America Commission on Stratigraphic Nomenclatur 1983 (NACSN)

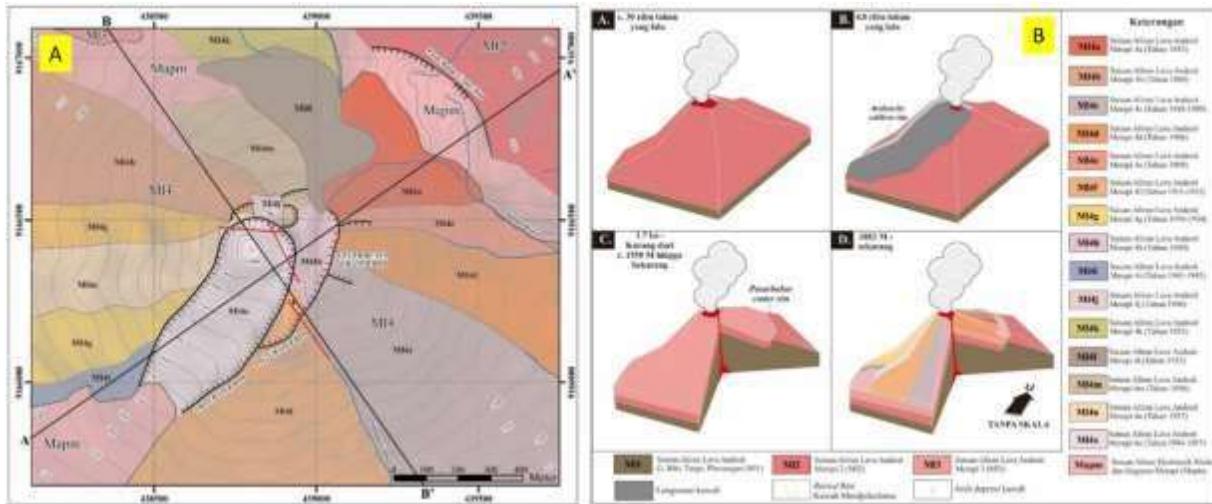


Gambar 2. 2 Peta Geologi Regional gunung api daerah gunung api Papandayan
Alzwar dkk, 1992.

Berdasarkan uraian tersebut maka penamaan satuan gunung api ini tidak mencerminkan proses atau genesa letusan gunung api. Seperti kita ketahui setiap batuan gunung api yang dihasilkan dari hasil kegiatan gunung api akan memberikan karakter tersendiri yang khas dan berbeda satu gunung api dengan gunung api lainnya. Seperti contohnya gunung api Guntur, Cikuray dan Papandayan dengan jarak yang berdekatan tapi mempunyai komposisi magma yang berbeda. Hal ini tercermin pada bentang alam yang dihasilkannya, seperti gunung api Guntur mempunyai penyebaran facies central dan proximal yang sangat luas dibandingkan dengan kedua gunung api lainnya (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3 Facies model gunung api andesitic stratovolcano berdasarkan jarak terhadap pusat erupsi (Bogie dan MaCKenzie, 1998)



Gambar 2. 4 A. Peta geologi puncak Gunung Api Merapi dan sekitarnya; B. Sejarah geologi berdasarkan hasil modifikasi Wirakusumah, dkk., 1989; Camus, dkk., 2000; Gertisser, dkk., 2012).

Penyusunan satuan gunung api pada Sandi Stratigrafi Indonesia 1996 berdasarkan pada susunan yang ditulis oleh Wirakusumah, dkk, 1989 (Gambar 2.4). Pembagian facies produk gunung api dengan komposisi andesit dan membentuk bentangalam *strato-vulkano* disampaikan oleh Bogie dan McKenzie (1998). Berdasarkan hasil pengamatannya ternyata produk facies gunung api sangat ditentukan oleh posisi atau jarak tersebut terhadap lubang kepundan suatu gunung api. Komposisi kimiawi, ukuran dan bentuk butiran, besarnya *slope* gunung api serta kandungan matrik sangatlah tercermin dalam setiap faciesnya. Facies-facies tersebut dibagi menjadi 4 zona yaitu central, proximal, medial dan distal. Gambar 6 dibawah ini adalah model pemetaan gunung api Kuarter sebagai conto gunung Merapi di Jawa Tengah. Peta geologi gunung api ini sifatnya akan dinamis, artinya akan terus bertambah warna berdasarkan pada peristiwa erupsi. Metode yang digunakan adalah vulcanostratigrafi yang digunakan untuk merekonstruksi suatu aktifitas erupsi gunung api. Karena setiap gunung api mempunyai karakter yang

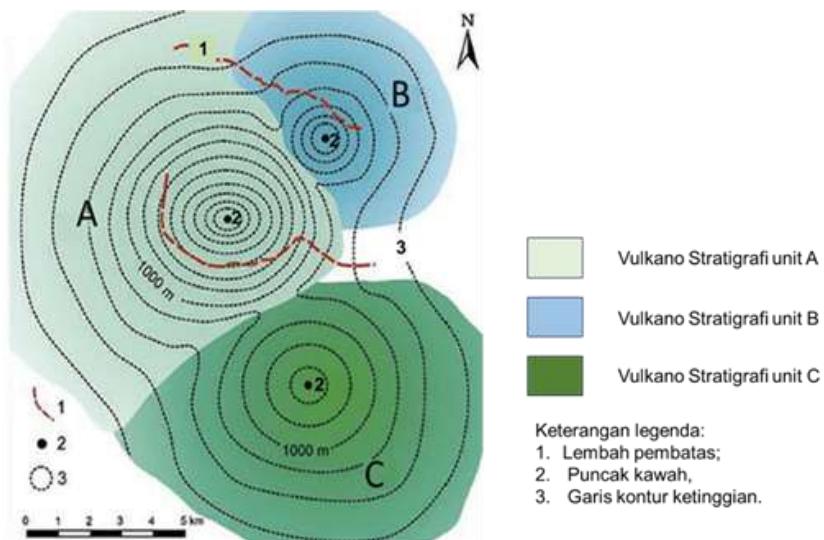
khas dan tersendiri, sehingga perkembangannya memerlukan pengamatan. Hal ini tidak hanya berdasarkan pada anggapan bahwa gunung api ini akan memberikan dampak yang negatif saja.

2.1. VULKANOSTRATIGRAFI DALAM SANDI STRATIGRAFI INDONESIA

Vulkananostratigrafi adalah pembagian satuan batuan vulkanik dan mulai diterapkan sebagai satuan tersendiri pada Sandi Stratigrafi revisi pertama tahun 1996. Konsep satuan ini masih dipertahankan dalam revisi sandi stratigrafi pada tahun 2023. Vulkananostratigrafi sebagai satuan stratigrafi gunung api disusun pada Bab III mengenai Satuan Stratigrafi Gunung api pasal 26 sampai pasal 30.

Penjelasan revisi Sandi Stratigrafi Indonesia 1973 ke 1996 kaitannya dengan ditetapkannya Satuan Stratigrafi Gunung api adalah tidak cukup mengakomodir lagi satuan litostratigrafi yang digunakan untuk pembagian satuan gunung api seperti pada Sandi Stratigrafi Indonesia 1973. Sebelumnya

pembagian satuan stratigrafi gunung api mengacu pada klasifikasi NACSN 1983 yang memasukkan ke dalam litostratigrafi. Hal lainnya adalah dengan pertimbangan bahwa batuan vulkanik (endapan gunung api Resen) penyebarannya di Indonesia sangat luas. Hal yang berbeda pada revisi Sandi Stratigrafi Indonesia 1996 ke 2023 yang menyatakan bahwa satuan gunung api ini dapat juga diterapkan pada stratigrafi gunung api purba atau selain Resen. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa dalam membuat interpretasinya dan pemetaan *volcanic terrains* mengikuti prinsip *the present is the key to the past* dengan melihat aspek-aspek geologi gunung api yang masih dapat di rekonstruksi. Selain itu untuk memperjelas unit batuan vulkanik ditambahkan gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2. 5 Peta distribusi dari unit volkanostratigrafi unit dengan sumber, deskripsi batuan dan kejadian/genesa yang berbeda (Martí et al., 2018).

Penjelasan dari gambar 2.5 di atas adalah pada saat suatu gunung api aktif maka akan dikeluarkan produk letusannya berupa lava dan batuan piroklastik. Hasil letusan gunung api akan di endapkan di sekitar gunung api tersebut dan membentuk bentang alam tertentu. Bentang alam hasil bentukan erupsi fase pertama akan dapat di kenali dan dibedakan dengan bentang alam hasil erupsi fase berikutnya atau dengan

bentang alam hasil erupsi dari sumber lainnya. Oleh karena itu kriteria pembedanya berdasarkan bentang alam dan bidang pembatasnya berupa horison yang dapat dikenali dalam skala peta atau di lapangan.

BAB 3

VULKANOSTRATIGRAFI VS LITOSTRATIGRAFI

3.1. Pendahuluan

Stratigrafi menjadi kunci untuk memahami sejarah Bumi melalui perlapisan batuan. Dua pendekatan penting dalam disiplin ini adalah litostratigrafi dan vulcanostratigrafi. Meskipun keduanya bertujuan untuk mengorganisasi dan mengkorelasikan unit-unit batuan, akan tetapi fokus serta prinsip, dan unit yang digunakan memiliki perbedaan mendasar yang mencerminkan sifat batuan yang dipelajarinya.

Litostratigrafi, secara sederhana, adalah studi tentang strata batuan berdasarkan karakteristik fisiknya batuan di lapangan. Pendekatan ini mengelompokkan batuan berdasarkan ciri-ciri tertentu yang dapat diamati seperti jenis batuan, warna, komposisi mineral, dan tekstur. Prinsip utamanya adalah Hukum Superposisi, yang menyatakan bahwa dalam urutan batuan sedimen yang

tidak terganggu, lapisan yang diendapkan lebih awal berada di bawah lapisan yang diendapkan selanjutnya. Sehingga pengertian waktu geologi berdasarkan biostratigrafi tidak mempunyai hubungan. Satuan dasar dalam litostatigrafi adalah Formasi, yang merupakan satuan batuan yang dapat dipetakan dan memiliki karakteristik litologi yang khas. Formasi dapat dibagi lagi menjadi Anggota dan dikelompokkan bersama menjadi Kelompok.

Sementara itu, vulcanostratigrafi adalah cabang stratigrafi yang secara khusus berurusan dengan urutan dan hubungan unit-unit batuan vulkanik yang berumur Kuarter ataupun yang Tersier. Fokusnya adalah untuk merekonstruksi sejarah letusan suatu gunung api atau wilayah vulkanik. Karena sifat pengendapan vulkanik yang seringkali episodik, cepat, dan tidak merata, penerapan prinsip-prinsip stratigrafi klasik memerlukan penyesuaian.

3.2. Tantangan Penerapan Hukum Superposisi dalam Vulkanostatigrafi

Penerapan Hukum Superposisi dalam lingkungan

vulkanik tidak selalu lugas. Endapan dari satu letusan dapat mengikis atau menutupi endapan yang lebih tua secara tidak beraturan. Aliran lava dapat mengisi lembah-lembah purba, sehingga posisinya lebih rendah dari endapan piroklastik yang lebih tua di punggungan di sekitarnya. Oleh karena itu, dalam vulcanostratigrafi, penekanan lebih diberikan pada identifikasi produk-produk dari setiap peristiwa letusan dan hubungan fisik di antara mereka, seperti hubungan potong-memotong dan pemanggangan (kontak antara endapan panas dan batuan yang lebih tua).

3.3. Hubungan Timbal Balik

Vulcanostratigrafi dan litostratigrafi bukanlah disiplin yang saling eksklusif. Batuan vulkanik seringkali dijumpai berselingan dengan batuan sedimen. Dalam kasus seperti ini, unit-unit vulcanostratigrafi dapat dimasukkan ke dalam kerangka litostratigrafi. Sebagai contoh, sebuah aliran lava atau endapan abu vulkanik (tuf) yang tebal dan tersebar luas dapat didefinisikan sebagai sebuah Anggota di dalam sebuah Formasi

batuan sedimen.

Sebaliknya, studi litostratigrafi pada batuan sedimen yang menjemari dengan batuan vulkanik dapat memberikan informasi penting mengenai lingkungan pengendapan dan jeda waktu di antara aktivitas vulkanik.

Secara ringkas, litostratigrafi memberikan kerangka kerja yang luas untuk mengklasifikasikan semua jenis batuan berdasarkan penampakannya, sementara vulcanostratigrafi menyediakan alat yang lebih khusus dan terperinci untuk mengurai sejarah kompleks dan dinamis dari aktivitas gunung api. Keduanya merupakan komponen vital dalam upaya vulkanologist untuk membaca dan menafsirkan catatan sejarah Bumi yang tersimpan di dalam batuan.

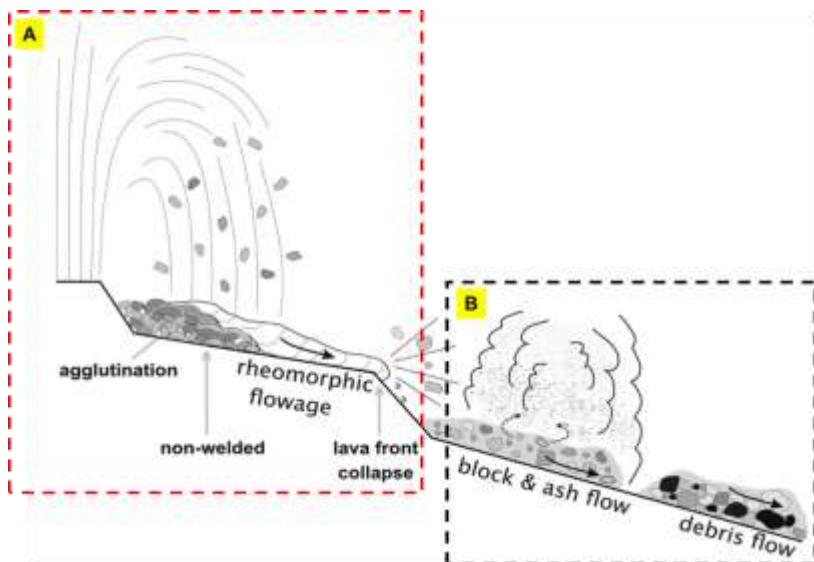
Tabel 3.1 dibawah ini merupakan gambaran matrik perbedaan antara Litostratigrafi dan Vulkanostratigrafi.

Tabel 3. 1 Perbandingan antara Litostratigrafi dan Vulkanostratigrafi

Variabel	Litostratigrafi	Vulkanostratigrafi
Dasar Klasifikasi	Karakteristik fisik batuan (litologi) yang sama dilapangan	Hubungan genetik dengan peristiwa letusan gunung api.
Prinsip Utama	Sangat bergantung pada Hukum Superposisi dan kesinambungan lateral.	Hukum Superposisi diterapkan dengan hati-hati karena adanya diskontinuitas lateral, pemotongan, dan pembalikan urutan yang umum terjadi pada endapan vulkanik.
Satuan Dasar	Formasi: tubuh batuan yang dapat dipetakan dengan ciri litologi yang seragam.	Khuluk: kumpulan batuan vulkanik dari satu pusat erupsi. Unit yang lebih kecil adalah Gumuk (kerucut anakan atau pusat erupsi sekunder) dan unit yang lebih besar adalah Bregada (gabungan beberapa khuluk).
Sifat Unit	Cenderung lebih tabular dan memiliki kesinambungan lateral yang lebih baik (terutama pada batuan sedimen).	Seringkali berbentuk lensa, tidak menerus secara lateral, dan memiliki hubungan yang kompleks (saling memotong, menumpang).
Hubungan dengan Waktu	Batas litostratigrafi tidak selalu merepresentasikan garis waktu yang sama (diakronis).	Lebih erat kaitannya dengan peristiwa sesaat (letusan), sehingga unit-unitnya seringkali lebih dekat dengan unit kronostratigrafi (unit waktu).

Beberapa pendapan mengenai penerapan vulcanostratigrafi dalam kaitannya dengan waktu. Ada yang perpendapat bahwa vulcanostratigrafi hanya dapat di lakukan pada daerah gunung api Kuarter. Hal ini didasari bahwa morfologi gunung api itu masih dapat terlihat. Akan tetapi ada pendapat lain dan telah dilakukan penelitian bahwa vulcanostratigrafi juga dapat di terapkan pada gunung api Tersier.

Seperti telah disampaikan pada bab sebelumnya bahwa hasil kegiatan gunung api itu terdiri dari beberapa produk. *Non-coherent product* seperti endapan *pyroclastic* dan *coherent product* seperti lava adalah hasil kegiatan gunung api yang memang sebagai hasil langsung dari akibat vulkanisme. Sementara endapan resedimentasi dan epiklastik seperti lahar contohnya itu merupakan endapan yang terjadi dari proses sedimentasi. Proses sedimentasi vulkanik ini yang seringkali bersentuhan dengan batuan non-vulkanik dengan membentuk kontak yang selaras seperti menjemari (Gambar 3.1).



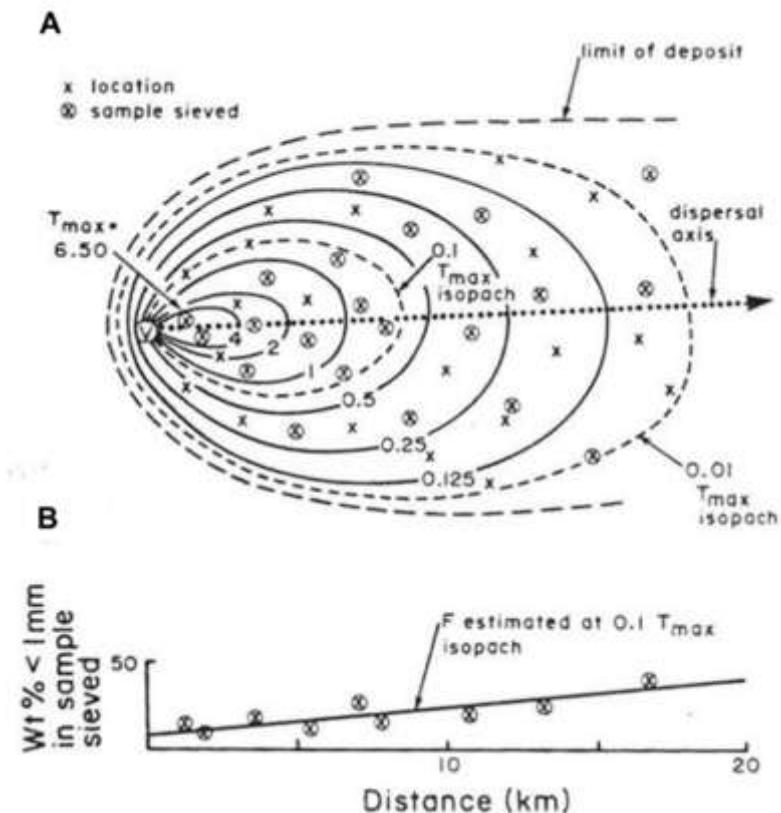
Gambar 3. 1 Ilustrasi model pembentukan endapan hasil gunung api. A. produk gunung api dihasilkan dari kegiatan vulkanisme. B. Produk gunung api dihasilkan oleh proses sedimentasi dari endapan gunung api sebelumnya atau dari hasil kegiatan vulkanisme yang ditransportasikan secara langsung ke bagian distal dari suatu tubuh gunung api (Marti dkk, 2018).

Gambar 3.1 Ilustrasi model pembentukan endapan hasil gunung api. A. produk gunung api dihasilkan dari kegiatan vulkanisme. B. Produk gunung api dihasilkan oleh proses sedimentasi dari endapan gunung api sebelumnya atau dari hasil kegiatan vulkanisme yang

ditransportasikan secara langsung ke bagian distal dari suatu tubuh gunung api (Marti dkk, 2018).

Sekitar tubuh gunung api dapat menghasilkan produk vulkanik yang diakibatkan oleh model sedimentasi, seperti aliran *pyroclastic* dan material lainnya. Khususnya untuk aliran *pyroclastic* dapat terendapkan dalam berbagai bentuk disekitar gunung api baik oleh media air ataupun angin (Gambar 3.2), bahkan oleh mekanisme longsoran (Fisher dan Schmincke, 1984; Cas dan Wright, 1987).

Pada awalnya pemetaan facies gunung api masih menggunakan konsep litostratigrafi. Akan tetapi pada edisi Sandi Stratigrafi kedua pada tahun 1996 mulai dirasakan perlu adanya pembagian satuan tersendiri yang terpisah dari litostratigrafi. Pada peta geologi regional yang dikeluarkan oleh Badan Geologi didefiniskan satuan gunung api tak teruraikan. Definisi ini sulit untuk dipahami karena sifat penyebarannya yang tidak menerus dan terkesan statis. Konsep vulcanostratigrafi ini diterapkan maka interpretasi genetik dari suatu gunung api terlihat lebih bermakna.



Gambar 3. 2 A. Peta distribusi endapan pyroclastic pada peristiwa aktifitas vulkanik; B. Model penyebaran untuk tephra (Cas dan Wright, 1988).

BAB 4

PRINSIP DASAR

PENYUSUNAN

VULKANOSTRATIGRAFI

Aktifitas vulkanik adalah proses termal yang terjadi pada bagian dalam dari bumi yang tergambaran di permukaan. Produk vulkanik yang mencapai permukaan itu berupa pelepasan gas, fluida bertemperatur tinggi serta *solid component* akibat letusan gunung api (Manville dkk., 2009).

Pengamatan data lapangan dalam vulcanostratigrafi tidak terbatas hanya pada produk primer hasil erupsi gunung api dan *syn* atau *post eruptive* dari endapan vulkanik. Akan tetapi termasuk didalamnya adalah produk *reworking* atau *resedimentation* dari fragmen-fragmen hasil letusan gunung api termasuk hasil dari proses pelapukan dan erosi.

Hal lain yang menjadi dasar studi vulcanostratigrafi ini adalah pergeseran interpretasi yang awalnya bersifat

kualitatif (deskriptif) lebih menjadi kuantitatif. Pengamatan berbasis hasil interpretasi di lapangan didukung oleh hasil pengolahan sampel batuan di laboratorium.

Buku ini menguraikan secara terperinci mengenai konsep vulcanostratigrafi, perkembangannya dalam Sandi Stratigrafi Indonesia dan beberapa implikasinya yang sangat membantu dalam pencarian sumber energi baik panas bumi ataupun hidrokarbon. Buku ini mencoba untuk menjelaskan secara mudah akan pentingnya pemetaan gunung api Kuarter dengan metode vulcanostratigrafi. Pemetaan geologi gunung api dilakukan dengan mengelompokkan secara bersistem endapan produk gunung api Kuarter. Pengelompokkan ini dilakukan dengan mengamati bentangalam dan observasi lapangan. Studi ini diharapkan dapat mengenali karakter setiap gunung api baik secara *spatial* dan *temporal*.

Dasar-dasar penyusunan Vulkanostratigrafi pada prinsipnya dengan melakukan pemetaan di daerah vulkanik. Berikut adalah prinsip-prinsip dasar yang

menjadi acuan dalam penyusunan vulcanostratigrafi:

4.1. Tujuan penetapan Satuan Gunung Api

Berdasarkan sandi Stratigrafi Indonesia tahun 1996 dan tahun 2023, penyusunan satuan gunung api bertujuan untuk menyusun batuan atau endapan hasil gunung api berdasarkan urutan kejadian pembentuannya. Urutan pembentukan produk gunung api dimaksudkan agar evolusi yang terkait dengan sumber, deskripsi batuan serta genesanya dapat diketahui dengan pasti. Kita ketahui bahwa setiap gunung api mempunyai karakter yang berbeda walaupun dalam jarak yang tidak berjauhan.

Pemetaan gunung api ditujukan untuk mendapatkan informasi sebaran hasil produk gunung api yang dituangkan dalam peta gunung api.

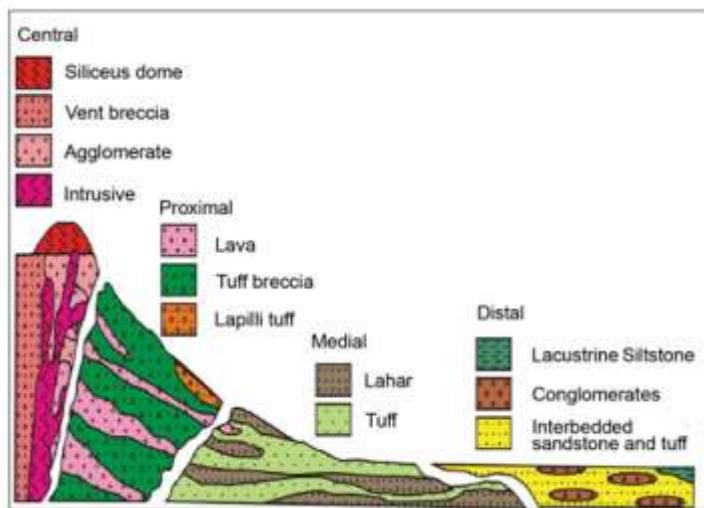
4.2. Identifikasi Pusat Erupsi

Langkah pertama yang paling fundamental dalam vulcanostratigrafi adalah menentukan sumber atau pusat erupsi dari produk vulkanik. Pusat erupsi ini bisa berupa kawah, rekahan, atau kaldera. Identifikasi ini

krusial karena sebaran dan karakteristik endapan vulkanik sangat dikontrol oleh lokasinya terhadap sumber. Fitur morfologi seperti kerucut, kubah lava, dan depresi melingkar seringkali menjadi penunjuk adanya pusat erupsi (Gambar 4.1 dan 4.2).

4.3. Pemetaan Berbasis Satuan Vulkanik

Pembagian unit dalam vulcanostratigrafi tidak hanya didasarkan pada jenis batuan (litologi), tetapi juga pada sumber dan urutan kejadiannya. Produk dari satu episode erupsi besar atau dari satu fase aktivitas gunung api dapat dikelompokkan menjadi satu satuan.



Gambar 4. 1 Urutan facies gunungapi serta komposisi batuan penyusunnya (Bogie dan Mackenzie, 1998)

Prinsip Sumber (*Source Principle*): Satuan-satuan vulkanostratigrafi dikelompokkan berdasarkan asal produk vulkaniknya. Produk dari gunung api yang berbeda dianggap sebagai satuan yang berbeda, meskipun jenis batuannya sama (Gambar 4.1).

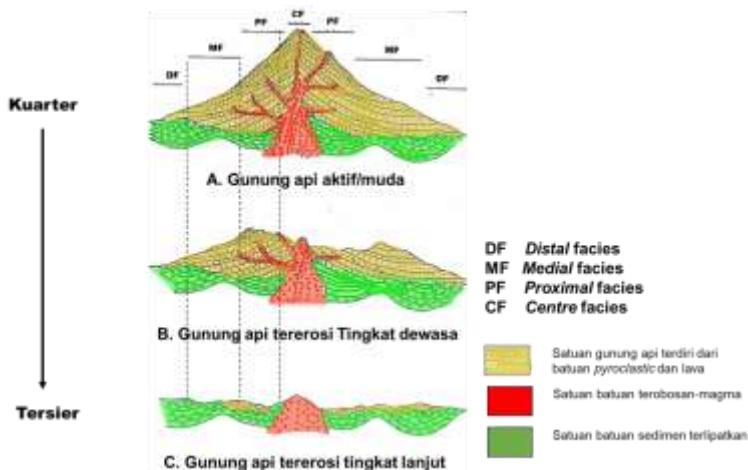
Prinsip Urutan Kejadian (*Event Sequence Principle*): Penamaan dan pengurutan satuan harus mencerminkan kronologi atau sejarah letusannya. Ini

mengacu pada Sandi Stratigrafi Indonesia (2023) di mana penamaan unit didasarkan pada sumber, jenis batuan, dan urutan kejadian.

Prinsip Genetika (*Genetic Event*). Dalam identifikasi produk gunung api getetika cukup penting, oleh karena walaupun secara fisik memiliki karakter yang sama namun dalam proses pembentukannya berbeda. Sebagai akibatnya penyebaran dan posisi stratigrafinya juga akan berbeda. Pirokalstik yang mengalir akan berbeda dengan piroklastik sebagai hasil jatuhannya. Demikian juga piroklastik sebagai hasil runtuhan (*avalanche*).

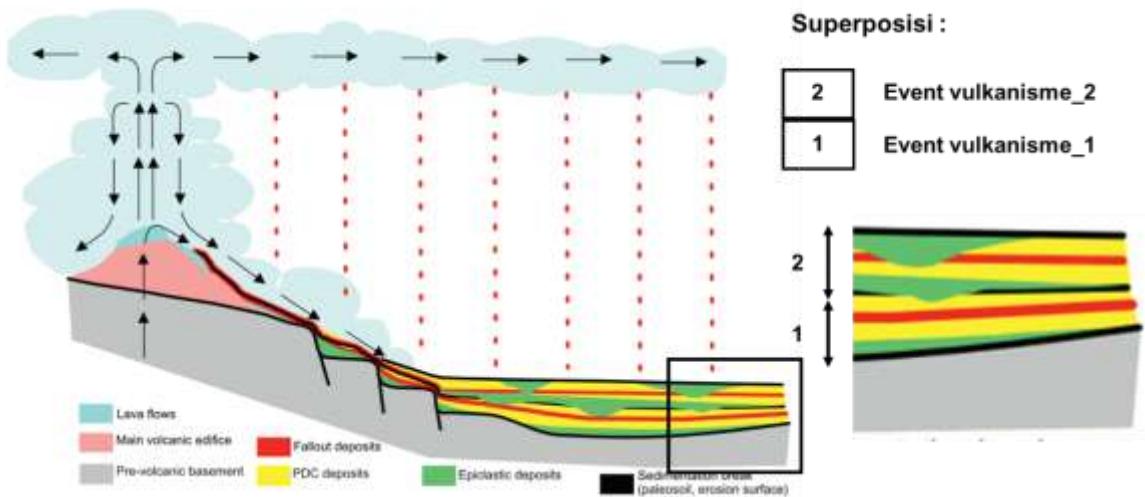
4.4. Analisis Hubungan Fisik Antar Endapan

Seperti halnya stratigrafi pada umumnya, hubungan fisik antar lapisan batuan vulkanik sangat penting untuk menentukan urutan relatifnya.



Gambar 4. 2 Ilustrasi perkembangan suatu gunung api. Pentingnya dalam pemetaan gunung api mengetahui pusat erupsinya (Modifikasi dari Isnawan dan Bronto, 1997).

- **Hubungan *Superposition*:** Endapan vulkanik yang berada di atas dianggap lebih muda. Namun, prinsip ini harus diterapkan dengan hati-hati. Aliran lava, misalnya, dapat mengisi lembah sehingga tampak lebih rendah dari endapan jatuhannya piroklastik yang lebih tua di punggungan sebelahnya (Gambar 4.3).



Gambar 4. 3 Hubungan peristiwa vulkanisme dengan kenampakan singkapan batuan vulkanik dilapangan secara superposisi. Peristiwa vulkanisme 1 diendapkan terlebih dahulu dengan dibatasi oleh suatu paleosoil sebelum peristiwa vulkanisme kedua diendapkan (Marti, dkk 1991)

Hubungan *Cross-cutting Relationship*: Dike (korok) atau retas yang memotong perlapisan batuan vulkanik lainnya pastilah berumur lebih muda.

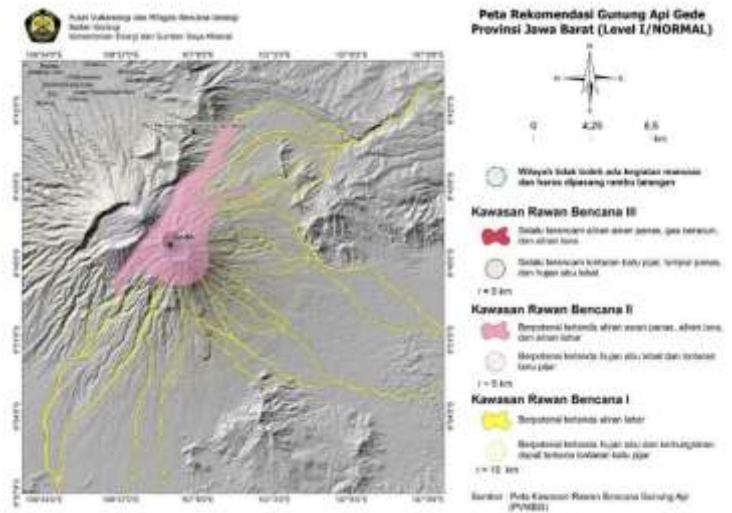
- **Ketidakselarasan Vulkanik (*Volcanic Unconformity*)**: Adanya horison tanah purba (paleosol), jejak erosi, atau endapan non-vulkanik di antara dua lapisan produk vulkanik menunjukkan adanya jeda waktu dalam aktivitas vulkanik.

4.5. Penggunaan Konsep Hierarki Satuan

Untuk mempermudah pemetaan dan pemahaman evolusi kompleks vulkanik yang besar, digunakan tingkatan satuan vulcanostratigrafi. Di Indonesia, tingkatan ini yang umum digunakan adalah:

1. **Khuluk**: Sebagai satuan dasar pembagian gunung api.
 - a. Kumpulan endapan vulkanik yang membentuk satu tubuh gunung api terdiri dari satu atau beberapa titik erupsi.

- b. Dapat dipetakan sebagai satu Khuluk dengan skala 1: 50.000 atau lebih besar.
- c. Menurut Wirakusumah (2012), penyebaran Khuluk ini dapat diketahui dan batasnya dapat berbatasan dengan satuan khuluk lainnya atau dibatasi oleh struktur geologi.
- d. Khuluk Gunung api tersingkap di permukaan dan selanjutnya dapat menerus ke bawah permukaan.
- e. Contoh: Seluruh tubuh Gunung Gede (Gambar 4.4)

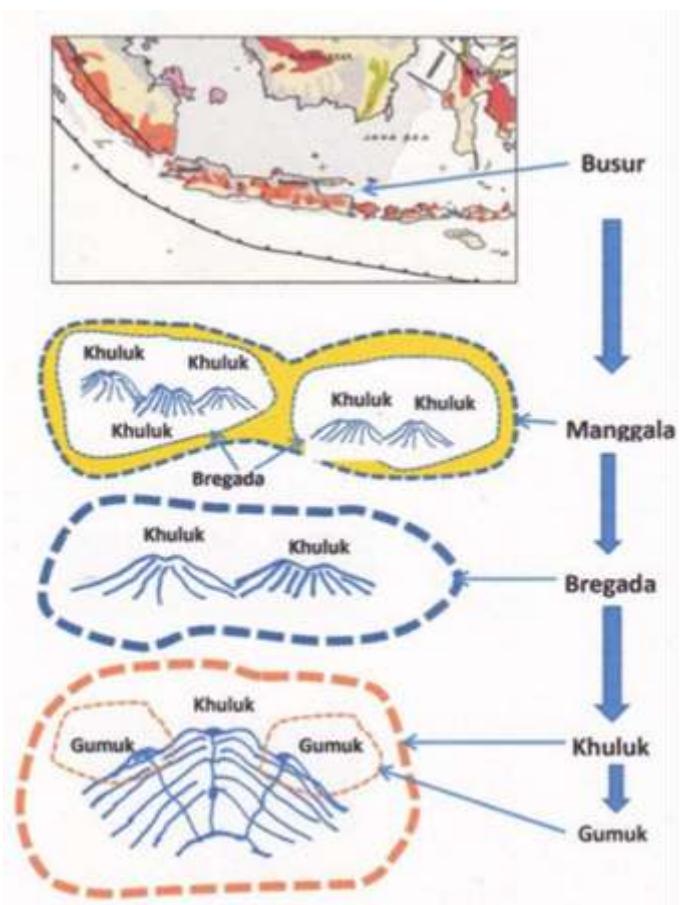


Gambar 4. 4 Satuan gunung api khuluk gunung Gede
<https://geologi.esdm.go.id/media-center/aktivitas-vulkanik-gunung-gede-jawa-barat-terkini-pasca-kenaikan-kegempaan-vulkanik-periode-tanggal-1-6-april-2025>.

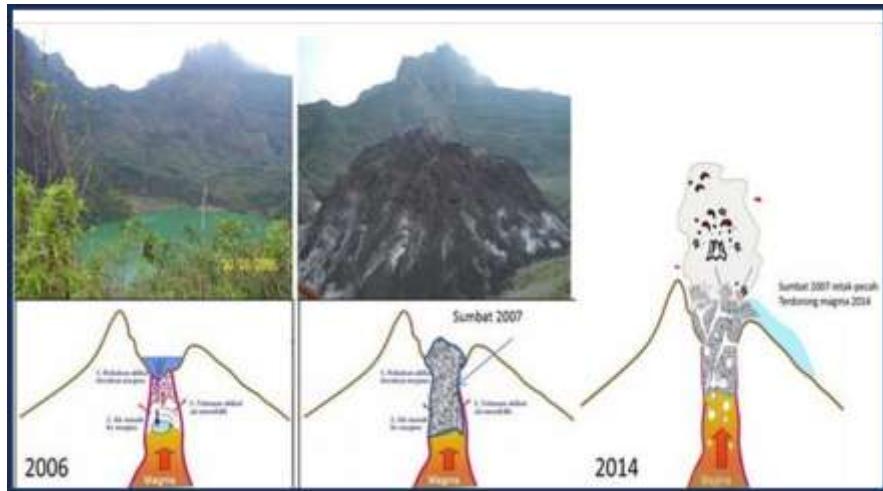
2. **Gumuk:** Tubuh batuan vulkanik yang terbentuk dari satu kali erupsi atau fase erupsi kecil sebagai bagian dari khuluk (Gambar 4.5). Istilah gumuk ini mengacu pada kerucut gunung api tunggal sebagai akibat vulkanisme dengan morfologi seperti kubah atau sebagai akibat susunan endapan piroklastik jatuhnya ataupun aliran atau bentuk lainnya seperti aliran lava. Sebaran gumuk tidak boleh melampaui sebaran dari khuluk dengan skala 1: 50.000.
3. **Bregada:** Satuan yang mencakup sebaran endapan dari dua atau lebih Khuluk atau yang berkaitan dengan pembentukan kaldera. Skala pemetaan pada Bregada adalah 1: 100.000 dan seringkali pemetaan gunung api kaldera (Gambar 4.6). Contoh: Kompleks gunung api yang terdiri dari beberapa puncak yang berdekatan (misalnya, kompleks Arjuno-Welirang) atau endapan dari letusan pembentuk kaldera besar.
4. **Manggala:** Satuan yang lebih luas, mencakup endapan dari kompleks gunung api yang memiliki

lebih dari satu kaldera atau Bregada. Satuan ini menggambarkan

5. **Busur:** Rangkaian gunung api dalam satu tatanan tektonik yang sama. Busur adalah satuan stratigrafi gunung api yang paling tinggi dan paling luas. Ini merupakan rangkaian kesatuan gunung api yang memiliki kedudukan tektonik yang sama. Contoh: Seluruh rangkaian gunung api Kuarter di sepanjang Pulau Jawa dapat dianggap sebagai bagian dari satu Busur. Skala Peta: Lazimnya dapat dipetakan pada skala 1:1.000.000 atau lebih besar.

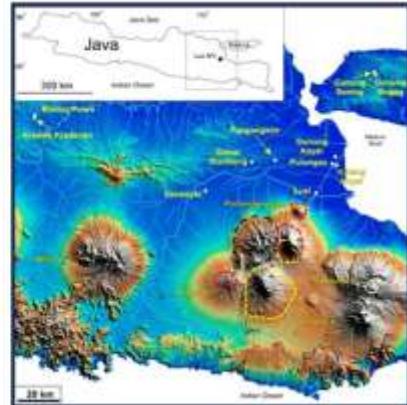
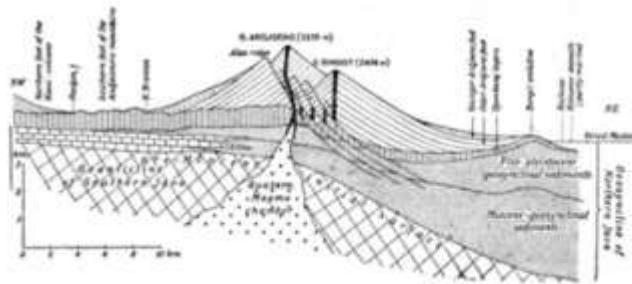


Gambar 4. 5 Tingkatan satuan gunung api dari yang terbesar sampai terkecil berdasarkan Sandi Stratigrafi Indonesia 1996 (Modifikasi Hartono, 2024).



Gambar 4. 6 Model ilustrasi kubah lava (gumuk) di gunung api Kelud (<https://news.detik.com/berita/d-2497631/begini-perubahan-puncak-gunung-kelud-dari-2006-2014>).

Gunung Arjuno dalam sudut pandang van Bemmelen



Gambar 4. 7 Model Bregada gunung api Arjuno menurut van Bemmelen, 1949.

Tabel 4. 1 Korelasi Satuan Peta Geologi Gunung Api seri A (Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996, 2023)

Umur		Periode	Satuan Gunung Api			Kegiatan Erupsi	Satuan Batuan									
Realtif	Absolut		Kegiatan Menggala	Bregada	Khuluk		k	I	j	a	s	II	f	Ig	Ih	fr

Pemetaan gunung api memiliki dua tujuan utama yang saling terkait:

1. Ilmiah (Memahami Sejarah Erupsi):

Rekonstruksi Sejarah: Memahami urutan kejadian letusan dari yang paling tua hingga yang paling muda (menggunakan prinsip stratigrafi, terutama vulkanostratigrafi dan morfostratigrafi).

Identifikasi Karakter Letusan: Mengetahui tipe dan karakteristik letusan yang pernah terjadi di masa lampau, apakah eksplosif (menghasilkan abu dan aliran piroklastik) atau efusif (menghasilkan aliran lava).

Memahami Sistem Vulkanik: Mengidentifikasi pusat-pusat erupsi (kawah utama, kawah parasit), struktur patahan yang mengontrol aktivitas vulkanik, dan evolusi bentuk tubuh gunung api dari waktu ke waktu.

2. Mitigasi Bencana:

Identifikasi Potensi Bahaya: Mengetahui jenis-jenis bahaya yang mungkin terjadi di masa depan, seperti aliran lava, aliran piroklastik (awan panas), jatuhannya

piroklastik (hujan abu/batu), aliran lahar, dan gas beracun.

Pembuatan Peta Kawasan Rawan Bencana (KRB): Peta geologi adalah dasar utama untuk membuat peta bahaya. Dengan mengetahui sejauh mana endapan awan panas atau lahar di masa lalu, para ahli dapat memprediksi daerah mana saja yang berisiko tinggi terlanda bencana serupa di masa depan.

Dasar Tata Ruang: Memberikan rekomendasi kepada pemerintah daerah untuk perencanaan tata ruang yang aman, misalnya menentukan zona larangan untuk pemukiman permanen, jalur evakuasi, dan lokasi pengungsian.

4.6. Tahapan dalam Pemetaan Gunung Api

Pemetaan gunung api adalah proses komprehensif yang melibatkan beberapa tahapan:

1. Studi Literatur (Pra-Lapangan)

Studi Pustaka: Mengumpulkan data dan peta-peta yang sudah ada sebelumnya serta data regional

2. Analisis Peta

Menganalisis citra satelit, foto udara, dan model elevasi digital (DEM/DTM) untuk mengidentifikasi batas-batas unit batuan berdasarkan perbedaan rona, tekstur, dan terutama bentuklahan (morfologi). Tahap ini sangat penting untuk membuat peta geologi tentatif sebelum turun ke lapangan.

3. Pembuatan Peta Morfostratigrafi

Menurut Frye dan Wilman, (1962) definisi dari morfostratigrafi adalah “*a morphostratigraphical unit as ‘a body of rock that is identified primarily from the surface form it displays’*”. Artinya penentuan unit-unit batuan didasarkan pada pola sebaran kontur yang tercermin di permukaan. Selanjutnya apabila diintegrasikan dengan data litologi maka akan dapat ditentukan secara detail *morphostratigraphical units*-nya. Maka berdasarkan pada definisi diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode morfostratigrafi

tersebut dapat digunakan pada setiap interval umur batuan.

Dalam uraian selanjutnya dicoba untuk memaparkan penggunaan morfostratigrafi pada pemetaan gunungapi Kuarter. Acuan dasar yang digunakan adalah morfologi gunungapi Kuarter masih dengan mudah dapat terlihat sekarang ini. Hal lainnya adalah pemetaan gunungapi dengan menggunakan konsep litostratigrafi yang sebelumnya digunakan kurang dapat memberikan arti genetik karakter dari gunungapi itu. Hal ini telah dikemukakan oleh beberapa ahli seperti Frye dan Wilman, 1960; Hageman, 1963. Beberapa kerancuan yang sering terjadi adalah pemakaian nama unit batuan seperti endapan gunungapi tak teruraikan dari Bemmelen (1949) yang kadangkala menjadi multitafsir.

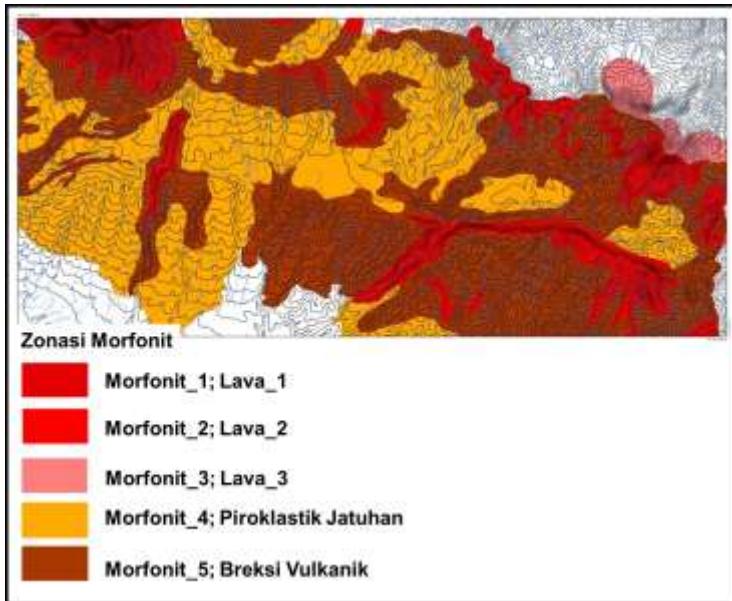
Morfostratigrafi adalah suatu metode dalam studi stratigrafi yang mengelompokkan dan mengurutkan tubuh batuan (terutama endapan vulkanik dan sedimen Kuarter) berdasarkan kenampakan

bentuklahan (morfologi) permukaannya. Secara sederhana, metode ini menggunakan prinsip bahwa setiap bentuklahan yang khas, seperti kerucut gunung api, aliran lava, atau kipas aluvial, merupakan hasil dari suatu proses atau peristiwa geologi tertentu.

Pendapat lain menyatakan bahwa morfostratigrafi adalah konsep dasar pembagian unit satuan batuan vulkanik berdasarkan morfologi (Astadiredja, 1980). Konsep ini dilandasi oleh anggapan bahwa hasil letusan gunung api sebagai satu fase letusan atau beberapa kali letusan akan memberikan karakter morfologi yang khas. Setiap karakter morfologi ini dapat diinterpretasikan dan disusun secara vertikal ataupun lateral. Hukum superposisi dalam kaitannya dengan morfologi bentang alam dapat digunakan. Hal ini dikarenakan bentang alam sebagai fase erupsi pertama ditindih oleh bentang alam fase erupsi kedua dengan karakter yang dapat dibedakan. Adalah Frye dan Wilmmman (1962), mendefinisikan satuan

morfosratigrafi ini, yaitu: “*A morphostratigraphic unit defined as comprising a body of rocks, that is identified primary from the surface form it display; it may or may not be distinctive lithologically from continuous units; it may or may not transgress time through its extent*”. Jadi hal utama dari definisi di atas adalah pembagian satuan morfostatigrafi ini belum menyentuh pada karakter batuan akan tetapi masih dapat diinterpretasikan. Hal yang sama dengan umur pembentukannya, oleh karena itu hukum superposisi berperan dalam menentukan urutan pembentukannya.

Dengan mempelajari hubungan spasial dan superposisi (tumpang tindih) dari bentuklahan-bentuklahan ini, para ahli geologi dapat merekonstruksi urutan kejadian geologi di suatu wilayah. Pendekatan ini sangat berguna di daerah vulkanik muda di mana penentuan umur relatif batuan sulit dilakukan hanya berdasarkan ciri-ciri fisik batuan (litologi) semata.



Gambar 4. 8 Conto Peta Morfostratigrafi daerah selatan gunung api Sunda (Budi Muljana dkk, 2025 on progress).

Tingkatan Morfostratigrafi

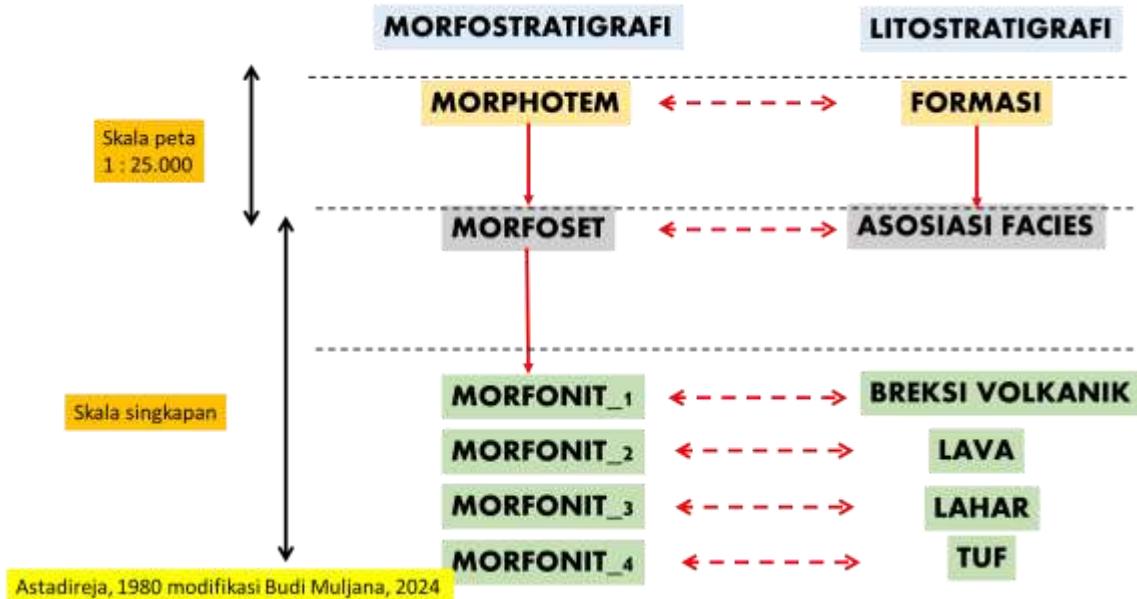
Satuan dasar dari morfostratigrafi adalah morfoset - *morphocet* dalam bahasa Inggris akronim dari *morphological facet*. Secara definisi, morfoset (Astadireja, 1980) ini adalah suatu bentang alam yang tersusun dari suatu endapan dan atau komplek endapan hasil suatu erupsi dan mempunyai ciri-ciri

tertentu. Bentang alam ini dapat dibedakan dengan bentang alam yang berada di bawahnya atau di bagian atasnya. Pemetaan morfoset ini menggunakan skala 1:25.000, dan mudah dikenali di potret udara atau DEM serta dapat dikenali di lapangan. Tingkatan morfoset ini disusun komplek satuan batuan seperti lava, breksi dan tuf. Apabila satuan-satuan batuan ini dapat berdiri sendiri maka dapat ditingkatkan menjadi morphonit (akronim dari *morphological unit* atau *morphonite*).

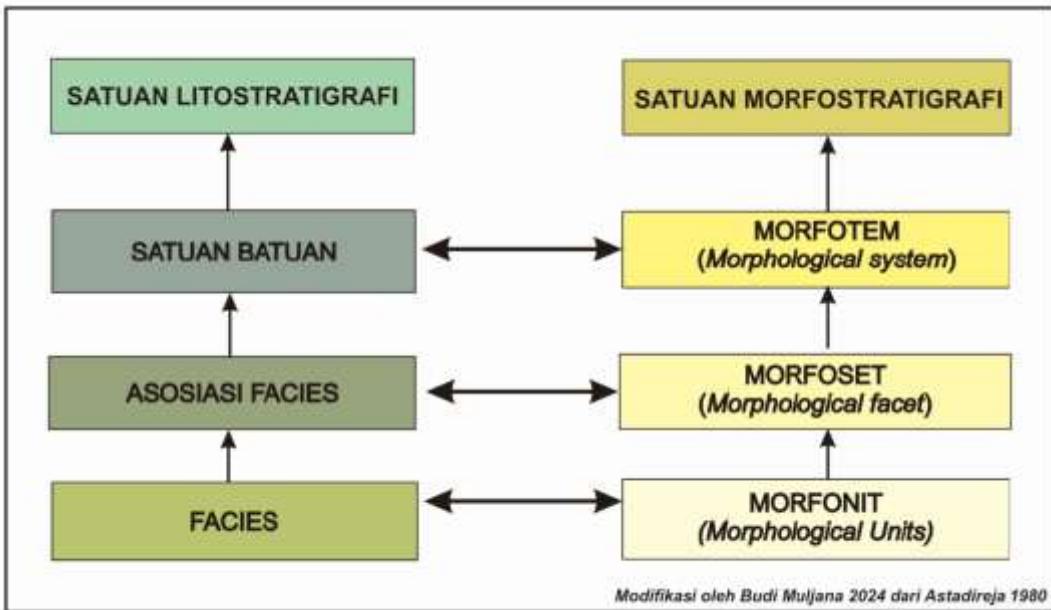
Selanjutnya beberapa morfoset ini menyusun suatu morphotem yang akronim dari bahasa Inggris yaitu *morphological system*. Morphotem ini merupakan suatu susunan endapan hasil dari beberapa kali erupsi gunung api.

Penentuan morfostratigrafi dalam pemetaan endapan gunung api Kwarter merupakan langkah efektif dalam interpretasi suatu gunung api. Gambar 4.9 dan 4.10 di bawah ini menggambarkan satuan morfostratigrafi yang analog dengan litostratigrafi.

MORFOSTRATIGRAFI VS LITOSTRATIGRAFI



Gambar 4. 9 Morfostratigrafi vs Litostratigrafi modifikasi Astadireja (1980)

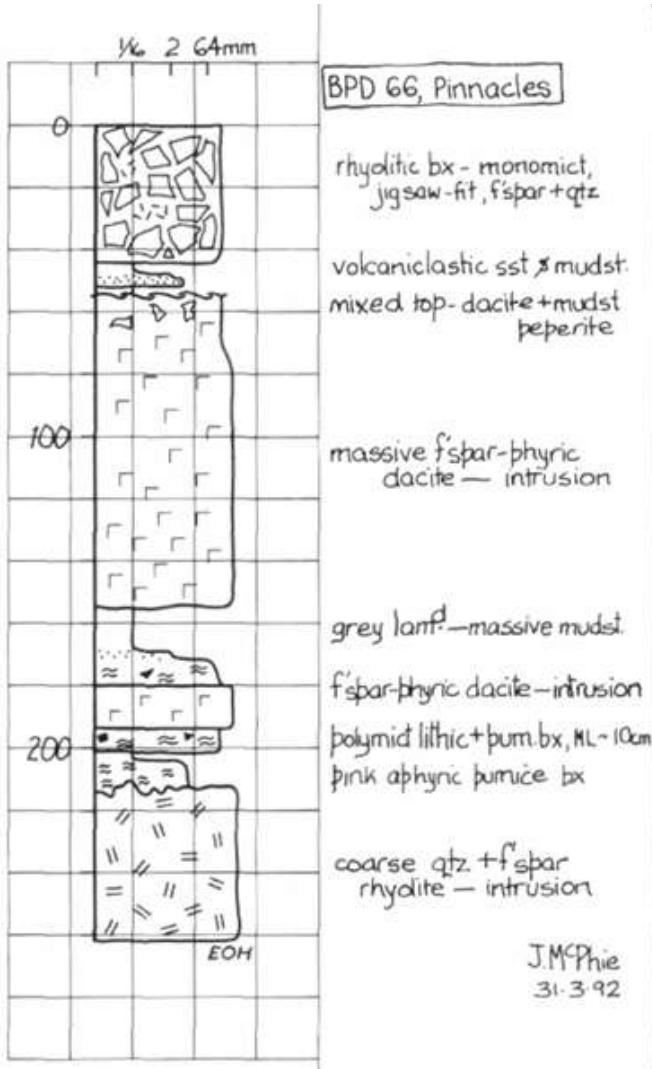


Gambar 4. 10 Hubungan Satuan Litostratigrafi dan Morfostratigrafi modifikasi Astadireja (1980)

1. Pekerjaan Lapangan

Ini adalah inti dari kegiatan pemetaan. Ahli geologi akan berjalan menyusuri lereng, lembah, dan sungai untuk:

- Observasi Singkapan: Mencari dan mengamati singkapan (batuan yang tersingkap di permukaan).
- Deskripsi Batuan dan pembuatan log stratigrafi terukur: Mendeskripsikan secara rinci jenis batuan (misalnya lava, breksi piroklastik, tuf), warna, ukuran butir, komposisi, dan struktur (Gambar 4.11).

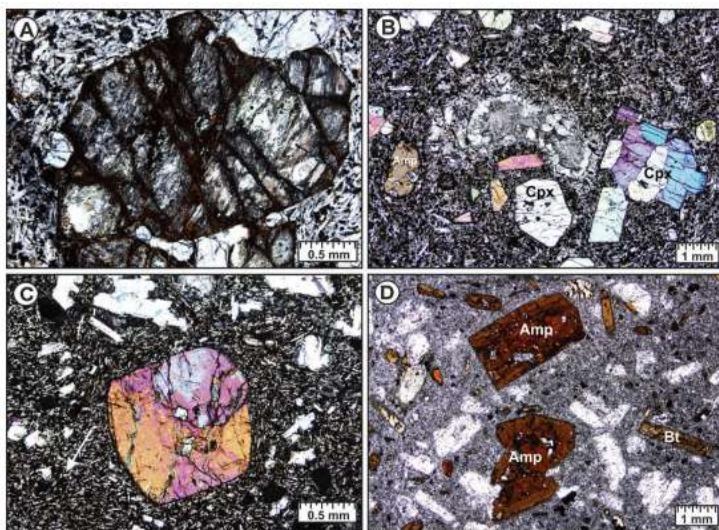


Gambar 4. 11 Stratigraphic log batuan volcanic (McPie dkk, 1993).

- Pengukuran Struktur Geologi: Mengukur arah dan kemiringan perlapisan batuan atau struktur retakan menggunakan kompas geologi.
- Pengambilan Sampel Batuan: Mengambil sampel batuan yang representatif untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium.
- Verifikasi Batas: Memastikan dan memperbaiki batas-batas unit batuan yang telah dibuat pada peta tentatif.

2. Analisis Laboratorium dan Studio

Analisis Petrografi: Membuat sayatan tipis dari sampel batuan dan menganalisisnya di bawah mikroskop untuk mengetahui komposisi mineral dan tekstur batuan secara detail.



Gambar 4. 12 Contoh sayatan tipis batuan beku berumur Miosen di Uherský Brod area (Krmick et al 2020).

Analisis Geokimia: Menganalisis komposisi kimia batuan untuk memahami jenis magma dan proses yang terjadi di bawah permukaan. Tabel pada Gambar

4.13 memperlihatkan conto Hasil analisis Geokimia batuan beku berumur Miosen di Uherský Brod area (Krmick et al 2020).

Mineral Sample Petrographic type	Dark mica		Amphibole						Chlorite/schistose					
	UB1A	UB1B	UB1A	UB1A	UB1A	UB2	UB2	UB3	UB2	UB2	UB2	UB2	UB2	UB2
	TD	TD	TD	TD	BA	BA	BA	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA
Sid:	36.3	36.3	43.2	31.8	42.8	40.6	40.4	34.2	30.1	48.2	33.2	49.9		
TiO ₂ :	4.28	4.30	2.65	5.18	2.87	2.98	2.92	0.17	0.01	1.07	0.34	0.08		
Al ₂ O ₃ :	14.7	14.4	10.7	13.0	11.1	14.0	14.5	1.49	3.09	5.32	2.11	3.66		
Cr ₂ O ₃ :	>BDL	<BDL	<BDL	>BDL	>BDL	>BDL	>BDL	0.02	0.19	>BDL	0.39	0.28		
TiO ₃ :	0.2	18.5	13.9	10.9	13.6	11.6	9.9	2.64	3.39	8.97	1.54	3.34		
RaO:	0.09	0.09	>BDL	0.16	0.12	0.11	0.11	>BDL	>BDL	>BDL	>BDL	>BDL		
MnO:	0.27	0.24	0.27	0.12	0.32	0.12	0.12	0.11	0.11	0.21	0.08	0.09		
Mg#:	62.2	52.5	52.9	44.3	33.0	32.8	14.6	17.7	18.5	11.7	16.7	14.1		
CaO:	>BDL	>BDL	11.1	11.8	12.5	12.3	12.3	21.7	23.6	23.0	23.8	23.7		
Na ₂ O:	0.37	0.31	2.20	2.44	2.48	2.27	2.28	0.19	0.22	0.33	0.28	0.24		
K ₂ O:	0.61	0.66	0.88	0.93	0.90	1.28	1.29	>BDL	>BDL	>BDL	>BDL	>BDL		
H ₂ O:	1.69	3.66	1.97	2.00	1.97	1.98	2.01							
F:	0.94	0.94	0.21	0.23	0.25	0.20	0.22							
Cl:	0.13	0.12	0.10	0.08	0.07	0.02	>BDL							
O = F:	-0.23	-0.23	-0.09	-0.11	-0.10	-0.09	-0.09							
Cl = Cl ₁ :	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0.01							
Total:	100.2	100.2	100.3	101.8	101.8	100.4	100.5	100.8	100.3	100.4	101.0	100.5		
Empirical formulae (apf)														
Si:	2.74	2.74	3.82	3.06	6.25	2.58	2.87	1.96	1.87	1.81	1.81	1.84		
Al ^{IV} :	1.28	1.26	1.68	1.94	1.75	2.02	2.11	0.04	0.17	0.19	0.07	0.16		
Al ^{VI} :	4.00	4.00	3.00	3.00	0.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00		
Li:	0.24	0.23	0.29	0.34	0.22	0.33	0.32	0.00	0.03	0.02	0.07	0.03		
Al:	1.39	1.29	1.83	2.21	1.99	2.44	2.48	0.08	0.22	0.24	0.16	0.25		
Al ^{VI} :	0.64	0.62	0.16	0.26	0.13	0.42	0.39	0.02	0.07	0.04	0.03	0.08		
Cr:	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.03		
Fe ²⁺ :	1.21	1.18	1.70	1.32	1.66	1.43	1.35	0.08	0.17	0.28	0.11	0.17		
Fe ³⁺ :	-	0.55	0.33	0.42	0.04	0.37	0.02	0.06	0.12	0.00	0.05			
Mg:	4.37	4.41	2.81	3.06	2.83	2.81	3.34	0.85	0.80	0.71	0.96	0.78		
Ca:	0.00	0.00	1.73	1.83	1.80	1.85	1.81	0.41	0.03	0.03	0.91	0.94		
Mn:	0.02	0.02	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00		
Fe ²⁺³⁺ :	-	-	1.15	1.00	1.24	1.39	0.39	0.09	0.11	0.17	0.07	0.12		
Ba:	0.03	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Na:	0.08	0.08	0.62	0.68	0.68	0.65	0.64	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02		
K:	0.87	0.84	0.06	0.17	0.17	0.24	0.24							
Ca/Mg:	1.00	1.06	1.98	1.88	1.87	1.90	1.90							
F:	0.13	0.13	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10							
Cl:	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00							
O:	11.0	11.0	22.7	22.8	22.7	23.0	22.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mg/(Mg+Fe):	0.53	0.29	0.71	0.75	0.69	0.63	0.60	0.94	0.00	0.01	0.03	0.87		
Spesies:	H	B	M	M	M	D	M	D	D	D	D	D		

Empirical formulae of dark mica is calculated on the basis of O=11.

Empirical formula of amphibole is calculated on the basis of T=100.

Empirical formula of chlorite is calculated on the basis of O=10.

Petrographic type TD — wachschlade; BA — basalt; PR — pyroxene; mafic; PA — pyroxene; felsic.

Spesies II — biotite; M — magnesioclinopyroxene; P — pargasite; D — diopside.

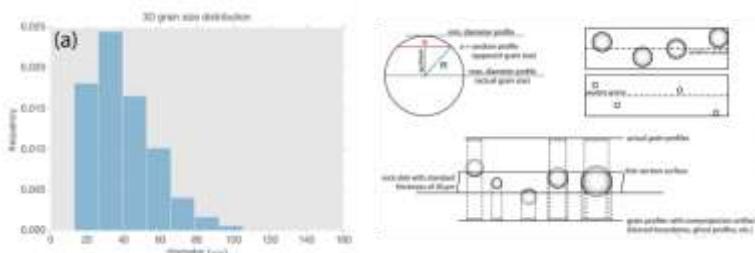
BDL: below detection limit.

apf: atoms per formula unit.

Gambar 4. 13 Conto tabel hasil analisis geokimia (Krmick et al 2020).

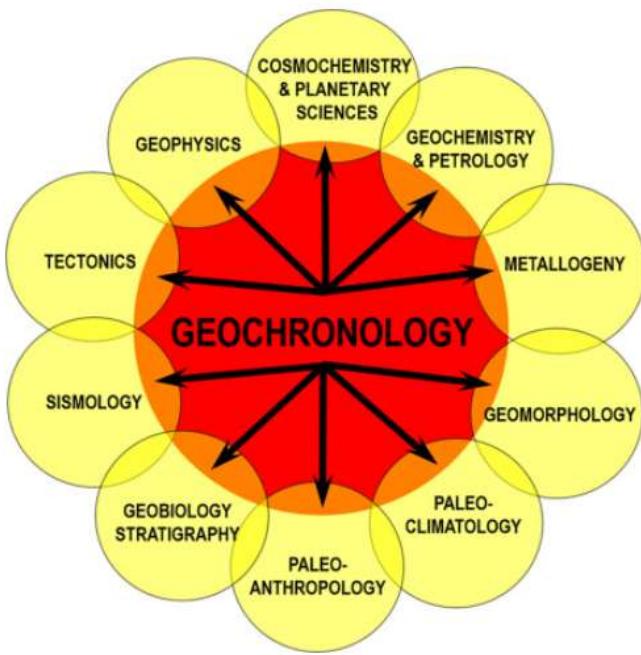
Analisis besar butir untuk batuan piroklastik dalam

bentuk kurva balok (Gambar 4.14).



Gambar 4. 14 Distribusi grain size analysis (Lopez-Sanchez, 2016).

Penentuan Umur (Geokronologi): Menentukan umur absolut batuan menggunakan metode radiometrik (misalnya Karbon-14 untuk material organik yang terkubur, atau Kalium-Argon untuk batuan beku) untuk membangun kronologi letusan yang akurat (Gambar 4.15).



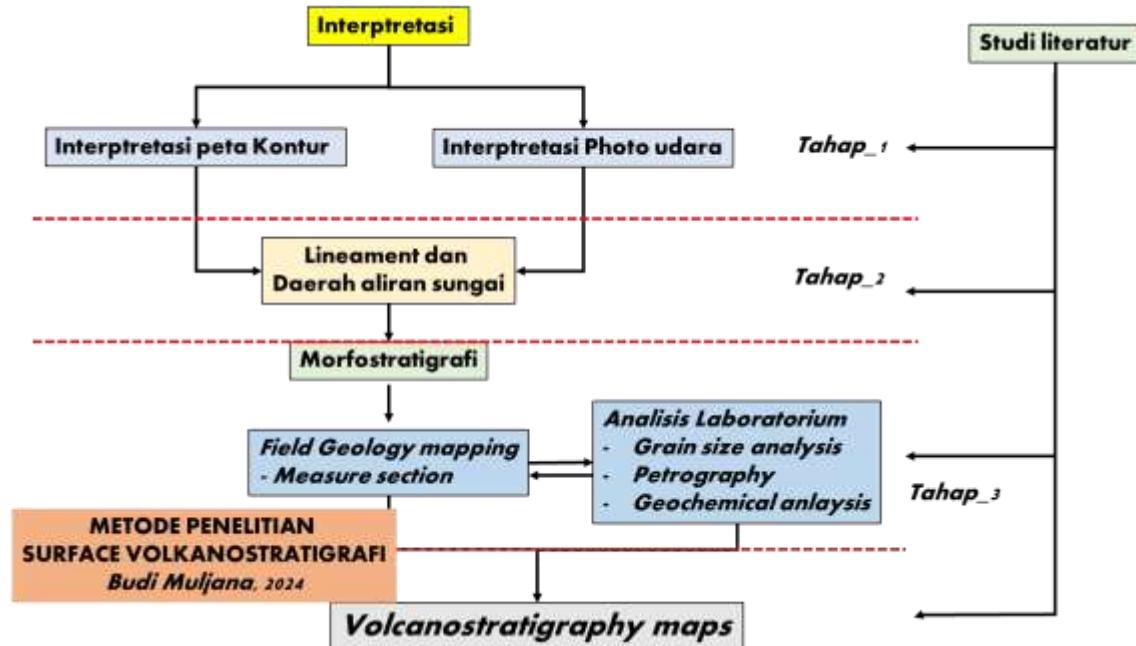
Gambar 4. 15 Diagram skema geokronologi pada Earth and Planetary Sciences
<https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00024-2>

3. Sintesis Data dan Pembuatan Peta

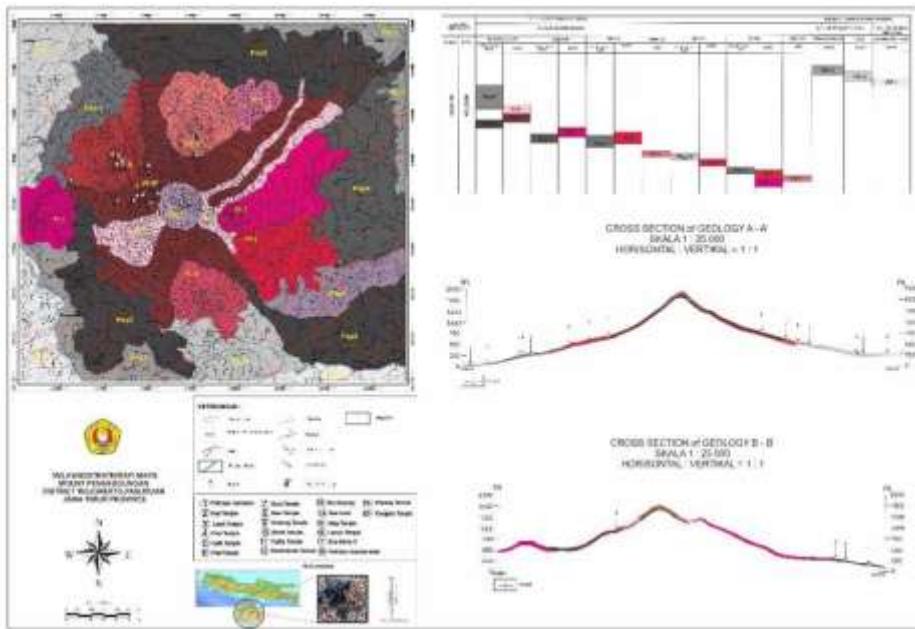
Kompilasi Data: Menggabungkan semua data dari studi pendahuluan, kerja lapangan, dan analisis laboratorium.

Penggambaran Peta Final: Menggunakan perangkat

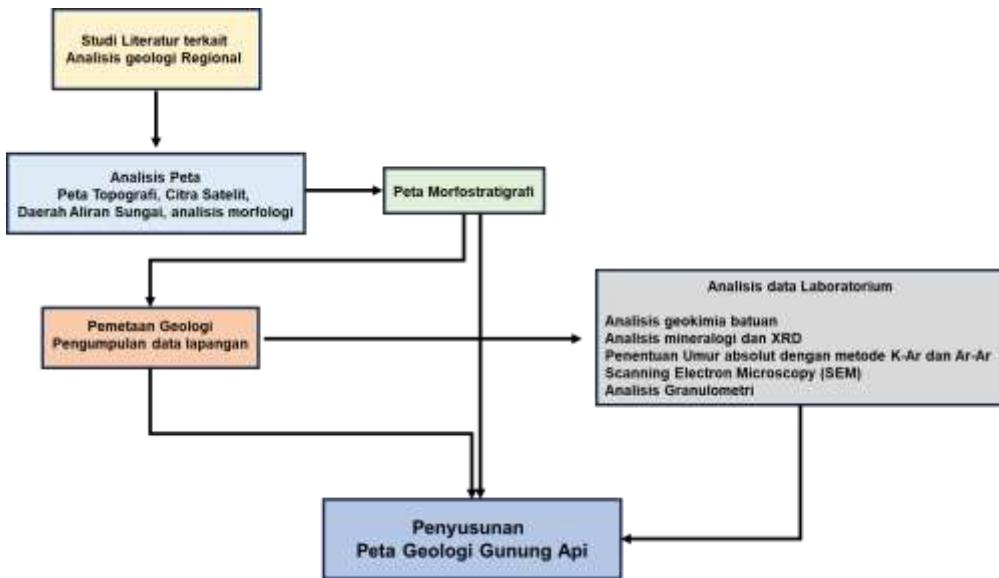
lunak Sistem Informasi Geografis (SIG/GIS) untuk menggambar peta geologi final yang lengkap dengan legenda, simbol, penampang geologi, dan narasi penjelasan (Gambar 4.16; 4.17 dan 4.18).



Gambar 4. 16 Urutan pemetaan gunungapi secara umum (Muljana, dkk 2025)



Gambar 4. 17 Conto Peta Vulkanostatigrafi Gunung Penanggungan (Paripurno dkk, 2018).



Gambar 4. 18 Skema Pemetaan Gunung Api.

BAB 5

PARAMETER FISIK BATUAN, PETROGRAFI DAN GENESIS

Studi vulcanostratigrafi, terdapat sejumlah parameter fisik batuan memegang peranan krusial untuk merekonstruksi sejarah erupsi dan memahami proses vulkanik. Analisis parameter fisik ini memungkinkan para ahli geologi untuk mengidentifikasi, memetakan, dan menginterpretasikan berbagai jenis endapan vulkanik. Beberapa parameter seperti fisik, petrografi dan genesis adalah hal yang utama dalam studi vulcanostratigrafi.

Parameter-parameter fisik utama yang digunakan dalam analisis vulcanostratigrafi meliputi tekstur, struktur, litologi, serta sifat fisik dan mekanik batuan. Kombinasi dari analisis parameter-parameter ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai sejarah dan karakteristik suatu gunung api.

Parameter petrografi meliputi karakteristik batuan yang diamati di bawah mikroskop yang berfungsi sebagai petunjuk dimana ahli geologi untuk mengidentifikasi, membedakan, dan mengkorelasikan berbagai endapan vulkanik. Analisis ini memberikan wawasan mendalam mengenai komposisi magma, proses erupsi, dan lingkungan pengendapan material vulkanik.

Parameter genesis dalam vulcanostratigrafi adalah kunci untuk merekonstruksi sejarah letusan dan evolusi sebuah gunung api. Parameter-parameter ini merujuk pada serangkaian karakteristik batuan dan endapan vulkanik yang digunakan untuk mengidentifikasi asal-usul, proses pembentukan, mekanisme erupsi, serta lingkungan pengendapannya. Analisis terhadap parameter-parameter ini memungkinkan para ahli geologi untuk menginterpretasikan rekaman aktivitas vulkanik masa lalu.

Rekaman aktivitas vulkanik masa lalu atau yang tidak dapat disaksikan oleh manusia pada dasarnya di

hasilkan oleh dua proses, yaitu proses magmatisme dan proses sedimenter pasca aktifitas vulkanik. Seringkali kedua proses itu terjadi dalam waktu yang relatif berdekatan oleh karena itu muncul suatu istilah proses *volcano-sedimentation*.

5.1. Parameter Fisik

Beberapa hal yang termasuk kedalam parameter fisik dalam batuan vulkanik adalah, 1. tekstur batuan, 2. Struktur Batuan, 3. Litologi dan Komposisi, dan 4. Sifat Fisik dan Mekanik Lainnya.

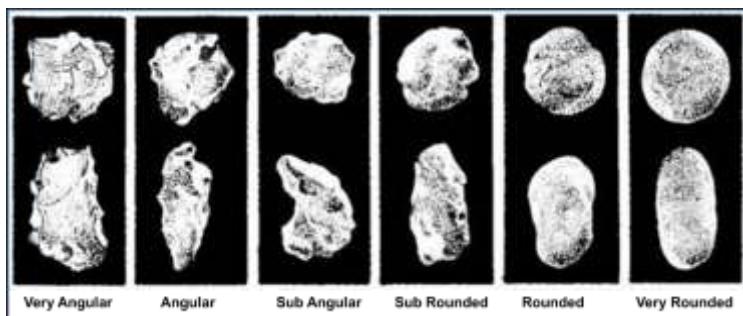
5.1.1. Tekstur Batuan

Tekstur menggambarkan kenampakan batuan yang berkaitan dengan ukuran, bentuk, dan susunan butir mineral atau fragmen di dalamnya. Seperti halnya pada batuan sedimen maka ini adalah salah dasar utama dari parameter batuan vulkanik.

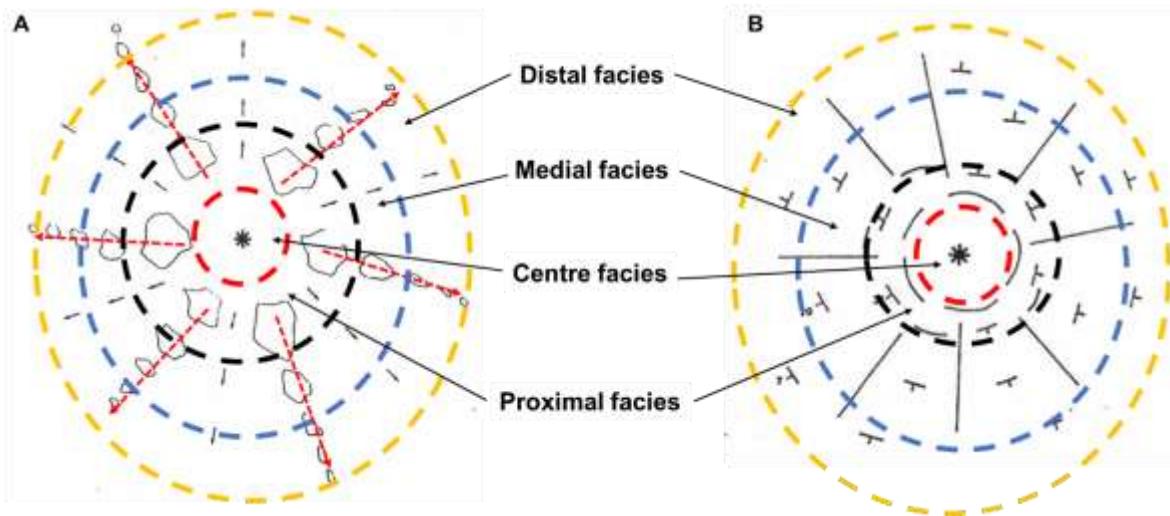
Analisis ukuran butir membantu menentukan mekanisme transportasi dan jarak dari pusat erupsi (Gambar 5.1).

- **Bentuk Butir:** Bentuk fragmen, apakah menyudut (*angular*) atau membulat (*rounded*), memberikan petunjuk tentang proses fragmentasi dan pengangkutan. Fragmen yang menyudut tajam biasanya menunjukkan transportasi yang pendek (Tabel 1).
- **Ukuran Butir dan Pemilahan:** Ukuran butir (abu, lapili, blok/bom) dan tingkat keseragaman ukuran (pemilahan) membantu membedakan antara endapan jatuhan piroklastik (biasanya pemilahan baik) dengan aliran piroklastik (pemilahan buruk).
- **Ukuran Butir dan Pemilahan:** Ukuran butir (abu, lapili, blok/bom) dan tingkat keseragaman ukuran (pemilahan) membantu membedakan antara endapan jatuhan piroklastik (biasanya pemilahan baik) dengan aliran piroklastik (pemilahan buruk).
- **Kategori kebundaran dan kerungcingan butiran:** Hal tersebut menunjukkan jarak

transportasi fragmen tersebut. Hal yang sama berlaku pada batuan sedimen.



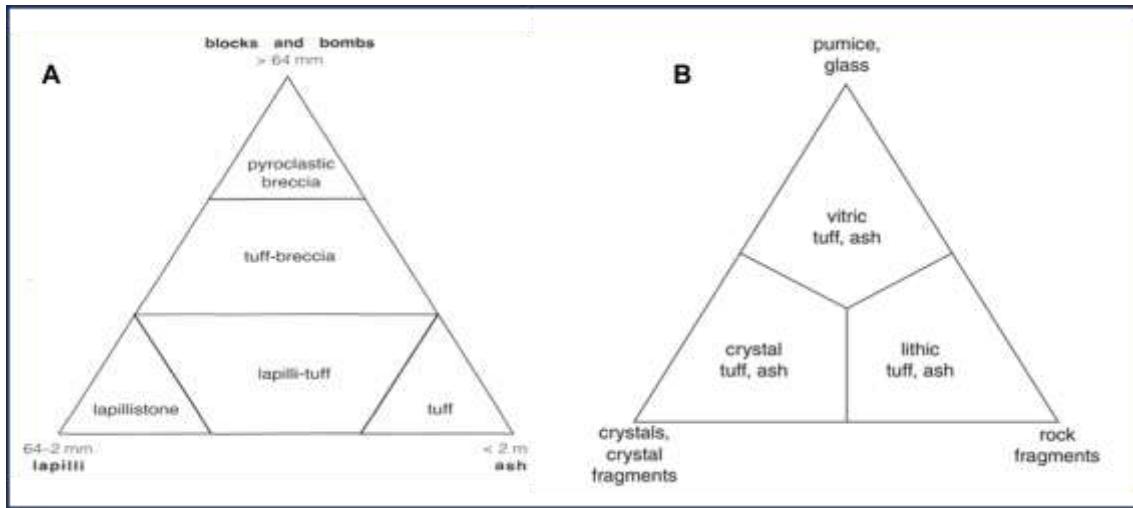
Gambar 5. 1 Kategori kebundaran dan keruncingan butiran (Pettijohn, dkk., 1957).



Gambar 5. 2 Ilustrasi yang menggambarkan hubungan besar dan bentuk fragmen (A) dan dip kemiringan tubuh gunung api terhadap facies gunung api (modifikasi dari Isnawan dan Bronto, 1997).

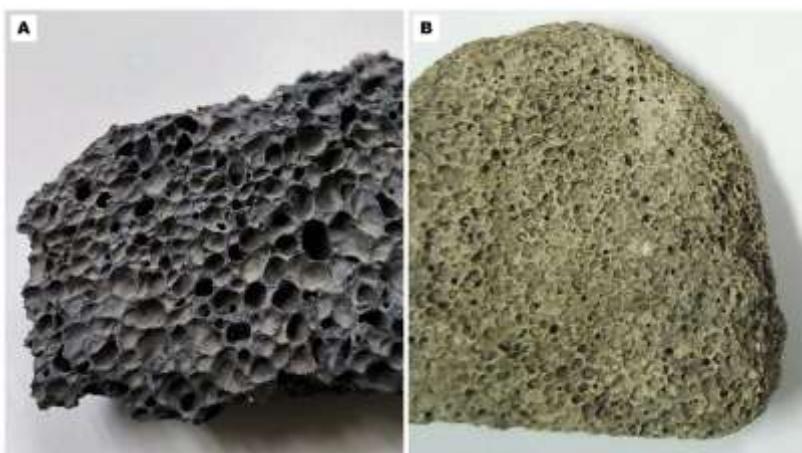
Tabel 5. 1 Klasifikasi Granumetrik dari *Pyroclastic and of Unimodal, well-sorted pyroclastic deposits* (Schmid, 1981).

clastic size	pyroclast	pyroclastic deposits				
		mainly unconsolidated: tephra		mainly consolidated: pyrocalstic rock		
64 mm	bomb, block	agglomerate, bed or blocks or bomb, block tephra			aggomerale, pyroclastic breccia	
2 mm	lapillus	layer, bed of lapilli or lapilli tephra			lapilli tuf	
1/16 mm	coarse ash grain fine ash grain (dust grain)	ash grain fine ash (dust)	coarse ash fine ash (dust)	ash	coarse (ash) tuff fine (ash) tuff (dust tuff)	(ash) tuff



Gambar 5. 3 *Grain size terms used for primary pyroclastic rocks* (Fisher, 1966b); B. Triangural penentuan tipe batuan berdasarkan asesoris batuan vulkanik (Schmid, 1981).

Vesikularitas: Merujuk pada keberadaan lubang-lubang (vesikel) akibat gas yang terperangkap saat lava mendingin. Tingkat vesikularitas pada batuan seperti skoria dan pumis (batuapung) dapat mengindikasikan viskositas dan kandungan gas magma.



Gambar 5. 4 A. Scoria sebagai juvenile fragment berwarna gelap/hitam dengan komposisi didominasi intermediate sampai mafic. B. Pumice, juvenile fragment berwarna terang dengan densitas ringan. (<https://earthknow.com/scoria-vs-pumice/>).

Kristalinitas: Menggambarkan derajat pembentukan kristal dalam batuan, mulai dari:

- a. holokristalin (sepenuhnya Kristal) terbentuk pada batuan dengan komposisi mineral yang relatif masih sempurna dengan suhu pembentukan yang masih tinggi dalam waktu yang lama.



Gambar 5. 5 Holokristalin tekstur
(<https://geologybase.com/holocrystalline/>).

- b. hipokristalin (sebagian kristal dan sebagian gelas), komposisi mineral tidak dalam kondisi 100% berbentuk sempurna. Suhu pembentukan cukup tinggi akan tetapi waktu pembentukannya tidak cukup lama untuk membentuk mineral yang sempurna.

- c. holohialin (sepenuhnya gelas vulkanik seperti obsidian) dan terjadi pada batuan yang memiliki komposisi gelasan. Holohyalin terjadi secara singkat sehingga mineral tidak membentuk secara sempurna.

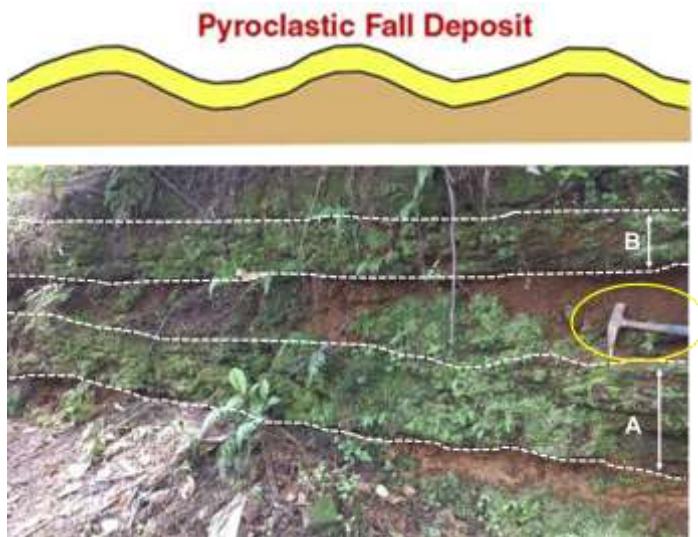


Gambar 5. 6 Holohialin tekstur
(<https://www.slideshare.net/slideshow/textures-of-igneous-rocks/90402336>).

5.1.2. Struktur Batuan

Struktur batuan adalah kenampakan batuan dalam skala yang lebih besar, seringkali dapat diamati di singkapan lapangan.

Perlapisan: Adanya lapisan-lapisan dalam endapan vulkanik, terutama pada endapan jatuhan piroklastik (*tefra*), dapat menunjukkan adanya episode-episode erupsi yang berurutan.



Gambar 5. 7 Singkapan yang menunjukkan perlapisan yang ditemukan di sekitar Cisarua (Foto penulis, 2025).

Gradasi: Perubahan ukuran butir secara bertahap dalam satu lapisan. Gradasi normal (butir kasar di bawah, halus di atas) sering ditemukan pada endapan aliran piroklastik dan lahar.



Gambar 5. 8 Pola gradasi butiran dari endapan vulkanik menunjukkan pola normal gradded bedding (<https://www.geological-digressions.com/volcanics-in-outcrop-pyroclastic-fall-deposits/>)



Gambar 5. 9 Contoh endapan lahar yang menunjukkan stratifikasi (<https://www.usgs.gov/media/images/lahar-deposit-sequence-60-ft18-m-thick-along-sandy-river-mount>).

Struktur Aliran (*Flow banding*): Terdapat pada batuan lava, menunjukkan arah aliran lava sebelum membeku.

Pengelasan (*Welding*): Tingkat perekatan atau penyatuan fragmen piroklastik panas saat terendapkan. Derajat pengelasan, dari tanpa las hingga terlas kuat (*ignimbrite*), mencerminkan suhu saat pengendapan.

Kekar (*Joints*): Rekahan pada batuan yang terbentuk selama pendinginan, seperti kekar kolom (*columnar joints*) pada lava basal.

5.1.3. Litologi dan Komposisi

Litologi adalah deskripsi fisik makroskopis dari batuan, termasuk warna, komposisi mineral, dan jenis fragmen yang terkandung.

Jenis Batuan: Identifikasi jenis batuan utama seperti lava, breksi piroklastik, tuf (batuan dari abu vulkanik), atau aglomerat menjadi dasar dalam pemetaan satuan vulcanostratigrafi.

Komposisi Fragmen: Jenis-jenis fragmen batuan (*lithic*), kristal, atau gelas yang ada di dalam batuan piroklastik memberikan informasi tentang batuan yang diterobos oleh magma dan kondisi magma itu sendiri.

Warna: Meskipun dapat bervariasi, warna batuan seringkali dapat memberikan petunjuk awal mengenai komposisi mineralnya.

1. Parameter Petrografi: Kunci Membaca Sejarah Erupsi Gunung Api dalam Volcanostratigrafi

Dalam studi volcanostratigrafi, yang bertujuan merekonstruksi sejarah letusan dan evolusi gunung api, analisis petrografi memegang peranan krusial. Parameter petrografi—karakteristik batuan yang diamati di bawah mikroskop—berfungsi sebagai "sidik jari" yang memungkinkan ahli geologi untuk mengidentifikasi, membedakan, dan mengorelasikan berbagai endapan vulkanik. Analisis ini memberikan wawasan mendalam mengenai komposisi magma, proses erupsi, dan lingkungan pengendapan material vulkanik.

Parameter-parameter ini secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: **komposisi mineral, tekstur batuan, dan komponen penyusun batuan piroklastik.**

2. Komposisi Mineral: Jendela Menuju Dapur Magma

Analisis komposisi mineral pada sayatan tipis batuan vulkanik memberikan informasi fundamental tentang sifat magma asal. Parameter kunci yang diamati meliputi:

- **Jenis dan Kelimpahan Mineral:** Identifikasi mineral-mineral utama (seperti plagioklas, piroksen, olivin, amfibol, dan kuarsa) serta mineral aksesoris (misalnya magnetit dan ilmenit) dapat menunjukkan jenis magma (misalnya basaltik, andesitik, atau riolitik). Perubahan kelimpahan mineral antar lapisan vulkanik menandakan adanya evolusi atau percampuran magma.
- **Komposisi Mineral Spesifik:** Komposisi kimia mineral tertentu, terutama plagioklas, sering digunakan sebagai indikator. Zonasi pada kristal plagioklas, misalnya, dapat merekam perubahan kondisi dalam dapur magma sebelum erupsi.

- **Mineral Alterasi:** Kehadiran mineral sekunder seperti klorit, epidot, atau kalsit menunjukkan adanya proses alterasi hidrotermal setelah batuan terbentuk. Ini penting untuk memahami sejarah termal batuan dan potensi adanya sistem panas bumi.

3. Tekstur Batuan: Rekaman Proses Pendinginan dan Erupsi

Tekstur menggambarkan ukuran, bentuk, dan susunan kristal dalam batuan, yang mencerminkan sejarah pendinginan dan penempatan batuan vulkanik. Parameter tekstur yang vital dalam volkanostratigrafi adalah:

- **Kristalinitas:** Menggambarkan proporsi antara massa kristal dan massa gelas (kaca vulkanik). Batuan yang sepenuhnya kristalin (holokristalin) menunjukkan pendinginan yang lambat, sedangkan batuan yang kaya gelas (hipokristalin hingga holohialin) menandakan

pendinginan yang sangat cepat, khas untuk lava atau endapan piroklastik di permukaan.

- **Ukuran Kristal (Granularitas):** Ukuran kristal, dari sangat halus (*afanitik*) hingga kasar (*faneritik*), berhubungan langsung dengan laju pendinginan magma. Tekstur porfiritik, di mana kristal besar (*fenokris*) tertanam dalam massa dasar yang lebih halus, menunjukkan dua fase pendinginan: lambat di dalam bumi diikuti pendinginan cepat di permukaan.
- **Bentuk Kristal:** Tingkat kesempurnaan bentuk kristal (*euhedral*, *subhedral*, *anhedral*) memberikan petunjuk tentang urutan kristalisasi mineral.
- **Vesikularitas:** Kehadiran dan karakteristik lubang gas (*vesikel*) menunjukkan jumlah gas yang terlarut dalam magma saat erupsi. Tingkat vesikularitas yang tinggi merupakan ciri khas batuan piroklastik seperti skoria dan batuapung.

4. Komponen Batuan Piroklastik: Fragmen-fragmen Cerita Letusan Eksplosif

Untuk mendekati hasil letusan eksplosif (piroklastik), analisis petrografi fokus pada identifikasi dan kuantifikasi tiga komponen utama:

- **Fragmen Juvenil (Gelas dan Kristal):** Ini adalah material yang berasal langsung dari magma yang baru meletus. Fragmen gelas (seperti pecahan batuapung atau *shards*) memberikan informasi tentang viskositas dan kandungan gas magma. Kristal-kristal lepas (kristaloklas) adalah fenokris yang terlepas saat erupsi.
- **Fragmen Litik:** Merupakan pecahan batuan yang lebih tua (batuan dinding gunung api atau batuan dasar) yang ikut terbawa saat erupsi. Jenis fragmen litik dapat membantu mengidentifikasi lokasi sumber erupsi.

- **Kristal Pecah:** Proporsi kristal utuh versus kristal yang pecah-pecah dapat mengindikasikan tingkat fragmentasi magma selama letusan.

Dengan mengintegrasikan data dari berbagai parameter petrografi ini, ahli volkanostratigrafi dapat menyusun kolom stratigrafi detail, mengkorelasikan unit-unit batuan vulkanik di area yang luas, dan pada akhirnya, merekonstruksi sejarah erupsi sebuah gunung api dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

5.2. Parameter Genesis dalam Volkanostratigrafi

Parameter genesis dalam volkanostratigrafi adalah kunci untuk merekonstruksi sejarah letusan dan evolusi sebuah gunung api. Parameter-parameter ini merujuk pada serangkaian karakteristik batuan dan endapan vulkanik yang digunakan untuk mengidentifikasi asal-usul, proses pembentukan, mekanisme erupsi, serta lingkungan pengendapannya. Analisis terhadap parameter-parameter ini memungkinkan para ahli geologi untuk

menginterpretasikan rekaman aktivitas vulkanik masa lalu.

Rekaman aktivitas vulkanik masa lalu atau yang tidak dapat disaksikan oleh manusia pada dasarnya dihasilkan oleh dua proses, yaitu proses magmatisme dan proses sedimenter pasca aktifitas vulkanik. Seringkali kedua proses itu terjadi dalam waktu yang relative berdekatan oleh karena itu muncul suatu istilah proses volcano-sedimentasi.

5.2.1. Parameter Kunci dalam Menentukan Genesis Batuan Vulkanik

Analisis genesis dalam volkanostratigrafi melibatkan pengamatan dan interpretasi berbagai parameter, mulai dari skala singkapan di lapangan hingga analisis mikroskopis dan kimiawi di laboratorium. Berikut adalah parameter-parameter fundamental yang digunakan:

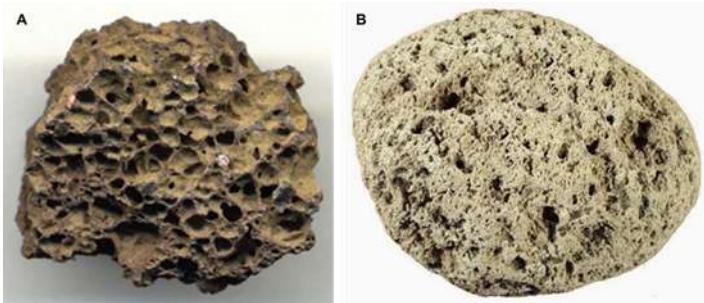
1. Litologi dan Komponen Penyusun

Litologi atau jenis batuan adalah parameter paling dasar. Ini mencakup identifikasi material penyusun endapan vulkanik, yang dapat memberikan petunjuk awal mengenai sifat erupsi.

2. Juvenil vs. Asesori fragmen batuan:

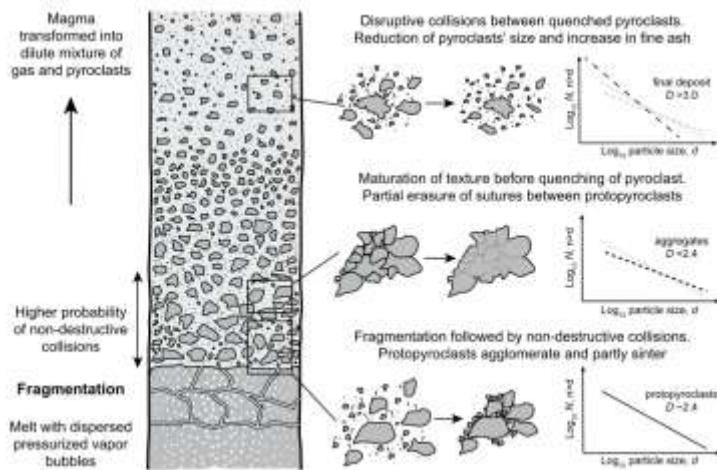
Proporsi antara material segar dari magma (juvenil) seperti batuapung dan skoria, dengan batuan sampingan (asesori/aksidental) yang terbawa saat erupsi, dapat mengindikasikan tingkat eksplosivitas dan interaksi magma dengan batuan di sekitarnya (gambar 5.10).

Analisis mengenai kandungan fragmen *Juvenile* terutama dalam bentuk dan internal texture akan memberikan informasi mengenai,



Gambar 5. 10 Juvenile Fragment sebagai material sebagai hasil erupsi langsung sebagai pecahan dari magma. Gambar A. Scoria-basaltis dan B. Batuapaung yang lebih bersifat magma asam ([https://batuukirjogja.com/jenis-jenis-batuanna-beku/](https://batuukirjogja.com/jenis-jenis-batuannya-beku/); <https://geologyscience.com/rocks>)

Primary Fragmentation, dimana bagaimana magma itu awalnya “terpisah” dengan magma, *Magma state*, kondisi awal dan pada saat magma terfragmentasi termasuk komposisi, viskositas dan gas content, *Eruption dynamics*, melihat bagaimana proses erupsi seperti kecepatan pergerakan magma dan gas yang dilepaskan (Gambar 5.11).

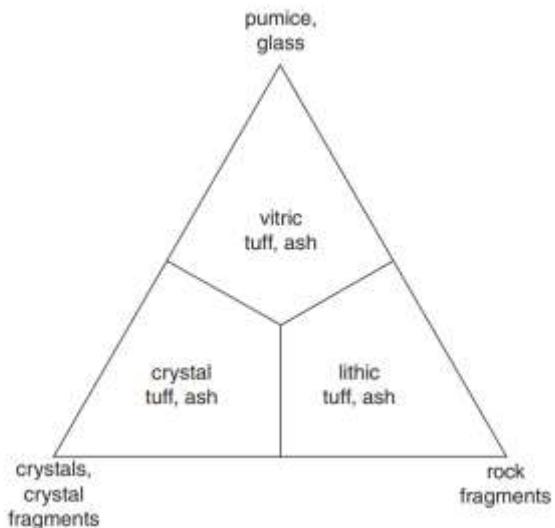


Gambar 5. 11 Ilustrasi diagram dari fragmentasi primer dan sekunder proses yang terjadi pada conduit serta efeknya terhadap pada grain-size pyroclast distributions. Slope pada kurva menunjukkan evolusi dari perubahan ukuran butir selama proses erupsi, tanpa skala (Giachetti., et al 2021)

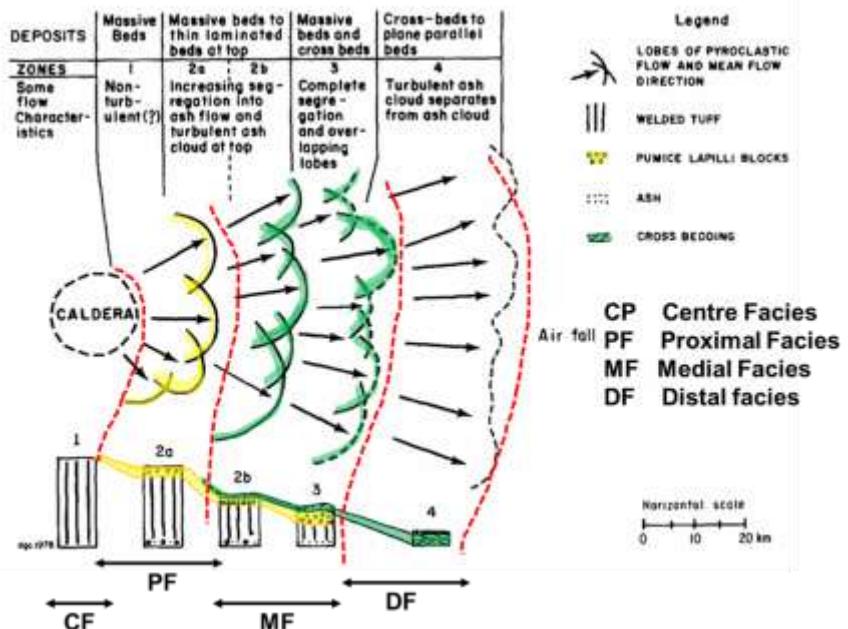
- **Mineral asesoris** adalah mineral-mineral yang terbentuk selama proses kristalisasi magma, namun jumlahnya sangat sedikit, biasanya kurang dari 1% dari total volume batuan. Kehadiran mereka tidak memengaruhi penamaan dasar batuan vulkanik (seperti andesit atau basal), tetapi keberadaan dan komposisinya memberikan informasi yang

sangat berharga bagi para ahli geologi. Berbeda dengan mineral utama (seperti feldspar, piroksen, olivin, atau kuarsa) yang membentuk massa dasar batuan, mineral asesoris seringkali lebih tahan terhadap proses pelapukan dan perubahan kimia (Gambar 7.3).

- **Kristal, Litik, dan Gelas:** Komposisi endapan piroklastik, apakah didominasi oleh kristal mineral, fragmen batuan (litik), atau pecahan gelas vulkanik, mencerminkan kondisi magma dan dinamika letusan.



Gambar 5. 12 Triangural penentuan tipe batuan berdasarkan asesoris batuan vulkanik (Schmid, 1981).



Gambar 5. 13 Model Penampang penyebaran facies vulkanik (Fisher, 1979)

3. Fasies Vulkanik

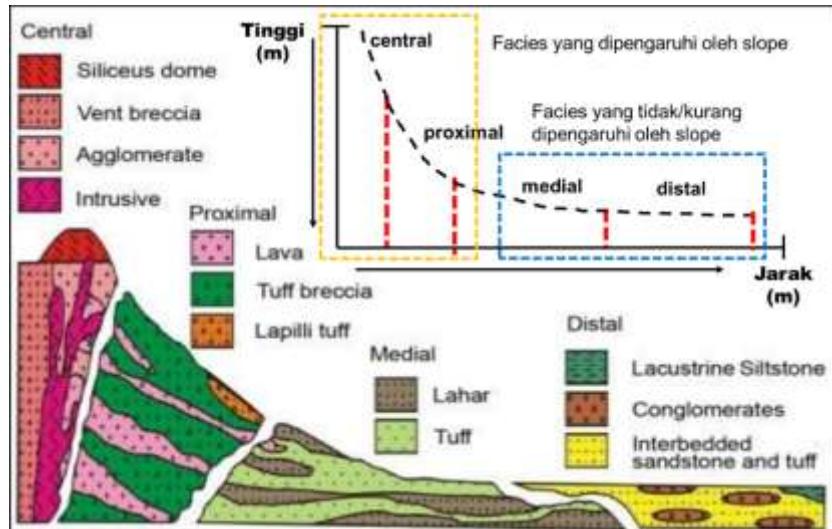
Facies vulkanik ditandai dengan kesamaan ciri litologi di daerah gunung api yang dibedakan atau dipetakan berdasarkan bentang alamnya, urutan pengendapannya dan struktur geologi yang berkembang. Berdasarkan kontek gunung api Kuarter khususnya, facies vulkanik dapat ditentukan berdasarkan jarak dari pusat erupsi. Oleh karena itu, penentuan pusat erupsi sangatlah penting dalam pemetaan gunung api. Terutama juga pada gunung api Tersier yang seringkali sudah tidak teridentifikasi dengan baik pusat erupsinya. Selain terhadap jarak, hal utama yang penting adalah slope dari lereng gunung api. Hal tersebut sangat berpengaruh pada distribusi perubahan facies gunung api. Analisis fasies vulkanik membantu menginterpretasikan sejarah dan proses erupsi gunung api, seperti tipe letusan dan endapan yang dihasilkannya. Seperti yang telah dilampirkan pada Bab 2 mengenai facies gunung api menurut Bogie dan MaCKenzie, 1998.

Model facies gunung api untuk tipe stratovolcano yang didominasi oleh komposisi andesit menurut Bogie dan MacKenzie (1998) dapat dibagi menjadi 4 (empat) facies model. Facies model tersebut adalah:

1. *Central facies*, Facies vulkanik ini ditandai dengan Kumpulan batuan yang dekat dengan volcanic vent, terdiri dari kombinasi intrusi *dyke* ataupun *sills* yang memotong sumbu-sumbu *breccie pipe*, seringkali ditemukan coarse agglomerate yang berselingan dengan lava. Penyebaran facies vulkanik ini terdapat pusat erupsi diperkirakan antara 0.5 sampai 2 km.
2. *Proximal facies*, dicirikan dengan Kumpulan batuan vulkanik yang sudah cukup jauh terhadap pusat erupsi dan mekanisme pengendapannya telah dipengaruhi oleh slope bagian puncak erupsi. Batuan vulkanik yang biasa ditemukan pada facies ini adalah perlapisan cukup tebal dari lava yang terbreksikan (*autobrecciated*), berinterkalasi dengan batuan pyroclastic dengan sortasi buruk

dan sebagian ditemukan breksi vulkanik. Distribusi batuan vulkanik terhadap pusat erupsi menyebar antara 5 sampai 10 km.

3. *Medial Facies*, Kumpulan batuan vulkanik yang ditemukan didominasi oleh batuan *pyroclastic* dibandingkan dengan lava. Endapan lahar sebagai *volcanogenic deposits* ditandai dengan *block-fragment angular* sampai *subangular* yang berinterkalasi dengan endapan *pyroclastic* yang mempunyai sortasi cukup baik. *Grain size* batuan *pyroclastic* ini berukuran *lapilli* sampai *coarse ash*. Hal lainnya adalah batuan ini ditandai dengan *shallow intial dip* terhadap *slope* lereng gunung api. Jarak penyebaran batuan vulkanik ini dapat mencapai 10 sampai 15 km terhadap pusat erupsi.
4. *Distal Facies*, Ciri facies vulkanik ini adalah *epiclastic deposits* dimana sifat penyebaran batuan atau *lateral continuity* cukup signifikan dan sudah tidak dipengaruhi lagi oleh *slope*



Gambar 5. 14 Model Facies pada kondisi struktur yang stabil dari suatu gunung api strato berkomposisi andesit (Bogie dan MacKenzie, 1998)

BAB 6

POKOK-POKOK

PERMASALAHAN DALAM

VULKANOSTRATIGRAFI

Penerapan konsep vulcanostratigrafi pada batuan vulkanik berumur Kuarter dapat mengungkapkan sejarah letusan gunung api. Pelamparan produk dan genesisnya dapat membantu dalam penyusunan peta risiko bahaya. Di sisi lain, konsep facies dari setiap unit dalam volkanosatratigrafi dapat dipakai dalam penyusunan strategi eksplorasi panas bumi. Demikian juga dalam pemanfaatan material gunung api seperti penggalian batuan pejal lava dan intrusi dan batuan klastik seperti pasir, batuapung dan tras.

Berbeda dengan penerapannya pada endapan-endapan berumur Kuarter pada gunung api Tersier telah terjadi banyak perubahan. Sebalik itu batuan Tersier terbentuk pada lingkungan laut. Namun oleh karena busur gunung api di Indonesia hampir seluruhnya berupa busur vulkanik laut (*volcano island*

arc), maka terjadi tumpang tindih atau interface antara batuan gunung api dengan batuan sedimen. Terlebih-lebih banyak sekali gunung api yang merupakan pulau gunung api (*volcano island*) sehingga transisi antara endapan gunung api dan endapan sedimen menjadi lebih intensif.

Sebagai contoh, seluruh bagian tengah dan selatan Pulau Jawa terbentuk dalam lingkungan transitional ini. Terlebih-lebih pulau-pulau gunung api di Nusa Tenggara yang hampir seluruhnya terbentuk di lingkungan laut. Konsep volcanostratigrafi yang berazaskan mekanisme pelamparan horizontat yang dikombinasikan dengan genesis dan terpusatnya sumber material harus dikombinasikan dengan sedimentasi di lingkungan laut yang berazaskan konsep Steno. Pemetaan dan pemahaman geologi sepanjang Pulau Jawa yang merupakan kunci dari kombinasi kedua konsep yang berbeda ini merupakan rujukan bagi pemetaan geologi di daerah transisi lainnya.

Dalam eksplorasi mineral konsep vulcano stratigrafi

cukup memegang peranan penting. Terlebih-lebih permeabilitas yang dimiliki batuan klastik gunung api sangat menunjang bagi akumulasi hidrokarbon. Dalam hal ini terdapat kesebandingannya dengan endapan turbidit yang ternyata potensial sebagai reservoir.

Di dalam eksplorasi logam, ternyata peran air laut di dalam proses mineralisasi di lingkungan gunung api cukup penting. Perkolasi air laut di dalam sistem mineralisasi di lingkungan gunung api merupakan faktor penting dalam pembentukan mineral. Dalam hal ini bisa dirujuk pembentukan cebakan emas di Pulau Wetar yang mineralisasinya mengikuti lapisan piroklastik produk gunung api.

Dengan demikian permasalahan yang cukup penting dalam kaitan dengan *volcanostrigraphy* di Indonesia adalah zona transisional yang mengaplikasikan dua konsep yang berbeda yaitu mekanisme pelamparan horizontal dan mekanisme pengendapan vertikal, Dalam hal ini perlu dibahas perlakuan terhadap satuan pemetaan yang cocok untuk zona transisional tersebut.

Pada dasarnya interpretasi Stratigrafi adalah sama yaitu ingin merekonstruksi sejarah geologi yang dalam hal ini gejala gunung api. Akan tetapi karena sifat erupsi vulkanik yang memberikan model pengendapan yang berbeda-beda. Seperti diketahui endapan vulkanik dihasilkan dari mekanisme gunungapi berupa proses efusif dan eksplosif. Proses efusif terjadi aliran lava sedangkan eksplosif terjadi pada letusan yang menyebarluaskan endapan piroklastik. Akan tetapi pada proses longsoran dari kubah lava atau endapan piroklastik maka yang terjadi adalah proses sedimentasi. Atau endapan vulkanik akibat dari resedimentasi ataupun vulkanogenik. Beberapa pokok permasalahan utama dalam vulcanostratigrafi akan diuraikan dibawah ini.

1. Penamaan batuan vulkanik pada zona transisional
2. Penamaan istilah pada nama batuan vulkanik
3. Penerapan Prinsip Superposisi
4. Korelasi batuan gunung api

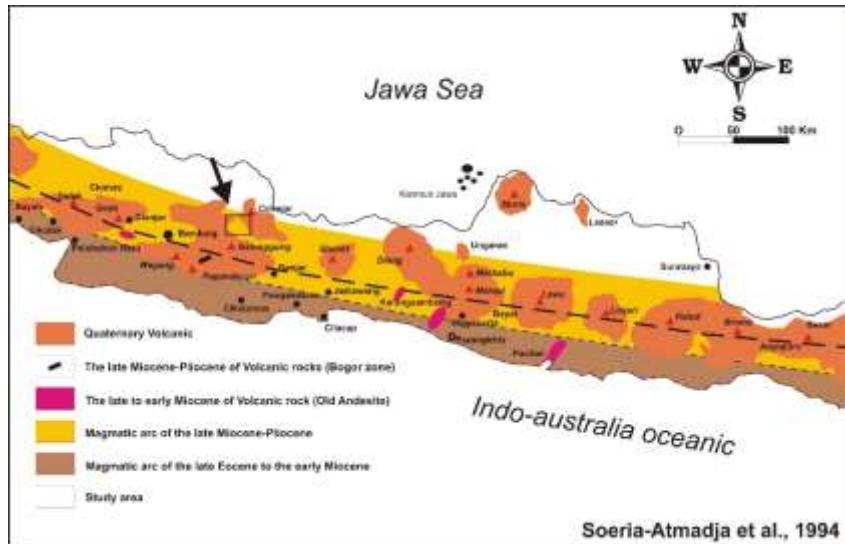
5. Penerapan Stratigrafi dalam analisis evolusi gunung api.

6.1 Penamaan batuan vulkanik Tersier pada zona Transisi

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya bahwa penerapan vulkanostraigrafi pada batuan gunung api Tersier perlu data dan pemahaman yang lebih dari penerapannya pada batuan gunung api vulkanik Kuarter. Pada gunung api Kuarter sangatlah mudah menentukan posisi sumber erupsi karena morfologinya masih terlihat jelas. Sementara itu pada gunung api Tersier dimana telah mengalami tingkat erosi lanjut maka diperlukan data dan interpretasi yang lebih detail (Tabel 6.1)

Tabel 6. 1 Perbandingan Litostratigrafi dan Vulkanostatigrafi (Hartono, 2024).

Variabel	Litostratigrafi	Vulkanostatigrafi
Dasar Klasifikasi	Karakteristik fisik batuan (litologi) yang sama dilapangan	Hubungan genetik dengan peristiwa letusan gunung api.
Prinsip Utama	Sangat bergantung pada Hukum Superposisi dan kesinambungan lateral.	Hukum Superposisi diterapkan dengan hati-hati karena adanya diskontinuitas lateral, pemotongan, dan pembalikan urutan yang umum terjadi pada endapan vulkanik.
Satuan Dasar	Formasi: tubuh batuan yang dapat dipetakan dengan ciri litologi yang seragam.	Khuluk : kumpulan batuan vulkanik dari satu pusat erupsi. Unit yang lebih kecil adalah Gumuk (kerucut anakan atau pusat erupsi sekunder) dan unit yang lebih besar adalah Bregada (gabungan beberapa khuluk).
Sifat Unit	Cenderung lebih tabular dan memiliki kesinambungan lateral yang lebih baik (terutama pada batuan sedimen).	Seringkali berbentuk lensa, tidak menerus secara lateral, dan memiliki hubungan yang kompleks (saling memotong, menumpang).
Hubungan dengan Waktu	Batas litostratigrafi tidak selalu merepresentasikan garis waktu yang sama (diakronis).	Lebih erat kaitannya dengan peristiwa sesaat (letusan), sehingga unit-unitnya seringkali lebih dekat dengan unit kronostratigrafi (unit waktu).



Gambar 6. 1 *Magmatic belt Tersier* di pulau Jawa, warna coklat di Selatan adalah *The Old Andesite Formation* menurut van Bemmelen (1949) (Soeria_Atmadaja dkk. 1994)

Gambar 6.1 diatas adalah Gambaran mengenai sebaran batuan vulkanik Tersier di pulau Jawa. Van Bemmelen pada tahun 1949 memberikan nama satuan ini dengan *The Old Andesite Formation*, dimana ciri-ciri litologi di definisikan berdasarkan peristiwa keterdapatannya, yaitu pada Oligosen-Miosen. Keterdapatannya dianggap berhubungan dengan mekanisme subduksi yang terjadi pada kala itu dan produknya adalah rangkaian gunung api di Selatan Jawa. Masalahnya adalah karakter deskripsi lapangan dari barat ke timur berbeda-beda seperti Formasi Jampang di Jawa Barat mempunyai karakter yang berbeda dengan Formasi Gabon di Banyumas atau dengan Formasi Kebo-Butak di Selatan Yogyakarta. Oleh karena itu pemetaan gunung api Tersier secara sistematis perlu dilakukan dengan seksama (Gambar 6.1).

Geologi Sejarah suatu daerah yang berkaitan dengan gunung api dapat diketahui dari keterdapatannya endapan gunung api. Khususnya dengan gunung api Tersier yang menyimpan informasi mengenai proses vulkanik

yang juga berhubungan dengan mekanisme subduksi, proses mineralisasinya, dan proses erosional yang terjadi. Rentang waktu jutaan dengan sebaran endapan batuan vulkanik yang sangat besar seperti pada gunung api komposit akan memberikan wawasan akan evolusi dari daerah tersebut (Condit dan Connor 1996; Conway dkk., 1998; Connor dan Conway, 2000; Connor dkk., 2000). Permasalahan utamanya adalah batuan vulkanik yang telah mengalami resedimentasi dari batuan vulkanik sebelumnya atau bercampur dengan batuan lainnya. Proses yang terjadi adalah murni sebagai proses sedimentasi yang sangat berbeda dengan model pengendapan batuan vulkanik *syn-eruption*. Hal penting yang sangat mempengaruhi pada batuan sedimen adalah proses diagenesisnya.

Proses sedimentasi pada batuan vulkanik seperti aliran piroklastik dan resedimentasi hasil ekstrusif ataupun efusif (Fisher dan Schmincke, 1984). Batuan piroklastik sebagai hasil utama dari proses letusan yang keluar melalui lubang gunung api yang akan

diangkut dengan media fluida, baik air atau angin dan diendapkan disuatu tempat. Mekanisme ini dikenal dengan *piroklastik fall deposits*, *piroklastik flow deposits* dan *surge deposits* (Gambar 10.2). Proses sedimentasi ditentukan dengan beberapa parameter (Wilson dan Houghton, 2000), yaitu

- a. Tingkat kohesi antar butir yang ditentukan dengan kadar air dan kejenuhan partikel *pyroclastic* tersebut. Parameter ini akan memberikan model pembentukan lapisan batuan vulkaniknya;
- b. Jalur yang ditempuh oleh butiran dalam mekanisme aliran piroklastik;
- c. Ukuran butiran, parameter fisik dari butiran hasil letusan gunung api;
- d. Kepadatan butiran piroklastik.

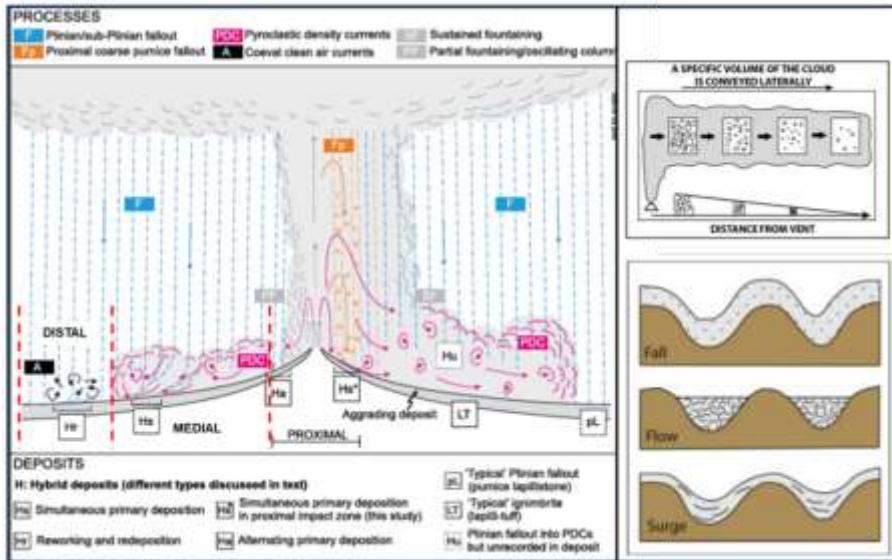
Pendekatan yang penting dalam pemetaan gunung api Tersier adalah,

- a. Analisis morfologi dengan photo-udara;
- b. Analisis struktur geologi berupa trend lineament;

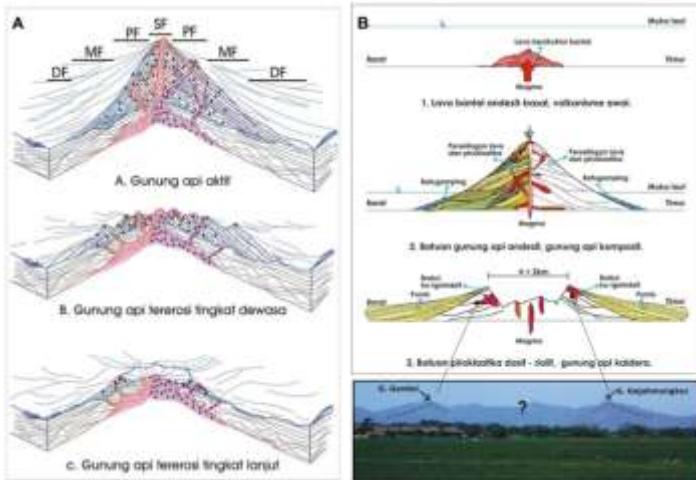
- c. Petrografi batuan dan zonasi mineralisasinya
- d. Pemetaan gunung api dilapangan

Dengan penyusunan konsep tentang satuan batuan vulkanik di zona transisi, maka sangat mungkin satuan batuan di bagian selatan Pulau Jawa yang selama ini dinamakan Batuan Andesit Tua (van Bemmelen 1949) dapat ditingkatkan ketelitiannya. Satuan peta *undifferentiated* yang mengundang berbagai makna dapat diurai menjadi satuan yang lebih kecil berbasis ketentuan menngenai startigrafi gunung api di zona transisional.

Sebaliknya perlu pula ditinjau konsep stratigrafi litologi pada batuan sedimen di darah transisional. Peta bagian selatan Pulau Jawa akan muncul dalam versi dan wajah baru, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih teliti tentang sejarah Pulau Jawa bagaian selatan tersebut.



Gambar 6. 2 Skema tanpa skala model Plinian Erupsi yang membentuk hybrid deposition tergantung jarak dan slope gunung api (modifikasi dari Dowey dan Williams, 2022).



Gambar 6. 3 A. Konsep perkembangan gunung api dari mulai gunung api muda sampi ke tingkat erosi lanjut; B. Evolusi gunung api Gajah Mungkur sebagai gunung api tersier di selatan Jawa Tengah (Vessel, R. K. dan Davies, D. K., 1981).

6.2 Penamaan istilah pada nama batuan vulkanik

Penamaan batuan vulkanik gunung api yang bersifat klastika yang seringkali disebut dengan batuan vulkaniklastik. Pada dasarnya batuan vulkaniklastik ini dapat terbentuk secara primer, batuan yang dihasilkan melalui proses erupsi dan terbentuk secara sekunder, yaitu hasil rombakan dari batuan gunung api sebelumnya. Produk gunung api primer seringkali disebut dengan batuan piroklastik. Akan tetapi beberapa peneliti memberikan istilah yang sama untuk batuan gunung api sebagai endapan aliran piroklastik, yaitu endapan batuan yang disebabkan oleh faktor sekunder. Hal yang paling mendasarkan dalam penamaan batuan vulkanik adalah, salah dalam menempatkan sebagai nama deskriptif atau menjelaskan asal-usul batuan vulkaniknya. Terasa janggal dengan menggabungkan makna litostratigrafi dengan makna vulcanostratigrafi, seperti contohnya penamaan satuan batuan dengan nama batupasir tufaan. Sifat tufaan sendiri di ambil dari interpretasi

skala mikroskopis dengan metode petrografi dan terlihat ada butiran vulkanik.

Hal lain adalah penamaan Tuf, secara definisi tuf adalah batuan gunung api bertekstur klastika, berukuran pasir atau ekuivalen dengan lapilli, fragmen batuan yang biasa ditemukan adalah mineral gelas, kristal yang berasal dari mineral pembentuk batuan dan fragmen batuan yang berasal dari batuan beku diluar magma aslinya.

Pada tuf pemerian batuan secara deskriptif dapat dibedakan berdasarkan ukuran butir seperti tuf kasar atau tuf halus. Berdasarkan komposisi butiranya seperti tuf gelas, tuf Kristal atau adanya campuran keduanya seperti tuf gelas Kristal. Atau berdasarkan komposisi kimia batuan beku seperti tuf riolit (*rhyolitic tuffs*, $\text{SiO}_2 > 68\%$ atau tuf dasit (*dacitic tuffs*, $\text{SiO}_2: 57\text{-}63\%$). Terminologi deskriptif lainnya sering juga kita dapatkan adalah dengan melihat komposisi dominan dari pumis atau scoria. Contohnya tuf batuapung (*pumiceous tuffs*) atau tuf scoria (*scoriaceous tuffs*). Pengertian asal-usul tuf secara genetic dapat diartikan

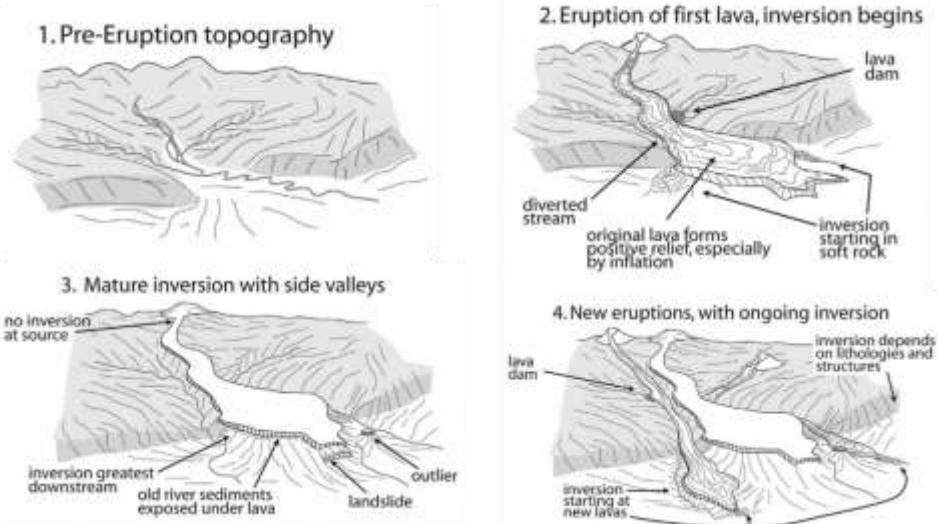
sebagai produk gunung api hasil primer ataupun sekunder, seperti contohnya Tuf piroklastika (*pyroclastic flow ash-flow tuffs*). Masalah penamaan yang sering ditemui adalah satuan batuan seperti tuf pasiran (*Sandy Tuffs*). Penamaan tersebut mempunyai dua makna pertama tuf yang berkomposisi gunung api yang berukuran pasir, atau kedua kata kedua apakah pasirannya merupakan butiran yang berasal dari batuan non-vulkanik

Penulis sendiri berpendapat bahwa penamaan batuan vulkanik dalam kerangka vulcanostratigrafi haruslah memadukan kedua penamaan tersebut. Pada dasarnya lebih ke makna evolusi pembentukannya.

6.3 Penerapan Prinsip Superposisi

Pada prinsipnya superposisi dapat diterapkan pada endapan-endapan vulkanik. Konsep superposisi ini dapat membantu dalam menentukan posisi Stratigrafi batuan vulkanik. Mengingat batuan vulkanik penyebaran perlapisan secara lateral sangat terbatas. Hal tersebut diakibatkan oleh proses kegiatan gunung api yang sangat dinamis. Evolusi endapan gunung api

kadangkala membalikkan konsep superposisi dari steno. Oleh karena itu perlu kehati-hatian dalam interpretasinya. Permasalahan yang muncul adalah pembalikan Superposisi, yaitu aliran material vulkanik (seperti lahar atau aliran piroklastik) secara alami akan mengisi area terendah terlebih dahulu, seperti lembah. Akibatnya, endapan yang lebih muda ini bisa berada pada ketinggian yang lebih rendah daripada endapan yang lebih tua yang berada di punggungan lembah di sebelahnya (Gambar 6.3).



Gambar 6. 4 Model Kartun pembalikan topografi pada endapan vulkanik (1). Topografi awal; (2). Topografi setelah letusan pertama secara katatropisme yang merubah pola aliran; (3). Mature inversion sebagai akibat dari proses erosi yang Panjang; (4). Erupsi selanjutnya yang secara tiba-tiba merubah aliran sungai (van Wyk de Vries, 2022)

Oleh karena itu beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan adalah,

a) Pengaruh topografi yang cukup ekstrem

Paleotopografi sangat berperan pada pengisian “cekungan” berupa lembahan ataupun lereng suatu gunungapi seperti aliran lava dan aliran piroklastik yang bersifat menuruni lereng dan akan mengisi lembah-lembah purba. Letusan berikutnya endapan vulkanik mengisi lembah yang tidak terlalu curam ataupun horizontal. Sehingga dua endapan dengan komposisi dan umur yang berbeda akan membentuk geometri endapan berbeda. Hal penting lain yang perlu dipertimbangkan bahwa suatu endapan vulkanik yang memiliki *dip* (kemiringan) bisa terjadi sebagai *true-dip* dan bukan oleh tektonik.

b) Pembalikan Topografi

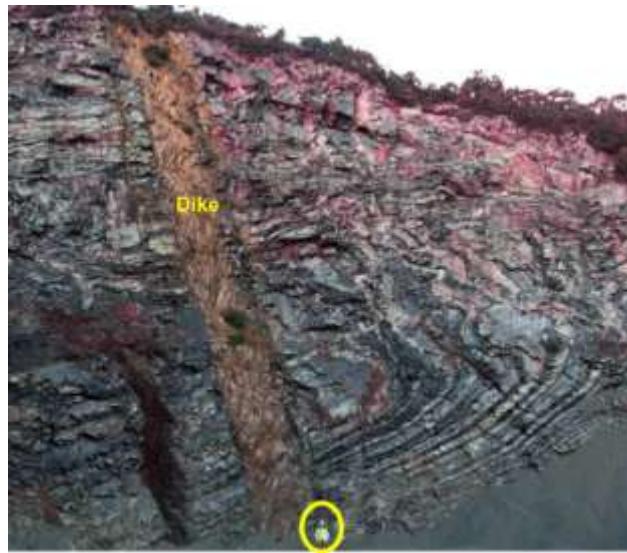
Pembalikan topografi juga suatu pengecualian pada penerapan prinsip superposisi dalam endapan vulkanik. Sebuah aliran lava yang kuat dan tahan erosi mengisi sebuah lembah. Seiring waktu geologis,

batuan di sekitar lembah yang lebih lunak terkikis habis. Hasilnya, aliran lava yang tadinya berada di dasar lembah kini menjadi punggungan bukit. Letusan yang jauh lebih muda kemudian akan mengendapkan material di lembah-lembah baru di kedua sisi punggungan lava tua tersebut. Dalam kasus ini, batuan termuda justru berada di posisi paling rendah secara topografi, mengapit batuan yang jauh lebih tua di tengah yang posisinya lebih tinggi.

Sifat Endapan dan Struktur Vulkanik, Tidak semua batuan di gunung api diendapkan dari atas (Gambar 6.4). Sebuah retas (*dike*) adalah batuan beku intrusif yang memotong lapisan batuan yang ada di sekitarnya. Menurut prinsip potong-memotong (*cross-cutting relationship*), retas ini pasti lebih muda dari semua lapisan yang dipotongnya, meskipun posisinya berada di bawah atau di tengah-tengah urutan stratigrafi. Penting untuk membedakan aliran lava (ekstrusi) dari retas atau *sill* (intrusi).

Runtuhan Kaldera: Selama pembentukan kaldera, blok-blok besar dari batuan yang lebih tua di puncak

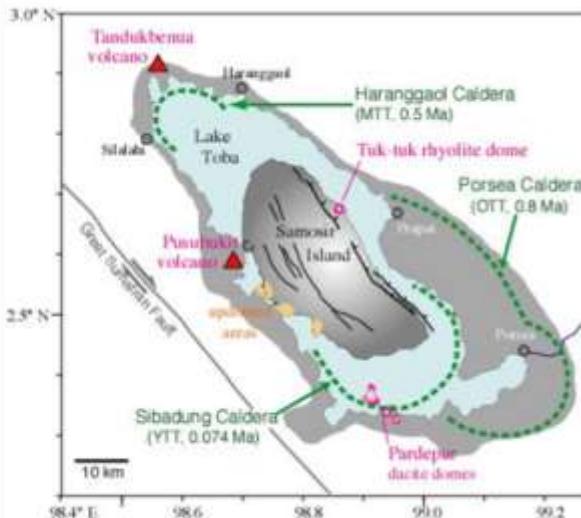
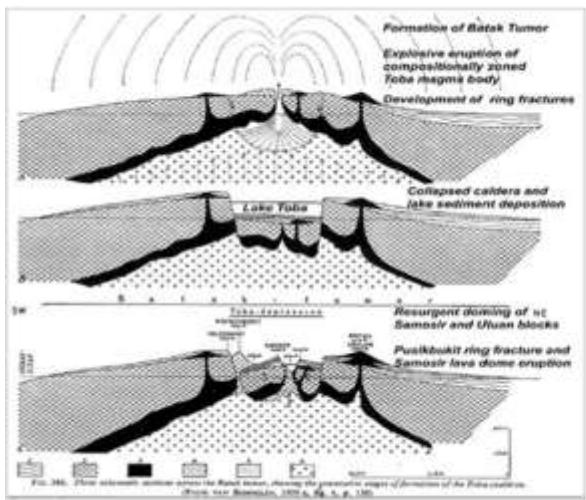
gunung api dapat runtuh dan amblas ke dalam dapur magma yang kosong. Blok-blok tua ini kemudian akan terkubur oleh material letusan yang lebih muda yang mengisi kaldera. Ini menciptakan situasi di mana batuan tua berada di atas atau tercampur di dalam endapan yang lebih muda (Gambar 6.5).



Gambar 6. 5 Singkapan batuan sedimen yang dipotong oleh suatu batuan terobosan berkomposisi vulkanik (<https://www.geologyin.com/2015/09/a-dyke-of-cenozoic-age-cutting-folded.html>).

c) Erosi dan Ketidakselarasan yang Intensif

Proses erupsi gunung api dapat terjadi pada waktu yang lama secara terus-menerus atau mengalami fase non-aktif sebelum aktif kembali.



Gambar 6. 6 Model pembentukan Kaldera Toba dimana blok-blok batuan yang terbentuk lebih awal akan runtuk kedalam kaldera yang akan membentuk posisi batuan tua di atas batuan muda (Cesner dan Luhr, 2010).

Hiatus fase erupsi yang cukup Panjang waktunya diantara fase erupsi berikutnya akan memberikan fase erosional yang cukup intensif.

Endapan-endapan piroklastik yang belum terkonsolidasi secara utuh akan terkikis. Selanjutnya fase letusan yang lebih muda mengisi bagian-bagian yang telah tererosi. Kenampakan pada log litologi hasil pengukuran akan memberikan kesan bahwa unit batuan yang lebih muda akan “terperangkap” didalam unit batuan yang lebih tua. Tanpa melihat tatanan secara lateral hal ini akan sangat menyulitkan untuk interpretasinya (Gambar 6.6).

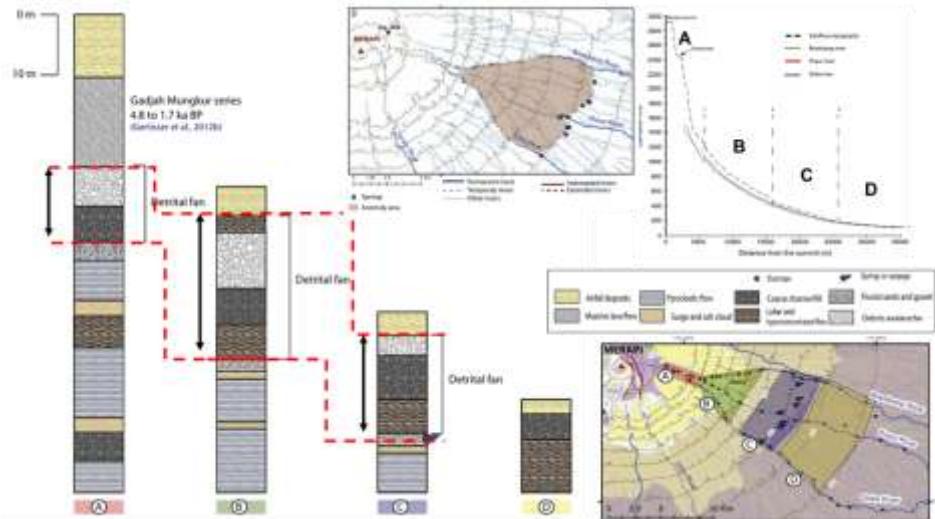
Kehadiran Paleosol (Tanah Purba): Jika Anda menemukan lapisan tanah purba (*paleosol*) di antara dua lapisan vulkanik, ini adalah bukti kuat adanya jeda waktu yang signifikan. Lapisan bawah telah mengalami pelapukan di permukaan sebelum akhirnya terkubur oleh letusan berikutnya. Paleosol ini menandakan sebuah ketidakselarasan (*unconformity*).

6.4 Korelasi batuan gunung api

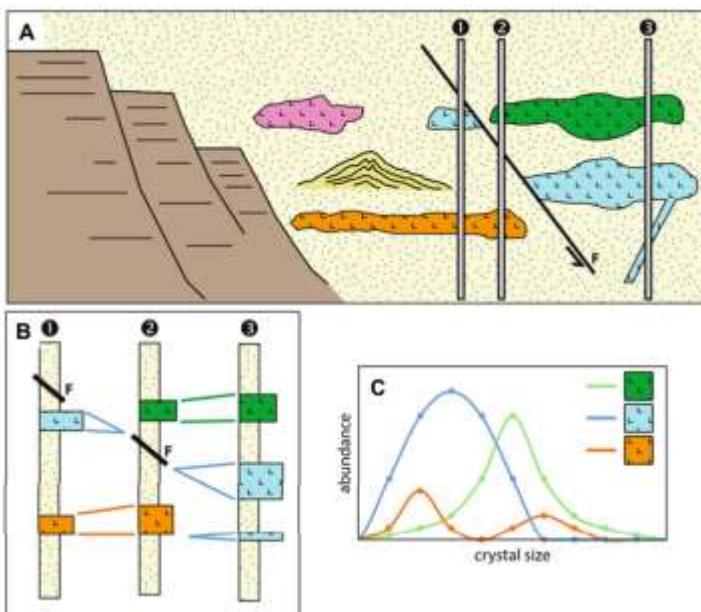
Seperti yang telah disampaikan pada paragraph sebelumnya, bahwa sangat sulit untuk menentukan kemenerusan sebaran endapan gunung api. Hal tersebut disebabkan peristiwa erupsi gunung api merupakan peristiwa yang dinamis. Fakta-fakta dilapangan yang dapat ditemukan adalah,

- a. Sifat diskontinutas lateral yang sangat cepat perubahannya. Konsep layer cake yang terjadi pada stratifikasi batuan sedimen tidak dengan mudah dapat ditemukan di endapan batuan vulkanik;
- b. Endapan hasil jatuh akan memberikan sortasi dan ketebalan yang akan menipis searah menjauhi pusat erupsi. Akan tetapi hal ini tidak berfungsi pada endapan yang disebabkan oleh aliran piroklastik. Aliran piroklastik ini akan mengikuti kedalam Lembah yang tidak ada hubungannya dekat pusat erupsi. Sehingga parameter ketebalan tidak

dapat dijadikan indikasi utamanya (Gambar 6.7).



Gambar 6. 7 Korelasi dari penampang puncak sampai ke bagian distal sisi timur gunung Merapi. Konsep sedimentasi akan diindikasikan ketebalan maksimum pada penampang C atau medial zone, akan tetapi tidak berlaku pada model endapan vulkanik yang berlangsung secara cepat dalam waktu yang singkat. Puncak ketebalan endapan terjadi di proximal zone (penampang B) (Selles dkk, 2015).



Gambar 6. 8 Konsep korelasi Stratigrafi yang ideal untuk merekonstruksi arsitektur dalam skala volcanic basin. A. Cross-section dari stratifikasi vulkanic yang disusun oleh coherent volcanic dan volcaniclastic facies; B. Log Litologi dari tiga tiga sumur bor; C. Tiga coherent facies yang dibedakan berdasarkan distribusi ukuran butir Kristal (Jutzeler dkk, 2024).

- c. Pengaruh paleotopografi pada endapan vulkanik sangatlah penting. Sebagai contohnya endapan aliran piroklastik hanya akan mengisi bagian lembah saja. Sementara bagian punggungan tidak terisi oleh endapan pada peristiwa erupsi yang sama. Kendala-kendala ini yang mempersulit korelasi litostratigrafi secara langsung.
- d. Erosi yang cepat mengakibatkan terjadi bidang-bidang hiatus local sebagai akibat material vulkanik yang belum padu betul telah mengalami erosional. Periode erupsi akan dapat terhapuskan sehingga cukup sulit untuk menentukan evolusinya.
- e. Korelasi batuan berbasis fosil dapat dilakukan dengan menggunakan pollen analysis. Nilai umur relative walaupun dengan range yang cukup luas serta lingkungan pengendapan cukup membantu hasil interpretasi (Gambar 6.8).
- f. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk interpretasikan evolusinya seperti dibawah ini,

- Pemetaan secara detail lapisan kontak antar endapan pertama dan kedua;
- Identifikasi Marker beds, sehingga akan dengan mudah menentukan korelasinya;
- Menggunakan penanggalan umur radiometric seperti dengan menggunakan metode K-Ar atau Ar-AR.
- Integrasi metode morfostratigrafi, petrografi dan geokimia anorganik batuan gunung api sangat membantu interpretasinya.

Perlu pula ditambahkan bahwa telah berkembang pula pemanfaatan lava sebagai indikator dalam korelasi baik global maupun lokal. Penentuan medan magnet purba pada batuan lava sangat membantu dalam korelasi batuan lava. Bahkan kini telah dikembangkan standar umur lava yang dapat dipakai sebagai rujukan. Korelasi ini masih terbatas pada batuan vulkanik berumur Kuarter (Sunardi, 2022).

6.5 Penerapan Stratigrafi dalam analisis evolusi gunung api.

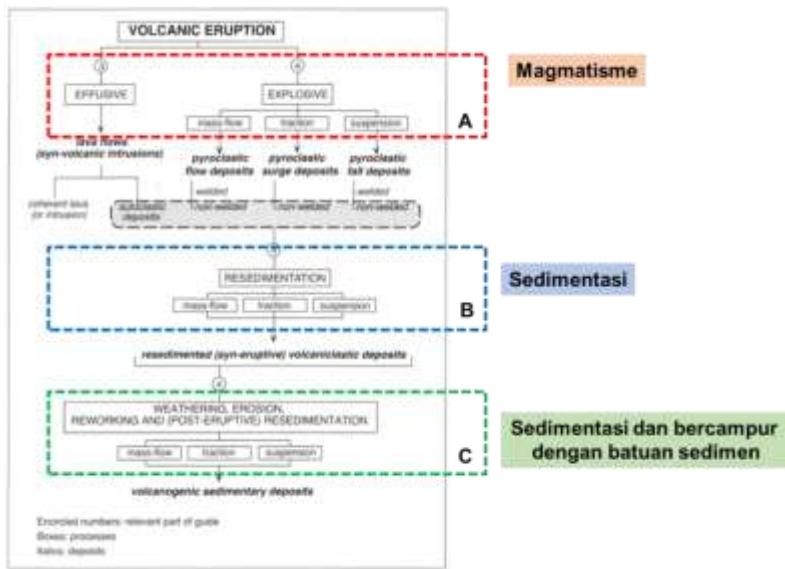
Cara pandang endapan hasil gunung api dengan batuan sedimen yang di endapan pada suatu cekungan sedimen, sangatlah berbeda. Cekungan sedimentasi adalah kombinasi antara cekungan itu sendiri yang diakibatkan faktor tektonik ketika aktif. Selanjutnya pada saat tektonik itu melemah maka akan terjadi fase pengisian cekungan. Konsep *basin analysis* yang terdiri dari *basin forming* dan *basin filling* akan mudah diterapkan. Hal tersebut tidak berlaku untuk endapan hasil gunung api, perlapisan yang miring kemungkinan itu sebagai kemiringan yang sesungguhnya. Parameter tektonik bukan faktor utama yang membentuk cekungan atau merubah posisi suatu perlapisan. Oleh karena itu pemahaman mengenai Stratigrafi dalam kontek gunung api adalah kontek yang luas, yaitu pemahaman mengenai ruang dan waktu yang berbasis pada genesa.

Masalah Stratigrafi yang sering ditemukan pada peta-peta regional yang diterbitkan Badan Geologi terkesan

memisahkan produk gunung api hasil erupsi dan efusif. Batuan gunung api hasil erupsi gunung api sering didefinisikan sebagai satuan litostratigrafi dan masuk kedalam kolom batuan sedimen. Sedangkan batuan intrusi dimasukkan kedalam batuan vulkanik hasil dari proses magmatisme. Hal ini menandakan bahwa batuan gunung api dan batuan intrusi ini tidak mempunyai hubungan secara genesa. Sebagai conto *The Old Andesite Formation* termasuk kedalam batuan sedimen sementara intrusi ditempatkan pada kolom yang berbeda. Pemikiran-pemikiran yang perlu dikembangkan adalah (Gambar 6.9),

1. Batuan gunung api hasil ekstrusif dan efusif merupakan satu kesatuan utuh yang akan membentuk gunung api;
2. Setiap susunan bahan-bahan gunung api ini merupakan satu fase aktifitas letusan gunung api yang terjadi secara singkat dan berbeda satu dengan yang lainnya;
3. Selama gunung api itu aktif di daratan maka produk hasil gunung apinya akan menjemari

- dengan produkgunung api sebelumnya sebagai bahan rombakan;
4. Hal berbeda terjadi pada batuan volkanogenik dimana rombakan-rombakan batuan gunung api sebelumnya akan Kembali diendapkan dan menjemari dengan batuan sedimen sekitarnya. Apabila hal tersebut terjadi di bawah permukaan laut, maka akan terlihat pengaruh air laut terhadap hasil endapannya.



Gambar 6. 9 Skema pembentukan endapan vulkanik (modifikasi McPhie dkk 1993).

Tabel 6. 2 Data durasi dan waktu istirahat tipe gunung api (Ferari, 1995)

Tipe gunung api	Durasi (dalam ribu tahun)		Waktu Istirahat (tahun)		
	Rata-rata	Maksimum	Rata-rata	Maksimum	Minimum
Kaldera Tunggal	846	3.800	130.751	850.000	1.467
Kaldera komplek	3.778	14.000	673.714	1.000.000	85.000
Gunung api Strato (S-I)	600	1.800	309	5.300	3
Gunung api Strato (I-M)	240	1.300	15	50	<1
Gunung api monogenesa	2.987	5.700	2.750		
Gunung api tameng	647	6.200	<1		

6.6. Solusi

Vulkanostratigrafi merupakan bagian ilmu geologi yang berhubungan dengan evolusi gunung api. Penerapannya dapat dilakukan pada gunung api yang berumur Kuarter ataupun gunung api Tersier. Tujuan penerapan vulcanostratigrafi tidaklah hanya pada melihat kegiatan gunung api saja. Hal yang lebih jauh adalah memprediksi kemungkinan sumber energi yang seperti geothermal ataupun juga proses mineralisasi logam dasar terutama emas.

Pembagian satuan batuan tidaklah bertumpu pada satuan litostratigrafi yang terkesan terlalu rigid. Pembagian satuan batuan hasil gunung api berdasarkan pada waktu dan genesis pembentukannya. Sehingga evolusi suatu gunung api dapat diinterpretasikan. Waktu menjadi hal utama yang penting walaupun kita ketahui bahwa fosil adalah hal yang sulit ditemukan bahkan sebagai hal yang mustahil ditemukan. Akan keterdapatannya yang berhubungan secara menjemari dengan batuan

bersifat marine adalah hal mungkin dapat ditentukan umur relatifnya.

Dengan penerapan stratigrafi gunung api sebagaimana dikemukakan dalam Sandi Stratigrafi Indoneisa, maka satuan dalam pemetaan geologi gunung api dapat lebih rinci dan menggambarkan sejarah pembentukan gunung api tersebut dengan lebih runut. Dari peta geologi berdasarkan satuan pada Sandi Stratigrafi tersebut maka perkiraan daerah risiko bahaya dapat lebih disempurnakan.

Mengingat di beberapa lokasi lapangan migas di Indonesia khususnya di Jawa Barat dan Jawa Timur mempunyai sistem petroleum yang berkembang di facies gunung api, maka pemahaman akan sejarah gunung api di dalam cekungan hidrokarbon perlu difahami dengan cara merujuk pada konsep stratigrafi gunung api di gunung api Kuarter. Batuan klastik gunung api dan juga batuan pejal lava yang banyak retak merupakan petunjuk bagi pemahaman karakteristik dan pelamparan batuan gunung api di lingkungan cekungan hidrokarbon. Di Jawa Barat

misalnya facies Jatibarang di utara kota Cirebon ternyara merupakan model bawah permukaan dari gunung api aktif yang ada di permukaan.

Permasalahan yang belum terpecahkan ada perlakuan terhadap batuan gunung api yang berada di zona transisional. Demikian sebaliknya, batuan sedimen yang berada di zona transisional perlu memiliki kekhususan tatanama. Hal ini berkaitan erat dengan perbedaan konsep genetik yaitu batuan vulkanik lebih mengendepankan azas pelamparan horisontal sedangkan batuan sedimen mengikuti konsep vertikal Steno. Oleh karena itu di zona transisi terdapat tatanama yang lebih spesifik. Dengan perlakuan yang spesifik ini maka batuan yang sejauh ini dinamakan “*Old Andesite Formation*” sangat mungkin dapat dirinci lebih lanjut. Sebagai dampaknya eksplorasi logam dasar di zona transisional akan lebih efektif.

Konsep Stratigrafi Volkanologi dalam pemetaan gunung api sebagaimana dimuat dalam Sandi Stratigrafi fi Indonesia akan memberikan hasil yang lebih baik bagi pemahaman sejarah genesis gunung

api. Demikian juga halnya dalam eksplorasi panasbumi dan logam dasar.

Peta-peta geologi gunung api yang berdasar satuan litologi dengan dilandaskan konsep stratigrafi gunung api akan dapat lebih signifikan dalam memahami sejarah gunung api dan penyusunan peta risiko bahaya gunung api. Penyusunan tatanama Stratigrafi Gunung Api di zona transitional merupakan hal yang amat penting. Demikian juga perlakuan khusus pada batuan sedimen yang berada pada zona transitional.

Dalam kaitan ini Formasi *Old Andesite* dapat dirinci lebih lanjut dengan menerapkan konsep Stratigrafi yang sudah tercantum dalam Sandi Startigrafi, maupun tatanama khusus untuk zona transitional.

DAFTAR PUSTAKA

Paper

- Astadireja. K.S.A., 1980, Pemetaan gunung api Kquarter: Suatu Konsep dan conto penerapannya, Berita Geologi, V.12, halaman 115-120.
- Bogie, I. dan Mackenzie, K.M., 1998, The application of a volcanic facies models to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia, Prosiding 20th NZ Geothermal Workshop, 265 -276.
- Bronto. S., Sianipar. J.Y., dan Pratopo. A.K., 2016, Volcanostratigraphy for supporting geothermal exploration, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 42, hal. 1-11.
- Camus. G., Gourgaud. A., Mossand-Berthommier. P.C., Vincent. P.M. ,2000, Merapi (Central Java, Indonesia): an outline of the structural and magmatological evolution, with a special emphasis to the major pyroclastic events. J Volcanol Geotherm Res 100: halaman 139– 163.
- Dowey. N., and Williams. R., 2022, Simultaneous fall and flow during pyroclastic eruptions: A novel proximal hybrid facies, Geology Society of America, Geology, v. 50, no.10, halaman 1187-1191.
- Chesner. C.A., dan Luhr. J.F., 2010, A melt inclusion study of the Toba Tuffs, Sumatra, Indonesia, Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 197, Issues 1-4, halaman 259-278.
- Ferrari, L., 1995, Miocene shearing along the northern boundary of the Jalisco block and the opening of the southern Gulf of California: Geology, v. 23, p. 751– 754.

- Frye, J.C. dan Willman. H. B., 1962. Morphostratigraphic units in Pleistocene stratigraphy. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 46. Halaman 112-13.
- Fisher. R.V., 1979, Models for Pyroclastic surges and Pyroclastic Flow, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 6, halaman 305-318.
- Gertisser. R., Charbonnier. S.J., Troll. V.R., Keller. J., Preece. K., Chadwick. J.P., Barclay. J., Herd. R.A., 2011, Merapi (Java, Indonesia): anatomy of a killer volcano. Geol Today 27: halaman 57–62.
- Giachetti. T., Trafton. K.T., Wiejaczka. J., Gardner. J.E., Watkins. J.M., Shea. T dan Wright. H.M.N., 2021, The products of primary magma fragmentation finally revealed by pumice agglomerates, Geological Society of America, GEOLOGY, Volume 49, Number 11, halaman 1307-1311.
- Groppelli. G dan Molist, J.M., 2013, Volcanic Stratigraphy-State of the Art, Ciencias da Terra (UNL), No.18, hal. 99-104.
- Hageman, B. P., 1963, New method of representation in mapping alluvial areas: Verhand. Kon. Nederlands Geol. Mijnb. Genoot. Geol. Ser. 21, halaman. 211-219.
- Isnawan, D., dan Bronto, S., 1997, Penentuan Sumber Erupsi Batuan Implikasinya Gunungapi Tersier dan Terhadap Bahan Tambang, Prosiding PIT IAGI XXVI, Jakarta, halaman 226-236.
- Jutzeler. M., Carey. R.J., Dagasan. Y., McNeill. A., dan Cas. R.A.F., 2024, Machine-learning crystal size distribution for volcanic stratigraphy correlation, Nature, Scientific reports, 14.
- Lopez-Sanchez. M.A., dan Liana-Funez. S., 2016, An extension of the Saltykov method to quantify 3D grain size distributions in mylonites, Journal of Structural Geology, v.93, halaman. 149-161.

- Manville. V., Németh. K., Kano. K., Source to sink: A review of three decades of progress in the understanding of volcaniclastic processes, deposits, and hazards, Sedimentary Geology, Volume 220, Issues 3–4, halaman 136-161.
- Marti. J., Diez-Gil. J.L., dan Ortiz. R., 1991, Conduction Model for the Thermal Influence of Lithic Clasts in Mixtures of Hot Gases and Ejecta, *Jor. Of Geophysic. Research*, v.96, no. B13, halaman 21,879-21,885.
- Marti., J., Gropelli, G., dan da Silverira., A.B., 2018, Volcanic Stratigraphy: A Review, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 357, hal. 68-91.
- Muljana. B., 2024, Perkembangan Sandi Stratigrafi Indonesia: Sandi Stratigrafi Indonesia 1973-1996-2023, *Bulletin of Scientific Contribution Geology*, v. 22, no.2, hal. 113-126.
- Muljana. B., Hutabarat. J, dan Haryanto. A. D., 2025, Petrography and Volcanic Facies of Pra-Sunda Ignimbrite, on progress.
- Kramicek. L., Ulrych. J., Siskova. P., Kramickova. S., Spacek. P., dan Krizova. S., 2020.
- Paripurno. E.T., Pradhana. G., Putra. W., dan Hartono. G.P., 2018, New nomenclature of Mt. Penanggungan stratigraphy, Pasuruan and Mojokerto Regency, East Java, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 212, halaman 1-8.
- Van Wyk de Vries. B., Karatson. D., Gourd. C., Nemeth. K., Rapprich. V., dan Aydar. E., 2022, Inverted volcanic relief: Its importance in illustrating geological change and its geoheritage potential, *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10, halaman 47-83. Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of Miocene basalt-trachyte rock association in transitional zone between the Outer Western

- Carpathians and Bohemian Massif, GEOLOGICA CARPATHICA, 71, 5, halaman 462–482.
- Selles. Andrien., Deffontaines. B., Hendrayana. H., dan Violete. S., 2015, The eastern flank of the Merapi volcano (Central Java, Indonesia): Architecture and implications of volcaniclastic deposits, Journal of Asian Earth Sciences, 108, halaman 33-47.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. dan Priadi, B., 1994, The Tertiary Magmatic Belts in Java, Journal of SE-Asian Earth Sci., vol.9, no.1/2, hal.13-27.
- Situmorang. T., dan Astadiredja. K.A.S., 1983, Volcanostratigrafi: Suatu Konsep Pemetaan Geologi Gunung Api, Proc. PIT IAGI XII, Yogakarta, hal. 189-199.
- Sukhyar. R., 1982, Volcanostratigraphy, Proc. PIT IAGI XI, Jakarta, hal. 205-211.
- Schmid, R., 1981, Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Sub commission on the Systematics of Igneous Rocks, GEOLOGY, v. 9, halaman. 41-43.
- Tjia, H.D., 1981, Volcanostratigraphy, Bull. Dep. Teknik geologi ITB, Jil/Vol. 5., hal.27- 35.
- Vessel, R. K. dan Davies, D. K., 1981, Non-Marine Sedimentation in An Active Fire Arc Basin, in Ettridge, F. G., and Flores, R.M. Editors, Recent and Ancient Non-Marine Depositional Environments: Models for Exploration, Society of Economics Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 31.

Peta

- Alzwar, M., Akbar, N., dan Bachri, S., 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Wirakusumah AD, Juwarna H, Loebis H (1989) Peta

Geologi Gunungapi Merapi, Jawa Tengah (Geologic map of Merapi volcano, Central Java), 1:50,000.
Wirakusumah, A.D., dkk., 1989. Peta Geologi Gunung Merapi, Propinsi Daerah Istimewah Yogyakarts dan Jawa Tengah, Direktorat Vulkanologi.

Website

- <https://education.nationalgeographic.org/resource/plate-tectonics-ring-fire/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Yellowstone_Caldera#/media/File:Yellowstone_Caldera.svg
- <https://geologylearn.blogspot.com/2016/03/relation-of-volcanism-to-plate-tectonics.html>
- <https://geologi.esdm.go.id/media-center/aktivitas-vulkanik-gunung-gede-jawa-barat-terkini-pasca-kenaikan-kegempaan-vulkanik-periode-tanggal-1-6-april-2025>
- <https://news.detik.com/berita/d-2497631/begini-perubahan-puncak-gunung-kelud-dari-2006-2014>
- <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00024-2>
- <https://earthknow.com/scoria-vs-pumice/>
- <https://www.slideshare.net/slideshow/textures-of-igneous-rocks/90402336>
- <https://www.usgs.gov/media/images/lahar-deposit-sequence-60-ft18-m-thick-along-sandy-river-mount>
- <https://batuukirjogja.com/jenis-jenis-batuhan-beku/:https://geologyscience.com/rocks>
- <https://www.geologyin.com/2015/09/a-dyke-of-cenozoic-age-cutting-folded.html>
- <https://www.geological-digressions.com/volcanics-in-outcrop-pyroclastic-fall-deposits/>

Buku

Cas. R.A.F., Wright. J.V., 1987, Volcanic successions—modern and ancient. Chapman & Hall, London, 531

halaman.

- Fisher, R.V. and Schmincke, J.-U. ,1984, Pyroclastic Rocks. Springer-Verlag, Berlin, 472 halaman.
- Hartono. H.G., 2024, Teknik Pemetaan Geologi Gunung api, ITNY Press, 63 halaman.
- Marks, P., Stratigraphic Lexicon of Indonesia, 1957, Publikasi Keilmuan No. 31, Seri Geologi, Pusat Jawatan Geologi Bandung, Kementerian Perekonomian Republik Indonesia, 233 halaman berikut 6 lampiran kolom Stratigrafi.
- McPhie, J., Doyle, M.G., and Allen, R., 1993. Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks. University of Tasmania, Hobbart.
- North American Stratigraphic Code, North American Commision on Stratigraphic Nomenclature, 1983, AAPG Bull, Vol. 89, No. 11, pp. 1547-1591.
- Pettijohn, F.J. 1957. Sedimentary Rocks. New Delhi: Mohan Primalni, Oxford & IBH Publishing Co.
- Sandi Stratigrafi Indonesia 2023, revisi kedua Sandi Stratigrafi Indonesia 1996, diterbitkan oleh Ikatan Ahli Geologi Indonesia, 42 halaman.
- Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996, revisi pertama Sandi Stratigrafi Indonesia 1973 diterbitkan oleh Ikatan Ahli Geologi Indonesia, 34 halaman.
- Sunardi, E. ,2022, Gunung Sunda Purba Jendela Ilmu Kebumian, Galeri Padi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W, 1949, The Geology of Indonesia, Vol IA, Government Printing Office, 325 halaman.
- Wirakusumah. A.D., 2012, Gunung api : Ilmu dan Aplikasinya, Edisi Khusus Badan Geologi-Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 203 halaman.

GLOSARIUM TERMINOLOGI TERPILIH

Batuapung	Produk gunung api yang berposri-pori, densitas rendah dan kaya akan SiO_2
Bregada	Satuan Stratigrafi gunung api gabungan antara beberapa khuluk
Busur	Deretan gunung api dalam skala pulau sebagai akibat dari subduksi
Distal Facies	Facies gunung api terjauh dari pusat erupsi dan biasanya didominasi oleh lahar.
Proksimal Facies	Facies gunung api bagian Tengah.
Gumuk	Satuan gubung api terkecil dalam system Stratigrafi gunung api
Khuluk	Satuan dasar pembagian unit gunung api dalam Stratigrafi gunung api
Menggala	Satuan gunung api dibawah busur dan diatas Bregada
Volkanostratigrafi	Pembagian unit-unit batuan hasil gunung api secara peristiwa dan waktu. Sehingga mengacu pada model genetic evolusi gunung

Pemekaran lantai Samudera	api. Pemekaran yang terjadi di bagian kerak samudera yang memungkinkan keluar magma bersifat basaltis
Piroklastik	Produk gunung api sebagai hasil letusan gunung api yang bersifat primer.
Satuan batuan gunung api	Keastauan terkecil batuan gunung api yang dapt dipetakan dalam skala peta 1 : 100.000.
Stratigrafi gunung api	Urutan produk gunung api yang memberikan ciri-ciri yang khusus untuk setiap kejadian pembentukannya.



Budi Muljana lahir di Bandung tahun 1970. Pendidikan dasar dan menengah diselesaikan di kota kelahirannya. Selanjutnya yang bersangkutan menempuh gelar Sarjana di Jurusan Geologi-Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Universitas Padjadjaran pada tahun 1991-1996. Program Magister ditempuhnya di ITB pada tahun 2003-2006. Program Doktoral diikutinya di Kyushu University, Jepang pada tahun 2009-2012.

Pada tahun 2025 Budi Muljana diangkat menjadi Guru Besar dalam bidang Geologi Sejarah di Universitas Padjadjaran. Beberapa tulisan yang berkaitan dengan geologi Sejarah dalam kaitannya dengan basin analysis telah dipublikasikan. Data intergrasi antara organik dan anorganik.



Ildrem Syafri, Lahir di Padang, Sumatera Barat pada tahun 1958. Menyelesaikan pendidikan dasar sampai menengah di kota Bukittinggi dan melanjutkan Pendidikan Sarjana pada tahun 1978-1985 di Jurusan Geologi-Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Universitas Padjadjaran.

melanjutkan Program Magister di bidang Petrologi Batuan Metamorf di University of Paris VI, Perancis pada tahun 1991. Program Doktoral pada bidang yang sama di- selesaiannya di Universitas yang sama pada tahun 2000. dinobatkan menjadi Guru Besar di Bidang Petrologi pada tahun 2016 di Universitas Padjadjaran. Pada tahun 2024 menyelesaikan Program Insinyur di Universitas Padjadjaran.



Adjat Sudrajat lahir pada tahun 1942 di Tasikmalaya. Menyelesaikan Pendidikan Geologi di Institut Teknologi Bandung pada tahun 1965. Gelar M.Sc pada tahun 1971 diperolehnya dari Pendidikan Magister di Delft, Belanda. Selanjutnya menempuh Program Doktor di Institut Teknologi Bandung dan menyelesaiannya pada tahun 1982. Pada Tahun 1997 diangkat sebagai Guru Besar Bidang Volkanologi di Universitas Padjadjaran.

Pengetahuan manjemen diperolehnya dari Pendidikan Berjenjang SPADYA tahun 1978, SESPA tahun 1979 dan LEMHANNAS tahun 1985.