

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**STUDI GEOKIMIA BATUAN GUNUNGAPI BATUR DAERAH BATUR
SELATAN KECAMATAN KINTAMANI KABUPATEN BANGLI
PROVINSI BALI**

TUGAS AKHIR



**OLEH : PUTIK NURUL ARASY
NIM : D611 16 508**

**GOWA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

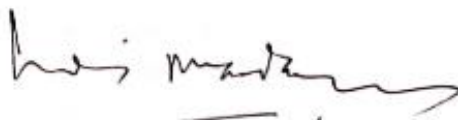
**STUDI GEOKIMIA BATUAN GUNUNGAPI BATUR DAERAH BATUR
SELATAN KECAMATAN KINTAMANI KABUPATEN BANGLI
PROVINSI BALI**

Disusun dan diajukan oleh :

**PUTIK NURUL ARASY
D61116508**

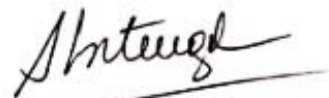
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 September 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama



Prof. Dr.-Eng. Ir. Adi Maulana, S.T.,M.Phil
NIP. 19800428 200501 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T
NIP. 19650928 200003 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Asri Java, HS.S.T.,M.T
NIP. 1959100 819873 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Putik Nurul Arasy

NIM : D61116508

Departemen : Teknik Geologi

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi yang berjudul “Studi Geokimia Batuan Gunungapi Batur Daerah Batur Selatan Kecamatan Kintamani Kabupaten Bangli Provinsi Bali” ini merupakan karya orisinil saya kecuali bantuan dan arahan dari pihak-pihak yang disebutkan dalam kata pengantar.
2. Sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk memperoleh gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya, dimanapun, kecuali yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku dalam tinjauan pustaka. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dibantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, November 2021

Penulis



Putik Nurul Arasy

SARI

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Batur Selatan Kecamatan Kintamali Kabupaten Bangli Provinsi Bali. Secara geografis daerah penelitian terletak pada $115^{\circ} 22' 30.00''$ Bujur Timur dan $08^{\circ} 14' 30.00''$ Lintang Selatan. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik geokimia yaitu unsur utama (*major elements*) dan unsur jejak (*trace elements*) dari batuan gunungapi Batur. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan untuk menentukan jenis dan afinitas magma, kedalaman pembentukan magma dan lingkungan tektonik asal magma berdasarkan beberapa diagram dikriminasi serta petrogenesa.

Sebanyak 10 sampel batuan gunungapi Batur dianalisis dengan menggunakan metode *X-ray fluorescence* tipe *Wavelength Dispersive* (WD-XRF). Analisis dilakukan di laboratorium Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta. Kandungan *Loss on Ignition* (LOI) dianalisis dengan menggunakan metode gravimetri di laboratorium Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta. Data geokimia selanjutnya diolah dengan menggunakan software *Geochemical Data Toolkit* (GCDkit) dan *Ms. Excel*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh sampel batuan terdiri dari *basaltic trachy-andesite*. Berdasarkan diagram dikriminasi lingkungan pembentukan tektonik, sampel terplot pada areal *within plate tholeiites and volcanic arc basalt*. Diagram K_2O vs SiO_2 menunjukkan bahwa magma penyusun batuan gunungapi Batur mempunyai seri *High-K Calc-alkaline* berjenis *Basaltic Andesite*. Hasil analisis sampel batuan menggunakan diagram spider normalisasi *Mid-Ocean Ridge Basalt* (MORB) dan *primitive mantle* menunjukkan adanya pengayaan dari unsur LILE (*Large-Ion Lithophile Elements*) dan pemiskinan unsur HFSE (*High Field Strength Elements*) serta anomali negatif unsur Nb yang merupakan ciri tipe magma yang tererupsikan pada lingkungan tektonik yang berkaitan dengan subduksi. Pengayaan unsur Rb, Ba, dan K serta pemiskinan unsur Nb, Zr, dan Ti merupakan ciri magma *calc-alkaline*. Pengurangan atau anomali negatif unsur P dan Ti, masing-masing karena pengaruh fraksinasi kristalisasi apatit dan *titaniferrous-magnetite*.

Kata kunci : Geokimia, Afinitas Magma, Gunung Batur, *X-Ray Fluorescence*, *High-K Calc-alkaline*

ABSTRACT

Administratively, the research area is located in South Batur, Kintamali District, Bangli Regency, Bali Province. Geographically, the research area lies in coordinate 115° 22' 30.00" East Longitude and 08° 14' 30.00" South Latitude. This study aims to determine the geochemical characteristics of the major elements and trace elements of the Batur volcanic rock. In addition, this study was also conducted to determine the type and affinity of magma, the depth of magma formation, and the tectonic environment of magma origin based on several discriminated and petrogenic diagrams.

A total of 10 samples of Batur volcanic rock were analyzed using the X-ray fluorescence method of Wavelength Dispersive (WD-XRF) type. The analysis was carried out in the laboratory of the Yogyakarta Geological Disaster Technology Research and Development Center. The content of HD H₂O was analyzed using the gravimetric method in the laboratory of the Yogyakarta Geological Disaster Technology Research and Development Center. The geochemical data were then processed using the Geochemical Data Toolkit (GCDkit) software and Ms. Excel.

The results of the analysis show that all rock samples consist of basaltic trachy-andesite. Based on the environmental discrimination diagram of tectonic formation, the sample is plotted in the area within plate tholeiites and volcanic arc basalt. The K₂O vs SiO₂ diagram shows that the magma that makes up the Batur volcanic rock has a High-K Calc-alkaline series of Basaltic Andesite type. The results of rock sample analysis using the spider diagram normalization of mid-ocean ridge basalt (MORB) and primitive mantle show the enrichment of LILE (Large-Ion Lithophile Elements) and depletion of HFSE (High Field Strength Elements) as well as the negative anomaly of Nb element which is a characteristic of magma type erupted in a tectonic environment related to subduction. The enrichment of Rb, Ba, and K elements as well as the depletion of the elements Nb, Zr, and Ti are characteristics of calc-alkaline magmas. The negative anomaly of elements P and Ti, respectively due to the effect of fractionation crystallization of apatite and titaniferous-magnetite.

Keywords : *Geochemistry, Magmatic Affinity, Mount Batur, X-Ray Fluorescence, High-K Calc-alkaline*

KATA PENGANTAR


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur tiada hentinya penulis ucapkan kepada Allah ﷻ karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“Studi Geokimia Batuan Gunungapi Batur Daerah Batur Selatan Kecamatan Kintamani Kabupaten Bangli Provinsi Bali”**. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ, manusia yang menjadi suri tauladan bagi kita semua.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, S.T., M.Phil, sebagai pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan selama pengerjaan laporan ini.
3. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., sebagai pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan selama pengerjaan laporan ini.
4. Bapak Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T. dan Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T. selaku penguji.
5. Bapak Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T sebagai Penasehat Akademik penulis.

6. Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta, terkhusus kepada Ibu Lestari Agustiningtyas S.T, M.Eng yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.
8. Para staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu penulis.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, terkhusus pada angkatan 2016 (Jurassic) yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Semoga Allah  memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan laporan dan semoga amal baik tersebut mendapatkan balasan dari-Nya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini terdapat banyak ketidaksempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak guna menjadi acuan dalam bekal pengalaman bagi penulis untuk lebih baik di masa yang akan datang.

Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca maupun penulis.

Gowa, 28 Juni 2021
Penyusun,

Putik Nurul Arasy

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN TUJUAN	iii
SARI	iiiv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
2.1 Latar Belakang.....	1
2.2 Rumusan Masalah.....	2
2.3 Tujuan Penelitian.....	2
2.4 Letak dan Kesampaian Daerah	3
2.5 Peneliti Terdahulu.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
3.1 Geologi Regional	5
3.1.1 Struktur Geologi.....	5
3.1.2 Stratigrafi Gunung Batur.....	6
3.2 Definisi Gunungapi.....	9
3.3 Tektonisme	9
3.4 Magmatisme	12
3.5 Afinitas Magma	14
3.6 Geokimia Batuan	18
3.7 X-Ray Fluorescence (XRF)	19
BAB III METODE PENELITIAN	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
5.1 Geokimia Unsur Utama	27
5.1.1 Jenis Batuan dan Afinitas Magma Berdasarkan Unsur Utama	27
5.1.2 Asal Magma Berdasarkan Unsur Utama.....	28
5.1.3 Evolusi Magma	29
5.1.4 Kedalaman Magma Asal.....	32
5.2 Geokimia Unsur Jejak.....	33
5.2.1 Asal Magma Berdasarkan Unsur Jejak	33
5.2.2 Spider Diagram (Petrogenesesa)	37
BAB V PENUTUP.....	39
6.1 Kesimpulan.....	39
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Struktur dalam bumi; Sifat-sifat dan komponen bumi. Sifat-sifat dan komposisi penyusun struktur bumi ini diinterpretasi berdasarkan hasil percobaan di laboratorium, menggunakan tekanan 2 juta kalinya tekanan atmosfer di permukaan dan pada suhu 2000oC (An.....	11
Tabel 2.2	Karakteristik seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonika gunungapinya (modifikasi dari Wilson, 1989).....	15
Tabel 2.3	Sifat-sifat mineralogi batuan dari beberapa seri magma (Mulyaningsih, 2013).....	18
Tabel 4.1	Data geokimia batuan gunungapi Batur (Laboratorium BPPTKG Yogyakarta).....	26
Tabel 4.2	Data estimasi mineral pada batuan gunungapi Batur menggunakan CIPW Norm.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta tunjuk lokasi kaldera gunungapi Batur di Pulau Bali	3
Gambar 2.1	Peta geologi kaldera gunungapi Batur, Bali (Sutawidjaja dkk., 1992)	7
Gambar 2.2	Peta geologi dalam kaldera gunungapi Batur, Bali (Sutawidjaja dkk., 1992).....	7
Gambar 2.3	Struktur dalam bumi (kiri: Mason dan Moore, 1982); suhu dan komponen struktur dalam bumi (kanan: Louie,1996).....	10
Gambar 2.4	Skematika proses tektonika yang membentuk magma, dan tatanan gunung api yang dihasilkannya (Schmincke, 2004).....	12
Gambar 2.5	Plot % berat $K_2O + Na_2O$ terhadap % berat SiO_2 pada batuan vulkanik (Cox dkk., 1979 dalam Wilson, 1991).	16
Gambar 2.6	Prinsip kerja alat X-Ray Fluoresence (XRF).....	20
Gambar 3.1	Proses penimbangan dan penghalusan sampel batuan	22
Gambar 3.2	Proses penimbangan sampel bubuk dan pencampuran licowax pada sampel bubuk.....	22
Gambar 3.3	Proses pembuatan pressed powder pellet	23
Gambar 3.4	Proses penimbangan sampel.....	24
Gambar 3.5	Proses pemijaran/pemanasan sampel menggunakan oven	24
Gambar 4.1	Jenis Batuan Berdasarkan Unsur Utama pada Diagram TAS (LeBas, 1986).....	27
Gambar 4.2	Hasil plotting penentuan seri magmatik dalam diagram K_2O-SiO_2 (Peccerilo dan Taylor,1976).	28
Gambar 4.3	Plotting asal magma (Mullen, 1983)	29
Gambar 4.4	Diagram variasi harker sampel batuan gunungapi Batur.	31
Gambar 4.5	Plotting asal magma (Meschede, 1986).....	33
Gambar 4.6	Diagram diskriminasi basalt (Pearce dan Cann, 1973).	34
Gambar 4.7	Peta lokasi Busur Sunda-Banda yang menunjukkan gunungapi (simbol segitiga hitam) yang diketahui mengalami erupsi dalam 10,000 tahun belakangan ini (Simkin dkk., 1981).....	36

Gambar 4.8	Hasil plotting spider diagram normalisasi MORB (Pearce, 1983)...	38
Gambar 4.9	Hasil plotting spider diagram Primitive Mantle (Sun dan McDonough, 1989).....	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, terdapat 128 gunungapi aktif yang tersebar dari Sabang sampai Merauke, dan sebanyak 84 di antaranya menunjukkan aktivitas eksplosifnya sejak 100 tahun terakhir. Lebih dari itu, batuan gunungapi dari berbagai umur (Paleogen hingga Neogen) banyak tersebar di permukaan dan bawah permukaan wilayah kepulauan Indonesia. Batuan-batuan gunungapi tersebut dihasilkan dari berbagai tipe gunungapi purba dengan tatanan tektonika yang bervariasi pula (Mulyaningsih, 2013).

Banyaknya gunungapi aktif di Indonesia membuat Indonesia harus mempunyai sistem mitigasi bencana yang baik untuk mengurangi resiko adanya korban jiwa saat terjadi letusan gunungapi. Pengamatan gunungapi dapat dilakukan dengan berbagai aspek salah satunya yaitu melalui aspek geologi dengan mempelajari kondisi geologi di sekitar gunungapi meliputi deformasi atau perubahan morfologi gunungapi serta endapan vulkanik yang terbentuk pada periode sebelumnya untuk diteliti.

Magma mengalami perubahan besar pada sifat fisik maupun kimia karena tekanan dan suhu bervariasi selama evolusi ruang magma, kenaikan dan letusan magma. Pelepasan gas dan pendinginan selama kenaikan magma menyebabkan kristalisasi dan peningkatan viskositas, daya dan kompresibilitas, biasanya sampai beberapa kali lipat (Sparks, 2003). Salah satu cara untuk mengetahui sifat kimia

dari magma yaitu dengan melakukan studi geokimia batuan hasil erupsi gunungapi.

Studi geokimia dilakukan di wilayah gunungapi Batur yang merupakan salah satu gunungapi yang masih aktif di Indonesia. Gunungapi ini masih belum banyak diteliti sehingga publikasi ilmiah mengenai gunungapi Batur masih sangat terbatas. Hal tersebut menjadi latarbelakang penulis untuk melakukan penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah analisa kimia batuan berupa karakteristik unsur mayor dan unsur jejak yang terdapat dalam singkapan batuan gunungapi.

Batasan Masalah

Analisa geokimia yang dilakukan adalah kimia *bulk* batuan dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan analisa HD H₂O dengan metode gravimetri.

1.3 Tujuan Penelitian

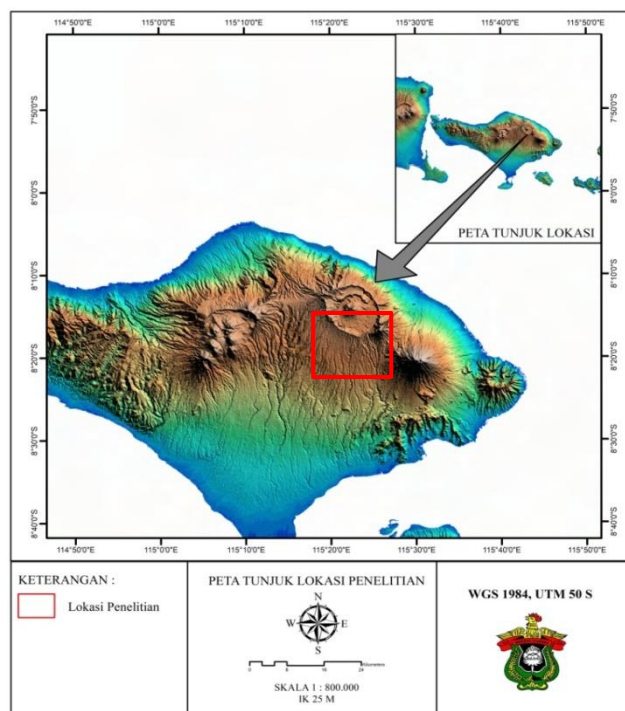
Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik unsur utama dan unsur jejak pada batuan gunungapi Batur.
2. Menentukan afinitas magma gunungapi Batur.
3. Menentukan lingkungan pembentukan tektonik dari magma gunungapi Batur.
4. Menjelaskan petrogenesa dari magma gunungapi Batur.

1.4 Letak dan Kesampaian Daerah

Pencapaian lokasi kawasan Gunung Batur adalah dari Denpasar dilanjutkan ke Kintamani yang dapat ditempuh dengan kendaraan pribadi, bus, taksi atau kendaraan biro perjalanan wisata di Bali. Fasilitas jalan, transportasi, termasuk jalan di dalam kaldera Gunung Batur sangat baik. Untuk turun menuju dasar kaldera adalah melalui jalan beraspal cukup baik yang mengelilingi tubuh Gunung Batur.

Pencapaian kawah/puncak Gunung Batur dapat dilakukan dari Latengaya atau dari Yehmameh. Dari jalur ini waktu yang dibutuhkan untuk mencapai Kawah 1994 adalah ± 30 menit. Pencapaian kawah dari arah lain adalah dari Seked dan dari arah timur laut yaitu dari Songan. Dari ketiga arah tersebut yang paling mudah adalah pendakian dari Yehmameh dari arah barat laut.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi kaldera gunungapi Batur di Pulau Bali

1.5 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi yang pernah melakukan penelitian di Gunung Batur antara lain :

- 1) Chainago, R. dkk (1990), melakukan pemetaan geologi Kompleks Kaldera Gunung Batur dan sekitarnya.
- 2) Sutawidjaja, I.S. (1992), melakukan penelitian geologi yang dituangkan dalam peta geologi Kaldera Batur.
- 3) Bronto, S. & Martono, A. (1998), melakukan penelitian dengan membuat Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Batur, Provinsi Bali.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Sejarah pembentukan Gunung Batur dan kalderanya dimulai dengan pertumbuhan kerucut gunungapi purba dengan ketinggian lk. 300 m di atas muka laut. Sekitar 29.300 tahun yang lalu terjadi letusan awan panas yang mengandung batuapung berkomposisi dasit, setelah letusan tersebut terjadilah amblasan pada bagian atas kerucut yang membentuk Kaldera Batur I, dengan Gunung Ambang (+2152 m) merupakan sisa tubuh kerucut purba (ESDM, 2014).

Letusan besar kedua terjadi sekitar 20.150 tahun yang lalu dengan komposisi yang sama dengan yang pertama, letusan ini diikuti dengan pembentukan beberapa kerucut dan kubah seperti Gunung Payang dang dan Gunung Bunbulan. Amblasan kedua terjadi dan membentuk Kaldera Batur II dengan kerucut Gunung Payang dan Gunung Bunbulan ikut amblas hampir separuhnya (ESDM, 2014).

Kegiatan purba kaldera ditandai dengan pertumbuhan kerucut Gunung Batur hingga kini terbentuk. Kegiatan ini diawali sekitar 5000 tahun yang lalu oleh pembentukan kerucut Gunung Batur berkomposisi basal sampai andesit basalan (ESDM, 2014).

2.1.1 Struktur Geologi

Kaldera Gunung Batur tertutup dari segala arah, merupakan salah satu kaldera terbesar dan terindah di dunia (Van Bemmelen, 1949). Pematang kaldera tingginya berkisar antara 1267 m 2152 m (Puncak Gunung Abang). Di dalam

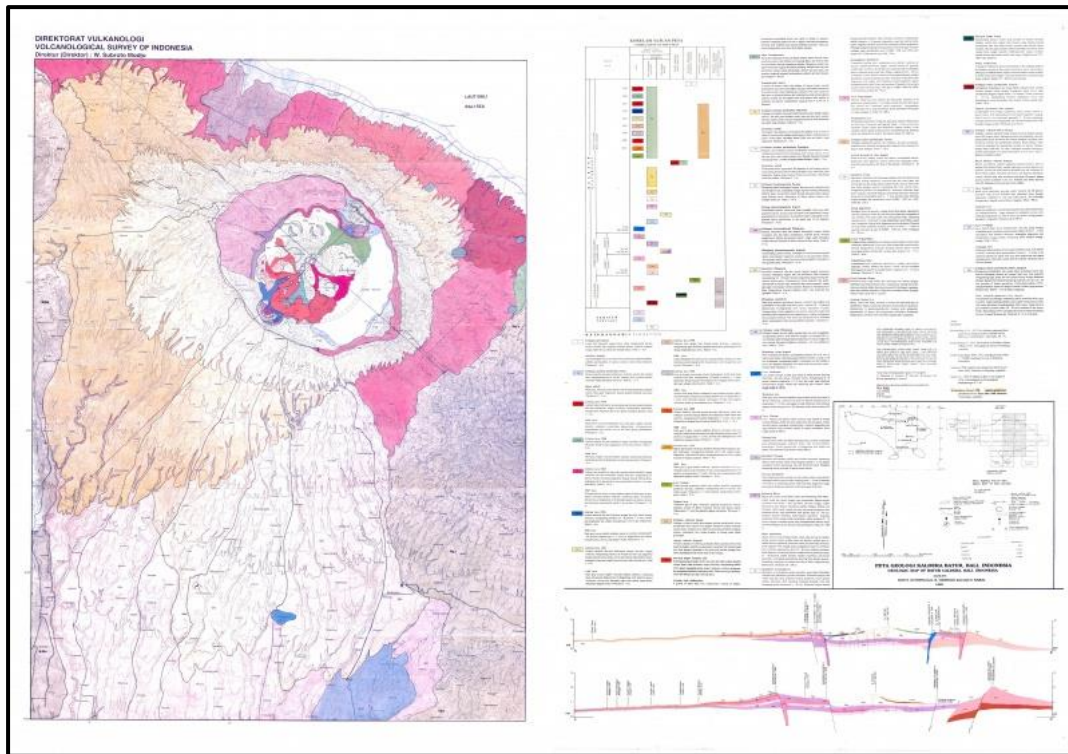
Kaldera I terbentuk Kaldera II yang berbentuk melingkar dengan garis tengah lk. 7 km. Dasar Kaldera II terletak antara 120 - 300 m lebih rendah dari Undak Kintamani (dasar Kaldera I). Di dalam kaldera tersebut terdapat danau yang berbentuk bulan sabit. Menurut Van Bemmelen (1949) danau tersebut diperkirakan terbentuk bersamaan dengan pembentukan Kaldera II.

2.1.2 Stratigrafi Gunung Batur

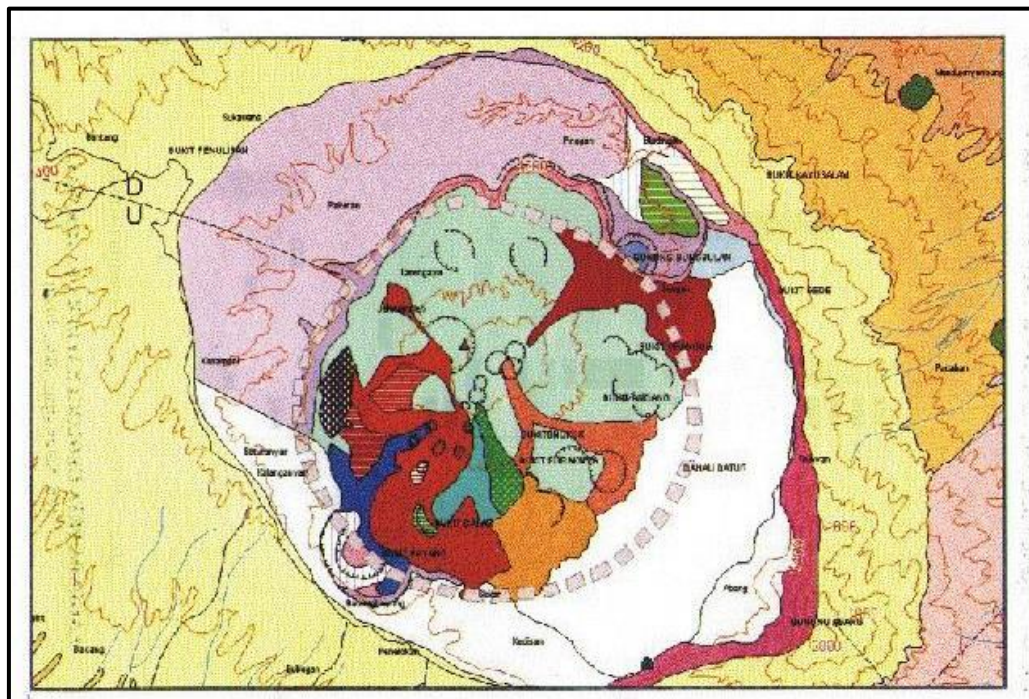
Penyebaran batuan yang dihasilkan dari Gunung Batur dapat dibagi menjadi 5 periode yaitu:

- 1) Periode I Zaman tersier
- 2) Periode II Zaman Kuartar (Pra Kaldera)
- 3) Periode III Zaman Pembentukan Kaldera I (29.300 tahun yang lalu)
- 4) Periode IV Zaman Pembentukan Kaldera II (20.150 tahun yang lalu)
- 5) Periode V Zaman Purna Kaldera (5500 tahun yang lalu)

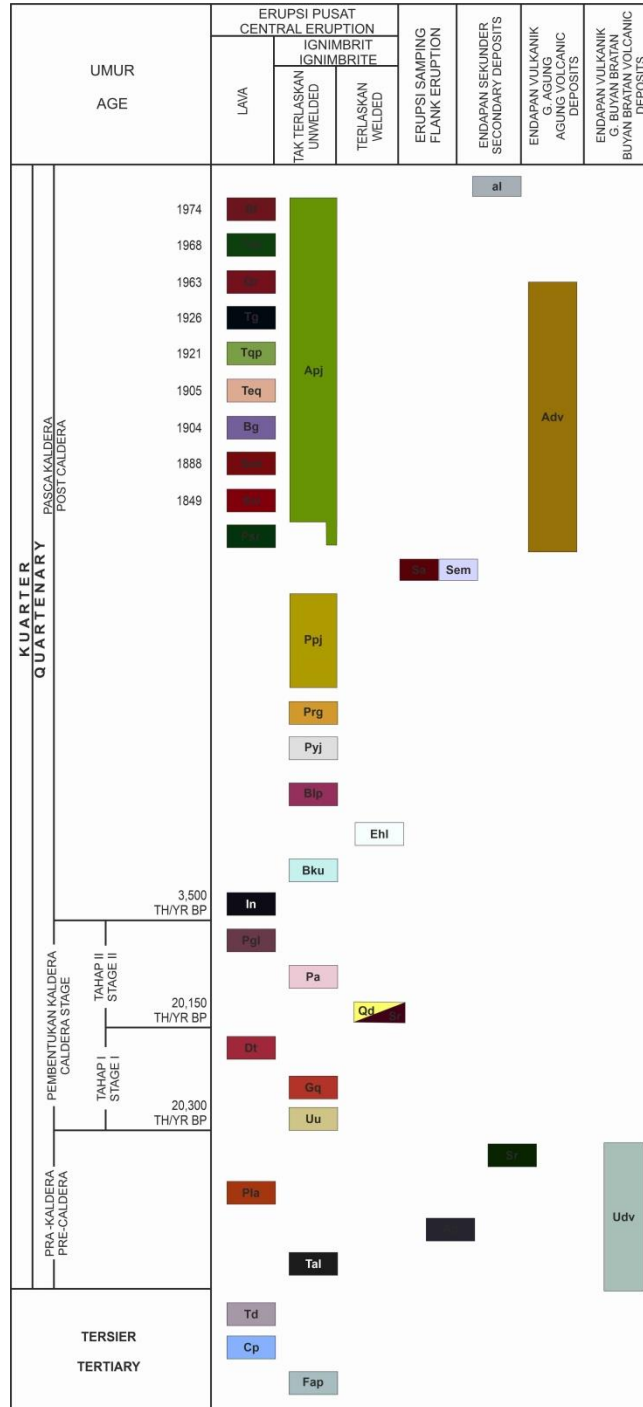
Batuan tertua yang tersingkap adalah Endapan aliran piroklastik Bukit Jangkrik, batuan ini tersingkap di bagian selatan. Batuan selanjutnya yang tersingkap adalah Lava Cempaga yang berkomposisi basal olivin, batuan ini tersingkap sedikit di bagian selatan. Batuan mudanya adalah Lava Tejakulak yang tersingkap di bagian utara, tersusun dari basal olivin porfiritik, abu-abu cerah, fenokris (sekitar 40 %) dicirikan oleh olivin besar berbentuk euhedral - subhedral dengan plagioklas subhedral (kurang dari 2 mm).



Gambar 2.1 Peta geologi kaldera gunungapi Batur, Bali (Sutawidjaja dkk., 1992)



Gambar 2.2 Peta geologi dalam kaldera gunungapi Batur, Bali (Sutawidjaja dkk., 1992)



Kolom 2.1 Legenda peta geologi kaldera gunungapi Batur, Bali (Sutawidjaja dkk., 1992)

2.2 Definisi Gunungapi

Pada awalnya, kata gunungapi atau vulkano berasal dari bahasa Italia yaitu “vulcan”, sebutan dari Dewa Api (penjaga tubuh gunung api) yang tinggal di puncak Gunung Vulcano, di Laut Mediterania, Sicilia-Italia (Tilling, 2000). Didasarkan pada arti suku katanya, vulkano berasal dari bahasa Belanda, yaitu “vulkaan”; dalam bahasa Inggris dari kata “volcano”. Kedua kata tersebut diartikan sama yaitu gunungapi. Sedangkan dalam bahasa Indonesia “volcano” dapat diterjemahkan sebagai vulkano atau volkano, yang keduanya dibenarkan dalam penyebutannya asalkan konsisten (Mulyaningsih, 2013).

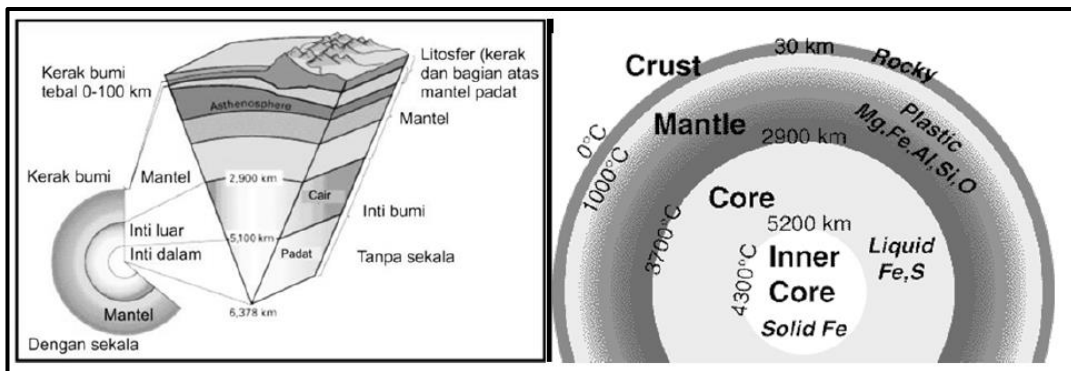
Gunungapi merupakan lingkungan geologi yang keterdapatan dan aktivitasnya dikontrol oleh kondisi tektoniknya secara regional. Mengacu pada pemahaman tektonika lempeng, gunungapi dapat dijumpai pada tepian lempeng konvergen dan tepian lempeng divergen. Tatanan tektonika tersebut membentuk gunungapi dengan tipe magma, karakteristik aktivitasnya, dan material gunungapi yang dihasilkannya (Mulyaningsih, 2013).

2.3 Tektonisme

Tektonisme adalah proses geologi yang berpengaruh pada pembentukan dan evolusi geologi di permukaan bumi, meliputi geomorfologi, struktur geologi, stratigrafi dan proses-proses geologi tertentu, seperti dengan membentuk relief asal permukaan bumi berupa tinggian dan rendahan, dengan susunan litologi dan struktur geologi tertentu. Keberlangsungan proses geologi tersebut dikontrol sepenuhnya oleh gaya / energi yang berasal dari dalam bumi, yang disebut dengan

“gaya endogen”. Keterdapatan gunung api, tipe dan sifat aktivitasnya sangat berhubungan dengan kegiatan tektonisme (Mulyaningsih, 2013).

Menurut Bolt (1993) dan Mason dan Moore (1982), struktur dalam bumi dari dalam ke luar, tersusun atas inti bumi yang bersifat padat dan paling tebal, selubung bumi (astenosfer) yang bersifat cair dan kerak bumi yang paling tipis, bersifat kaku dan mudah patah.



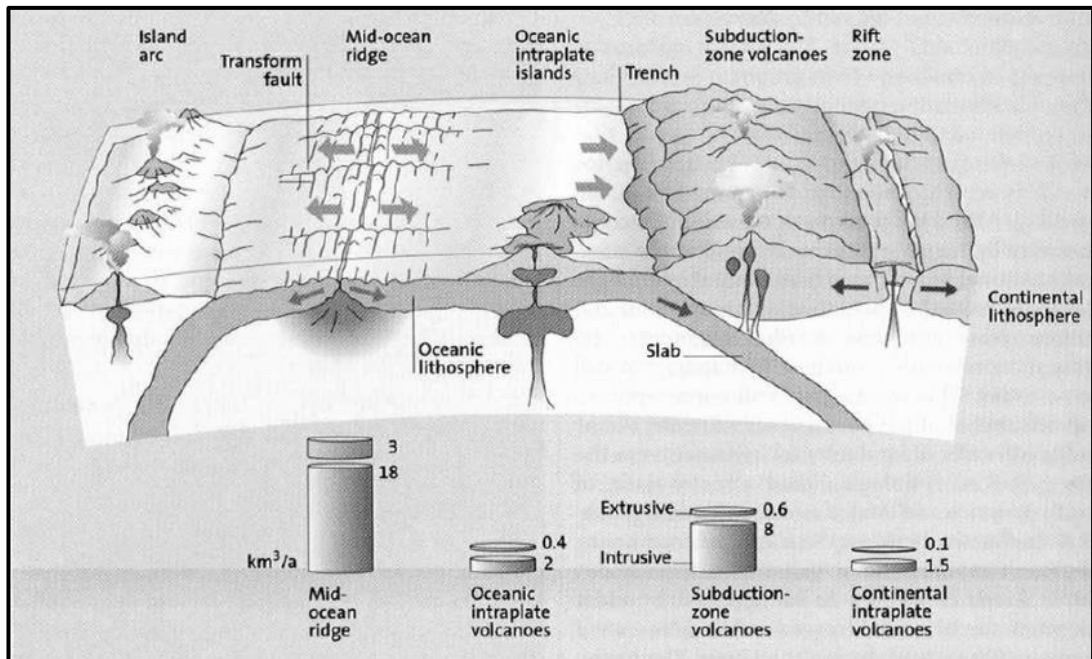
Gambar 2.3 Struktur dalam bumi (kiri: Mason dan Moore, 1982); suhu dan komponen struktur dalam bumi (kanan: Louie, 1996).

Inti bumi tersusun atas inti dalam yang bersifat padat dan inti luar yang bersifat plastis, keduanya tersusun atas logam Fe dan Ni; selubung bumi (mantel) tersusun atas selubung bawah yang bersifat cair dan tersusun atas magma (oksida Fe, Mg dan Si) dan selubung atas bersifat plastis yang tersusun atas batuan ultra basa; serta kerak bumi yang bersifat kaku dan mudah patah yang tersusun atas batuan silisik, andesit dan basal.

Tabel 2.1 Struktur dalam bumi; Sifat-sifat dan komponen bumi. Sifat-sifat dan komposisi penyusun struktur bumi ini diinterpretasi berdasarkan hasil percobaan di laboratorium, menggunakan tekanan 2 juta kalinya tekanan atmosfer di permukaan dan pada suhu 2000oC (An

Struktur lapisan bumi	Sifat bagian dalam bumi			Jenis batuan yang ditemukan
	Ketebalan (km)	Densitas (gr/cm ³)		
		Atas	Bawah	
Kerak bumi	30	2,2	2,9	Batuan silisik, andesit, basalt
Selubung atas	720	3,4	4,4	Peridotit, eklogit, olivin, spinel, garnet, piroksen
Selubung bawah	2.171	4,4	5,6	Perovskit, oksida MgO dan SiO ₂
Inti luar	2.259	9,9	12,2	Fe ⁺ O ₂ , sulfur, logam Ni
Inti dalam	1.221	12,8	13,1	Fe ⁺ O ₂ , sulfur, logam Ni
Total ketebalan	6.371			

Proses tektonisme sendiri yang berlangsung di permukaan bumi, yang membentuk gunung api dan mempengaruhi aktivitasnya, yang paling banyak dikenal oleh masyarakat termanifestasi ditandai dengan adanya gempa bumi (baik vulkanik dan tektonika), keluarnya batuan leleh (magma) ke permukaan bumi dalam mekanisme eksplosif maupun efusif, serta sifat-sifat material gunung api yang dihasilkannya (Mulyaningsih, 2013).



Gambar 2.4 Skematika proses tektonika yang membentuk magma, dan tatanan gunung api yang dihasilkannya (Schmincke, 2004)

Mengacu pada Bronto (2010), tempat keluarnya magma yang telah mencapai ke permukaan bumi adalah gunung api, sehingga aktivitas keluarnya magma tersebut disebut proses vulkanisme.

2.4 Magmatisme

Dalam *Glossary of Basic Geological Terms*, magma adalah suatu larutan silikat; yang kadang-kadang mengandung gas dengan prosentase sebesar prosentase mineral padatnya (Akrherz, 2004). Dalam *Glossary of Geology*; magma diartikan sebagai material batuan leleh yang terbentuk secara alamiah, berasal dari dalam bumi dan memiliki kapabilitas sebagai intrusi dan ekstrusi; batuan beku dapat terbentuk melalui proses pembekuan dan proses-proses lain yang berhubungan dengannya (Gary dkk., 1972)

Makin ke permukaan bumi, komposisi kerak bumi makin bervariasi dengan penambahan uap air (H₂O) dan gas CO₂. Uap air dari penguapan air meteorik di dekat permukaan bumi melepaskan unsur-unsur dalam batuan dinding yang dilewati magma dan uap air tersebut, sehingga unsur-unsur yang lepas tersebut memperkaya komposisi magma. Jika di sepanjang perjalanan magma tidak mengalami perubahan suhu dan tekanan; maka saat terjadi interaksi antara magma dengan batuan dinding, yang terjadi adalah pelelehan batuan. Magma mengabrasi bagian-bagian dinding batuan pada dapur magma, mengerosinya kemudian melelehkannya dan merubah komposisi magma (Mulyaningsih, 2013).

Schmincke (2004) menentukan bahwa pada proses pelelehan batuan membentuk magma; terjadi proses perubahan suhu, perubahan tekanan dan penurunan titik leleh. Pada awalnya, komposisi magma adalah basa hingga ultra basa, yang kaya akan unsur-unsur mafik seperti Mg dan Fe, dengan suhu awal lebih dari 1200°C. Telah diketahui bahwa, di dalam bumi, terdapat dua jenis magma, yaitu magma yang berasal dari lapisan selubung bumi dengan komposisi silikat Fe dan Mg dan magma yang terbentuk oleh proses pelelehan batuan sebagian pada proses penunjaman lempeng tektonik menghasilkan magma Ca-alkalin.

Makin menuju ke permukaan bumi kecepatan kristalisasi magma makin tinggi. Hal itu terjadi karena terjadi percepatan gradien geotermal dari suhu tinggi ke suhu rendah. Adanya air meteorik dan air tanah yang bersinggungan tubuh magma juga makin mempercepat proses fraksionasi tersebut, yang selanjutnya membentuk massa magma jenuh uap atau busa magma. Tingginya kandungan uap

atau air dalam magma menyebabkan tekanan magmatik meningkat drastis, sehingga terjadi peningkatan percepatan aliran magma ke permukaan. Pada kondisi ini, proses asimilasi dan differensiasi menjadi lebih kecil. Kristalisasi yang berlangsung menjadi tidak sempurna, membentuk batuan intrusi dangkal dan ekstrusi yang bertekstur porfiritik, vitroferik, poikilitik atau skoriaan. Pada lingkungan ini, batuan atau magma yang terbentuk berasosiasi dengan kegiatan gunung api (Mulyaningsih, 2013).

Aliran magma ke permukaan bumi yang menyentuh tubuh air tersebut juga diikuti dengan pelepasan gas (volatil), sehingga terjadi penambahan senyawa OH- dan oksida dalam magma. Hal itu selanjutnya meningkatkan suhu larutan dan memicu terbentuknya tekstur porfiritik dalam batuan hasil pembekuannya. Fasa uap menghasilkan intrusi dike atau bulir-bulir pegmatit di bawah permukaan bumi, serta inti dari unsur-unsur logam mulia seperti Au, Pb, Cu, Hg, Co dan Ti, sedangkan di permukaan bumi menghasilkan berbagai jenis mineral dan sering menunjukkan zonasi dengan sesar-sesar konsentris atau radial. Kedua fenomena tersebut merupakan bagian dari manifestasi kegiatan gunung api yang berulang-ulang dalam waktu yang sangat panjang, belasan hingga beberapa puluh juta tahun (Mulyaningsih, 2013).

2.5 Afinitas Magma

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia pengertian afinitas adalah kecenderungan suatu unsur atau senyawa untuk membentuk ikatan kimia dengan unsur atau senyawa lain. Jadi afinitas magma adalah perubahan komposisi - komposisi kimia pada magma yang disebabkan oleh proses asimilasi ataupun

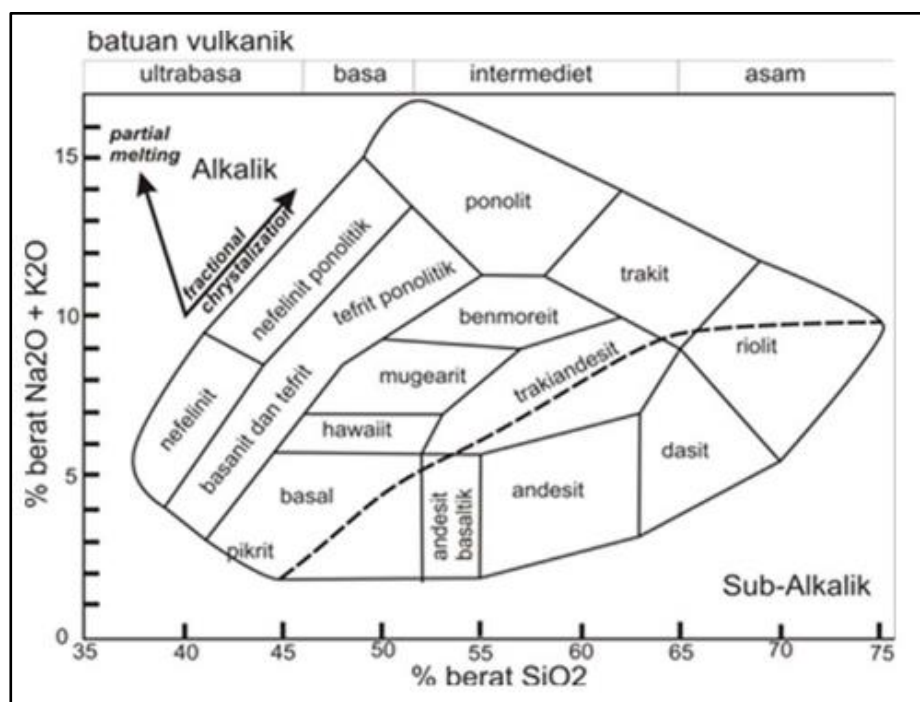
diferensiasi magma dengan unsur atau senyawa lain. Aktivitas afinitas magma ini bisa berbeda-beda disetiap lingkungannya.

Secara spesifik, proses asimilasi dan differensiasi mempengaruhi kemunculan magma di permukaan; dan mengontrol karakteristik aktivitasnya dalam membangun tubuh gunung api. Proses magmatisme tersebut dapat menghasilkan perubahan komposisi kimia, dan tidak merubah tipe magma. Sebagai contoh adalah magma basal Ca-Alkalin dapat men-generasi magma andesit kaya Ca; magma basal tholeiit dapat men-generasi magma peridotit, dunit dan basal; dan sebagainya. Itulah sebabnya, dalam satu tubuh gunung api memiliki komposisi litologi dengan jenis yang bervariasi dan terbentuk secara berulang, dari basalan ke andesitan dan sebaliknya. Perbedaan afinitas jenis magma tersebut berimplikasi pada intensitas dan frekuensi erupsinya, yang juga berlangsung secara berulang dari efusif ke eksplosif dan sebaliknya (Mulyaningsih, 2013).

Tabel 2.2 Karakteristik seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonika gunungapinya (modifikasi dari Wilson, 1989)

Tatanan tektonik	Tepian lempeng		Di antara lempeng	
	Konvergen (destruktif)	Divergen (konstruktif)	Antar lempeng samudera	Antar lempeng benua
Bentukan vulkanik	Busur kepulauan dan <i>active continental margins</i>	MORB dan zona pemekaran belakang busur	Busur kepulauan	<i>Continental rift zone</i> dan <i>continental flood basalt</i>
Sifat seri magmanya	Ca-alkalin K-Alkalin	Tholeiitik Shoshonit (K >>)	Tholeiitik Shoshonit (very high K)	Tholeiitik K-Alkalin
Kisaran % SiO₂	Basal dan pembedanya	Basal	Basal	Basal dan pembedanya

Telah disebutkan bahwa, tektonisme mempengaruhi proses magmatisme, sedangkan magmatisme pasti merubah komposisi kimia dan sifat magma. Untuk menentukan tatanan tektonika dari suatu tubuh batuan gunung api dan / batuan intrusi plutonik yang proses aktivitasnya atau pembekuannya tidak diketahui, dapat didekati dengan mengidentifikasi batuan gunung api yang telah mengalami asimilasi dan differensiasi dengan menggunakan diagram Cox dkk. (1979) dalam Wilson (1991) pada gambar 2.5 (Mulyaningsih, 2013).



Gambar 2.5 Plot % berat $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ terhadap % berat SiO_2 pada batuan vulkanik (Cox dkk., 1979 dalam Wilson, 1991).

Didasarkan pada tatanan tektoniknya, batuan sub-alkali terbentuk oleh proses vulkanisme zona penunjaman; sedangkan batuan alkali terbentuk oleh proses magmatisme magma primitif belakang busur magmatik; magma ultrabasa memiliki komposisi K_2O dan Na_2O tinggi dengan SiO_2 rendah. Untuk dapat membedakan jenis magma basal yang dihasilkan oleh proses vulkanisme tengah

samudera, busur kepulauan dan pemekaran lempeng benua dapat menggunakan diagram plot $K_2O + Na_2O$ terhadap % berat SiO_2 (modifikasi Middlemost, 1975 dalam Wilson, 1991).

Basal yang dibentuk oleh aktivitas vulkanisme dapat dibedakan dalam dua kelompok, yaitu basal K rendah dan basal K tinggi. Basal K rendah termasuk di dalamnya adalah batuan-batuan vulkanik yang dihasilkan dari seri basal sub-alkali dan basal K tinggi disebut juga sebagai basal alkali. Unsur K merupakan salah satu unsur jejak (unsur radioaktif) yang melimpah pada lapisan astenosfer hingga pada bidang batas Gutenberg. Unsur K adalah penciri tipe magma yang berasal dari lapisan astenosfer, hasil pelelehan batuan sebagian (partial melting) atau hasil pelelehan batuan oleh penambahan suhu dan tekanan pada lapisan kerak bumi (Mulyaningsih, 2013).

Contoh batuan yang dibentuk oleh magma basal K rendah adalah basal Ca-alkali. Batuan ini disusun oleh mineral-mineral plagioklas Ca, piroksen dan amfibol; batuan turunannya adalah seri andesit. Batuan seri ini menyusun gunung api busur magmatik dan busur kepulauan. Pada perkembangannya, basal alkali rendah dapat membentuk batuan-batuan dasit sampai riodasit menghasilkan erupsi yang bersifat eksplosif sampai sangat eksplosif karena magma yang lebih kental yang berinteraksi dengan volatil dalam lapisan atas kerak bumi. Magma basal miskin Ca, K dan Na banyak dijumpai menghasilkan mineral-mineral ultra mafik, seperti olivin membentuk olivenit, piroksen kuno membentuk piroksenit, dunit dan peridotit yang kaya akan mineral forsterit. Kesemua batuan tersebut

menyusun bagian bawah lempeng samudera (Mulyaningsih, 2013). Sifat-sifat mineralogi batuan gunung api tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat-sifat mineralogi batuan dari beberapa seri magma (Mulyaningsih, 2013)

<i>Seri magma</i>	<i>Tipe Tholeitik</i>	<i>Tipe Ca-alkalin</i>	<i>Tipe Alkalin</i>
<i>Norms</i>	Klinopiroksen	Ortopiroksen	Klinopiroksen
Piroksen rendah Ca	Sebagai fenokris dan massa dasar	Sebagai fenokris	Jarang
Magnetit Oksida Fe-Ti	Terbentuk di akhir Biasanya ilmenit	Terbentuk di awal Magnetit dan ilmenit	Bervariasi Bervariasi
Amfibol	Dari diferensiasi silika	Melimpah, kecuali magma primitif	Dijumpai di semua jenis
Sifat kimia	Mg > Ca (Mg untuk Ol, OPX dan CPX)	Ca > Mg (Ca pada augit, amfibol, titanit)	Ca+Na > Mg (Ca+Na pd CPX, amfibol, aegirin)
MORB	Ya	Tidak	Tidak
Busur kepulauan		Ya	Ya
Busur magmatik		Ya	Ya

2.6 Geokimia Batuan

Kemajuan pesat yang dicapai dalam ilmu petrogenesis batuan ditunjang oleh kemajuan pada bidang analisis kimia. Kimiawi batuan adalah parameter dan data dasar yang amat diperlukan dalam analisa petrogenesis. Kimiawi batuan dibagi ke dalam kelompok unsur utama (termasuk unsur minor), unsur jejak, dan isotop (Ramdhiani dkk., 2018).

Unsur utama terdiri dari 10 oksida, yaitu SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, Na₂O, K₂O, dan P₂O₅ ditambah *Loss on Ignition* (LOI) dari batuan yang dianalisa, dijadikan dalam % berat dengan jumlah keseluruhan harus 100%. Semakin tinggi SiO₂ dalam batuan menunjukkan semakin asam batuan tersebut. *Loss on Ignition* (LOI) adalah total dari seluruh zat volatil dalam batuan, yaitu: O₂, CO₂, C, H₂O, F, S, Cl, B, dan lainnya. Batuan beku yang mengandung banyak

mineral ubahan seperti mineral lempung, sulfida, karbonat, mika, dll akan memberikan nilai LOI yang tinggi (Ramdhiani dkk., 2018).

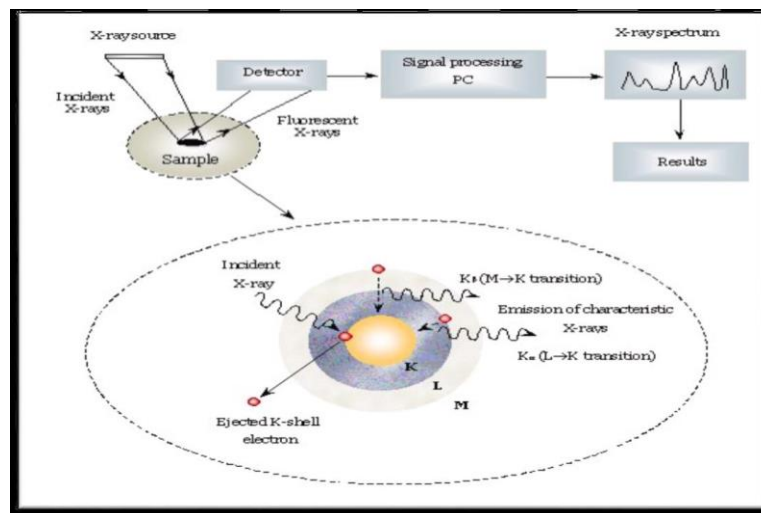
Unsur jejak yang sering dipakai untuk indikator dan parameter petrogenesa antara lain Cr, Co, Ni, Pb, Ba, Rb, Sr, V, REE (*rare earth element*), Th, U, Nb, W, Ta, Zr, Hf, Sb, Li, Y. Kelimpahannya yang kecil di dalam batuan dan magma, unsur jejak sangat baik sebagai indikator petrogenesa. Suatu unsur ada yang dikatakan sebagai unsur kompatibel (*compatible element*) dan unsur inkompatibel (*incompatible element*) dimana unsur yang inkompatibel mempunyai karakter dapat tinggal lebih lama dalam cairan dibandingkan dalam mineral, dapat cepat keluar dari mineral pada saat proses kristalisasi, dan terlarut dalam cairan pada proses peleburan sebagian (*partial melting*). Unsur kompatibel mempunyai sifat kebalikan dari unsur inkompatibel (Ramdhiani dkk., 2018).

Unsur jejak ada yang bisa digunakan untuk indikator petrogenesa dari isotop radiogeniknya. Unsur-unsur tersebut diantaranya Rb-Sr, Sm-Nd, dan U-Th-Pb. K-Ar dan U-Pb juga sering digunakan untuk melakukan analisis umur absolut. Kimiawi batuan ini dapat digunakan untuk menentukan jenis batuan, seri magmatik, lingkungan tektonik, asal magma, perhitungan kedalaman magma asal, dan perkiraan mineralogi batuan (Ramdhiani dkk., 2018).

2.7 X-Ray Fluorescence (XRF)

Teknik analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan teknik analisis suatu bahan dengan menggunakan peralatan spektrometer yang dipancarkan oleh sampel dari penyinaran sinar-X. Sinar-X yang dianalisa berupa sinar-X karakteristik yang dihasilkan dari tabung sinar-X, sedangkan sampel yang

dianalisa dapat berupa sampel padat pejal dan serbuk. Dasar analisis alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah penghitungan intensitas sinar-X yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti atom (kulit K) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Kekosongan elektron ini terjadi karena eksitasi elektron. Pengisian elektron pada orbital K akan menghasilkan spektrum sinar-X deret K, pengisian elektron pada orbital berikutnya menghasilkan spektrum sinar-X deret L, deret M, deret N dan seterusnya (Sumantry, 2002).



Gambar 2.6 Prinsip kerja alat X-Ray Fluorescence (XRF)

Data hasil pengukuran XRF berupa sumber spektrum 2 dimensi dengan sumbu-x adalah energi (keV) sedangkan sumbu-y adalah cacahan/ intensitas sinar-x yang dipancarkan oleh setiap unsur. Setiap unsur menghasilkan spektrum dengan energi yang spesifik. XRF sangat cocok untuk menentukan unsur seperti Si, Al, Mg, Ca, Fe, K, Na, Ti, S, dan P dalam batuan silisiklastik dan juga untuk unsur logam seperti Pb, Zn, Cd, dan Mn (Tucker dan Hardy, 1991).