

**SKRIPSI**

**STUDI GEOKIMIA BATUAN GUNUNG API ANAK KRAKATAU HASIL  
ERUPSI DESEMBER 2018**

**Disusun dan diajukan oleh**

**SITTI NOVIA SAAD  
D611 15 502**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**STUDI GEOKIMIA BATUAN GUNUNG API ANAK KRAKATAU HASIL  
ERUPSI DESEMBER 2018**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**SITTI NOVIA SAAD**


**D61115502**

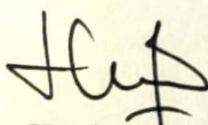
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal... dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

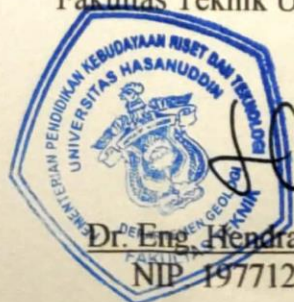
Pembimbing Utama

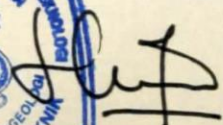
Pembimbing Pendamping

  
Dr. Ulva Ria Han, S.T., M.T.  
NIP. 19700606 199412 2 001

  
Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng  
NIP. 19771214 200501 1 002

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



  
Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng  
NIP. 19771214 200501 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sitti Novia Saad  
NIM : D61115502  
Program studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**“STUDI GEOKIMIA BATUAN GUNUNG API ANAK KRAKATAU HASIL  
ERUPSI DESEMBER 2018”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Agustus 2022

Yang Menyatakan



Sitti Novia Saad

## SARI

Gunung api Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia, berdasarkan sejarah pembentukan Gunung api Anak Krakatau, maka dinilai perlu melakukan penelitian guna menjadi data pendukung untuk penelitian lanjutan dengan berbagai tujuan terutama pada bagian mitigasi guna mengurangi resiko adanya korban jiwa saat terjadi letusan Gunung api. Adapun data pendukung yang menjadi tujuan penelitian yaitu mengetahui mineral penyusun batuan, karakteristik unsur utama pada batuan, afinitas magma, lingkungan pembentukan tektonik, serta petrogenesa dari magma Gunung api Anak Krakatau. Data yang diambil berupa conto batuan pasca erupsi gunungapi Desember 2018. Dilakukan 2 jenis uji laboratorium yaitu geokimia XRF dan petrografi sebanyak 6 sampel serta petrografi saja sebanyak 4 sampel batuan.

Berdasarkan analisis data petrografi, jenis batuan terdiri dari 2 macam yaitu basalt dan andesit. Mineral penyusun batuan terdiri dari plagioklas sebagai fenokris dengan persentase 35-50% dalam batuan, augit, piroksin, sanidin, juga dijumpai berupa fenokris. Massa dasar dicirikan berwarna coklat kehitaman berjumlah 15-35% dalam batuan. Fenokris pada batuan menunjukkan adanya tektur trakitik. Adapun hasil dari analisis data geokimia XRF yaitu batuan memiliki nilai  $\text{SiO}_2$  antara 45,18-54,32 wt%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14,409-17,486 wt%,  $\text{TiO}_2$  antara 0,866-1,077 wt%,  $\text{MnO}$  antara 0,054-0,184 wt%,  $\text{MgO}$  antara 1,047-4,35 wt%,  $\text{CaO}$  antara 6,991-7,806 wt%,  $\text{Na}_2\text{O}$  antara 0,146-0,189 wt%,  $\text{K}_2\text{O}$  antara 0,392-0,866 wt%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  antara 7,475-10,526 wt%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14,409-17,486 wt%,  $\text{SO}_3$  antara 0,059-18,409 wt%, dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  antara 0,243-0,326 wt%. dapat diketahui bahwa sampel batuan gunungapi GAK termasuk ke dalam jenis batuan *basaltic-andesite-andesite*, afinitas magma termasuk seri *calc-alkaline*, terbentuk pada *island arc tholeiite (IAT)* dan *oceanic island alkaline basalt (OIA)* dan terbentuk dari kedalaman antara 142,38 hingga 165 km di bawah permukaan bumi.

**Kata Kunci:** Gunungapi Anak Krakatau, geokimia, XRF, petrografi, Andesit, Basal.

## ABSTRACT

*Anak Krakatau Volcano is one of the active volcanoes in Indonesia, based on the history of the formation of the Anak Krakatau Volcano, it is deemed necessary to conduct research to become supporting data for further research with various objectives, especially in the mitigation section to reduce the risk of fatalities during the eruption of Mount Krakatau. fire. The supporting data that is the purpose of the research is to know the minerals that make up the rock, the characteristics of the main elements in the rock, magma affinity, tectonic formation environment, and petrogenesis of the magma of the Anak Krakatau Volcano. The data taken was in the form of rock samples after the December 2018 volcanic eruption. Two types of laboratory tests were carried out, namely 6 samples of XRF geochemistry and 10 petrographic samples of rock.*

*Based on petrographic data analysis, rock types consist of 2 types, namely basalt and andesite. The rock constituent minerals consist of plagioclase as phenocryst with a percentage of 35-50% in rock, augite, pyroxene, sanidin, and leucite are also found in the form of phenocryst. The ground mass is characterized by a blackish brown color, amounting to 15-35% in rock. The phenocrysts of the rock show the presence of a trachytic texture. The results of the analysis of XRF geochemical data are that the rock has SiO<sub>2</sub> values between 45.18-54.32 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,409-17,486 wt%, TiO<sub>2</sub> between 0.866-1.077 wt%, MnO between 0.054-0.184 wt%, MgO between 1.047- 4.35 wt%, CaO between 6.991-7.806 wt%, Na<sub>2</sub>O between 0.146-0.189 wt%, K<sub>2</sub>O between 0.392-0.866 wt%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> between 7,475-10,526 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,409-17,486 wt%, SO<sub>3</sub> between 0,059-18,409 wt%, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> between 0.243-0.326 wt%. It can be seen that the GAK volcanic rock sample belongs to the basaltic-andesite-andesite rock type, the magma affinity includes the calc-alkaline series, formed in island arc tholeiite (IAT) and oceanic island alkaline basalt (OIA) and formed from a depth of between 142.38 up to 165 km below the earth's surface.*

**Keywords:** *Anak Krakatau Volcano, geochemistry, XRF, petrography, Andesite, Basalt.*

## KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah ﷻ, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulisan Laporan tugas akhir yang berjudul **“Studi Geokimia Batuan Hasil Erupsi Desember 2018 Gunung Api Anak Krakatau Provinsi Lampung”** dapat penulis selesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Eng Hendra Pachri S.T, M. Eng. selaku ketua departemen teknik geologi, pembimbing pendamping sekaligus penasehat akademik penulis yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan selama pengerjaan laporan ini.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M .T. selaku pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan selama pengerjaan laporan ini.
3. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. selaku penguji dalam seminar pemetaan dan tugas akhir yang telah memberikan masukan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T. selaku penguji dalam seminar pemetaan dan tugas akhir yang telah memberikan masukan kepada penulis.

5. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung, terkhusus kepada Bapak Wilfridus F.S. Banggur S.T. yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.
7. Para staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu penulis.
8. Orang tua dan keluarga penulis yang tersayang.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, terkhusus pada angkatan 2015 (Agate) yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Semoga Allah SWT 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.

Makassar, 23 Juni 2022

Penyusun,

Sitti Novia Saad

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
SARI.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR FOTO .....	xii
4.1. BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.2.1 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Letak dan Kesampaian Daerah.....	2
1.5 Alat dan Bahan .....	3
1.6 Peneliti terdahulu.....	3
4.2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional.....	5
2.2 Definisi Gunung Api .....	13
2.3 Tektonisme .....	14
2.4 Afinitas Magma .....	17
2.5 Batuan Piroklastik .....	21
2.6 Geokimia Batuan .....	24
2.7 X-Ray Fluorescence (XRF).....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Pengambilan dan Pengumpulan Data.....	27
3.2 Uji Laboratorium .....	28
3.3 Analisis Data .....	29
3.4 Penyusunan dan Presentase Laporan.....	29
4.4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31



4.1	Morfologi Daerah Penelitian .....	31
4.2	Petrografi .....	35
4.2.1	Andesit.....	35
4.2.2	Basal .....	44
4.3	Geokimia .....	48
4.3.1	Jenis Batuan dan Afinitas Magma Berdasarkan Unsur Utama.....	49
4.3.2	Asal Magma Berdasarkan Unsur Utama .....	51
4.3.3	Evolusi Magma.....	52
4.3.4	Kedalaman Magma Asal .....	55
4.5.	BAB V PENUTUP.....	57
5.1	Kesimpulan.....	57
4.6.	DAFTAR PUSTAKA .....	58

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta Tunjuk Lokasi Kaldera Gunung Api Anak Krakatau di Kepulauan Rakata, Lampung.....	7
<b>Gambar 2.1</b> Geologi kompleks Gunung Api Anak Krakatau.....	12
<b>Gambar 2.2</b> Peta Stratigrafi Kompleks Anak Krakatau.....	14
<b>Gambar 2.3</b> Kolom Stratigrafi Kompleks G. Anak Krakatau .....	15
<b>Gambar 2.4</b> Struktur dalam bumi (kiri: Mason dan Moore, 1982); suhu dan komponen struktur dalam bumi (kanan: Louie,1996).....	19
<b>Gambar 2.5</b> Di Indonesia (Jawa dan Sumatera) pembentukan gunungapi terjadi akibat tumbukan kerak Samudera Hindia dengan kerak Benua Asia. (Mulyaningsih, 2015).....	21
<b>Gambar 2.6</b> Plot % berat $K_2O + Na_2O$ terhadap % berat $SiO_2$ pada batuan vulkanik (Cox dkk., 1979 dalam Wilson, 1991).....	25
<b>Gambar 2.7</b> Prinsip kerja alat X-Ray Fluorescence (XRF).....	29
<b>Gambar 3.1</b> Tahapan Preparasi Sampel XRF.....	34
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian .....	36
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Jenis Batuan Berdasarkan Unsur Utama pada Diagram TAS (LeBas, 1986) .....	55
<b>Gambar 4.2</b> Hasil plotting penentuan seri magmatik dalam diagram $K_2O-SiO_2$ (Peccerilo dan Taylor, 1976). .....	56
<b>Gambar 4.3</b> Plotting asal magma berdasarkan unsur utama (Mullen, 1983). ....	57
<b>Gambar 4.4</b> Diagram variasi harker sampel batuan Gunung api Anak Krakatau. ....	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Karakteristik seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonik Gunung Apinya (Modifikasi dari Wilson, 1989) .....	19
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat-sifat mineralogi batuan dari beberapa seri magma (Mulyaningsih, 2013).....	24
<b>Tabel 2.3</b>	Sifat-sifat mineralogi batuan dari beberapa seri magma (Mulyaningsih, 2013).....	24
<b>Tabel 4.1</b>	Data geokimia Batuan Gunung api Anak Krakatau (Laboratorium Sucofindo, Makassar).....	54
<b>Tabel 4.2</b>	Data estimasi mineral pada batuan Gunung api Anak Krakatau menggunakan CIPW Norm .....	60
<b>Tabel 4.3</b>	Perhitungan Kedalaman Magma Asal.....	61

## DAFTAR FOTO

<b>Foto 4.1</b>	Kawah Gunung api Anak Krakatau.....	31
<b>Foto 4.2</b>	Rekahan radial pada Gunung api Anak Krakatau.....	32
<b>Foto 4.3</b>	Rekahan radial pada Gunung api Anak Krakatau.....	32
<b>Foto 4.4</b>	Morfologi Gunung api Anak Krakatau.....	33
<b>Foto 4.1</b>	Conto batuan dengan nomor stasiun ST3/KWH/VIA.....	37
<b>Foto 4.2</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor stasiun ST3/KWH/VIA.....	37
<b>Foto 4.3</b>	Conto batuan dengan nomor stasiun ST12/KRT2/VIA.....	39
<b>Foto 4.4</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto ST12/KRT2/VIA.....	39
<b>Foto 4.5</b>	Conto batuan dengan nomor ST7/KRT1/VIA.....	40
<b>Foto 4.6</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto ST7/KRT1/VIA.....	41
<b>Foto 4.7</b>	Conto batuan dengan nomor KRT3&4/VIA.....	42
<b>Foto 4.8</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto KRT3&4/VIA.....	42
<b>Foto 4.9</b>	Conto batuan dengan nomor ST8/BSL/VIA.....	44
<b>Foto 4.10</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto ST8/BSL/VIA.....	44
<b>Foto 4.11</b>	Conto batuan dengan nomor ST2/BSL/VIA.....	45
<b>Foto 4.12</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto ST2/BSL/VIA.....	46
<b>Foto 4.13</b>	Conto batuan dengan nomor KRT/BOMB/VIA.....	47
<b>Foto 4.14</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor conto KRT/BOMB/VIA.....	47
<b>Foto 4.15</b>	Conto batuan nomor stasiun ST6/BSL/VIA.....	49
<b>Foto 4.16</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor stasiun ST6/BSL/VIA.....	49
<b>Foto 4.17</b>	Conto batuan dengan nomor stasiun ST9/AND/VIA.....	50
<b>Foto 4.18</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor stasiun ST9/AND/VIA.....	51
<b>Foto 4.19</b>	Conto batuan dengan nomor stasiun ST10/AND/VIA.....	52
<b>Foto 4.20</b>	Sayatan tipis batuan dengan nomor stasiun ST10/AND/VIA.....	52

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di Indonesia, terdapat 128 Gunung Api aktif yang tersebar dari Sabang sampai Merauke, dan sebanyak 84 di antaranya menunjukkan aktivitas eksplosifnya sejak 100 tahun terakhir. Adapun salah satu Gunung api yang tercatat memiliki letusan terdahsyat sepanjang sejarah yaitu Gunung api Krakatau. Dijelaskan dalam jurnal PVMBG mengenai G. Krakatau bahwa Letusan Gunung api Krakatau pada tahun 1883 memulai periode penghancuran kompleks Gunung api Krakatau diantaranya yaitu Gunung api Rakata, Danan, dan Perbuatan. Setelah penghancuran kompleks Gunung api Krakatau berakhir, maka periode pembentukan Gunung api Anak Krakatau dimulai tepatnya pada tahun 1927 yang aktif hingga sekarang.

Berdasarkan sejarah pembentukan Gunung api Anak Krakatau, maka dinilai perlu melakukan penelitian guna menjadi data pendukung untuk penelitian lanjutan dengan berbagai tujuan terutama pada bagian mitigasi guna mengurangi resiko adanya korban jiwa saat terjadi letusan Gunung api. Adapun penelitian berupa studi petrologi dan geokimia pada Gunung api ini masih belum banyak diteliti sehingga publikasi ilmiah mengenai GAK masih sangat terbatas. Hal tersebut menjadi latar belakang penulis untuk melakukan penelitian ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah analisa petrografi dan analisa geokimia batuan berupa karakteristik unsur mayor yang terdapat dalam singkapan batuan Gunung api.

### **1.2.1 Batasan Masalah**

Analisa geokimia yang dilakukan adalah kimia *bulk* batuan dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan analisa HD H<sub>2</sub>O dengan metode gravimetri.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan penamaan atau jenis batuan.
2. Mengetahui karakteristik unsur utama pada batuan Gunung api Anak Krakatau (GAK).
3. Menentukan afinitas magma Gunung api Anak Krakatau.
4. Menjelaskan petrogenesa dari magma Gunung api Anak Krakatau.
5. Menentukan lingkungan pembentukan tektonik dari magma Gunung api Anak Krakatau.

## **1.4 Letak dan Kesampaian Daerah**

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam Daerah Kepulauan Krakatau, Kecamatan Punduh Pedada, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Secara astronomis daerah ini terletak pada 105,410°E - 105,440°E dan 6,80°E - 6,120°S (Gambar1.1)

Pencapaian lokasi kawasan Gunung Api Anak Krakatau adalah dari Bandung dilanjutkan ke Pasauran, Serang, Banten (Pos Pengamatan Gunung Api) yang dapat ditempuh dengan kendaraan pribadi, bus, atau taksi sejauh  $\pm 266,8$  km selama 4jam 40 menit melalui Tol Tangerang - Merak. Adapun perjalanan menuju Pulau Krakatau ditempuh dengan menggunakan *speedboat* (kapal cepat) selama  $\pm 45$  menit. Pencapaian kawah/puncak Gunung Anak Krakatau dapat dilakukan dari Tenggara Gunung Api (Lava 2010). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pinggiran kawah bagian atas adalah  $\pm 40$  menit.

**Gambar 1.1** Peta tunjuk lokasi kaldera Gunung api Anak Krakatau di Kepulauan Rakata

## **1.5 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan selama analisis laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Sampel megaskopis berupa sampel untuk sayatan tipis dan analisis geokimia batuan (XRF)
2. Alat X-Ray Fluorescence tipe WD-XRF
3. *Software Geochemical Data Toolkit* (GCDkit)
4. Laptop
5. Literatur

## **1.6 Peneliti terdahulu**

Beberapa ahli geologi yang pernah melakukan penelitian di Gunung Api Anak Krakatau antara lain:

- 1) Bronto, S. (1992), melakukan penelitian mengenai *Volcanic hazard Assessment* terhadap Gunung api Krakatau dan sekitarnya.
- 2) Supriatman, I. (2006), melakukan penelitian mengenai Pertumbuhan Gunung api Anak Krakatau setelah letusan katastrofis 1883.
- 3) Syafawi, I., dkk (2015), melakukan penelitian mengenai Identifikasi Tubuh G. Anak Krakatau Berdasarkan Struktur Kecepatan Seismik 3D Menggunakan Tomografi Gempa Lokal.
- 4) Banggur, W. S. F., dkk (2019), melakukan pemetaan geologi dan analisis Perubahan Morfologi G. Anak Krakatau Pasca Peristiwa Desember 2018 Berdasarkan Fotogrametri.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional**

Gunung Api Anak Krakatau sejak lahir tahun 1929 sampai sekarang telah meletus sekurang-kurang 80 kali atau terjadi setiap tahun berupa erupsi eksplosif atau efusif. Waktu istirahat antara 1 – 8 tahun, tetapi letusannya dapat terjadi 1 – 6 kali dalam setahun, bahkan pada tahun 1993 dan 2001 letusan terjadi hampir setiap hari. Gunung api Anak Krakatau merupakan pulau gunung api yang tersusun oleh perselingan lapisan antara aliran lava dan endapan piroklastika. Perlapisan tersebut membentuk kerucut yang sampai sekarang mencapai tinggi 315 m. Kompleks Gunung Api Krakatau terdiri atas empat pulau, yaitu Rakata, Sertung, Panjang, dan Anak Krakatau. Ketiga pulau pertama merupakan sisa pembentukan kaldera Gunung Krakatau purba, sedangkan Pulau Rakata adalah gunung api yang tumbuh bersamaan dengan Gunung Api Danan dan Perbuatan sebelum terjadi letusan besar pada tahun 1883 (ESDM, 2014).

##### **2.1.1 Morfologi Gunung Api Anak Krakatau**

Morfologi kerucut vulkanik dijumpai di pulau Rakata dan Anak Krakatau. Kerucut vulkanik Rakata teramati jelas mulai ketinggian 500 m sampai ke bagian puncak, 813 m dari muka laut. Bagian puncak Rakata tersusun oleh sumbat vulkanik dan endapan aliran piroklastik. Kerucut vulkanik Anak Krakatau terdiri atas kerucut vulkanik tua dan kerucut vulkanik muda yang masih aktif. Kerucut vulkanik tua tidak menunjukkan kerucut yang sebenarnya karena bagian atas

kerucut menghilang oleh erupsi dan meninggalkan dinding kawah besar dan puncak tertinggi 155,66 m dml. Dinding kawah ini terbuka ke arah tenggara, tetapi pada 1999 kerucut vulkanik tua dan kerucut aktif menyatu membentuk kerucut vulkanik besar yang tersusun oleh perlapisan jatuhan piroklastik dan aliran lava. Sebelum itu, kerucut aktif ini terbentuk di bagian tengah kawah kerucut tua dan puncak tertingginya pada 1983 adalah 201,446 m. Akibat erupsi yang terjadi secara periodik, pertumbuhan kerucut muda ini menjadi semakin besar dan menutupi kerucut tua. Pada tahun 2000, kerucut muda ini mencapai tinggi 300 m dml.

Aliran lava mempunyai morfologi khusus yang terbentuk hampir kesemua arah, terdiri atas beberapa aliran hasil kegiatan vulkanik tahun 1988, 1992, 1993 dan 1996. Morfologi ini memperlihatkan berbagai bentuk permukaan kasar yang mencerminkan bongkahan lava atau "aa" lava, tersebar dalam berbagai ukuran dan umumnya memperlihatkan pola aliran yang jelas dan membentuk punggung yang membentang dari sumbernya ke arah pantai. Banyak dari aliran lava masuk ke laut dan menambah besar pulau tersebut.

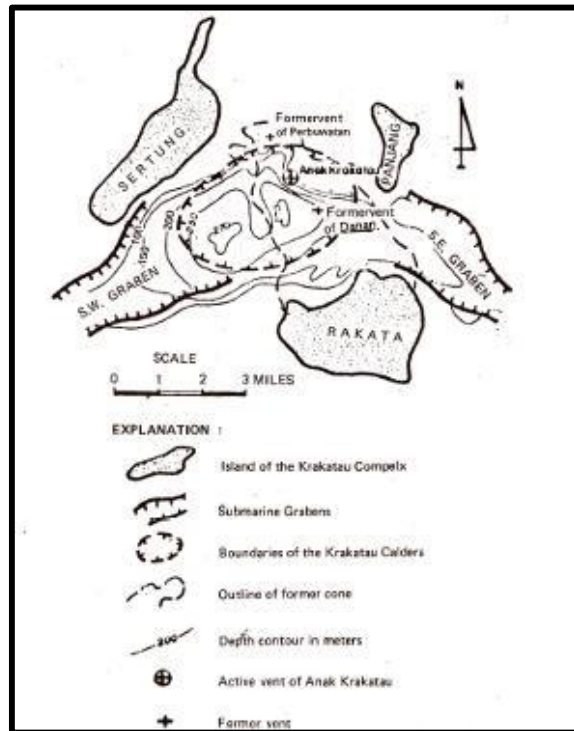
Morfologi pedataran menempati bagian timurlaut P. Sertung dan permukaannya di beberapa tempat tingginya tidak lebih dari 5 m, tersusun atas material vulkanik lepas dan pasir. Tepi barat dan timurlaut daerah ini seringkali berubah, karena daerah ini mudah sekali diterpa ombak besar yang menyebabkan abrasi, terutama pada musim angin barat.

### **2.1.2 Statigrafi Gunung Api Anak Krakatau**

Komplek Vulkanik Krakatau terletak sekitar 140 km dari Jalur Tektonik Jawa dimana zona penunjaman kira-kira 120 km dibawahnya (ESDM, 2014). Zona

Sesar Sumatra tidak menerus ke Jawa melalui Krakatau, tetapi Selat Sunda merupakan kunci antara penunjaman oblik Jalur Sumatra dan penunjaman frontal Jawa, dan Krakatau terletak diantara pertemuan zona dua graben dan zona rekahan arah utara-selatan. Effendi, dkk. (dalam ESDM, 2014) dinyatakan bahwa Komplek Vulkanik Krakatau dikontrol oleh pergerakan tektonik yang berhubungan dengan Sistem Sesar Sumatra Selatan. Struktur ini ditunjukkan oleh keberadaan dike dan rekahan di P. Rakata, dan struktur seperti graben di Anak Krakatau. Beberapa dike mempunyai arah strike  $160^{\circ}/165^{\circ}$  dan kemiringan hampir vertikal  $80^{\circ}/90^{\circ}$ , dan seluruh dike tersebut berhubungan dengan Sistem Sesar Sumatra Selatan (ESDM, 2014). Tjia (dalam ESDM, 2014) menyatakan bahwa rekahan arah  $160^{\circ}/165^{\circ}$  dijumpai sekitar kerucut aktif Anak Krakatau dan lebih kurang paralel terhadap Sistem Sesar Sumatra Selatan.

Gunung api Anak Krakatau terletak di dalam Kaldera Krakatau yang terbentuk pada letusan paroksimal kedua tahun 1883. Awal titik erupsi Gunung Api ini terletak pada kedalaman 188 meter di bawah muka laut, muncul di bagian selatan dari kaldera tersebut, serta segaris dengan Kawah Danan dan Perbuwatan. Stratigrafi di kompleks Krakatau terbentuk akibat aktivitas kompleks Krakatau yang dimulai pada periode pembentukan Gunung api Krakatau Purba, sampai dengan periode pembentukan Gunung Api Anak Krakatau.

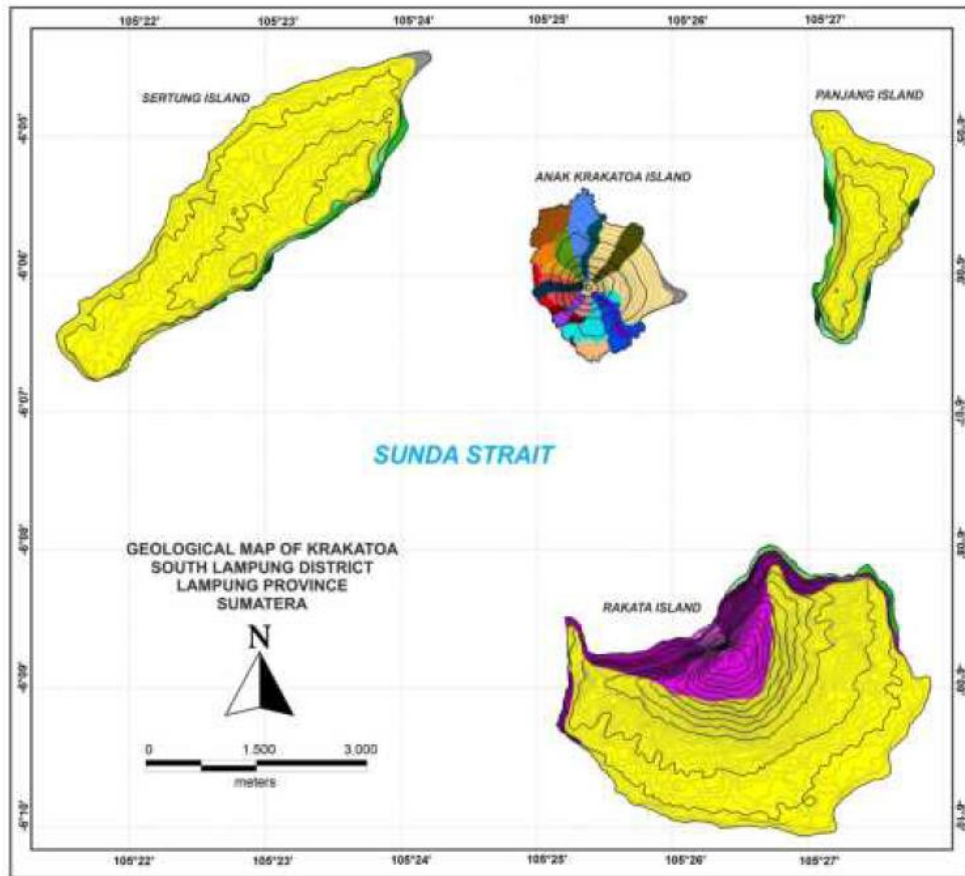


**Gambar 2.1** Geologi Kompleks G. Anak Krakatau

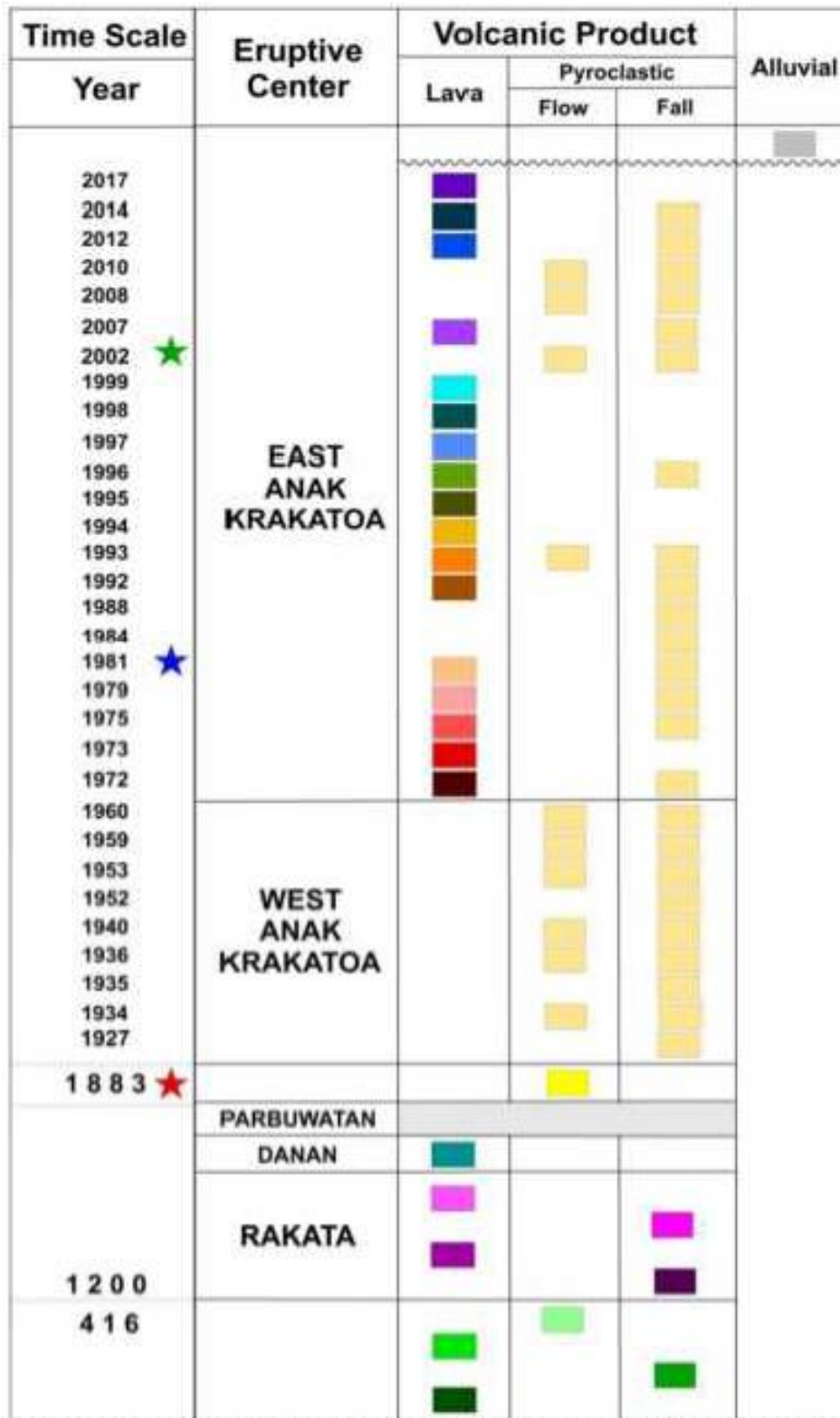
Urutan stratigrafi endapan/batuan vulkanik di daerah ini dihasilkan oleh kegiatan erupsi G. Anak Krakatau. Kronologi batuan vulkanik di Komplek Vulkanik Krakatau diketahui sebagai suksesi kegiatan periodik.

- a. Periode I : Pembentukan Gunung api Tunggal (Krakatau Purba).
- b. Periode II : Penghancuran G. Krakatau Purba.
- c. Periode III : Pertumbuhan G. Rakata, Danan dan Perbuatan setelah pembentukan kaldera pertama.
- d. Periode IV : Penghancuran G. Rakata, Danan dan Perbuatan, diakibatkan oleh pembentukan kaldera tahun 1883 yang menghasilkan endapan khas.
- e. Periode V : Pembangunan G. Anak Krakatau setelah pembentukan kaldera 1883. Stehn (dalam ESDM, 2014) berpendapat bahwa periode ini dimulai dengan kegiatan vulkanik di bawah laut pada 29 Desember 1927.

Dua tahun kemudian pada 20 Januari 1929, sebuah dinding kawah terbentuk di sekitar pusat kegiatan, terdiri atas abu, lapili dan bongkahan-bongkahan lepas. Dinding kawah ini membentuk sebuah pulau yang dinamakan Anak Krakatau. Sejak Agustus 1930, Gunung Api terbentuk secara permanen di atas muka laut, dan kegiatannya menerus sampai Oktober 1950. Pada September 1956, sebuah kerucut terbentuk di dalam kawah. Kegiatan Gunung Api Anak Krakatau menghasilkan endapan vulkanik sebagai berikut: endapan jatuhan piroklastik tua yang umumnya terdiri atas skoria berukuran abu, pasir, lapili dan bom. Lapisan accretional lapilli sering dijumpai di antara endapan tersebut. Satuan ini membentuk dinding kawah tua dan ditutupi oleh endapan lava dan piroklastika lebih muda. Ketebalan satuan ini sekitar 50 m. Endapan jatuhan piroklastika lebih muda membentuk kerucut baru pada Oktober 1956, terdiri atas skoria berukuran abu, lapili dan bom dan fragmen litik, menutupi tempat yang luas di pulau ini. Beberapa satuan lava dierupsikan selama kegiatan Anak Krakatau semenjak lahirnya. Sekurang-kurang 15 satuan leleran lava dierupsikan selama kegiatan Anaka Krakatau berlangsung, terutama berkomposisi andesit basaltis mengandung olivin-pioksin (dalam Sutawijaya dalam Abdurrachman dkk, 2018), Sjarifudin dan Purbawinata (1983) berpendapat bahwa satuan lava ini berfenokris plagioklas, piroksin, olivin dan magnetit dengan masadasar gelas vulkanik. Ciri khas masadasar tersebut adalah tekstur hialopilitik.



**Gambar 2.2** Peta Stratigrafi Kompleks Anak Krakatau (Sutawijaya dalam Abdurrachman dkk, 2018)



**Gambar 2.3** Kolom Stratigrafi Kompleks G. Anak Krakatau Stratigrafi kompleks Krakatau. Posisi sampel diperlihatkan oleh bintang warna merah untuk tahun 1883, warna biru untuk 1981, dan hijau untuk 2002 (Abdurrahman, Mirzan, dkk.)

### **2.1.3 Petrologi Gunung Api Anak Krakatau**

Pada prinsipnya mineral-mineral primer baik dari lava maupun bom adalah hampir sama, tersusun atas augit, hipersten, plagioklas dan sejumlah butiran kecil olivin, dan umumnya terbentuk dalam masadasar hipokristalin sampai holokristalin. Plagioklas terbentuk sebagai fenokris dan mikrolit. Sebagai fenokris menguasai antara 53 - 66% dari batuan dan panjangnya rata-rata 1,4 mm, komposisinya berkisar antara andesin kalsik - labradorit kalsik (An48-An68) dan rata-ratanya An58. Semua fenokris yang besar dan beberapa yang lebih kecil menunjukkan zoning progresif dan reversed. Fenokris besar cenderung berkelompok membentuk tekstur glomeroporfiritik, dan kelompok kecil terdiri atas butiran kecil inklusi hipersten. Hal ini menunjukkan bahwa hipersten terjadi lebih awal dari pada plagioklas pada saat kristalisasi magma basaltis. Fenokris yang lebih kecil tersebar secara random pada seluruh batuan dan bentuknya euhedral, serta umumnya tidak terjadi penzonaan dan relatif bebas dari inklusi.

Augit terdapat baik sebagai fenokris berukuran sampai 0,8 mm maupun sebagai butiran kecil dalam masadasar. Fenokris yang merupakan resorbed crystals berjumlah 9 - 19% dalam batuan atau rata-rata 14% dalam batuan. Inklusi umumnya terdapat dalam fenokris dan plagioklas. Butiran kecil augit dalam masadasar berdiameter lebih kecil dari 0.01 mm dan bergabung dengan butiran olivin yang berukuran sama.

Hipersten juga terdapat sebagai fenokris maupun butiran kecil dalam masadasar, berjumlah 2 - 10% atau rata-rata 5% dalam batuan, kenampakannya mirip dengan augit. Olivin terbentuk sebagai fenokris euhedral sampai subhedral



dengan rata-rata panjangnya 0,15 mm, tetapi tidak semua contoh batuan mengandung olivin. Fenokris berjumlah 4% dalam batuan dan cenderung bergabung dengan augit membentuk kelompok kumulofirik.

Masa dasar dicirikan dengan warna coklat kehitaman berjumlah 13 - 22% dalam batuan, terdiri atas gelas hitam opak dan sejumlah mikrolit kecil dan kristalit plagioklas, hipersten, augit, magnetit, titanomagnetit dan adakalanya diopsid dan augit-aegirin. Xenolit terdapat beragam dalam komposisi dan berkisar dari gabro dioritit, mikro-gabro sampai diabas ofitik, umumnya terbentuk dalam batuan, lava dan bom vulkanik yang kemungkinan berasal dari bom balistik dari batuan samping.

Petrografi batuapung 1883 terutama dipilih dari endapan aliran piroklastik dan jatuhan piroklastik. Batuapung ini ditemukan di pulau Rakata, Panjang dan Sertung dengan ukuran abu, pasir, lapili dan bongkahan. Batuapung dari endapan aliran piroklastik mempunyai petrografi sederhana, seluruh contoh batuan terdiri atas masadasar gelas vulkanik dengan fenokris plagioklas, orto-piroksin, klinto-piroksin, magnetit dan apatit. Fenokris berjumlah 10% dari batuan, dimana plagioklas mempunyai dua pertiga bagiannya dan selainnya piroksin dan magnetit. Masadasar gelas vulkanik selalu mengandung mineral apatit dan apatit ini sering terbentuk sebagai inklusi dalam plagioklas dan piroksin.

## **2.2 Definisi Gunung Api**

Gunung api merupakan lingkungan geologi yang keterdapatan dan aktivitasnya dikontrol oleh kondisi tektonikanya secara regional. Mengacu pada pemahaman tektonika lempeng, Gunung api dapat dijumpai pada tepian lempeng

konvergen dan tepian lempeng divergen. Tatanan tektonika tersebut membentuk Gunung Api dengan tipe magma, karakteristik aktivitasnya, dan material Gunung Api yang dihasilkannya.

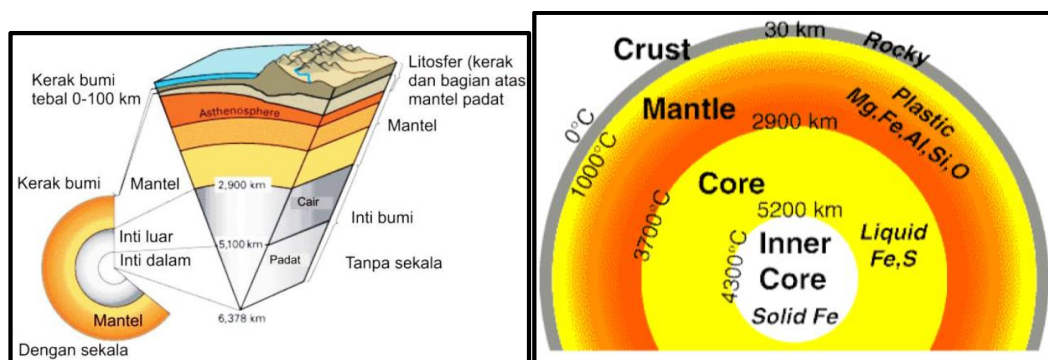
Gunung api didefinisikan sebagai proses magmatisme yang berlangsung secara alamiah, yang dicirikan oleh bergeraknya magma dari dalam bumi (reservoir magma) ke permukaan bumi melalui suatu rekahan yang terbentuk secara tektonika. Peristiwa tersebut dapat berlangsung secara berulang-ulang (poligenetik) maupun sekali saja (monogenetik). Dalam hal ini, gunung api tersebut harus memiliki pasokan magma (dapat berupa dapur magma ataupun magma penyusun mantel bumi), memiliki rekahan (yang terbentuk secara tektonika) yang menghubungkan sumber magma tersebut dengan permukaan bumi, dan gerakan magma ke permukaan bumi. Untuk itu keberadaan gunung api selalu dikontrol oleh adanya tektonika aktif, seperti zona pemekaran lantai samudra dan zona magmatisme pada mekanisme tektonika lempeng. Geomorfologi gunung api juga tidak selalu berupa timbunan yang membentuk gunung, dapat berupa lembah sirkular, setengah sirkular dan perisai setinggi 100 meter. (Mulyaningsih, 2015)

### **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”. Keterdapatannya 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 2.4** Struktur dalam bumi (kiri: Mason dan Moore, 1982); suhu dan komponen struktur dalam bumi (kanan: Louie, 1996).

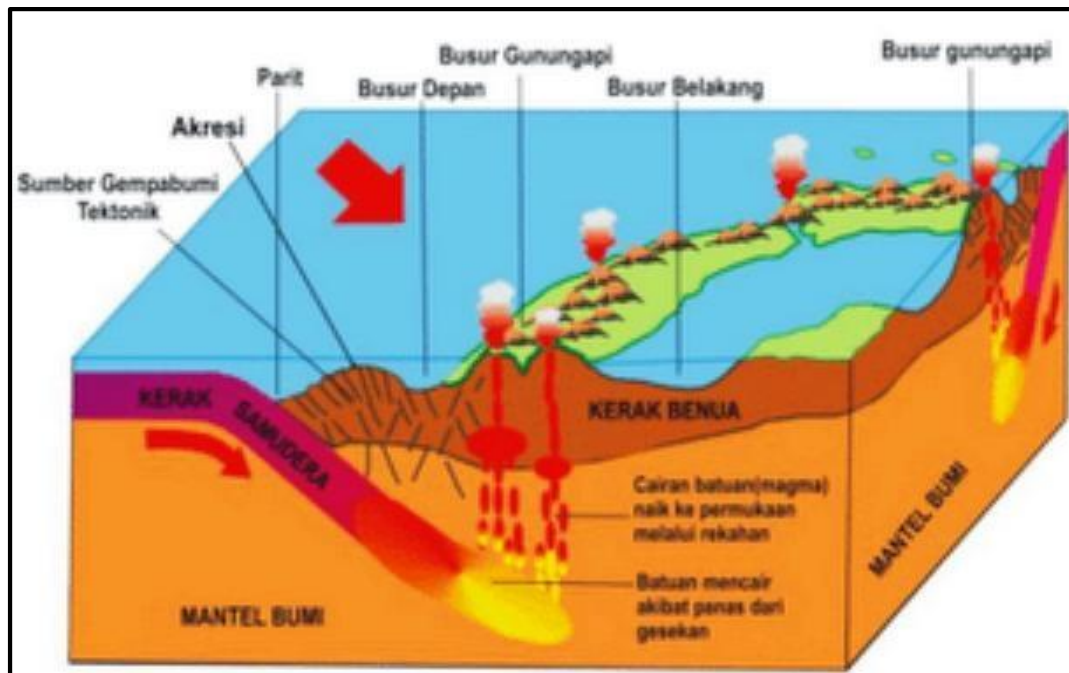
Inti bumi tersusun atas inti dalam yang bersifat padat dan inti luar yang bersifat plastis, keduanya tersusun atas logam Fe dan Ni; selubung bumi (mantel) tersusun atas selubung bawah yang bersifat cair dan tersusun atas magma (oksida Fe, Mg dan Si) dan selubung atas bersifat plastis yang tersusun atas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

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).

Pergerakan antar lempeng ini menimbulkan empat busur gunungapi berbeda:

1. Pemekaran kerak benua, lempeng bergerak saling menjauh sehingga memberikan kesempatan magma bergerak ke permukaan, kemudian membentuk busur gunungapi tengah samudera.
2. Tumbukan antar kerak, dimana kerak samudera menunjam di bawah kerak benua. Akibat gesekan antar kerak tersebut terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunungapi di tepi benua.
3. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horizontal, sehingga menimbulkan rekahan atau patahan. Patahan atau rekahan tersebut menjadi jalan ke permukaan lelehan batuan atau magma sehingga membentuk busur gunungapi tengah benua atau banjir lava sepanjang rekahan.
4. Penipisan kerak samudera akibat pergerakan lempeng memberikan kesempatan bagi magma menerobos ke dasar samudera, terobosan magma ini merupakan banjir lava yang membentuk deretan gunungapi perisai.



**Gambar 2.5** Di Indonesia (Jawa dan Sumatera) pembentukan gunungapi terjadi akibat tumbukan kerak Samudera Hindia dengan kerak Benua Asia. (Mulyaningsih, 2015)

## 2.4 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.

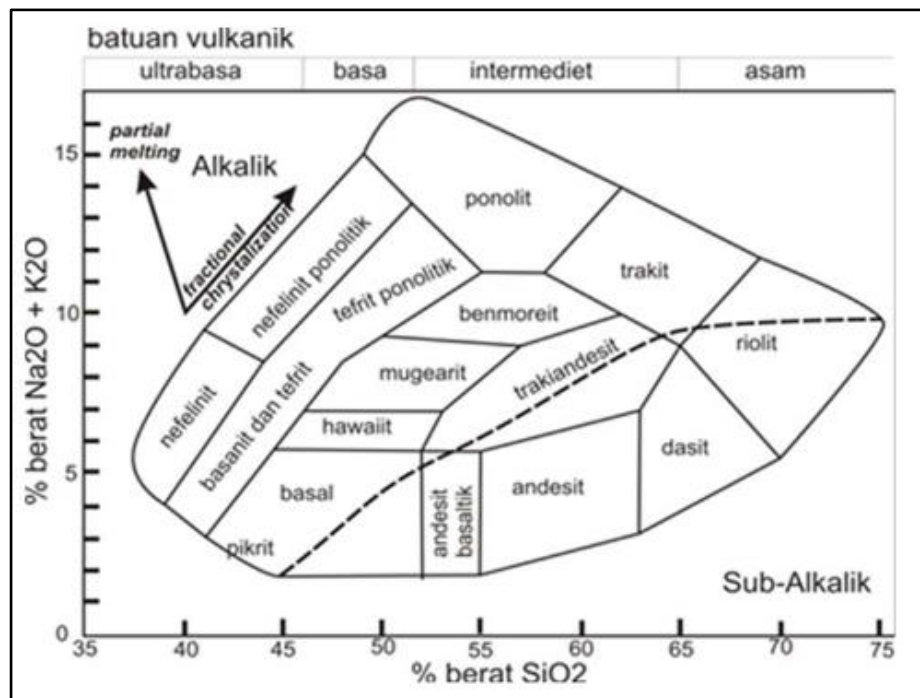
Secara spesifik, proses asimilasi dan diferensiasi mempengaruhi kemunculan magma di permukaan; dan mengontrol karakteristik aktivitasnya dalam membangun tubuh gunung api. Proses magmatisme tersebut dapat menghasilkan perubahan komposisi kimia, dan tidak merubah tipe magma. Sebagai

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 basalt ke andesit 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 2.1** Karakteristik seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonika Gunung Apinya (modifikasi dari Wilson, 1989)

Tatanan tektonik	Tepian lempeng		Di antara lempeng	
	Konvergen (destruktif)	Divergen (konstruktif)	Antar lempeng samudera	Antar lempeng benua
<b>Bentukan vulkanik</b>	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>
<b>Sifat seri magmanya</b>	Ca-alkalin K-Alkalin	Tholeiitik Shoshonit (K >>)	Tholeiitik Shoshonit (very high K)	Tholeiitik K-Alkalin
<b>Kisaran % SiO<sub>2</sub></b>	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 2.6 (Mulyaningsih, 2013).



**Gambar 2.6** Plot % berat K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O terhadap % berat SiO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O dan Na<sub>2</sub>O tinggi dengan SiO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O terhadap % berat SiO<sub>2</sub> (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 2.2** 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



## 2.5 Batuan Piroklastik

Batuan piroklastika adalah suatu batuan yang berasal dari letusan gunungapi, sehingga merupakan hasil pembatuan daripada bahan hamburan atau pecahan magma yang dilontarkan dari dalam bumi ke permukaan. Itulah sebabnya dinamakan sebagai piroklastika, yang berasal dari kata pyro berarti api (magma yang dihamburkan ke permukaan hampir selalu membara, berpendar atau berapi), dan clast artinya fragmen, pecahan atau klastika.

Dengan demikian, pada prinsipnya batuan piroklastika adalah batuan beku luar yang bertekstur klastika. Hanya saja pada saat proses pengendapan, batuan piroklastika ini mengikuti hukum-hukum di dalam proses pembentukan batuan sedimen. Misalnya diangkut oleh angin atau air dan membentuk struktur-struktur sedimen, sehingga kenampakan fisik secara keseluruhan batuanya seperti batuan sedimen. Oleh sebab itu ada ahli yang memasukkan batuan Piroklastik ini kedalam

Berdasarkan ukuran butir klastikanya, sebagai bahan lepas (endapan) dan setelah menjadi batuan piroklastika, penamaannya seperti pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.3** Klasifikasi batuan piroklastik

Ukuran butir (mm)	Sebutan (piroklastik)	Endapan piroklastik	
		Tak terkonsolidasi	terkonsolidasi
> 64	Bomb, block	Bomb, block tephra	Aglomerat, Breksi Piroklastik
64 – 2	lapilus	Tephra lapili	Batu lapili
2 – 1/16	Debu kasar	Debu kasar	Tuff, debu kasar
< 1/16	Debu halus	Debu halus	Tuff, Debu Halus

Bom gunungapi adalah klastika batuan gunungapi yang mempunyai struktur-struktur pendinginan yang terjadi pada saat magma dilontarkan dan membeku secara cepat di udara atau air dan di permukaan bumi. Salah satu struktur

yang sangat khas adalah struktur kerak roti (*bread crust structure*). Bom ini pada umumnya mempunyai bentuk membulat, tetapi hal ini sangat tergantung dari keenceran magma pada saat dilontarkan. Semakin encer magma yang dilontarkan, maka material itu juga terpengaruh efek puntiran pada saat dilontarkan, sehingga bentuknya dapat bervariasi. Selain itu, karena adanya pengeluaran gas dari dalam material magmatik panas tersebut serta pendinginan yang sangat cepat maka pada bom gunungapi juga terbentuk struktur vesikuler serta tekstur gelas dan kasar pada permukaannya.

Bom gunungapi yang berstruktur vesikuler di dalamnya berserat kaca dan sifatnya ringan disebut batuapung (*pumice*). Batuapung ini umumnya berwarna putih terang atau kekuningan, tetapi ada juga yang merah daging dan bahkan coklat sampai hitam. Batuapung umumnya dihasilkan oleh letusan besar atau kuat oleh suatu gunungapi dengan magma berkomposisi asam hingga menengah, serta relatif kental. Bom gunungapi yang juga berstruktur vesikuler tetapi di dalamnya tidak terdapat serat kaca, bentuk lubang melingkar, elip atau seperti rumah lebah disebut skorja (*scoria*). Bom gunungapi jenis ini warnanya merah, coklat sampai hitam, sifatnya lebih berat daripada batuapung dan dihasilkan oleh letusan gunungapi lemah berkomposisi basa serta relatif encer. Bom gunungapi berwarna hitam, struktur masif, sangat khas bertekstur gelas, kilap kaca, permukaan halus, pecahan konkoidal (seperti botol pecah) dinamakan obsidian.

Blok atau bongkah gunungapi dapat merupakan bom gunungapi yang bentuknya meruncing, permukaan halus gelas sampai hipokristalin dan tidak terlihat adanya struktur-struktur pendinginan. Dengan demikian blok dapat

merupakan pecahan daripada bom gunungapi, yang hancur pada saat jatuh di permukaan tanah/batu. Bom dan blok gunungapi yang berasal dari pendinginan magma secara langsung tersebut disebut bahan magmatik primer, material esensial atau juvenile). Blok juga dapat berasal dari pecahan batuan dinding (batuan gunungapi yang telah terbentuk lebih dulu, sering disebut bahan aksesori), atau fragmen non-gunungapi yang ikut terlontar pada saat letusan (bahan aksidental).

Berdasarkan komposisi penyusunnya, tuf dapat dibagi menjadi tuf gelas, tuf kristal, dan tuf litik, apabila komponen yang dominan masing-masing berupa gelas/kaca, kristal dan fragmen batuan. Tuf juga dapat dibagi menjadi tuf basal, tuf andesit, tuf dasit dan tuf riolit, sesuai klasifikasi batuan beku. Apabila klastiknya tersusun oleh fragmen batuapung atau skoria dapat juga disebut tuf batuapung atau tuf skoria. Demikian pula untuk aglomerat batuapung, aglomerat skoria, breksi batuapung, breksi skoria, batulapili batuapung dan batulapili skoria.

William, 1982 dan Fisher 1984 (dalam Ariqgo Fauqi, 2015) mengelompokkan material penyusun batuan piroklastik menjadi tiga kelompok yaitu:

- a. Kelompok Juvenil (*Essential*), dimana material penyusun dikeluarkan langsung dari magma, terdiri dari padatan, atau partikel tertekan dari suatu cairan yang mendingin dan kristal (*pyrogenic crystal*).
- b. Kelompok Cognate (*Accessory*), dimana material penyusunnya dari material hamburan yang berasal dari letusan sebelumnya, dari gunungapi yang sama atau tubuh vulkanik yang lebih tua dari dinding kawah.

- c. Kelompok *accidental* (bahan asing), dimana material penyusunnya merupakan bahan hamburan yang berasal dari batuan non gunungapi atau batuan dasar berupa batuan beku, sedimen, metamorf, sehingga mempunyai komposisi yang seragam.

## 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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  ditambah *Loss on Ignition* (LOI) dari batuan yang dianalisa, dijadikan dalam % berat dengan jumlah keseluruhan harus 100%. Semakin tinggi  $\text{SiO}_2$  dalam batuan menunjukkan semakin asam batuan tersebut. *Loss on Ignition* (LOI) adalah total dari seluruh zat volatil dalam batuan, yaitu:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , C,  $\text{H}_2\text{O}$ , 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

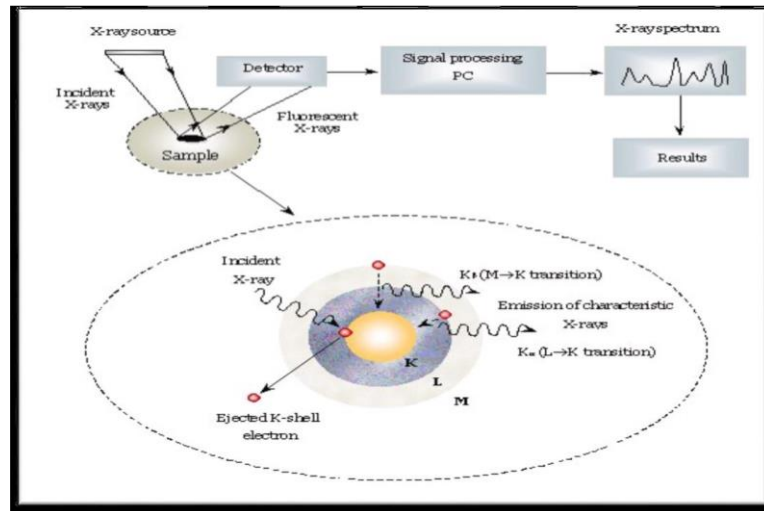
(*incompatible element*) dimana unsur yang inkompatibel mempunyai karakter dapat tinggal lebih lama dalam cairan dibandingkan dalam mineral, dapat cepat keluar dari mineral pada saat proses kristalisasi, dan terlarut dalam cairan pada proses peleburan sebagian (*partial melting*). Unsur kompatibel mempunyai 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 2.7** 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).