

Skripsi Geofisika

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA LEMBAH GUNUNG
BAWAKARAENG**



OLEH:

KEMAL FASYA

H061181304

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

HALAMAN JUDUL

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA LEMBAH GUNUNG
BAWAKARAENG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada

Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

Kemal Fasya

H061181304

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA LEMBAH GUNUNG
BAWAKARAENG**

Disusun dan Diajukan oleh:

Kemal Fasya

H061181304

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

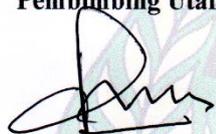
Pada 22 Desember 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT,

Surv. IPM

NIP. 196912311997021002



Dr. Erfan, M.Si

NIP. 196709032001121001

**Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin Makassar**



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng

NIP.196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Kemal Fasya

NIM : H061181304

Departemen : Geofisika

Judul : **IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL BATUAN**

GUNUNGAPI MENGGUNAKAN METODE XRD DAN XRF

PADA LEMBAH GUNUNG BAWAKARAENG

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, penelitian ini murni gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan Tim pembimbing dan masukan Tim penguji.

Makassar, 4 Januari 2024

Yang menyatakan,



KEMAL FASYA

SARI BACAAN

lereng gunung Bawakaraeng didominasi oleh endapan vulkanik Lompobattang yang tersebar luas di lereng gunung Bawakaraeng dan terdiri dari perselingan endapan lava dan tufa yang belum terkompaksi dengan baik. Batuan merupakan gabungan dari 2 mineral atau lebih. Batuan mempunyai komposisi mineral, sifat-sifat fisik, dan umur yang bermacam-macam. Mineral merupakan senyawa alami yang terbentuk melalui proses geologis. Mineral termasuk dalam komposisi unsur murni dan garam sederhana sampai silikat yang sangat kompleks dengan ribuan bentuk yang diketahui. Kelompok mineral tersebut dapat diidentifikasi baik karakteristik maupun komposisi kimia utamanya menggunakan sinar-x . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan unsur dan kandungan mineral pada sampel batuan pada lembah gunung Bawakaraeng. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode XRD dan XRF. Hasil dari analisis XRD menunjukkan hasil bahwa kandungan mineral yang terdapat pada sampel batuan adalah anorthite, lithosite, davanite, megakalsilite, titanite, pyroxferroite, wollastonite, tridymite, sanidine, leucite, laihunite, rhodonite, epidote, ferrosilite, Cristobalite, dan dmitryivanovite. mineral anorthite dan titanite merupakan mineral yang mendominasi yang terdapat pada setiap titik sampel batuan, dan mineral seperti wollastonite, tridymite , sanidine, dan ferrosilite hampir dapat ditemukan di setiap sampel batuan. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa kandungan unsur pada sampel batuan adalah Si, Fe, Al, Ca, K, Ti, dan Mg. dan unsur degan presentase tertinggi dalah Si dengan presentase sebesar 52,94% . Hasil dari penlitian ini dapat digunakan sebagai pemanfaatan sumber daya mineral dalam bentuk informasi maupun refrensi.

Kata Kunci : Batuan, Gunung Bawakaraeng, Mineral, XRD, XRF.

ABSTRACT

The slopes of Mount Bawakaraeng are mostly covered with Lompobattang volcanic deposits, which are extensively distributed and include a combination of loosely compacted lava and tuff layers. Rocks are composed of two or more minerals. Rock formations exhibit diverse mineral compositions, physical characteristics, and ages. Minerals are naturally occurring chemicals that are created by geological processes. Minerals exhibit a wide spectrum of composition, spanning from elemental substances and basic salts to intricate silicates with several documented variations. X-ray analysis is the primary method for identifying the mineral group based on its features and chemical makeup. The objective of this research was to ascertain the elemental composition and mineral composition of rock samples collected from the Bawakaraeng mountain valley. The study employs XRD and XRF techniques. The XRD examination findings indicate that the rock samples include the minerals anorthite, lithosite, davanite, megacalcite, titanite, pyroxferroite, wollastonite, tridymite, sanidine, leucite, laihunite, rhodonite, epidote, ferrosilite, Cristobalite, and dmitryivanovite. The predominant minerals seen at each rock sample point are anorthite and titanite, whereas minerals such as wollastonite, tridymite, sanidine, and ferrosilite are present in almost all rock samples. The XRF examination findings indicate that the rock samples include the following elements: Si, Fe, Al, Ca, K, Ti, and Mg. Among these elements, Si has the largest concentration, accounting for 52.94%. The findings of this study may be used as a means of using mineral resources via the dissemination of knowledge and as points of reference.

Keywords: Rock, Mount Bawakaraeng, Minerals, XRD, XRF.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPEI MENGGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA LEMBAH GUNUNG BAWAKARAENG”**, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Sholawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Kepada sahabat dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Secara khusus penghargaan setinggi-tingginya penulis persembahkan kepada kedua orang tua terkasih dan tersayang yaitu Ayahanda tercinta **Lukman Hakim** dan Ibunda tercinta **Andi Fitriani** yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, perhatian, serta selalu memanjatkan doa yang terbaik untuk penulis.

Selesainya proses penyusunan tugas akhir ini pun didukung oleh berbagai pihak yang memberikan semangat, ide, dukungan, dan doa tentunya. Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan salam hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM** dan Bapak **Dr. Erfan, M.Si.** selaku pembimbing utama dan pembimbing pertama penulis. Terima kasih telah membimbing dan memotivasi penulis dengan sabar dan juga memberikan nasihat serta masukan-masukan kepada penulis hingga selesainya tugas akhir ini.

2. Seluruh anggota **Bawakaraeng Team** selaku tim yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk ikut dalam kegiatan eskploarasi geofisika pada Lembah gunung Bawakaraeng sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., MT.** selaku tim penguji dalam pelaksanaan seminar proposal penelitian, seminar hasil penelitian, dan ujian sidang skripsi geofisika, terima kasih atas segala masukan serta saran kepada penulis.
4. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin
5. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin
6. Seluruh **Dosen-dosen Departemen Geofisika** yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan.
7. Seluruh staff Departemen Geofisika, **Pak Putra, Pak Anto** dan **Pak Fadli**, terima kasih telah membantu administrasi penulis selama pengerjaan tugas akhir.
8. Terima kasih juga untuk semua adik saya, **Luthfiani Bahrain, Filman Abdullah, Luna Malika** yang telah menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa pula **Laila Kadriani** dan keluarga besar saya **Keluarga Petta Sabbi** yang selalu mendukung, memotivasi, dan selalu ada di saat penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Terimakasih untuk **Riyandi Bahar**, dan **Daffa Abyan**, selaku om dan saudara saya yang telah membantu dan mendukung disaat ada permasalahan pada saat perkuliahan.
10. Teman seperjuangan **Tugas Akhir Mineral, Agung, Rahmat, Inul, Yusuf, Aswan**. terima kasih untuk tetap selalu berjuang bersama penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
11. Teman-teman **Geofisika 2018, Dede, Justin, Mulyanto, Hasnan, Heral, Ipul, Uci, Sarwan, Wawan, Pian, Agung, Komang, Zefa, Jihan, Fya, Iis, Ainul, Jojo, Marni, Irma, Fira, Wilda, Sri, Fhaika, Aini, Mute, Nilam, Onding, Nisa, Yen, Juni, Kiki, Epe, Ayu, Ocha, Windy, Sheren, Dhea, Fina, Fiskah, Chana, Feni, Masdar, Prayoga, Yahya, Aswan, Yusran, Yansen, Dilla, Yusril dan Andri**, yang selalu memberikan dukungan, saran dan nasehat kepada penulis.
12. Teman-teman **WARPES CIKINI, Andi Etok, Rafiabi Mabul, Dikko Okkid, Randa Babeh, Ipan Dido, Andikap Setya, Ivy, Bia Umma, Anggit, Keke, Rilo, Latyp, Rapip, Satria, Aldi, Adrry, Genta, Krisna, Ara, Uco** yang telah menemani saya dari SMA hingga menyelesaikan perkuliahan.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup	3
I.3 Rumusan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Geologi Regional.....	4
II.2 Batuan.....	5
II.3 Batuan Beku	6
II.3.1 Klasifikasi Batuan Beku.....	7
II.3.2 Deret Bowen.....	8
II.4 Mineral	10
II.4.1 Sifat Fisik Mineral.....	10
II.4.2 Sifat Kimiawi Mineral.....	12
II.5 Metode XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	13
II.6 Metode XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
III.1 Lokasi Penelitian.....	17
III.2 Alat dan Bahan.....	17
III.2.1 Alat.....	17
III.2.2 Bahan.....	18
III.3 Prosedur Penelitian	18
III.3.1 Tahap Pengambilan Sampel.....	18
III.3.2 Tahap Preparasi Sampel	18
III.3.3 Tahap Karakterisasi Sampel.....	19
III.4 Bagan Alir.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21

IV.1 Hasil dan Pembahasan Metode XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	21
IV.2 Hasil dan Pembahasan Metode XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
V.1 Kesimpulan	31
V.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Kecamatan Tinggimoncong dan Kecamatan Parigi Kabupaten Gowa (Modifikasi dari Sukamto dan Supriatna, 1982).....	5
Gambar 2.2 Siklus Batuan (Sultoni et al., 2019).....	8
Gambar 2.3 Deret Reaksi bowen (Abidin dan Palili, 2011).....	12
Gambar 2.4 difraksi sinar-X dengan kristal (Ling, et al., 2018)).....	18
Gambar 2.5 a) Prinsip X-Ray Flourescence (Munasir et al., 2012).	21
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	22
Gambar 3.2 Bagan Alir.....	25

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan BT 1.....	21
Tabel 4.2 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan BT 2.....	22
Tabel 4.3 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan BT 3.....	22
Tabel 4.4 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan BT 4.....	23
Tabel 4.5 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan BT 5.....	23
Tabel 4.6 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Pos 1 BWK.....	24
Tabel 4.7 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Pos 1.1 BWK.....	24
Tabel 4.8 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Kebun lembana.....	25
Tabel 4.9 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Jembatan Merah	26
Tabel 4.10 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Jalan Lembanna.....	26
Tabel 4.11 Hasil analisis data XRD pada sampel batuan Takapala	27
Tabel 4.12 Hasil analisis data XRF	29

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Gunung Bawakaraeng terletak sekitar 75 km dari Kota Makassar dan berada pada posisi 119°56'40" BT dan 05°19'01" LS. Secara administratif termasuk ke wilayah Kabupaten Gowa, Propinsi Sulawesi Selatan. Ketinggian gunung Bawakaraeng mencapai 2,830 m di atas permukaan laut dan gunung ini merupakan hulu sungai Jeneberang yang di hilirnya terdapat waduk Bili-Bili (ESDM, 2009). Kondisi geologi di lereng gunung Bawakaraeng didominasi oleh endapan vulkanik Lompobattang (Qlv) dan batuan vulkanik Camba (Tmcv). Vulkanik Lompobattang merupakan endapan yang tersebar luas di lereng gunung Bawakaraeng dan terdiri dari perselingan endapan lava dan tufa yang belum terkompaksi dengan baik (Massinai, 2013).

Batuan merupakan agregat padat yang terbentuk oleh mineral mineral yang telah membeku dari proses ilmiah. Batuan merupakan gabungan dari 2 mineral atau lebih. Batuan mempunyai komposisi mineral, sifat-sifat fisik, dan umur yang bermacam-macam (Sultoni dkk., 2019).

Mineral merupakan senyawa alami yang terbentuk melalui proses geologis. Mineral termasuk tidak hanya bahan komposisi kimia tetapi juga struktur mineral. Mineral termasuk dalam komposisi unsur murni dan garam sederhana sampai silikat yang sangat kompleks dengan ribuan bentuk yang diketahui (Sudarningsih & Fahrudin, 2008).

Kelompok mineral tersebut dapat diidentifikasi baik karakteristik maupun komposisi kimia utamanya menggunakan sinar-x yaitu dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) serta *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Winarno et al., 2019). Analisis laboratorium merupakan tahap penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimia batuan yang tidak dapat dilakukan secara langsung di lapangan. Analisis ini menggunakan berbagai metode. Analisis laboratorium menggunakan XRF dan XRD untuk menghasilkan batuan jenis mineral (Massinai et al., 2021).

Analisis XRD digunakan untuk mengetahui keterdapatannya mineral pada sampel batuan, Analisis XRF digunakan untuk mengetahui keterdapatannya unsur kimia pada sampel batuan (Arsdin dkk., 2022).

Adapun beberapa penelitian yang menggunakan metode XRD dan XRF antara lain: Penelitian yang dilakukan oleh Massinai et al., (2021) tentang distribution pattern identification of mineral using xrf and xrd method in jeneberang watershed, indonesia, dengan hasil penelitian yang disimpulkan bahwa unsur logam dan mineral pada tempat penelitian terbentuk dari gunungapi purba sapaya dan gunungapi purba lompopattang dengan kandungan logam Si, Fe, Ca, K, and Al, dan kandungan mineral Feldspar, Albite, Anorthite, Sanidine, Magnesiochloite, Panitite, Pentahydrate, Mercurite, Potassium Manganese (II) Polyvanadate, Enstatite, Anorthoclase, Orthoclase, Iron (III) Fluoride Hydrate, Potassium Tectoalumotrisilicate Sanidine. Penelitian serupa juga dilakukan Winarno dkk., (2019) tentang analisis mineralogi dan kandungan kimia endapan lumpur Sidoarjo dan arah pemanfaatannya. Hasil analisis dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa endapan lempung dari semburan lumpur Sidoarjo di Kecamatan Porong memiliki berat jenis 1,2 – 1,3 g/mL, ukuran butir didominasi oleh clay dengan komposisi sebesar 81,5 % dan kadar air sebesar 30 – 40 %. Berdasarkan analisis XRD endapan lempung memiliki kandungan mineral lempung yang dominan adalah montmorillonit, halloysit, dan kaolinit. Hasil analisis XRF mendukung hasil dari analisis XRD.

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian mengenai identifikasi kandungan mineral batuan gunungapi menggunakan metode XRD dan XRF pada daerah Gunungapi Bawakaraeng untuk mengetahui komposisi senyawa dan jenis mineral pada setiap sampel batuan pada daerah Gunungapi Bawakaraeng.

I.2 Ruang Lingkup

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dengan pengambilan sampel batuan dilakukan di Kecamatan Parigi tepatnya hulu sungai Jeneberang dan beberapa titik lokasi sampel batuan di Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa. Penelitian ini terbatas pada uji karakteristik mineral batuan menggunakan metode XRD dan XRF. Hasil dari penelitian ini adalah informasi mengenai kandungan mineral dan kandungan unsur pada sampel batuan.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil identifikasi unsur kimia yang terkandung pada sampel batuan ?
2. Apa saja kandungan mineral pada sampel batuan yang ada ditempat penelitian?

I.4 Tujuan Penelitian

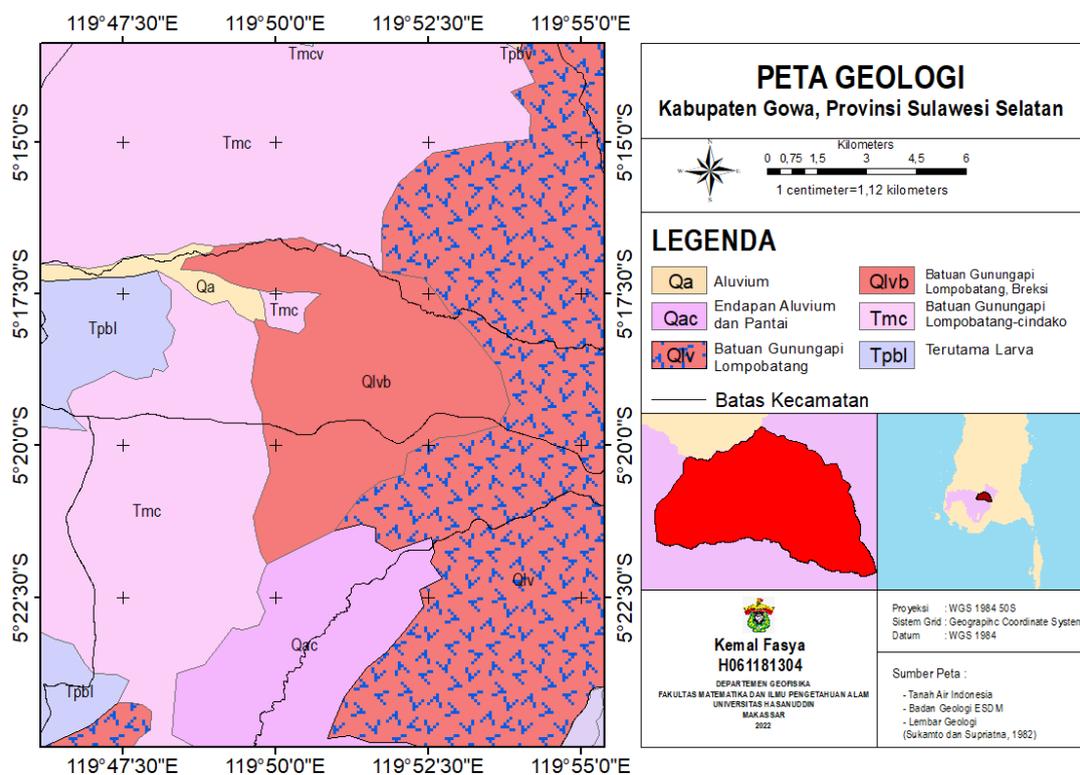
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada sampel batuan.
2. Mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada sampel batuan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Satuan morfologi pegunungan ini tersusun oleh batuan gunungapi Batruape-Cindako dan batuan gunungapi Lompobattang dengan kelerengan curam terutama di sekitar hulu sungai jeneberang yang mencapai kelerengan rata-rata 100% yaitu pada tebing kawah sekitar puncak Gunung Bawakaraeng (Arsdin dkk., 2022).



Gambar 2.1 Peta Geologi Kecamatan Tinggimoncong dan Kecamatan Parigi Kabupaten Gowa (Modifikasi dari Sukanto & Supriatna, 1982).

Batuan yang terdapat di sekitar lokasi penelitian antara lain endapan alluvium, gunungapi lompobattang, endapan erupsi parasitik, anggota breksi (Sumaryono, 2011).

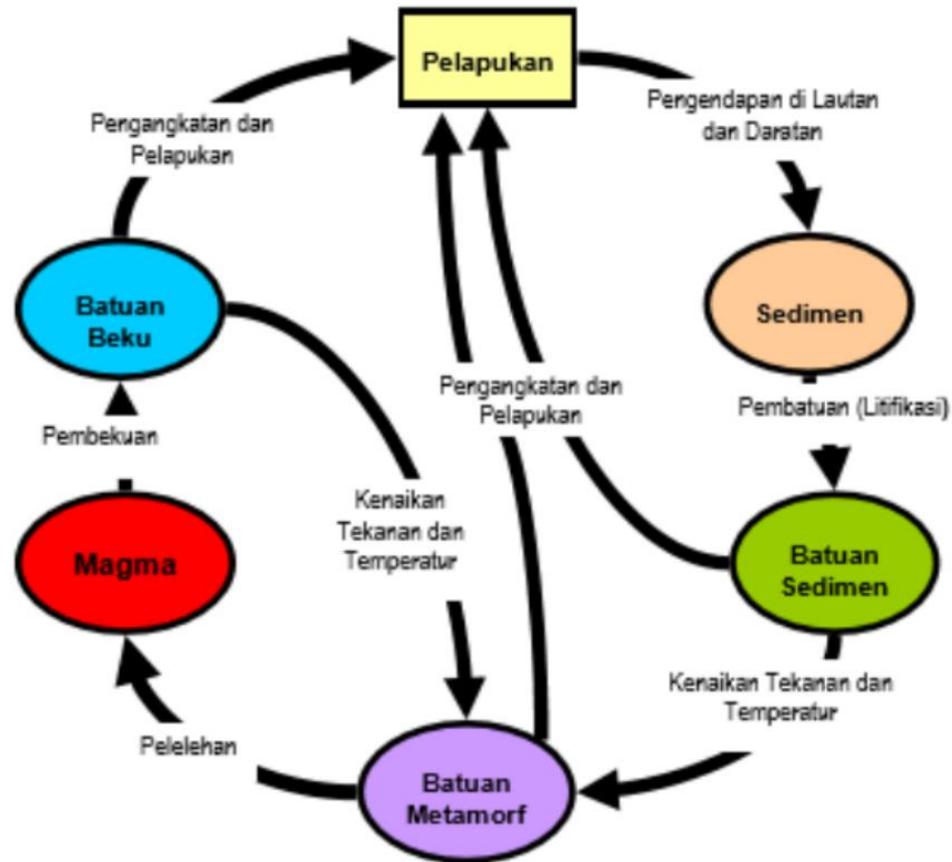
1. Gunungapi Lompobattang (Qlv), merupakan batuan yang terdiri dari agglomerat, lava, breksi, endapan tufa. Gunungapi ini membentuk kerucut gunungapi strato dengan puncak 2950 m di atas permukaan laut. Batuannya sebagian besar berkomposisi andesit dan sebagian basal, diperkirakan gunungapi ini berumur Plistosen.

2. Pusat erupsi (Qlvc), di daerah pusat erupsi ini batuanannya terutama terdiri dari lava dan agglomerat yang termasuk dalam Gunungapi Lompobattang (Qlv), dan di daerah yang agak jauh dari pusat erupsi umumnya tersusun oleh breksi, endapan tufa
3. Anggota batuan yang tersusun pada umumnya adalah anggota breksi, lahar dan tufa (Qlvb) serta hasil erupsi Parasitik (Qlvp)

Kondisi geologi di sekitar Gunung Bawakaraeng dibangun oleh endapan vulkanik Gunung Lompobattang yang terdiri dari lava, tufa lahar dan breksi. Vulkanik yang telah mengalami pelapukan pada bagian permukaannya menjadi lempung lanauan hingga pasir lanauan berwarna kuning kecoklatan hingga coklat kehitaman, bersifat gembur. Penyebaran struktur geologi di puncak Gunung Bawakaraeng sangat intensif berupa sesar normal dengan arah sesar utara – selatan dan barat laut – tenggara. Keberadaan struktur geologi ini menyebabkan kekuatan batuan menjadi berkurang dan cenderung mudah runtuh jika dipicu curah hujan yang tinggi atau getaran yang intensif (Sumaryono, 2011).

II.2 Batuan

Batuan merupakan bahan alam yang tersusun dari mineral-mineral, baik terkonsolidasi dan tidak terkonsolidasi, yang merupakan penyusun utama kerak bumi dan terbentuk dari proses alami. Batuan dapat berisi satu mineral atau lebih (Massinai et al., 2022). Batuan terbentuk melalui beberapa proses yaitu pertama proses kristalisasi merupakan proses pembekuan magma dari dalam bumi ke permukaan bumi karena adanya perubahan suhu dan tekanan. Kedua yaitu metamorfisme merupakan proses perubahan batuan yang disebabkan oleh suhu dan tekanan yang tinggi dan ketiga yaitu pengendapan merupakan proses pengendapan batuan sedimen baik di darat maupun di dalam air (Wibowo dkk., 2017).



Gambar 2.2 Siklus Batuan (Sultoni dkk., 2019).

Pada dasarnya batuan yang terdapat di permukaan bumi terdiri dari tiga jenis, berdasarkan dari cara pembentukan batuan tersebut, yaitu: batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Ketiga jenis batuan ini membentuk siklus daur batuan. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 batuan pertama yang terbentuk dari magma adalah jenis batuan beku. Batuan beku mengalami pelapukan, hasil dari pelapukan mengendap pada wilayah daratan ataupun lautan. Endapan kemudian mengeras dan terbentuklah batuan sedimen. Batuan beku dan batuan sedimen yang mengalami perubahan bentuk akibat dari tekanan maupun suhu menghasilkan jenis batuan metamorf (Sultoni dkk., 2019).

II.3 Batuan Beku

Batuan beku atau *igneous rock* merupakan jenis batuan yang terbentuk dari magma yang keluar dari perut bumi yang mendingin dan mengeras, dengan proses kristalisasi di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (plutonik) maupun di atas permukaan sebagai batuan

ekstrusif (vulkanik). Berdasarkan teksturnya, batuan beku bisa dibedakan menjadi batuan beku plutonik dan vulkanik. Perbedaan antara keduanya bisa dilihat dari besar mineral penyusun batuan. Batuan beku plutonik umumnya terbentuk dari pembekuan magma yang relatif lebih lambat sehingga mineral mineral penyusunnya relatif besar. Sedangkan batuan beku vulkanik umumnya terbentuk dari pembekuan magma yang sangat cepat misalnya akibat letusan gunung api, sehingga mineral penyusunnya lebih kecil (Akmalia dkk., 2017).

Menurut Steven Earle (2015) terdapat 2 macam proses pembentukan batuan beku antara lain:

1. Batuan beku luar (ekstrusif): Magma yang meletus ke permukaan dan mendingin dengan cepat dalam hitungan detik hingga bertahun-tahun.
2. Batuan beku dalam (intrusif): Magma yang mendingin di dalam kerak bumi secara perlahan selama berabad - abad hingga jutaan tahun.

II.3.1 Klasifikasi Batuan Beku

Batuan beku terbentuk dari magma, yang pada dasarnya adalah lelehan silikat. Batu magma dingin diklasifikasikan berdasarkan kandungan silika. Silikat mineral yang berkembang dari lelehan tergantung pada faktor-faktor seperti konsentrasi silika di lelehan, keberadaan dan konsentrasi unsur lain seperti aluminium, besi, magnesium, kalsium, natrium, dan kalium dalam lelehan, dan suhu dan tekanan dimana terjadi kristalisasi (Bonewitz, 2012).

Batuan beku diklasifikasikan menjadi empat golongan berdasarkan sifat kimia dan komposisi mineralnya antara lain (Earl, 2015):

- a. Batuan beku asam (felsik) merupakan batuan beku yang memiliki kandungan silika lebih besar dari 66%. Ciri khas pada batuan beku asam memiliki warna terang dan kaya akan unsur alkali mengandung sedikit unsur kalsium atau mineral ferromagnesium.

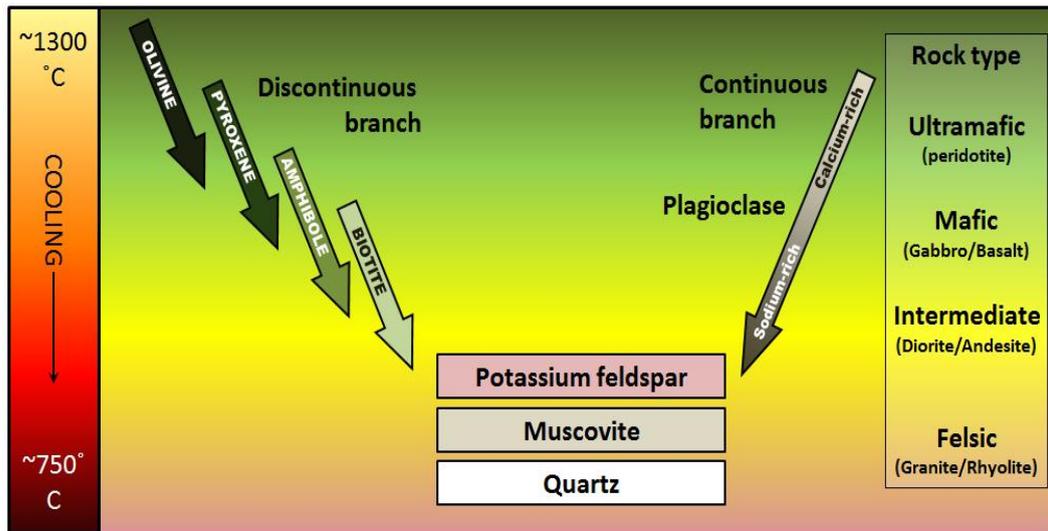
- b. Batuan beku Intermediet merupakan batuan beku yang memiliki kandungan silika antara 52 - 66%. Batuan beku intermediet banyak mengandung mineral feldspar. Mineral-mineral feldspar yang telah mengalami pelapukan tersebut dapat berubah menjadi mineral kaoli. Ciri khas batuan ini yakni warna batuan dari terang hingga agak gelap, perbandingan antara mineral alkali, kapur dan ferromagnesium.
- c. Batuan beku basa (mafik) merupakan batuan beku yang memiliki kandungan silika antara 45 - 52%. Kenampakan batuan ini memperlihatkan warna yang gelap dibandingkan batuan beku intermediet. Ciri khas batuan ini yaitu warna gelap, hitam atau buram, kaya akan mineral Ca-Plagioklas.
- d. batuan beku ultra basa (ultra mafik) merupakan batuan beku yang memiliki kandungan silika kurang dari 45%. Batuan ini umumnya tersusun oleh mineral-mineral ferromagnesium sehingga kenampakaannya sangat gelap atau hitam, mudah lapuk terhadap air hujan seperti halnya batu gamping karena tidak resisten terhadap kondisi asam.

II.3.2 Deret Bowen

Mineral penyusun batuan beku mengkristal (memadat, membeku) pada kisaran suhu yang berbeda. Ini menjelaskan mengapa magma yang mendingin dapat memiliki beberapa kristal di dalamnya, namun sebagian besar tetap cair. Urutan di mana mineral mengkristal dari magma saat mendingin dikenal sebagai reaksi Bowen (Panchuk, 2019).

pada Gambar 2.3 mengenai deret reaksi Bowen, deret *continue* digambarkan dengan adanya pembentukan mineral yang terbentuk secara berurutan, karena berubahnya temperatur magma secara tetap. Deret *continue* mewakili pembentukan feldspar plagioklas yang dimulai dari anorthite. Anorthite merupakan mineral yang pertama kali terbentuk pada suhu yang tinggi yang kaya akan kalsium (Ca-feldspar, CaAlSiO) kemudian plagioklas akan bereaksi dengan sisa larutan magma yang bersamaan dengan turunnya suhu berlanjut reaksi dengan

peningkatan bertahap dalam pembentukan natrium yang mengandung feldspar (Ca–Na-feldspar, CaNaAlSiO) sampai titik kesetimbangan tercapai pada suhu sekitar 900°C . Terakhir, jika magma pada awalnya cukup kaya silika, masih akan ada sisa sekitar 750° hingga 800°C , dan dari magma terakhir ini, kalium feldspar, kuarsa, dan mungkin mika muskovit akan terbentuk.



Gambar 2.3 Deret Reaksi bowen (Abidin & Palili, 2011).

Pada deret *discontinue* digambarkan dengan adanya pembentukan mineral yang terbentuk secara tidak berurutan, dari mineral silikat yang umum, olivin biasanya mengkristal terlebih dahulu, antara 1200° dan 1300°C . Sebagai suhu turun, dan dengan asumsi bahwa beberapa silika tetap ada di magma, kristal olivin bereaksi dengan beberapa silika dalam magma untuk membentuk piroksen. Selama masih ada silika dan laju pendinginan lambat, proses ini berlanjut ke cabang terputus: olivin menjadi piroksen, piroksen menjadi amphibole, dan di bawah kondisi yang tepat amfibol menjadi biotit. Pembentukan ini diawali dari mineral olivin yang merupakan satu-satunya mineral yang stabil pada atau di bawah 1800°C . Apabila olivin bereaksi lebih lanjut dengan larutan sisa magma maka akan membentuk piroksen pada suhu sekitar 1100°C . Jika suhu terus menurun hingga sekitar 900°C maka akan terbentuk amfibol. Deret *discontinuiue* akan berakhir apabila biotit telah mengkristal yaitu pada suhu

600°C. Hal ini terjadi karena semua ferrum dan magnesium dalam larutan magma telah habis digunakan untuk membentuk mineral (Earl, 2015).

II.4 Mineral

Mineral adalah padatan homogen yang terjadi secara alami dengan komposisi kimia dan susunan atom yang sangat teratur dibentuk oleh proses anorganik. Komposisi kimia dan struktur kristal merupakan bagian penting dari definisi ini. Mineral dengan komposisi kimia yang mirip tetapi struktur kristal berbeda maupun sebaliknya, mineral dengan struktur kristal serupa tetapi komposisi kimia berbeda dapat sangat berbeda dari satu lain meskipun kesamaan kimia atau struktural mereka. Mineral utama terbentuk pada suhu tinggi biasanya berasal dari batuan beku atau batuan metamorf, tetapi juga dapat diwariskan dari batuan sedimen. Mineral sekunder dibentuk oleh reaksi suhu rendah dan diwariskan dari batuan sedimen atau terbentuk di tanah oleh pelapukan (Schulze, 2002).

Mineral-mineral tersebut pada proses pembentukannya yang bermacam-macam secara proses geologi tentunya tidak terbentuk sendiri. Mineral-mineral tersebut terbentuk bersama dengan mineral-mineral lainnya yang berasal dari satu sumber yang sama. Oleh karena itu, hanya sedikit jumlah mineral yang mempunyai atau terbentuk dari satu unsur kimia saja. Mineral-mineral pada umumnya mempunyai ikatan kimia antara unsur utamanya dengan unsur-unsur pembentuk lainnya. Unsur-unsur pembentuk mineral yang berikatan dengan unsur utama mineral umumnya juga menentukan kelas mineral tersebut (Rey & Poluakan, 2020).

II.4.1 Sifat Fisik Mineral

Beberapa dari sifat-sifat fisik mineral yang digunakan untuk mengidentifikasi mineral menurut Panchuk (2019) antara lain:

1. Bentuk Kristal (*Crystall Form*)

Setiap mineral akan mempunyai sifat bentuk kristalnya yang khas, yang merupakan kenampakan luar yang terjadi sebagai akibat dari susunan kristalnya di dalam.

2. Massa jenis (*density*)

Setiap mineral mempunyai berat jenis tertentu. Besarnya ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya serta kepadatan dari ikatan unsur-unsur tersebut dalam susunan kristalnya.

3. Bidang Belah (*Fracture*)

Mineral mempunyai kecenderungan untuk pecah melalui suatu bidang yang mempunyai arah tertentu. Arah tersebut ditentukan oleh susunan dalam dari atom-atomnya. Bidang tersebut merupakan bidang lemah yang dimiliki oleh suatu mineral.

4. Warna (*Colour*)

warna - warna yang khas pada mineral dapat digunakan untuk mengenali adanya unsur tertentu di dalamnya. Sebagai contoh warna gelap pada mineral, mengindikasikan terdapatnya unsur besi. Disisi lain mineral dengan warna terang, diindikasikan banyak mengandung aluminium.

5. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan suatu mineral bersifat relatif, artinya apabila dua mineral saling digoreskan satu dengan lainnya, maka mineral yang tergores adalah mineral yang relatif lebih lunak dibandingkan dengan mineral lawannya. Skala kekerasan mineral mulai dari yang terluak (skala 1) hingga yang terkeras (skala 10) diajukan oleh Mohs dan dikenal sebagai Skala Kekerasan Mohs.

II.4.2 Sifat Kimiawi Mineral

Berdasarkan senyawa kimiawinya terdapat 8 (delapan) kelompok mineral, yaitu kelompok oksida, sulfida, sulfat, *native elemen*, halid, karbonat, hidroksida, dan fosfat. Namun ternyata hanya beberapa jenis saja yang terlibat dalam pembentukan batuan. Mineral tersebut dinamakan mineral pembentuk batuan yang merupakan penyusun utama batuan dari kerak dan mantel bumi. Mineral pembentuk batuan dikelompokkan menjadi silikat, oksida, sulfida, karbonat dan sulfat (Dixon et al., 2002).

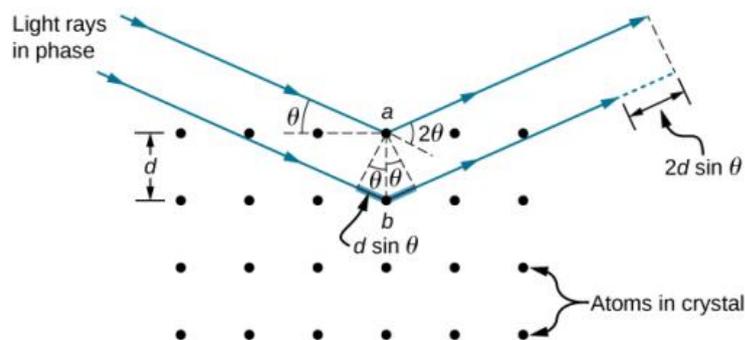
1. Mineral Silikat Hampir 90% mineral pembentuk batuan adalah dari kelompok ini, yang merupakan persenyawaan antara silikon dan oksigen serta beberapa unsur metal. Karena jumlahnya yang besar, sehingga hampir 90% dari berat kerak-bumi terdiri dari mineral silikat, dan hampir 100% dari mantel bumi (sampai kedalaman 2.900 km dari kerak bumi). Silikat merupakan bagian utama yang membentuk batuan baik itu batuan beku, batuan sedimen maupun batuan metamorf.
2. Mineral Oksida. Mineral Oksida terbentuk sebagai akibat perseyawaan langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Susunannya lebih sederhana dibandingkan dengan silikat. Mineral oksida umumnya lebih keras daripada mineral lainnya kecuali silikat dan juga lebih berat kecuali sulfida. Beberapa mineral oksida yang paling umum adalah air (H_2O), korondum (Al_2O_3), hematit (Fe_2O_3) dan kassiterit (SnO_2).
3. Mineral Sulfida Merupakan mineral hasil persenyawaan langsung antara unsur tertentu dengan sulfur (belerang), seperti besi, perak, tembaga, timbal, seng serta merkuri. Beberapa dari mineral sulfida ini terdapat sebagai bahan yang mempunyai nilai ekonomis, atau bijih, seperti pirit (FeS_3), chalcocite (Cu_2S), galena (PbS), dan sphalerit (ZnS).

4. Mineral-mineral Karbonat dan Sulfat. Merupakan persenyawaan dengan ion (CO_3)²⁻, yang disebut karbonat, umpamanya persenyawaan dengan Ca dinamakan kalsium karbonat, CaCO_3 dikenal sebagai mineral kalsit. Mineral ini merupakan susunan utama yang membentuk batuan sedimen.

II.5 Metode XRD (X-Ray Diffraction)

X-ray Diffraction (XRD) adalah metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan. Metode ini didasarkan pada sinar X yang dihamburkan pada sudut tertentu (sudut bragg) oleh atom-atom yang tertata dalam sistem kristal (Oktamuliani dkk., 2015). Umumnya identifikasi kandungan mineral dilakukan dengan menggunakan analisis XRD. Hasil XRD dapat mengidentifikasi komponen mineral yang menyusun batuan (Massinai dkk., 2022).

Secara historis, hamburan sinar-x dari kristal digunakan untuk membuktikan bahwa sinar-x adalah gelombang energi elektromagnetik. Hal ini diduga sejak penemuan sinar-x pada tahun 1895. Pada tahun 1915, sebuah tim unik yang terdiri ayah dan anak dianugerahi hadiah nobel untuk penemuan *spectrometer* sinar-x dan ilmu analisis sinar-x yang dikenal dengan persamaan Bragg.



Gambar 2.4 difraksi sinar-X dengan kristal (Ling et al., 2018).

Mengingat pada interferensi film tipis, dengan mempertimbangkan dua gelombang bidang pada panjang gelombang sinar-X, masing-masing dipantulkan bidang atom yang

berbeda dalam kisi kristal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dari geometri, perbedaan jalur panjangnya adalah $2d \sin \Theta$. Interferensi konstruktif terjadi ketika jarak ini merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang. Ini kondisi ditangkap oleh persamaan Bragg,

$$m \lambda = 2 d \sin \Theta , m = 1, 2, 3 \dots \quad (2.1)$$

Keterangan :

d = Jarak antar Bidang (meter)

Θ = sudut difraksi (derajat)

λ = panjang gelombang (meter)

m = kelipatan/orde (1,2,3,...)

Simbol m merupakan bilangan bulat positif dan d merupakan jarak antar bidang. Mengikuti Hukum Pemantulan, baik kejadian dan gelombang yang dipantulkan digambarkan dengan sudut yang sama (Θ), tetapi tidak seperti praktik umum dalam optik geometris, Θ diukur sehubungan dengan permukaan itu sendiri, daripada yang normal (Ling et al., 2018).

II.6 Metode XRF (X-Ray Fluorescence)

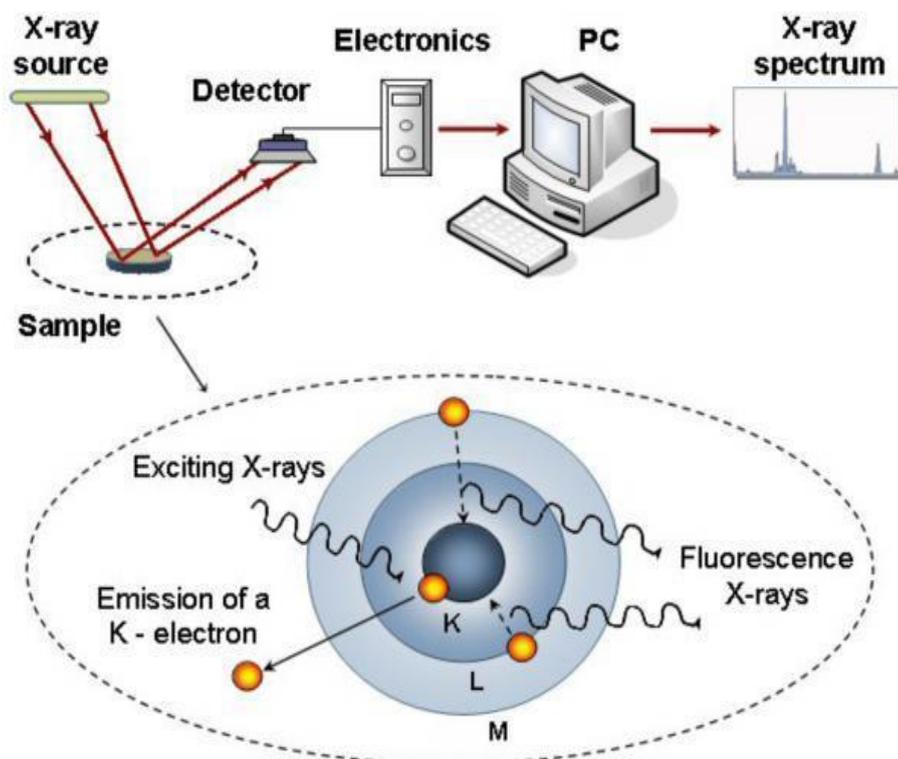
XRF merupakan metode analitik untuk menentukan komposisi kimia pada jenis bahan dalam bentuk padat, cair, bubuk. (Setianingsih dan Sutarno, 2018). Metode yang cepat, akurat dan tidak merusak dan juga hanya memerlukan sampel yang sedikit, menjadikan XRF merupakan analisis yang sangat berguna untuk mendukung data kandungan unsur kimia suatu material (Makatitta dkk., 2021).

Penggunaan metode X-Ray Fluorescence dalam penelitian berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai limit deteksi hingga satuan part per million (ppm). Selain itu metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah,

multielemental, analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif (Jamaluddin & Umar, 2018).

Prinsip pengukuran XRF berdasarkan terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom bagian dalam ketika atom suatu unsur tersebut dikenai sinar-X, kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur (Sari, 2016).

Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Prinsip X-Ray Fluorescence (Munasir dkk., 2012).

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis

spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Munasir dkk., 2012).