

Skripsi Geofisika

**STUDI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA AIR TERJUN
TIMURUNG, KABUPATEN TAKALAR**



OLEH:

NUDIA HAJRYANA

H061191084

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

MAKASSAR

2024



HALAMAN JUDUL

**STUDI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA AIR TERJUN
TIMURUNG, KABUPATEN TAKALAR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada

Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

NUDIA HAJRYANA

H061191084

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA AIR TERJUN
TIMURUNG, KABUPATEN TAKALAR**

Disusun dan diajukan oleh

NUDIA HAJRYANA

H061 19 1084

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM
NIP. 196406161989031006

Pembimbing Pertama



Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, S.Si., M.T.
NIP. 199111092019031010

Ketua Departemen



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nudia Hajryana
NIM : H061191084
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“STUDI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI
MENGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA AIR TERJUN
TIMURUNG, KABUPATEN TAKALAR”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain.
Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.
Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan
Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Maret 2024

Yang menyatakan,



NUDIA HAJRYANA



SARI BACAAN

Batuan penyusun geomorfologi dataran Kabupaten Takalar didominasi endapan alluvial, endapan rawa pantai, batugamping, terumbu, dan tufa serta beberapa batuan lelehan basal. Mineral atau bahan galian merupakan sumber daya alam yang proses pembentuknya memerlukan waktu jutaan tahun. Kelompok mineral dapat diidentifikasi berdasarkan karakteristik maupun komposisi kimia utamanya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan unsur dan kandungan mineral pada sampel batuan pada Air Terjun Timurung. 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 *sanidine*, *anorthite*, *quartz*, *olivine*, *titanite*, dan *magnetite*. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa kandungan unsur pada sampel batuan adalah Si, Fe, Al, Ca, K, Ti, dan Mg. dan unsur dengan presentase tertinggi adalah Si dengan presentase sebesar 44,22%. Topografi yang tinggi dan vegetasi yang terdapat pada sekitar titik-titik sampel juga memberikan pengaruh terhadap kandungan unsur pada tiap sampel batuan. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pemanfaatan sumber daya mineral dalam bentuk informasi maupun referensi.

Kata Kunci : Batuan, Air Terjun Timurung, Mineral, XRD XRF



ABSTRAC

The constituents of geomorphology of Takalar regency plains are dominated by alluvial deposits, coastal swamp deposits, limestone, reefs, tuff, and several basaltic lava rocks. Minerals or mineral resources are natural resources that require millions of years to form. Mineral groups can be identified based on their characteristics and main chemical composition. The purpose of this research is to determine the element content and mineral content of rock samples at the Timurung Waterfall. The methods used in this study are XRD and XRF methods. The results of the XRD analysis show that the mineral content in the rock samples includes sanidine, anorthite, quartz, olivine, titanite, and magnetite. The XRF analysis results show that the element content in the rock samples is Si, Fe, Al, Ca, K, Ti, and Mg, with Si being the highest at 44.22%. The high topography and vegetation around the sample points also influence the element content in each rock sample. The results of this study can be used for the utilization of mineral resources in the form of information or references.

Keyword : *Rocks, Timurung Waterfall, 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 “**STUDI KANDUNGAN MINERAL BATUAN GUNUNGAPI MENGGUNAKAN METODE XRD DAN XRF PADA AIR TERJUN TIMURUNG, KABUPATEN TAKALAR**”, 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.

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. Yang paling utama secara khusus penghargaan setinggi-tingginya penulis persembahkan kepada kedua orang tua terkasih dan tersayang yaitu Ayahanda tercinta **Bobon Suryana** dan Ibunda tercinta **Hj.Sitti Hajar** yang telah membesarkan dan mendidik saya secara ikhlas serta selalu memberikan dukungan, materi, kasih sayang, perhatian, serta selalu memanjatkan doa yang terbaik untuk penulis. Semoga Bapak dan Mama selalu sehat, bahagia, dan semua berkah yang diberikan dapat dibalas oleh Allah SWT dengan cara sebaik-baiknya. *‘Aamiin ya Rabbal’alamin’*.



2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM** dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M.,S.Si.,MT.** 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.
3. Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si.** dan Ibu **Dra. Maria, M.Si.** 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 kepada saudara saya yang terkasih, **Muh. Raffi Hajryana** yang telah menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa pula keluarga besar saya **HS Family** yang selalu mendukung, memotivasi, dan selalu ada di saat penulis menyelesaikan tugas

ir ini.



9. Seluruh anggota **Takalar Jaya!Jaya!Jaya!**, **Haidir, Jack, Fatihah, dan Ita** selaku tim yang telah meluangkan waktunya untuk penulis dengan ikut serta dalam membantu kegiatan eskplorasi geofisika pada **Air Terjun Timurung** sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Terima kasih untuk **Nur Fatihah S.Si, Kak Agung Putra S.Si, Kemal Fasya S.Si, Alfian S.Si, Kak Andri Moh. Wahyu Laode S.Si dan Alfian S.P** selaku teman dan kakak yang telah membantu dan mendukung disaat ada permasalahan pada saat pengerjaan tugas akhir ini berlangsung.
11. Teman seperjuangan **Bitwing/Sengkang, Devi, Ita, Cindy, Fatihah, Fausta, Akbar, Mulqi, Diky, Ayul** terima kasih untuk tetap selalu berjuang bersama penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
12. Sahabat yang selalu ada **Nismul, Sisil, Reika, Rafky** terimakasih sudah menjadi keluarga pertama untuk penulis di kampus
13. Terima kasih **Muh. Farhan Nur, Farhan Amiruddin, Lutfi Alkhadri, Firmanullah, Muh. Fajrin** yang telah menemani penulis hingga larut malam demi mengerjakan tugas akhir ini.
14. Terima kasih **Muh. Arsal Shiddiq S.Ked** yang telah menjadi teman seperjuangan penulis dari **SMA** hingga selesainya perkuliahan. Semoga dapat bersua dititik terbaik masing-masing.
15. Sahabat **SMA** penulis hingga sekarang **GEN 6, Herr Hidayat Tahang S.Pd, Winda, Nisya, Fidya, Naufal, Alda, Aldy, Uta, Uya, Nandar, Farid, Cakra, Fiqry, Farhan, Iqbal, Aldi**, serta teman-teman yang tidak



ipat disebutkan, terima kasih selalu memberikan penulis penyemangat g tiada henti, serta selalu menjadi tempat pulang penulis dari penatnya

kegiatan penulis selama ini. Semoga kita dapat sukses dikemudian hari.

Aamiin

16. Teman-teman seperjuangan **KKNT 108** Desa Samangki, **Nisfeb, Cella, Cece, Nabila, Putri, Indah, Muti, Satria, Fadhlán, Reza, Jeje**, terima kasih sudah memberikan warna dan cerita tersendiri bagi penulis.
17. Teman-Teman **HMGF 2019** dan **HIMAFI 2019**, **Alif, Haidir, Akbar, Agung, Mey, Ita, Cindy, Devi, Fatihah, Suleha, Syawalia, Alya, Mawang, Nurul, Galib, Yuni, Rinan, Sindy, Farah, Agus, Ikram, Yusri, Fausta, Ashar, Arsyih, Mawang, Haikal, Kamil, Jack, Haerul, Jinan, Habib, Ayul, Asyifa, Reika, Tiara, Caca, Muli, Dahlia, Yuli, Riman, Ikki, Ismi, Mulqi, Risda, Indah, Jinaan, Jack, Afikah, Muji, Nanda, Dian, Pipit, Kiya, Sarni, Tiara**, dan yang tidak sempat penulis sebutkan.
18. Kakak-Kakak **HMGF/HIMAFI 2016, 2017, 2018**, **Kak Arya, Kak Agung, Kak Arief, Kak Azhardi, Kak Khalis, Kak Zahari, Kak Tsaqif, Kak Diky, Kak Agung, Kak Zafaat, Kak Sabran, Kak Fuat, Kak Fadlan, Kak Uci, Kak Ate, Kak Ardi, Kak Amel, Kak Rahman, Kak Sarwan, Kak Sri, Kak Ayu, Kak Iis, Kak, Aini, Kak Fira, Kak Ainul, Kak Fya, Kak Irma, Kak Jihan, Kak Johanna, Kak Juni, Kak Marni, Kak Sheren, Kak Wilda, Kak Zefa, Kak Fhaika, Kak Onding, Kak Agung, Kak Alfian, Kak Komang, Kak Dede, Kak Hasnan, Kak Heral, Kak Wawan, Kak Yansen, Kak Yusuf, Kak Uci, Kak Ipul, Kak Andri**, dan yang tidak sempat penulis sebutkan.



ik-adik **HMGF 2020, 2021, 2022**.

akhir, terima kasih kepada semua yang terlibat dalam pengerjaan skripsi yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRAC.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Ruang Lingkup	2
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.2.1 Deret Bowen.....	8
II.3. Mineral	10
II.3.1 Sifat Kimiawi Mineral.....	11
II.4. Metode XRD	12
II.5. Metode XRF.....	14
II.6. Interpolasi.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1. Lokasi Penelitian	19
III.2. Alat dan Bahan	20
III.2.1 Alat.....	20
III.2.2 Bahan	20
3. Prosedur Pengukuran	20



III.3.1. Tahap Pengambilan Sampel.....	20
III.3.2. Tahap Preparasi Sampel.....	21
III.3.3. Tahap Pengujian Sampel.....	21
III.3.4. Tahap Karakterisasi Sampel	21
III.3.5. Tahap Preparasi Interpolasi.....	22
III.4. Diagram Alir	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1. Hasil dan Pembahasan Karakterisasi Metode XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	24
IV.2. Hasil dan Pembahasan Karakterisasi Metode XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	25
IV.2.1. Peta Sebaran Kandungan Senyawa Sampel Batuan	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
V.1. Kesimpulan	34
V.2. Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Takalar, Sulawesi Selatan	5
Gambar 2.2 Siklus Batuan (Wibowo dkk., 2017).....	7
Gambar 2.3 Deret Bowen (Earle, 2015).....	9
Gambar 2.4 Difraksi sinar-X dengan kristal (Ling dkk.,2018)	13
Gambar 2.5 Prinsip Kerja <i>X-Ray Fluorescence</i> (Jamaluddin dan Adiantoro, 2012)	16
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 4.1 Peta sebaran kandungan mineral <i>Sanidine</i> (AlKSi_3O_8).....	27
Gambar 4.2 Peta sebaran kandungan mineral <i>Anorthite</i> ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).....	28
Gambar 4.3 Peta sebaran kandungan mineral <i>Quartz</i> (SiO_2).....	29
Gambar 4.4 Peta sebaran kandungan mineral <i>Titanite</i> (CaTiSiO_5).....	30
Gambar 4.5 Peta sebaran kandungan mineral <i>Magnetite</i> (Fe_3O_4).....	31
Gambar 4.6 Peta sebaran kandungan mineral <i>Olivine</i> ($\text{MgFe}_2\text{SiO}_4$).....	32



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil analisis data XRD	24
Tabel 4.2 Hasil analisis data XRF	26



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Takalar merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan yang memiliki keragaman morfologi, dengan bentuk permukaan tanah yang relatif datar, bergelombang hingga perbukitan. Sebagian besar wilayah Kabupaten Takalar merupakan dataran dan pesisir. Batuan penyusun geomorfologi dataran didominasi endapan alluvial, endapan rawa pantai, batugamping, terumbu, dan tufa serta beberapa batuan lelehan basal (Inggit dkk., 2020). Identifikasi wilayah bagian pesisir telah banyak dilakukan mulai dari identifikasi mengenai perubahan garis pantai, kondisi infrastruktur kawasan pesisir, hingga sampah laut (*marine debris*) sedangkan pada wilayah bagian perbukitan sangat minim dilakukan survey terlebih untuk identifikasi terkait kandungan mineral pada batuan (Sukamto, 1982).

Mineral atau bahan galian adalah bahan yang dijumpai di alam baik berupa unsur kimia, bijih ataupun segala jenis batuan. Mineral atau bahan galian merupakan sumber daya alam yang proses pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun dan sifat utamanya tidak terbarukan. Mineral dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri/ produksi (Abidin dan Palili, 2011).

Kelompok mineral dapat diidentifikasi berdasarkan karakteristik maupun komposisi kimia utamanya (Winarno, 2019). Analisis laboratorium merupakan



ting untuk mengetahui sifat fisik dan kimia batuan yang tidak dapat
1 secara langsung di lapangan. Analisis laboratorium dapat dilakukan

dengan menggunakan XRF dan XRD untuk menganalisa jenis mineral pada batuan (Massinai dkk., 2021). Analisis XRD digunakan untuk mengetahui keterdapatn mineral pada sampel batuan, sedangkan analisis XRF digunakan untuk mengetahui keterdapatn unsur kimia pada sampel batuan (Arsidin dkk., 2022).

Adapun penelitian sebelumnya yang menggunakan metode XRD dan XRF yaitu penelitian oleh Winarno dkk. (2019) tentang analisis mineralogi dan kandungan kimia endapan lumpur Sidoarjo dan arah pemanfaatannya. Hasil analisis dari penelitian menunjukkan bahwa endapan lempung dari semburan lumpur Sidoarjo di Kecamatan Porong memiliki massa 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, haloisit, 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. Penelitian ini dilakukan pada daerah Air Terjun Timurung yang berlokasi di Desa Kale Komara, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan.

I.2 Ruang Lingkup

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dengan pengambilan sampel batuan di Air Terjun Timurung yang berlokasi di Desa Kale



Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar. Penelitian ini pada uji identifikasi 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. Apa kandungan mineral yang terdapat pada sampel batuan?
2. Bagaimana hasil identifikasi unsur kimia yang terkandung pada sampel batuan?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Menurut Sukamto (1982) bentuk morfologi yang menonjol di Takalar adalah kerucut Gunungapi Lompobattang yang menjulang mencapai ketinggian 2876 m di atas muka laut. Geomorfologi batuan terdiri atas 3 satuan yaitu satuan dataran aluvial, satuan perbukitan struktural berlereng miring, dan satuan perbukitan berlereng agak curam. Daerah sebelah barat Gunungapi Cindakko dan sebelah utara Gunungapi Baturape merupakan daerah berbukit kasar di bagian timur dan halus di bagian barat. Bentuk morfologi disusun oleh batuan klastik Gunungapi berumur Miosen. Bukit-bukit memanjang yang tersebar mengarah ke Gunung Cindako dan Gunung Baturape berupa retas-retas basal.

Menurut Inggit dan I Gede Budi (2020), terdapat stratigrafi daerah Takalar tersusun atas batuan Batuan Gunungapi Baturape-Cindako yang terdiri dari lava, endapan alluvium dan pantai, Formasi Tonasa, Formasi Camba, dan retas-retas basal.

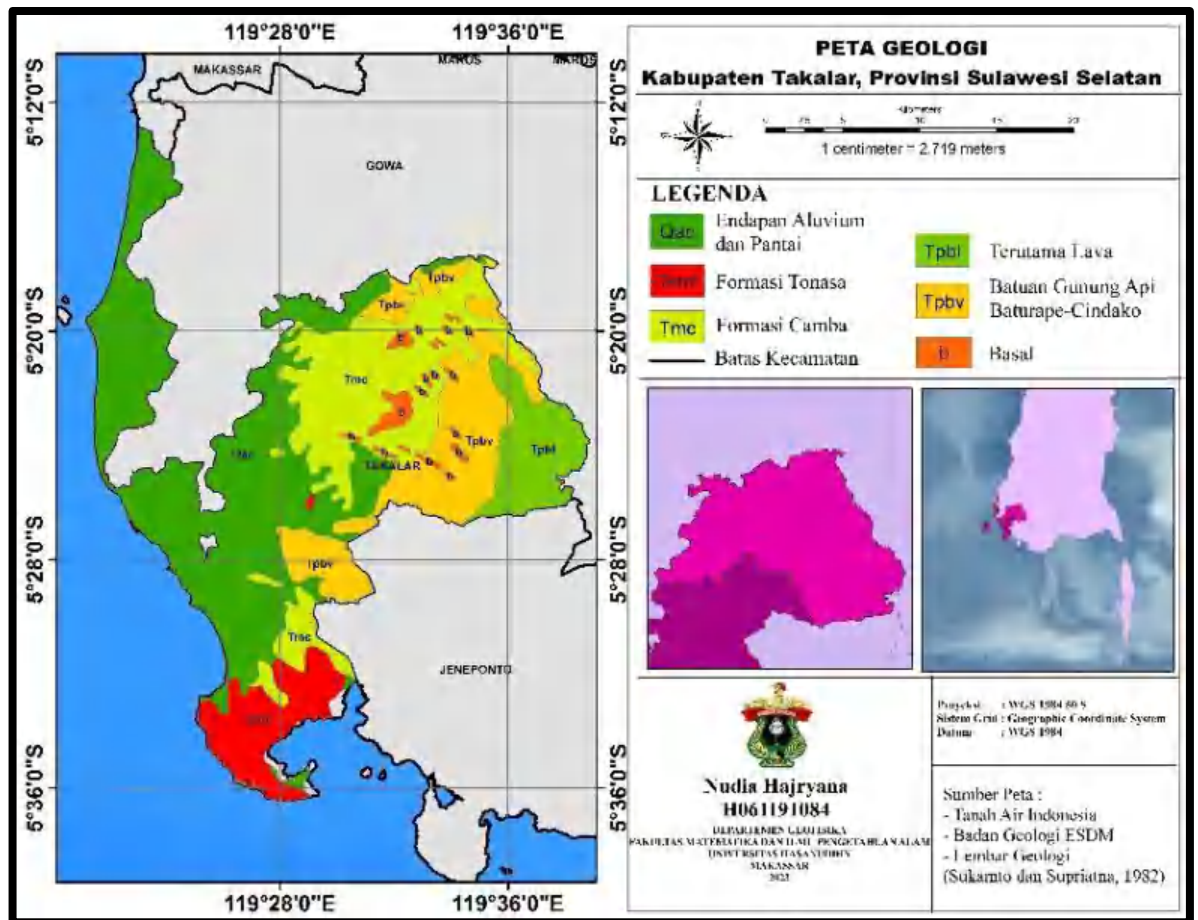
1. Endapan Alluvium dan Pantai (*Qac*) terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lumpur, dan batugamping koral.
2. Formasi Tonasa (*Temt*) terdiri dari batugamping.
3. Formasi Camba (*Tmc*) terdiri dari batu sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi.



tama lava (*Tpbl*) terdiri atas batu yang memiliki warna lapuk abu-abu warna segar abu-abu, kekerasan sedang, dan masif.

5. Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (*Tpbv*) terdiri dari lava dan breksi bersusun andesit/ basal dengan sedikit sisipan tufa dan konglomerat.
6. Basal (*b*) sebagian besar porfiri dengan fenokris piroksen besar-besar, berwarna kelabu tua kehijauan hingga hitam.

Pada **Gambar (2.1)** merupakan peta geologi daerah penelitian yang mencakup beberapa formasi batuan.



Gambar 2. 1 Peta Geologi Takalar, Sulawesi Selatan

II.2 Batuan



Batuan merupakan benda padat yang terbuat secara alami dari magma yang didinginkan dan terdiri atas mineral atau mineraloid (Fitri dkk., 2017). Batuan dapat terdiri dari satu mineral atau lebih sehingga batuan memiliki karakteristik yang

berbeda-beda. Untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan batuan, hal paling mendasar yang perlu dilakukan adalah dengan mengetahui komposisi kimia suatu mineral itu sendiri (Massinai dkk., 2021).

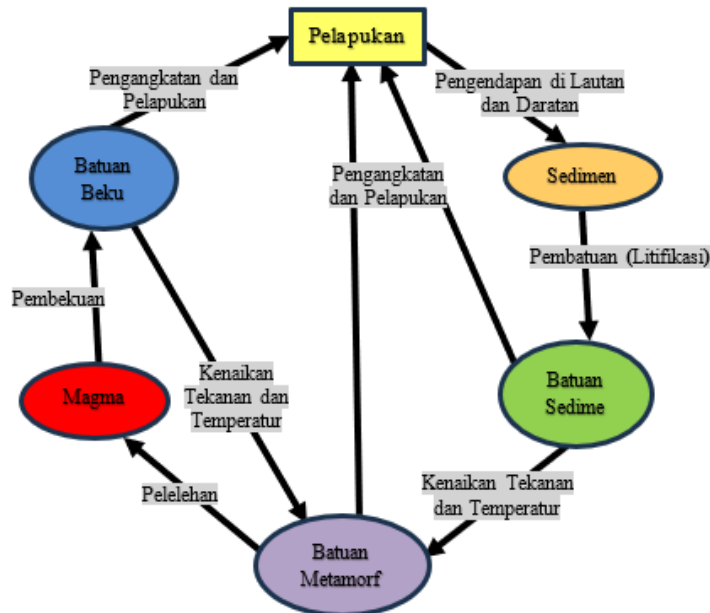
Batuan dalam istilah geologi merupakan masa padat yang terdapat pada kumpulan satu atau lebih mineral sebagai pembentuk kerak bumi, yakni masa kerak bumi yang kompak dengan tekstur yang keras (*hard*) maupun sedang (*semi hard*). Batu memiliki siklus sehingga jumlah batuan di bumi tidak akan habis. Siklus batuan merupakan suatu proses yang menggambarkan perubahan dari magma yang membeku akibat pengaruh cuaca hingga menjadi batuan beku, kemudian sedimen, batuan sedimen dan batuan metamorf hingga akhirnya berubah menjadi magma kembali (Nauli dkk., 2018).

Batuan yang menyusun kerak bumi dibagi atas tiga bagian yakni batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Batuan beku merupakan batuan yang terjadi dari pembekuan larutan silika cair dan pijar dan berbagai gas lainnya. Batuan beku dapat digolongkan kedalam tiga bagian utama, yaitu berdasarkan genetika batuan, berdasarkan komposisi senyawa kimia dan didasarkan susunan mineraloginya. Batuan sedimen merupakan batuan yang terjadi karena adanya pengendapan, dan bentuknya berlapis-lapis. Umumnya terjadi dari batuan yang rusak atau larut melalui proses kimia kemudian diendapkan baik secara langsung maupun tidak langsung. Batuan metamorf adalah hasil perubahan bentuk dan jenis dari batuan beku dan batuan sedimen. Perubahan bentuk dan jenis ini disebabkan oleh tekanan yang tinggi, suhu, dan waktu yang cukup lama (Abidin dan Lapili, 2011).

Batuan terbentuk melalui beberapa proses yaitu kristalisasi, metamorfisme, dan pengendapan. Proses kristalisasi merupakan pembekuan magma dari dalam bumi ke permukaan bumi karena adanya perubahan suhu dan tekanan. Proses metamorfisme merupakan proses perubahan batuan yang disebabkan oleh suhu



dan tekanan yang tinggi. Pengendapan merupakan proses pengendapan batuan sedimen baik di darat maupun di dalam air (Wibowo dkk., 2017)



Gambar 2. 2 Siklus Batuan (Wibowo dkk., 2017).

Secara umum batuan beku mempunyai tingkat resistansi yang kuat terhadap pelapukan dibandingkan dengan jenis batuan lainnya. Namun pada batuan sedimen, kompaksi merupakan faktor yang cukup berpengaruh terhadap tingkat resistansinya. Tingkat kompaksi sejalan dengan umur suatu batuan itu sendiri, namun hal ini bukan ukuran mutlak karena masih banyak faktor lain yang mempengaruhi, seperti komposisi mineralogi, tingkat pelapukan, kemiringan lereng dan kondisi tektonik (Massinai, 2015).

Batuan beku adalah batuan yang terbentuk dari lelehan produk daerah kedalaman bumi (Gill, 2010). Pada batas lempeng divergen (lempeng tektonik yang saling

. Kenaikan astenosfer menyebabkan pencairan sebagai akibat dari
n tekanan untuk membentuk magma. Batuan beku yang terbentuk oleh



magma yang naik di permukaan bumi memiliki perbedaan dengan batuan yang mendingin perlahan di kedalaman, sekalipun memiliki komposisi mineralogi yang sama.

Penampakan batuan di permukaan bumi sangat bervariasi, hal ini bergantung pada jenis gunung berapi atau jenis letusan yang dihasilkan. Penamaan batuan beku berkaitan dengan perbedaan tekstur yang dihasilkan dari lingkungan magma membeku. Magma memiliki rentang komposisi yang luas, sehingga menghasilkan kristalisasi mineral yang berbeda-beda, lalu muncullah pengklasifikasian. Beberapa batuan beku memiliki butir yang halus, bahkan seperti kaca sehingga untuk mengidentifikasi mineralnya sangat sulit, membutuhkan metode kimiawi untuk mengidentifikasinya (Klein dan Philpotts, 2013).

Batuan beku disusun oleh senyawa-senyawa kimia yang membutuhkan mineral-mineral penyusun batuan beku. Analisa kimia batuan beku pada umumnya menggunakan waktu yang cukup lama, sehingga pada klasifikasi batuan beku didasarkan pada susunan mineral dari batuan. Batuan beku memiliki banyak jenis, sehingga batuan beku dikelompokkan menjadi beberapa kelompok. Setiap kelompok batuan beku mencerminkan kandungan mineralogi, kimia dari batuan intrusi atau batuan ekstrusi (Abidin dan Palili, 2011).

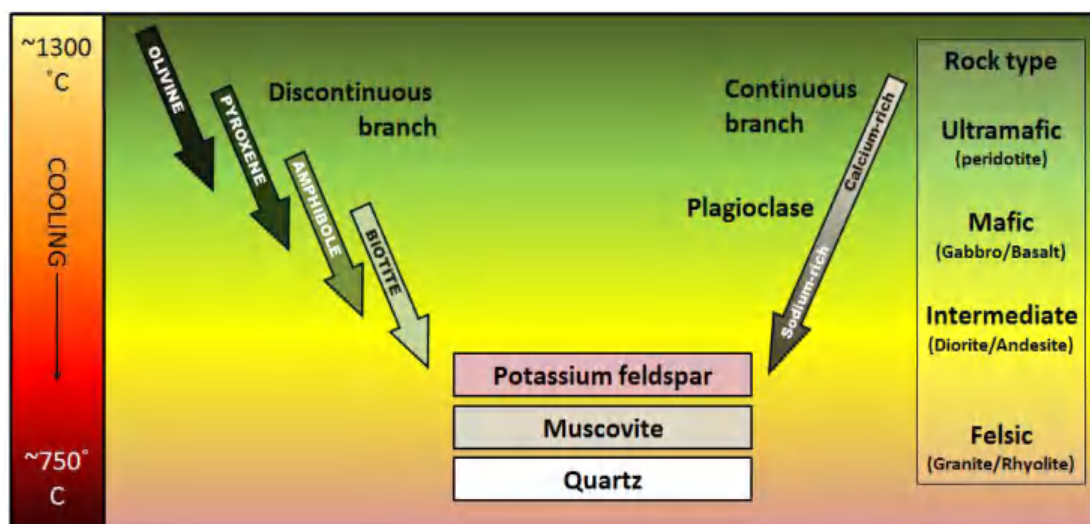
II.2.1 Deret Bowen

Tahun 1922, Norman Levi Bowen melakukan penelitian dalam pemahaman revolusi petrologi eksperimental mengenai kristalisasi mineral mampu <an hubungan laju pendinginan magma hingga terbentuknya berbagai neral batuan. Prinsip reaksi Bowen menjelaskan mengenai urutan



pembentukan mineral baru dalam proses magma yang mendingin. Kristal yang tetap tersuspensi dalam cairan bereaksi dengan sisa lelehan untuk membentuk mineral baru pada suhu yang lebih rendah. Proses tersebut berlanjut sampai seluruh lelehan magma terbentuk (Earle, 2015). Reaksi ini diklasifikasikan menjadi dua kelompok seri reaksi, yaitu:

1. Seri reaksi diskontinu, mineral yang terbentuk berbeda dalam komposisi kimia dan struktur kristal dari mineral sebelumnya, hal ini sejalan dengan penurunan suhu dalam masa pembentukannya.
2. Seri reaksi kontinyu, mineral yang terbentuk memiliki kesamaan komposisi kimia dan struktur kristal yang berbeda dengan mineral yang terbentuk sebelumnya, hal ini sejalan dengan penurunan suhu dalam masa pembentukannya.



Gambar 2. 3 Deret Bowen (Earle, 2015)



sebelah kiri (*Olivine, pyroxene, amphibole, biotite*) pada Reaksi Deret mewakili mineral-mineral basa. Sedangkan deret sebelah kanan (*plagioclase, bytownite, labradorite, andesine, oligoclase, albite*) mewakili mineral-

mineral asam. Mineral yang terbentuk pertama kali adalah mineral yang tidak stabil, sehingga dapat dengan mudah berubah menjadi mineral lain, terutama menjadi mineral di bawahnya sesuai Deret Bowen. Sedangkan mineral yang temperaturnya rendah adalah mineral yang paling stabil, dalam gambar reaksi Deret Bowen adalah mineral *Quartz*.

Mineral yang membentuk batuan beku mengkristal pada berbagai suhu yang berbeda. Hal ini menjelaskan mengapa magma yang mendingin dapat memiliki beberapa kristal di dalamnya namun tetap sebagian besar cair. *Olivine* pada mineral silikat umumnya mengkristal terlebih dahulu, pada suhu antara 1200°C dan 1300°C. Saat suhu turun, dengan asumsi bahwa beberapa silika tetap berada di magma, kristal *Olivine* akan bereaksi (bergabung) dengan beberapa *silica* untuk membentuk *pyroxene*. Selama ada *silica* yang tersisa dan laju pendinginan lambat, proses ini berlanjut ke cabang terputus: *Olivine* menjadi *pyroxene*, *pyroxene* menjadi *amphibole* dan *amphibole* menjadi *biotite*. Proses mengkristalnya *pyroxene* juga sejalan dengan terjadinya proses *plagioclase* pada feldspar yang juga mulai mengkristal (Earle, 2015).

II.3 Mineral

Mineral merupakan benda homogen dengan susunan atom yang sangat teratur dalam struktur atom sebagai hasil dari proses kristalisasi. Mineral merupakan bagian integral dari kerak bumi, dan memiliki komposisi kimia konstan yang dapat dinyatakan dengan rumus kimia. Dalam kondisi suhu dan tekanan tertentu,



memiliki sifat fisik yang stabil. Setiap mineral dari jenis yang sama di 1 di Bumi memiliki molekul dengan komposisi yang sama (Haldar dan 014).

Menurut Klein (2001), cukup sulit untuk mendefinisikan mineral secara ringkas agar dapat diterima secara universal. Menurutnya, mineral adalah padatan alami dengan susunan atom yang teratur dan memiliki komposisi kimia yang pasti, namun tidak tetap. Nesse (2000), menjelaskan bahwa mineral harus berupa padatan kristal. Atom atau ion-ion penyusunnya tersusun dan terikat secara kimia dalam jarak yang teratur dan prosesnya berulang. Semua mineral memiliki komposisi kimia yang pasti.

Saat ini, yang diketahui bumi memiliki sekitar 4300 spesies mineral, ada sekitar 50 jenis mineral baru teridentifikasi setiap tahunnya. Keanekaragaman mineralogi ditemukan di berbagai permukaan bumi, keragaman dan kelimpahan mineral dekat permukaan berubah secara dramatis selama lebih dari 4,5 miliar tahun, melalui berbagai proses fisik, kimia, dan biologi (Hazen dkk., 2009).

II.3.1 Sifat Kimiawi Mineral

Pengamatan berdasarkan komposisi kimianya, mineral dibagi atas beberapa kelompok besar. Massinai dkk., (2022) membagi 4 kelompok besar mineral sebagai pembentuk batuan, yakni:

1. Mineral silikat sangat banyak ditemukan di bumi, lebih dari 85% mineral pembentuk batuan adalah dari kelompok ini, yang merupakan persenyawaan antara silikon dan oksigen serta beberapa unsur metal. Karena jumlahnya yang besar, sehingga lebih dari 85% dari berat kerak-bumi terdiri dari mineral silikat, dan hampir 100% dari mantel bumi (sampai kedalaman 2.900

lari kerak bumi). Mineral silikat dapat ditemukan dalam batuan beku, gunungapi dan batuan metamorf, namun dalam beberapa kesempatan,



mineral silikat juga dapat dijumpai dalam batuan sedimen, seperti mineral lempung.

2. Mineral Oksida terbentuk sebagai akibat persenyawaan langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Komposisinya lebih sederhana dibandingkan dengan mineral 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), *korundum* (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_2), *chalcocite* (Cu_2S), *galena* (PbS), dan *sphalerite* (ZnS).
4. Mineral Karbonat dan Sulfat merupakan persenyawaan dengan ion $(CO_3)^{2-}$ yang disebut karbonat, persenyawaan dengan Ca dinamakan kalsium karbonat, $CaCO_3$ dikenal sebagai mineral *kalsit*. Mineral ini merupakan susunan utama yang membentuk batuan sedimen.

II.4 Metode XRD

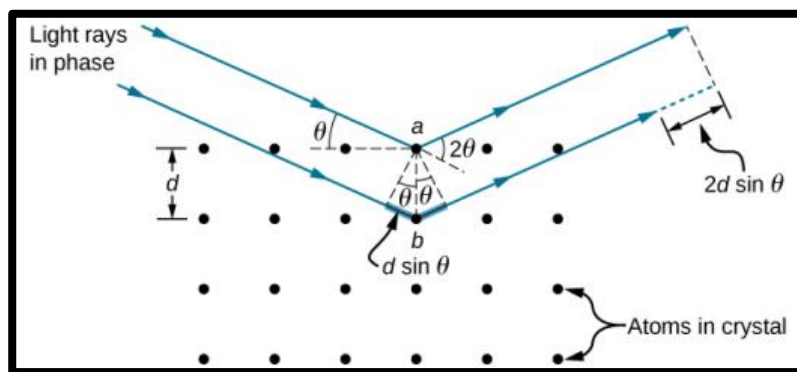
X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan. Metode ini didasarkan pada sinar X yang dihamburkan pada sudut tertentu (sudut Bragg) oleh



mineral yang tertata dalam sistem kristal (Oktamuliani dkk., 2015). Umumnya analisis 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 dkk., 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. Persamaan Bragg menangkap kondisi ini (Ling dkk., 2018).

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



an :

c 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 dkk., 2018).

II.5 Metode XRF

Metode spektrometri merupakan metode analisis suatu bahan dengan peralatan tertentu yang hasil ujinya berupa spektrum (grafik). Pengujian menggunakan alat XRF akan diperoleh hubungan 2 parameter yaitu sumbu X (horizontal) yang berupa energi unsur dan sumbu Y (vertikal) yang berupa intensitas cacahan per detik. Sumber sinar-X ditembakkan pada sampel yang akan menghasilkan karakteristik tertentu dari masing-masing unsur yang akan terbaca pada *detector*.

Energi setiap atom terdiri dari energi pada kulit atom K, L, M maka energi yang diambil untuk dianalisis adalah energi sinar-x yang dihasilkan oleh salah satu kulit atom tersebut. Kemampuan alat XRF diperoleh bahwa hanya pada rentang 5 – 50 dari energi sinar-X yang dapat dibaca dan dianalisis pada alat ini. Energi yang lebih besar dari rentang energi pada kemampuan alat ini, tidak akan terbaca pada alat karena diluar dari kemampuan alat tersebut (Masrukan dan Rosika, 2008).

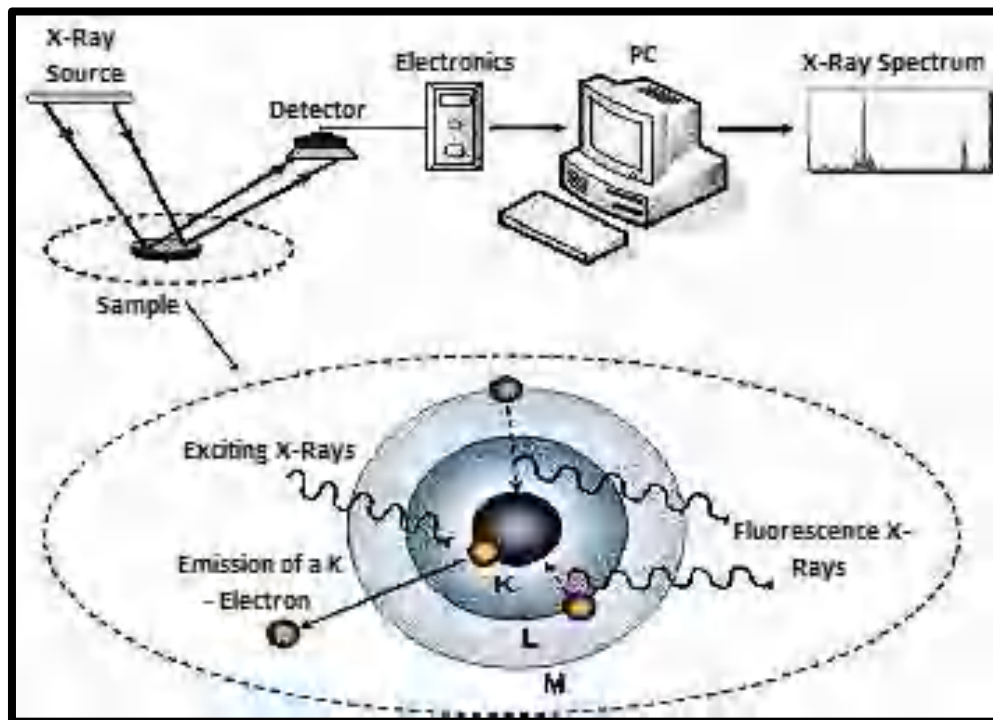


XRF untuk menganalisis suatu sampel dapat menggunakan pendekatan alitatif maupun kuantitatif yang terkandung dalam sampel. Sampel yang

dianalisis secara kualitatif akan memberikan informasi jenis unsur yang terkandung pada sampel tersebut, diperlihatkan oleh adanya spektrum unsur yang ada pada karakteristik dari energi sinar-X. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur dari sampel yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin dan Umar, 2018).

Langkah pertama, foton sinar-X yang datang menembus sampel dengan energi yang lebih tinggi daripada energi ikat elektron yang terletak di kulit yang paling dekat dengan nukleus, foton sinar-X ini mentransfer energi ke elektron, dan ketika elektron memperoleh energi lebih tinggi dari energi ikatnya, ia dikeluarkan dari atom. Akibat ejsi elektron, kekosongan yang tersisa di posisi yang sebelumnya ditempati oleh elektron itu. Beberapa peristiwa berbeda dapat terjadi setelah ejsi elektron ini, tetapi peristiwa yang penting untuk dipahami adalah emisi karakteristik sinar-X. Hal ini berarti bahwa elektron lain, dari kulit yang lebih jauh dari inti dapat meluruh ke kulit yang lebih dekat ke inti dan mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh elektron yang dikeluarkan. Peluruhan ini akan melepaskan emisi foton sinar-X karakteristik, foton sinar-X yang dipancarkan ini disebut karakteristik karena kontinuitas energinya dan frekuensinya sebanding dengan perbedaan energi ikat elektron yang awalnya dikeluarkan dan energi ikat elektron yang meluruh dari cangkang yang lebih jauh dari nukleus. Selain sebanding dengan perbedaan energi ikat dua elektron yang terlibat dalam proses emisi sinar-X, karakteristik frekuensi sinar-X juga sebanding dengan nomor atom inti (Pinto, 2018).





Gambar 2. 5 Prinsip kerja *X-Ray Fluorescence* (Jamaludin dan Adiantoro, 2012)

Beberapa metode difraksi yang dapat dilakukan sehubungan dengan penentuan koordinat atom-atom yaitu difraksi sinar-X dan neutron. Kedua metode ini saling mengisi (komplemen), ada bahan yang baik ditentukan oleh sinar-X dan sebaliknya tidak baik oleh neutron. Dalam beberapa hal penggunaan neutron untuk penelitian bahan sering memberikan informasi yang tidak mungkin diperoleh dengan teknik lainnya. Hal ini disebabkan neutron mempunyai sifat-sifat khusus yang menguntungkan. Prinsip dasar dari masing-masing metode difraksi adalah sama yaitu harus memenuhi hukum Bragg.

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek Fotolistrik terjadi karena dalam target atom (pada sampel) terkena berkas berenergi tinggi (sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa tersebut ditangkap oleh detektor.



Selama proses ini, peristiwa fotolistrik yang terjadi akan mengakibatkan elektron pada kulit terdalam akan mengalami kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom tidak stabil. Apabila kondisi atom kembali stabil, elektron dari kulit luar akan pindah ke kulit yang lebih dalam untuk mengisi kekosongan dan proses ini menghasilkan energi sinar X yang tertentu (Masrukan dan Rosika, 2018).

II.6 Interpolasi

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga menghasilkan peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah tertentu. Didalam melakukan interpolasi, sudah pasti dihasilkan kesalahan (*error*). *Error* yang dihasilkan sebelum melakukan interpolasi bisa dikarenakan kesalahan menentukan metode *sampling* data, kesalahan dalam pengukuran dan kesalahan dalam analisa di laboratorium.

Inverse Distance Weighted (IDW) merupakan metode interpolasi geostatistik yang memiliki formulasi paling sederhana, mudah dipahami dan mudah digunakan. Metode ini memberikan hasil yang cukup akurat, sehingga penggunaannya cukup luas pada berbagai bidang ilmu, termasuk Sistem Informasi Geografis (SIG). Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk diimplementasikan. Pemilihan

a *power* sangat mempengaruhi hasil interpolasi, nilai *power* yang tinggi memberikan hasil seperti nilai dari data titik terdekat (Setianto dan Triandini,



Fungsi umum pembobotan adalah *inversi* dari kuadrat jarak, dan persamaan ini digunakan pada metode *Inversi Distance Weighted* yang dirumuskan dalam formula berikut ini (Azpurua dan Ramos, 2010):

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \omega_i z_i \quad (2.3)$$

Dimana Z_i ($i= 1,2,3,\dots, N$) merupakan nilai ketinggian data yang ingin diinterpolasi sejumlah N titik dan bobot (*weight*) ω_i yang dirumuskan sebagai:

$$\omega_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=0}^n h_j^{-p}} \quad (2.4)$$

p adalah nilai positif yang dapat diubah-ubah yang disebut dengan parameter *power* (biasanya bernilai 2) dan h_j merupakan jarak dari sebaran titik ke titik interpolasi yang dijabarkan sebagai:

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (2.5)$$

(x,y) adalah koordinat titik interpolasi dan (x_i,y_i) adalah koordinat untuk setiap sebaran titik. Fungsi perubah *weight* bervariasi untuk keseluruhan data sebaran titik sampai pada nilai yang mendekati nol sedangkan jarak bertambah terhadap sebaran titik.

