

Skripsi Geofisika

**ANALISIS GUGUS FUNGSI DAN POROSITAS BATUAN
MENGUNAKAN METODE *FOURIER TRANSFORM INFRARED* (FTIR)
DAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DI TORAJA,
SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

JUNI ANNISA KARIM

H061181025



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS GUGUS FUNGSI DAN POROSITAS BATUAN
MENGUNAKAN METODE *FOURIER TRANSFORM INFRARED*
(FTIR) DAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DI TORAJA,
SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Sains Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH :

JUNI ANNISA KARIM

H061181025

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**Analisis Gugus Fungsi dan Porositas Batuan menggunakan metode *Fourier Transform Infrared (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* di
Toraja, Sulawesi Selatan**

Disusun dan diajukan oleh:

JUNI ANNISA KARIM

H061181025

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

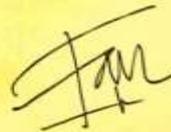
Pada tanggal Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



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

Muhammad Fawzy Ismullah M.,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 : Juni Annisa Karim
NIM : H061181025
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Analisis Gugus Fungsi dan Porositas Batuan menggunakan metode *Fourier Transform Infrared (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* di Toraja, Sulawesi Selatan”

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

Agustus 2022

Yang menyatakan



Juni Annisa Karim

SARI BACAAN

Tana Toraja merupakan salah satu daerah di Sulawesi Selatan yang memiliki potensi di sektor pertambangan meliputi bahan galian mineral logam dan batuan yang masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Daerah penelitian berada di Kecamatan Bittuang, Kecamatan Saluputi, dan Kecamatan Rantepao. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi dan mengetahui porositas batuan berdasarkan morfologi kenampakan batuan. Data yang digunakan berjumlah 3 data primer yang dimasukkan pada metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). FTIR digunakan untuk menganalisa komposisi dari senyawa kimia. Diperoleh bilangan gelombang dan transmisi untuk menganalisis gugus fungsi yang kemudian digunakan dalam mengidentifikasi mineral. Gugus fungsi yang dominan muncul pada grafik FTIR adalah gugus fungsi O-H *stretch*, *bend* serta C-O *stretch* yang masing-masing mengandung senyawa alkohol dan asam karboksilat serta ester. Masing-masing sampel memiliki puncak bilangan gelombang yakni $999,13\text{ cm}^{-1}$, $1008,77\text{ cm}^{-1}$, dan $430,13\text{ cm}^{-1}$. Mineral yang terkandung adalah *albite* dan *quartz*. SEM digunakan untuk menganalisa porositas batuan. Diperoleh kenampakan morfologi permukaan batuan. Porositas batuan yang diperoleh, yakni 67,20%, 59,05%, dan 67,93%.

Kata Kunci: FTIR, SEM, Mineral, Porositas

ABSTRACT

Tana Toraja is one of the areas in South Sulawesi that has potential in the sector mining including metal minerals and rock that still need further research. The study area was in Bittuang District, Saluputi District, and Rantepao District. This study aimed at finding out the mineral content based on the functional groups and the rock porosity based on the morphology of the rock appearances. The data used were three of primary datas which applied in the Fourier Transform Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM) methods. FTIR was used to analyze the composition of chemical compounds. The wave number and transmission were obtained to analyze the functional groups which used to identify minerals. The dominant functional group appeared on the FTIR graph was a functional group O-H stretch, bend and C-O stretch, each of them contained a compound alcohols and carboxylic acids and esters. Each sample had a peak wave number of 999.13 cm^{-1} , 1008.77 cm^{-1} , and 430.13 cm^{-1} . The minerals contained were albite and quartz. SEM was used to analyze rock porosity. The morphology of the rock surface was obtained. The rock porosity obtained were 67.20%, 59.05%, and 67.93%.

Keywords: FTIR, SEM, Mineral, Porosity

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur bagi Allah, rabb semesta alam karena atas berkah limpahan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat merampungkan skripsi dengan judul “**Analisis Gugus Fungsi dan Porositas Batuan menggunakan Metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Toraja, Sulawesi Selatan**”. Shalawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad shallallahu ‘alaihi wa sallam, kepada para sahabat dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Proses penyusunan skripsi ini atas izin Allah dapat berjalan dengan baik melalui bantuan, bimbingan, dukungan serta nasehat dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, **Almarhum Bapak Abdul Karim** dan **Ibu Rakhmawati**, yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan, semangat, cinta dan kasih sayang, pengorbanan yang tiada terkira serta senantiasa mengingatkan dan mengajarkan berbagai hal hingga menjadi seperti sekarang ini. Juga kepada kakak-kakakku tersayang **Ahmad Arasy Karim** dan **Nurul Hidayah Karim**. Serta kepada seluruh keluarga yang lainnya yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
2. Bapak **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM.** selaku pembimbing utama, Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T.** selaku pembimbing pertama. Terima kasih telah memberikan perhatian, bimbingan,

nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir.

3. **Bapak Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.** dan **Ibu Makhrani., S.Si. M.Si.** selaku dosen penguji. Terima kasih telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
4. **Seluruh dosen** yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terima kasih atas ilmu yang diberikan. Semoga menjadi amal jariah di akhirat kelak. Dan juga kepada seluruh **staf Departemen Geofisika** dan **staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** yang telah membantu menyelesaikan urusan akademik terkhusus selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Teman-teman *Salis Deutsch Studenten* terkhusus kepada **Herr Hidayat Tahang, Iswan Izzulhaq, M. Mahmud Hijazy Nasir, St. Shafwah Rafifah Saleh, Annisa Widayani, Alfaridza Arianto, Nuriah Qalbi, Annisa Ramadhani dkk**, atas segala bentuk perhatian dalam kekeluargaan ini.
6. Teman KKN, **Rafil Syah Gaib, Muh. Azwar Alwi,** dan **Fahria Muntihani** atas doa dan kebersamaannya.
7. Teman-teman kampus **Sheren Fairuz Zahirah Rohmana, Nilam Syukur, Asmiyeni Islamiati, Resky Amelia, Nur Fiskah, Evy Sulfiani, Mutmainnah,** dan **Nurfadillah S.Si** atas doa, dukungan, saran, bantuan, dan selalu ada setiap terkendala urusan skripsi ini.

8. Teman-teman gengstah, **Mawaddah Warahmah MJ, Apla Kartika, Elvyra Rezky Ramadani, Widya Puspa Ningrum, dan Mawar Melati**, atas dukungan dan doanya.
9. Teman-teman sepengumpulan **Geofisika 2018** dan **Himafi 2018** atas doa, dukungan, maupun bantuan dalam menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi.
10. Serta kepada **seluruh pihak** secara langsung maupun tidak langsung yang telah sangat banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi maupun studi yang tidak sempat disebutkan satu persatu.
11. Terima kasih **Juni Annisa Karim**.

Makassar, Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup.....	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Geologi Regional	5
II.2 Batuan	7
II.3 Batuan Beku.....	9
II.3.1 Komposisi Mineral Batuan Beku	11
II.3.2 Deret Bowen.....	12
II.4 Mineral	14

II.4.1 Sifat Fisik Mineral.....	15
II.4.2 Sifat Kimiawi Mineral.....	18
II.5 Porositas Batuan	19
II.6 Metode <i>Fourier Transform Infrared</i>	20
II.7 Metode <i>Scanning Electron Microscope</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
III.1 Lokasi Penelitian	28
III.2 Alat dan Bahan	29
III.2.1 Alat.....	29
III.2.2 Bahan.....	30
III.3 Prosedur Penelitian.....	30
III.4 Bagan Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
IV.1 Hasil	34
IV.1.1 <i>Fourier Transform Infrared</i>	34
IV.1.2 <i>Scanning Electron Microscope</i>	37
IV.1.2.1 Analisis Partikel.....	37
IV.1.2.2 Analisis Porositas Batuan	42
IV.2 Pembahasan	53
IV.2.1 Gugus Fungsi	53
IV.2.2 Porositas Batuan.....	55
BAB V PENUTUP.....	59
V.1 Kesimpulan.....	59

V.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Administrasi Kab. Tana Toraja Prov. Sulawesi Selatan.....	6
Gambar 2.2 Siklus Batuan.....	9
Gambar 2.3 Deret Reaksi Bowen.....	13
Gambar 2.4 Proses perubahan sinyal pada sistem peralatan spektroskopi FTIR ..	22
Gambar 2.5 Komponen SEM.....	26
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	33
Gambar 4.1 Grafik transmisi terhadap bilangan gelombang FTIR di Bittuang ...	34
Gambar 4.2 Grafik transmisi terhadap bilangan gelombang FTIR di Saluputi....	35
Gambar 4.3 Grafik transmisi terhadap bilangan gelombang FTIR di Rantepao ..	36
Gambar 4.4 Hasil analisis <i>Scanning Electron Miscroscope</i> di (a) Bittuang (b) Saluputi c) Rantepao	38
Gambar 4.5 Hasil <i>FFT</i> (a) Bittuang (b) Saluputi (c) Rantepao.....	40
Gambar 4.6 Hasil <i>Threshold</i> (a) Bittuang (b) Saluputi (c) Rantepao.....	41
Gambar 4.7 Kurva 3D (a) Bittuang (b) Saluputi (c) Rantepao	43
Gambar 4.8 <i>Gray Scale Map</i> (a) Bittuang (b) Saluputi (c) Rantepao	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skala Kekerasan Relatif Mineral (Mohs).....	17
Tabel 2.2 Klasifikasi Porositas Batuan.....	20
Tabel 2.3 Daerah gugus fungsi pada FTIR	23
Tabel 2.4 Pembagian panjang gelombang pada radiasi inframerah	24
Tabel 4.1 Daerah serapan senyawa sampel 1	34
Tabel 4.2 Daerah serapan senyawa sampel 2	35
Tabel 4.3 Daerah serapan senyawa sampel 3	36
Tabel 4.4 Perhitungan Persentase Porositas Sampel Batuan di Bittuang	48
Tabel 4.5 Perhitungan Persentase Porositas Sampel Batuan di Saluputi	51
Tabel 4.6 Perhitungan Persentase Porositas Sampel Batuan di Rantepao	53
Tabel 4.7 Analisis Partikel	56
Tabel 4.8 Porositas Absolut Sampel.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Formasi Toraja tersebar di daerah Rantepao dan di bagian tengah Lembar Geologi Regional Mamuju, yaitu di daerah Sungai Hau dan Sungai Karataun. Tebalnya diperkirakan lebih dari 1.000 m. Batuan tertuanya adalah Formasi Latimojong, lalu Formasi Toraja dengan anggota Rantepao yang menindih tak selaras dengan Formasi Latimojong dengan batuan penyusun seperti serpih, serpih napal, batupasir kuarsa, konglomerat serta batubara. Formasi Toraja tertindih tidak selaras dengan batuan gunungapi yang bersisipan dengan batugamping. Di bagian tengah Lembar Tana Toraja tersingkap tufa Barufu dengan batuan termuda berupa endapan fluvial dan endapan alluvial (Cahyono dan Rustandi, 2014).

Pada dasarnya batuan dan mineral itu saling berhubungan erat dan tidak akan pernah terpisahkan. Mengacu pada hirarki Geologi, mineral merupakan syarat utama terbentuknya suatu tubuh batuan serta mineral itu sendiri terbentuk dari kristal-kristal yang berasal dari unsur atom dan senyawa. Umumnya tidak semua mineral memiliki kristal tergantung genesa atau proses pembentukannya. Mineral-mineral tersebut pada proses pembentukannya yang bermacam-macam secara proses geologi tentunya tidak terbentuk sendiri (Rey dan Poluakan, 2020).

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. Penentuan mineral pada batuan dapat dilihat berdasarkan ikatan kimia batuan dengan melihat gugus fungsi batuan tersebut. Di samping itu, struktur dari batuan itu sendiri juga sangat mendukung dalam penentuan mineral suatu batuan misalnya nilai porositas batuan (Rey dan Poluakan, 2020).

Porositas batuan adalah perbandingan antara volume ruang pori pada batuan dengan volume total batuan. Porositas batuan menjadi salah satu parameter penting dalam beberapa studi. Oleh sebab itu, porositas menjadi salah satu parameter yang penting untuk diketahui.

Beberapa metode yang ditawarkan dalam menganalisa mineral batuan diantaranya *X-ray diffraction*, *X-ray fluorescen*, *Fourier transform infrared*, *Scanning electron microscopy*, *Energy dispersive x-ray*, *Optical microscopy*, *Transmittions electron microscopy* dan sebagainya. Gugus fungsi sebuah material ataupun batuan dapat dengan mudah diidentifikasi menggunakan metode *Fourier transform infrared* karena memiliki kemampuan yang cepat dalam menganalisis, bersifat tidak merusak dan hanya dibutuhkan preparasi sampel yang sederhana. *Scanning electron microscopy*

jika dibandingkan dengan *Transmittions electron microscopy* ataupun *Optical microscopy* yang sama halnya menggunakan prinsip *Electron microscopy* tetapi hanya bisa melihat senyawa dengan ukuran yang besar serta hanya mampu menganalisa struktur kristal saja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral batuan dan porositas batuan di lokasi penelitian, sehingga menghasilkan penyusun mineral suatu batuan dan mengidentifikasi porositas pada litologi batuan yang merujuk pada pemanfaatan batuan tersebut. Dalam mengetahui gugus fungsi dilakukan uji *Fourier transform infrared* (FTIR) serta mengetahui porositas batuan menggunakan metode *Scanning electron microscope* (SEM).

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi batuan pada sampel batuan di Toraja?
2. Bagaimana porositas batuan berdasarkan morfologi permukaan pada sampel batuan di Toraja?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini menggunakan tiga sampel batuan dari Kecamatan Bittuang, Kecamatan Saluputi, dan Kecamatan Rantepao Toraja, Sulawesi Selatan. Data penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh menggunakan metode FTIR untuk menganalisis kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi dan metode SEM untuk menganalisis porositas batuan.

I.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi batuan di Kabupaten Tana Toraja.
2. Mengetahui porositas batuan di Kabupaten Tana Toraja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

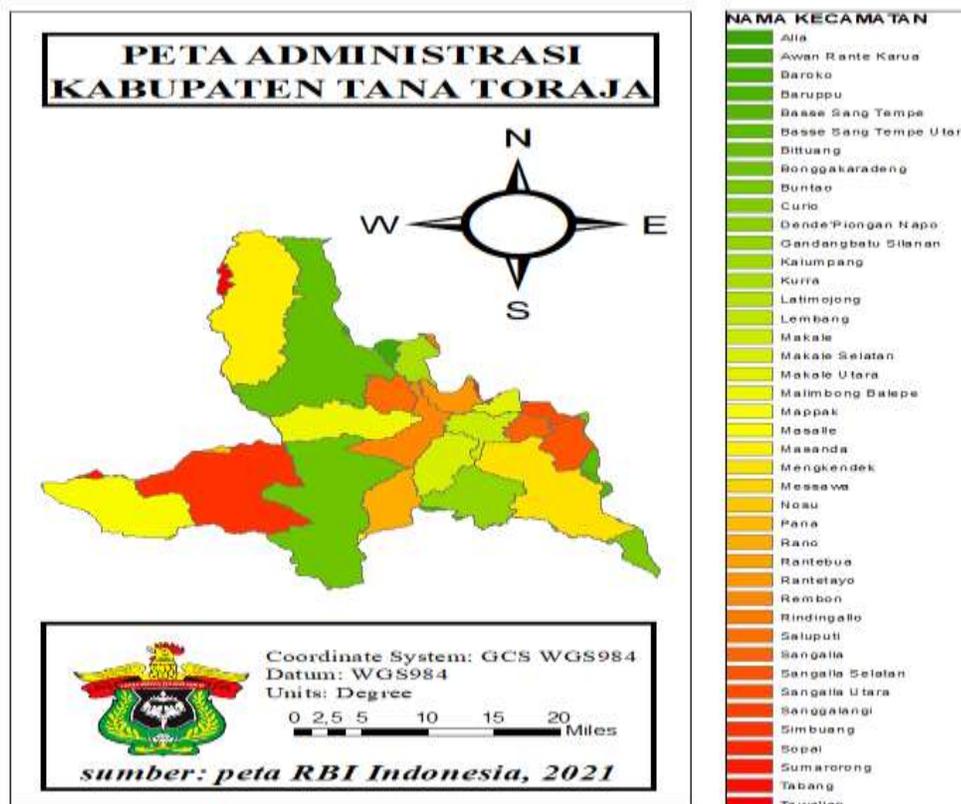
II.1 Geologi Regional

Dalam Penyusunan Dokumen Rencana Program Investasi Jangka Menengah Kabupaten Tana Toraja dari tahun 2019-2023, struktur geologi batuan Kabupaten Tana Toraja yang memiliki karakteristik geologi yang kompleks dicirikan oleh adanya jenis batuan yang bervariasi akibat pengaruh struktur geologi. Beberapa jenis batuan yang dapat ditemukan di Kabupaten Tana Toraja pada umumnya antara lain batugamping terumbu, batupasir hijau, batulempung, batusabak, kuarsit, dan batubara.

Daerah penelitian di Tana Toraja terdiri dari 6 formasi berikut:

1. Formasi Latimojong. Satuan ini merupakan batuan metamorfik yang tertua dalam litologi Kabupaten Tana Toraja terbentuk pada era mesozoikum tepatnya ada periode kapur akhir. Batuannya terdiri dari batusabak, kuarsit, filit, batupasir, kuarsa malih, batulanau malih dan pualam, batu lempung malih.
2. Formasi Toraja. Satuan ini merupakan batuan sedimen karbonat yang terbentuk pada kala Eosen, batuannya terdiri dari serpih, batugamping, batupasir kuarsa, konglomerat, dan batubara.
3. Formasi Makale. Satuan ini merupakan batuan sedimen yang terbentuk pada periode Tersier (Oligosen-Miosen Awal). Batuannya berupa batugamping terumbu yang membentuk bukit-bukit karst.

4. Formasi Date. Satuan ini tersusun dari napal yang diselingi batulanau gampingan dan batupasir gampingan. Terbentuk pada periode Tersier (Oligosen-Miosen).
5. Formasi Batuan Terobosan. Satuan ini terdiri dari granit, granidiorit, riolit, diorit, dan applit. Merupakan batuan beku bersifat asam yang terbentuk pada periode Tersier (Mio-Pliosen).
6. Formasi Batuan Gunungapi Tineba. Satuan ini merupakan hasil endapan vulkanik yang terbentuk pada kala Miosen. Batuan yang menyusun berupa lava andesit, basalt, dan latit kuarsa.



Gambar 2.1 Peta Administrasi Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan (Peta RBI Indonesia, 2021).

Secara astronomis Kabupaten Tana Toraja terletak pada koordinat diantara 2° - 3° Lintang Selatan dan 119° - 120° Bujur Timur, dengan luas wilayah sebesar 2.054,30 km². Dalam Penyusunan Dokumen Rencana Program Investasi Jangka Menengah Kabupaten Tana Toraja dari tahun 2019-2023, Kabupaten Tana Toraja mempunyai batas-batas wilayah sebagai berikut:

1. Sebelah Utara: Kabupaten Toraja Utara dan Provinsi Sulawesi Barat
2. Sebelah Selatan: Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Pinrang
3. Sebelah Timur: Kabupaten Luwu
4. Sebelah Barat: Provinsi Sulawesi Barat

Kondisi topografi Kabupaten Tana Toraja adalah salah satu dataran tinggi yang dikelilingi oleh pegunungan dengan keadaan lereng yang curam yakni rata-rata kemiringannya di atas 25%. Kabupaten Tana Toraja terdiri dari pegunungan, dataran tinggi, dataran rendah dan sungai dengan ketinggian yang berkisar antara 300 m – 2.500 m di atas permukaan laut. Bagian terendah dari Kabupaten Tana Toraja berada di Kecamatan Bonggakaradeng, sedangkan bagian tertinggi berada di Kecamatan Bittuang.

II.2 Batuan

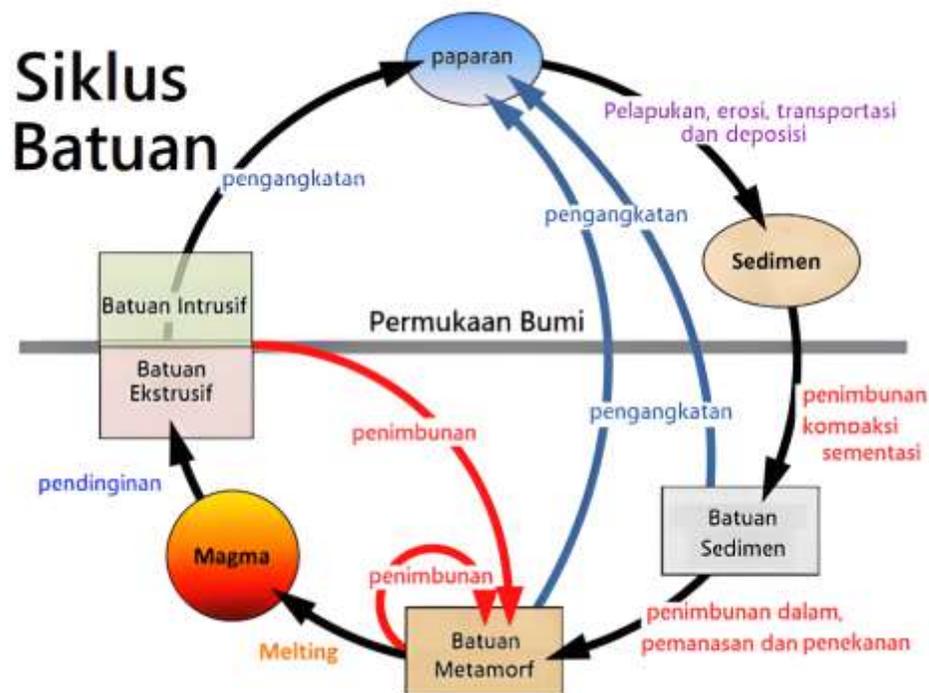
Batuan adalah benda padat yang terbuat secara alami dari mineral atau mineraloid. Secara umum terdapat tiga jenis batuan yang ada di permukaan bumi, yang berasal dari proses pembentukan yang berbeda-beda. Magma yang keluar dari perut bumi dan membeku karena mengalami proses pendinginan menghasilkan batuan beku.

Batuan yang lebih dahulu terbentuk, yang mengalami pelapukan, erosi, dan kemudian lapukannya diangkut oleh air, udara yang selanjutnya diendapkan dan berakumulasi di dalam cekungan pengendapan, membentuk sedimen. Material-material sedimen itu kemudian terkompaksi, mengeras, mengalami litifikasi, dan terbentuklah batuan sedimen. Batuan beku atau batuan sedimen dapat berubah bentuk dalam waktu yang sangat lama dengan adanya perubahan temperatur serta tekanan yang kemudian menjadi batuan metamorf (Fitri dkk., 2017).

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 tersedimentasi menjadi batuan sedimen dan batuan metamorf hingga akhirnya berubah menjadi magma kembali. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 mekanisme siklus batuan yaitu magma mengalami proses siklus pendinginan, kemudian terjadi kristalisasi membentuk batuan beku pada siklus ini, Ketika batu didorong jauh di bawah permukaan bumi, maka batuan dapat melebur menjadi magma (Blaat dan Tracy, 1996).

Kemudian batuan beku tersebut mengalami pelapukan, tererosi, terangkut dalam bentuk larutan ataupun tidak terlarut, diendapkan, sedimentasi membentuk batuan sedimen. Selain itu, ada juga yang langsung mengalami perubahan bentuk menjadi metamorf saat siklus terjadi. Kemudian pada siklus ini, batuan sedimen dapat mengalami perubahan baik secara kontak, *dynamo* dan hidrotermik yang akan mengalami perubahan bentuk dan menjadi metamorf. Siklus selanjutnya, batuan

metamorf yang mencapai lapisan bumi yang bersuhu tinggi, sehingga berubah lagi menjadi magma melalui proses magmatisasi. Setelah mengalami siklus mulai dari magma tadi, batuan akan berubah bentuk dan jenisnya menjadi batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen kemudian menjadi magma kembali jika terdorong ke dalam bumi, lalu meleleh (Blaat dan Tracy, 1996).



Gambar 2.2 Siklus Batuan (Johannes dkk., 2018).

II.3 Batuan Beku

Batuan beku merupakan jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mengeras dan mendingin dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik) maupun di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (plutonik). Magma tersebut dapat berasal dari batuan setengah cair maupun batuan yang sudah ada, baik di mantel ataupun kerak bumi. Umumnya proses pelelehan terjadi

oleh salah satu dari proses-proses berikut: kenaikan temperatur, penurunan tekanan, atau perubahan komposisi. Lebih dari 700 tipe batuan beku telah berhasil di deskripsikan, sebagiannya terbentuk di bawah permukaan kerak bumi (Massinai dkk., 2022).

Menurut Sultoni dkk. (2019) terdapat 2 macam proses pembentukan batuan beku yaitu sebagai berikut:

1. Batuan beku luar (Ekstrusif): proses pembekuan dari magma relatif cepat, karakteristik tekstur kristal batuan yang sangat halus.
2. Batuan beku dalam (Intrusif): proses pembekuan dari magma yang membutuhkan waktu yang sangat lama, hingga mencapai jutaan tahun, karakteristik kristal batuan berukuran besar.

Dalam penelitian studi karakterisasi mineral batuan beku yang dilakukan oleh Syam (2020), terdapat 3 proses pembentukan batuan beku merupakan proses yang amat kompleks. Adapun proses-proses yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Diferensiasi Magma

Diferensiasi magma merupakan proses yang terjadi ketika pemisahan magma homogen dalam fraksi-fraksi dengan komposisi yang berbeda karena pengaruh dari migrasi ion-ion atau molekul-molekul di dalam magma, perpindahan gas-gas, pemindahan carian magma dengan cairan magma lain serta *filterpressing* (pemindahan cairan sisa ke magma lain). Diferensiasi magma terjadi selama proses pembekuan magma, dimana berbagai macam kristal terbentuk tidak bersamaan,

akan tetapi terjadi pemisahan kristal dengan cairan magma yang disebut diferensiasi kristalisasi. Dalam urutan kristalisasi menunjukkan bahwa mineral yang bersifat basa akan mengkristal terlebih dahulu dan turun kebawah sehingga terjadi pemisahan dalam magma, dimana magma basa dibagian bawah dan magma asam akan mengapung diatas magma basa. Pemisahan ini disebut diferensiasi gravitasi.

2. Asimilasi

Asimilasi merupakan proses pelarutan atau reaksi antara magma dengan batuan di sekitarnya (*Wall Rock*) yang umumnya terjadi pada intrusi magma basa terhadap batuan asam. Contohnya proses asimilasi yang terjadi akibat adanya intrusi magma gabroik terhadap batuan samping granit yang akan menghasilkan batuan beku diorit yang bersifat intermediat.

3. Proses pencampuran dari magma

Selama proses kristalisasi berlangsung selama ada kecenderungan untuk mempertahankan keseimbangan antara fase padat dan cair. Dalam hal ini kristal-kristal yang awal terbentuk akan bereaksi dengan cairan magma sehingga mengalami perubahan komposisi, reaksi ini terus terjadi pada kristalisasi mineral plagioklas.

II.3.1 Komposisi Mineral Batuan Beku

Menurut Massinai dkk., (2020) terdapat 3 mineral penyusun batuan beku yaitu sebagai berikut:

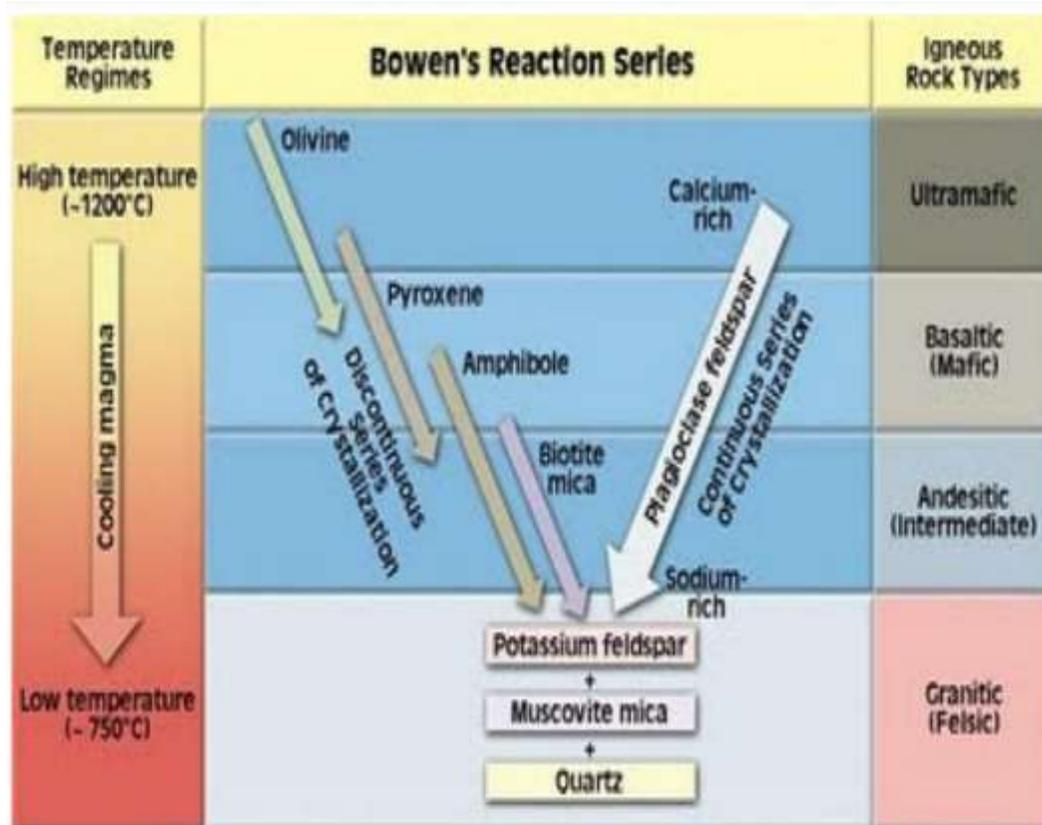
1. Mineral utama (*Essential Mineral*) yaitu mineral-mineral primer yang sering dijumpai pada batuan beku tertentu dan merupakan mineral yang dominan dalam batuan tersebut.
2. Mineral pelengkap (*Accessory Mineral*) yaitu mineral yang terdapat cukup banyak dalam batuan, tetapi tidak selalu ada seperti mineral utama.
3. Mineral tambahan (*Minor Accessory Mineral*) yaitu mineral yang terdapat dalam suatu batuan yang jumlah tidak begitu banyak, kira-kira <5% dari volume batuan.

II.3.2 Deret Bowen

Pembentukan mineral melalui proses pendinginan magma. Magma tidak langsung semuanya membeku, tetapi mengalami penurunan temperatur secara perlahan bahkan cepat. Penurunan temperatur ini disertai dengan pembentukan dan pengendapan mineral tertentu sesuai dengan temperaturnya. Pembentukan mineral dalam magma dikarenakan penurunan temperatur telah disusun oleh Bowen (Wahyuni dkk., 2015).

Seperti terlihat pada Gambar 2.3 mengenai deret reaksi Bowen, deret kontinyu digambarkan dengan adanya pembentukan mineral yang terbentuk secara berurutan, karena berubahnya temperatur magma secara tetap. Deret kontinyu 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.



Gambar 2.3 Deret Reaksi Bowen (Abidin dan Palili, 2011).

Saat magma mendingin dan Ca (*calcium*) kehabisan ion, *feldspar* didominasi oleh pembentukan natrium feldspar (Na-*Feldspar*, NaAlSiO) hingga suhu sekitar 600°C *feldspar* dengan hampir 100% natrium terbentuk sehingga terbentuk plagioklas yang kaya natrium. Demikian seterusnya reaksi ini berlangsung sampai semua kalsium dan sodium habis bereaksi. Karena mineral awal bereaksi secara terus-menerus maka plagioklas terus ikut bereaksi hingga akhirnya habis (Wahyuni dkk., 2015).

Pada deret diskontinyu digambarkan dengan adanya pembentukan mineral yang terbentuk secara tidak berurutan, tergantung dari komposisi kimia dan temperatur magma yaitu olivin, piroksen, amfibol, dan biotit. Pada deret diskontinyu menggambarkan formasi mineral ferro-magnesium silikat dimana satu mineral berubah menjadi mineral lainnya pada temperatur tertentu dengan melakukan reaksi dengan sisa larutan magma. 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 diskontinyu 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. Bila pendinginan yang terjadi terlalu cepat maka mineral yang telah ada tidak akan bereaksi seluruhnya dengan sisa magma sehingga akan terbentuk rim (selubung) yang tersusun dari mineral yang terbentuk berikutnya (Wahyuni dkk., 2015).

II.4 Mineral

Pada dasarnya batuan dan mineral itu saling berhubungan erat dan tidak akan pernah terpisahkan, kembali mengacu pada Hirarki Geologi, mineral merupakan syarat utama terbentuknya suatu tubuh batuan, dan mineral itu sendiri terbentuk dari kristal-kristal yang berasal dari unsur atom dan senyawa, namun tidak seluruhnya mineral memiliki kristal tergantung genesa atau proses pembentukannya. Batuan yang ada di

bumi ini adalah kumpulan dari mineral-mineral. 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, kecuali kelas *native element*. Unsur-unsur pembentuk mineral yang berikatan dengan unsur utama mineral umumnya juga menentukan kelas mineral tersebut (Rey dan Poluakan, 2020).

II.4.1 Sifat Fisik Mineral

Pada umumnya dalam menentukan suatu mineral tidak cukup hanya dilakukan dengan satu sifat fisik saja, namun beberapa sifatnya digabungkan kemudian dianalisis. Menurut Massinai, dkk (2020) terdapat 6 sifat fisik mineral yang dapat dikenali yakni sebagai berikut:

1. Bentuk kristal (*crystal form*):

Apabila suatu mineral mendapat kesempatan untuk berkembang tanpa hambatan, maka ia akan mempunyai bentuk kristalnya yang khas. Tetapi apabila dalam perkembangannya ia mendapat hambatan, maka bentuk kristalnya akan terganggu. Setiap mineral akan mempunyai sifat bentuk kristalnya yang khas, yang merupakan perwujudan kenampakan luar, yang terjadi sebagai akibat dari susunan kristalnya di dalam. Misalnya, suatu cairan panas yang terdiri dari unsur-unsur

Natrium dan Chlorit, selama suhunya konstan dalam keadaan tinggi, maka ion-ion tetap akan bergerak bebas dan tidak terikat satu dengan lainnya. Namun ketika suhu cairan tersebut turun, maka kebebasan Bergeraknya akan berkurang dan hilang. Selanjutnya mereka mulai terikat dan berkelompok untuk membentuk persenyawaan “Natrium Chlorida”.

2. Berat jenis (*specific gravity*)

Setiap mineral mempunyai berat jenis (*specific gravity*) (N/m^3) tertentu. Besarnya ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya dan kepadatan dari ikatan unsur-unsur tersebut di 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. Dapat dikatakan bahwa bidang tersebut merupakan bidang “lemah” yang dimiliki oleh suatu mineral.

4. Warna (*color*)

Warna mineral memang bukan merupakan penciri utama untuk dapat membedakan antara mineral yang satu dengan lainnya. Namun paling tidak ada warna-warna yang khas yang dapat digunakan untuk mengenali adanya unsur tertentu didalamnya. Sebagai contoh warna gelap dipunyai mineral, mengindikasikan terdapatnya unsur besi. Di sisi lain mineral dengan warna terang, diindikasikan banyak mengandung aluminium.

5. Kekerasan (*hardness*)

Salah satu kegunaan dalam mendiagnosa sifat mineral adalah dengan mengetahui kekerasan mineral. Kekerasan adalah sifat resistensi dari suatu mineral terhadap kemudahan mengalami abrasi (*abrasive*) atau mudah tergores (*scratching*). 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.

Tabel 2.1 Skala Kekerasan Relatif Mineral (*Mohs*) (Massinai dkk., 2020)

Kekerasan (<i>Hardness</i>)	Mineral
1	<i>Talc</i>
2	<i>Gypsum</i>
3	<i>Calcite</i>
4	<i>Fluorite</i>
5	<i>Apatite</i>
6	<i>Orthoclase</i>
7	<i>Quartz</i>
8	<i>Topaz</i>
9	<i>Corumdum</i>
10	<i>Diamond</i>

6. Kilap (*luster*)

Kilap adalah kenampakan atau kualitas pantulan cahaya dari permukaan suatu mineral. Kilap pada mineral ada 2 (dua) jenis, yaitu kilap logam dan kilap non-logam. Kilap non-logam antara lain, yaitu: kilap mutiara, kilap gelas, kilap sutera, kilap resin, dan kilap tanah.

II.4.2 Sifat Kimiawi Mineral

Menurut Massinai dkk., (2022), terdapat 4 kelompok besar mineral pembentuk batuan antara lain:

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 es (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 $(\text{CO}_3)^{2-}$, 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 Porositas Batuan

Ukuran partikel menjadi mempunyai peranan penting dalam distribusi porositas di dalam batuan. Partikel memiliki sifat yang unik yang secara langsung berkorelasi dengan ukuran, bentuk, dan distribusi ukuran. Distribusi partikel merupakan nilai rata-rata berdasarkan luas partikel yang terdefinisi pada sampel batuan.

Menurut Mojo dkk. (2018), porositas (ϕ) adalah perbandingan volume pori-pori batuan dengan volume total seluruh batuan. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen. Pori merupakan ruang di dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida, seperti air tawar atau asin, udara, atau gas bumi.

$$\phi = \frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume keseluruhan batuan}} \times 100 \quad (2.1)$$

Porositas batuan adalah perbandingan antara volume ruang pori pada batuan dengan volume total batuan. Porositas batuan menjadi salah satu parameter penting dalam beberapa studi seperti studi mengenai kualitas batubara sebagai reservoir *Coalbed Methane* dan studi mengenai pengaruh lingkungan terhadap klasifikasi karang.

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong diantara material atau bahan yang merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume yang bernilai antara 0 dan 1 atau sebagai persentase antara 0-100%. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, distribusi pori, sementasi, riwayat diagenetik dan komposisinya. Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara serbuk yang berupa pori-pori (ruang diantara serbuk yang selalu terisi oleh fluida seperti udara, minyak atau gas bumi) terhadap volume serbuk secara keseluruhan (Pertiwi dkk., 2015)

Menurut Rafdy dkk. (2018) terdapat pengklasifikasian porositas batuan, diantaranya:

Tabel 2.2 Klasifikasi Porositas Batuan (Rafdy dkk., 2018)

Klasifikasi Porositas	
0-5%	Dapat diabaikan
5-10%	Buruk
10-15%	Cukup
15-20%	Baik
20-25%	Sangat Baik
>25%	Istimewa

II.6 Metode *Fourier Transform Infrared*

Fourier transform infrared atau yang dikenal dengan FTIR merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, *coating* atau pelapisan, material semi konduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral. FTIR mampu menganalisa suatu material

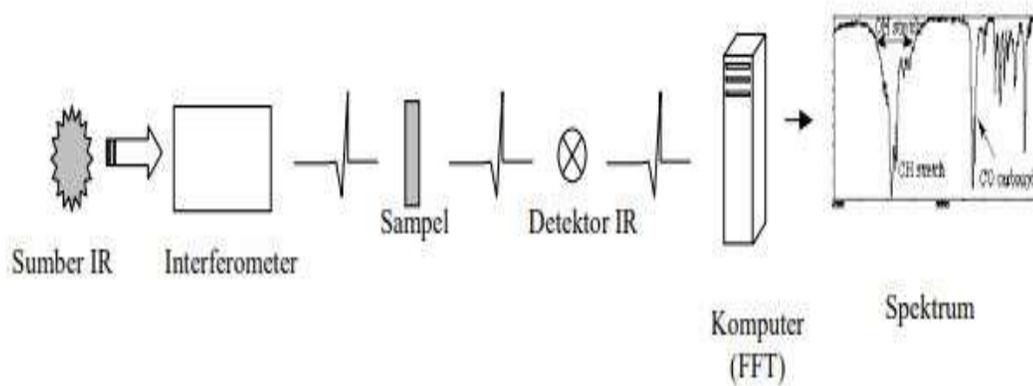
baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material (Lasut dkk., 2020).

Spektroskopi FTIR merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi Transformasi *Fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Anam dkk., 2007).

Analisis yang sering digunakan dalam identifikasi karakteristik gugus fungsi adalah dengan spektroskopi FTIR. Spektroskopi FTIR mampu membedakan spektrum dari dua sampel yang berbeda berdasarkan karakteristik struktur intramolekulernya dengan kemampuan menyerap cahaya dari suatu senyawa akan berbeda bergantung pada sifat fisikokimia, ikatan antar atom dalam senyawa dan karakteristik gugus fungsinya. Pola spektrum inframerah yang kompleks menyebabkan interpretasi secara langsung dan visual menjadi tidak mudah (Siregar dkk., 2016).

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 menjelaskan bahwa keterangan jalur keluaran tiap bagian sistem peralatan yaitu sumber cahaya inframerah menghasilkan cahaya polikromatik daerah inframerah, setelah melewati interferometer diubah menjadi sinyal interferogram, sinyal tersebut diserap sampel, yang diteruskan

mengenai sensor diubah dalam bentuk tegangan yang sebanding dengan pola interferogram juga, nantinya setelah dilakukan proses di komputer menggunakan perhitungan FFT akan diperoleh grafik spektrum hubungan antara intensitas serapan sampel dan panjang gelombang (Suseno dan Firdausi, 2008).



Gambar 2.4 Proses perubahan sinyal pada sistem peralatan spektroskopi FTIR (Suseno dan Firdausi, 2008).

Salah satu alat yang digunakan dalam karakterisasi spektroskopi inframerah yaitu spektrometer FTIR. Sampel yang akan dikarakterisasi menggunakan spektrometer FTIR akan diperoleh data berupa bilangan gelombang (cm^{-1}) dan transmitansi (%). Bilangan gelombang per cm sehingga dapat dinyatakan bahwa bilangan gelombang berbanding terbalik dengan panjang gelombang yang diserap detektor. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$\hat{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.2)$$

dengan,

$\hat{\nu}$ = bilangan gelombang (cm^{-1})

λ = panjang gelombang (μm)

Analisis pada Spektroskopi FTIR bergantung pada getaran molekul sehingga dapat digunakan untuk identifikasi mineral, karena mineral memiliki karakteristik spektra penyerapan dalam *mid-range* pada inframerah (4000-400 cm^{-1}). Selain itu, Spektroskopi FTIR memiliki kemampuan yang cepat dalam menganalisis, bersifat tidak merusak dan hanya dibutuhkan preparasi sampel yang sederhana (Rasyida dkk., 2014).

Tabel 2.3 Daerah gugus fungsi pada FTIR (Skoog dkk., 2016)

Gugus	Jenis Senyawa	Rumus Kimia	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	C_2H_4	3020-3080, 675-870
C-H	Aromatik	C_6H_6	300-3100, 675-870
C-H	Alkana	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	3300
C=C	Alkena	C_2H_4	1640-1680
C=C	Aromatik (cincin)	C_6H_6	1500-1600
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$, $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$	1080-1300
C=O	Aldehida, keton, asam karboksilat, ester	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$, $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$	1690-1760
O-H	Alkohol, fenol (monomer)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	3610-3640
O-H	Alkohol, fenol (ikatan H)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam Karboksilat	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$	300-3600 (lebar)
N-H	Amina	RNH_2	3310-3500
C-N	Amina	RNH_2	1180-1360
NO_2	Nitro	NO_2	1515-1560, 1345-1385

Menurut Silverstein dkk. (1991) panjang gelombang pada radiasi inframerah dibagi menjadi tiga bagian, seperti berikut:

Tabel 2.4 Pembagian panjang gelombang pada radiasi inframerah (Silverstein dkk., 1991)

Daerah	Panjang Gelombang (μm)	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
<i>Near</i> (dekat)	0,78-2,5	12800-4000
<i>Middle</i> (menengah)	2,5-50	4000-200
<i>Far</i> (jaur)	50-1000	200-10

II.7 Metode *Scanning Electron Microscope*

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek *solid* secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian. SEM juga memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek (Lasut dkk., 2020).

Menurut Walewangko dkk. (2021) terdapat empat fungsi utama dari SEM antara lain untuk mengetahui informasi-informasi berikut:

- a. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- b. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit* (IC) dan *chip*, dan sebagainya).

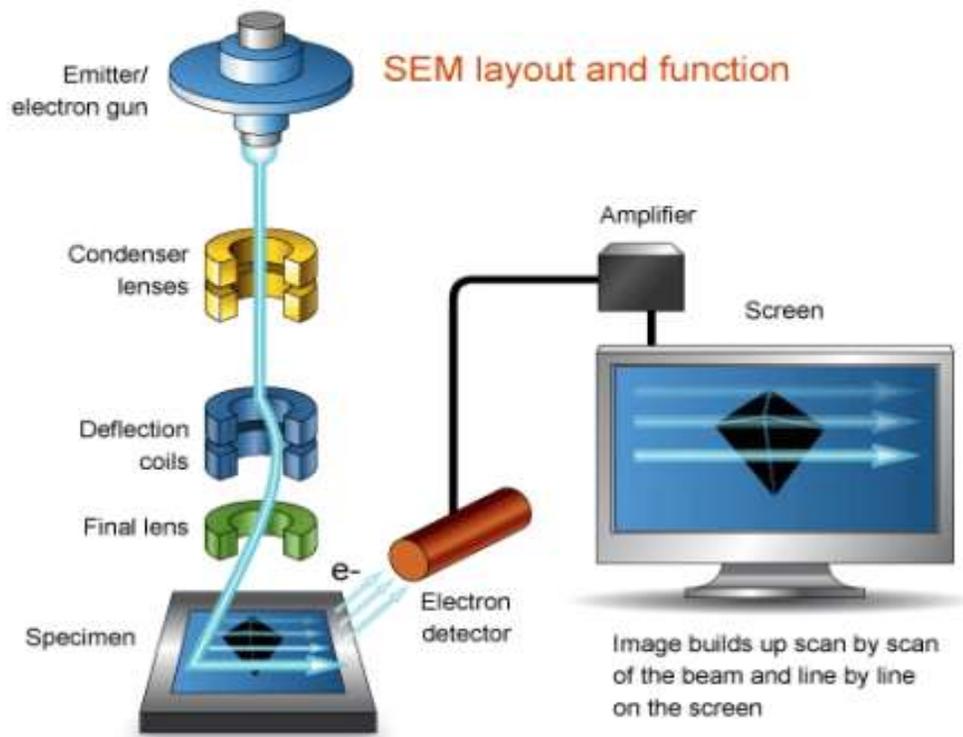
- c. Komposisi, yaitu data semi kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
- d. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

SEM memanfaatkan interaksi antara elektron sumber dengan elektron penyusun sampel yang akan menghasilkan emisi elektron ataupun foton. Hasil dari interaksi tersebut akan direkam oleh detektor ataupun layar. Hasil data rekaman tersebut dapat divisualisasikan sehingga dapat menghasilkan morfologi sampel (Oktamuliani dkk., 2015).

Konsep dasar dari SEM ini sebenarnya disampaikan oleh Max Knoll (penemu SEM) pada tahun 1935. SEM bekerja berdasarkan prinsip *scan* sinar elektron pada permukaan sampel, yang selanjutnya informasi yang didapatkan diubah menjadi gambar. Imajinasi mudahnya gambar yang didapat mirip sebagaimana gambar pada televisi. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut *discan* dengan sinar elektron (Widiyastuti, 2016).

Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek

yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Widiyastuti, 2016).



Gambar 2.5 Komponen SEM (Muhammed dan Abdullah, 2018)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 terdapat 6 komponen yang ada pada mesin SEM yaitu sebagai berikut:

1. Sebuah sumber yang digunakan untuk menghasilkan elektron dengan energi yang tinggi disebut *electron gun*.
2. *Electromagnetic lenses* yang dilalui dua atau lebih lensa elektromagnetik.
3. *Scan coils* untuk memindai defleksi.

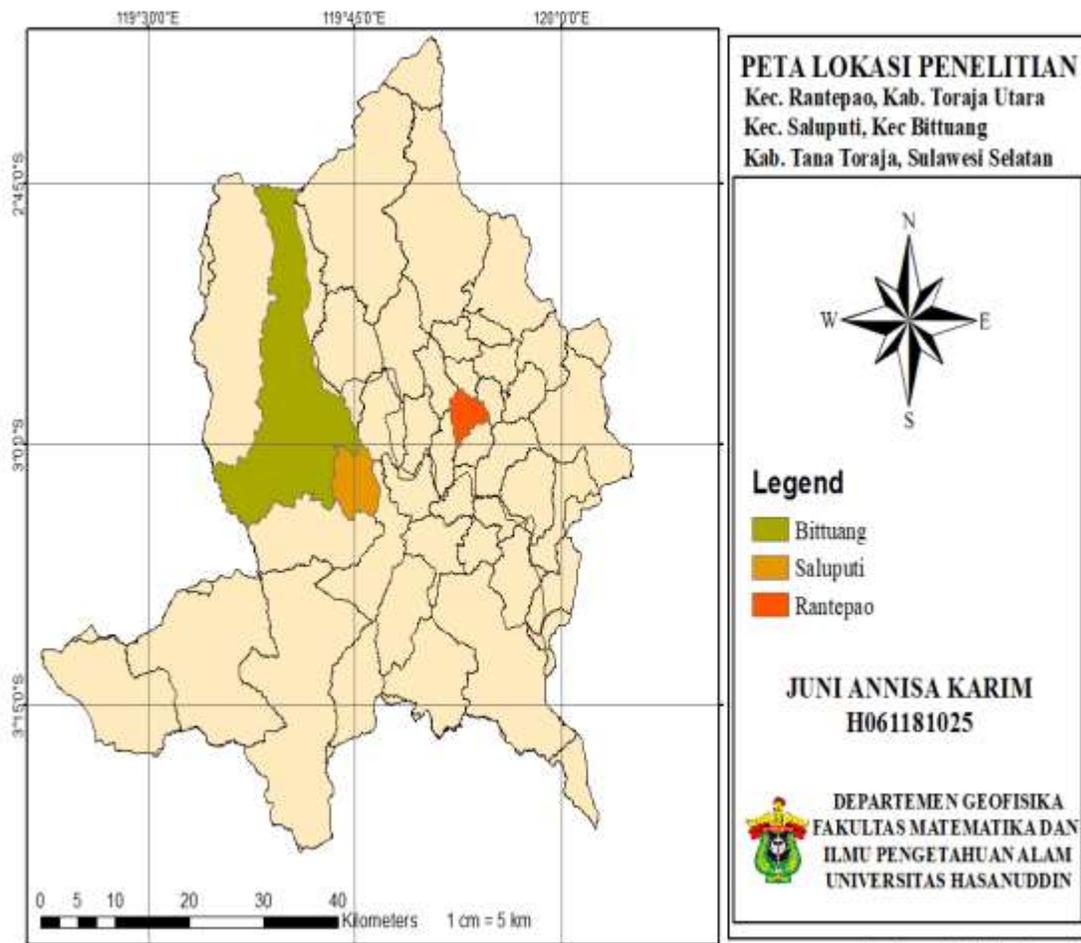
4. Detektor elektron yang terdiri dari *backscattered* dan *secondary electron*.
5. Ruang untuk sampel.
6. Sistem komputer yang terdiri dari tampilan layar untuk menampilkan gambar yang dipindai dan *keyboard* untuk mengontrol berkas elektron.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea Indah, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan pada bulan Januari-Mei 2022.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian