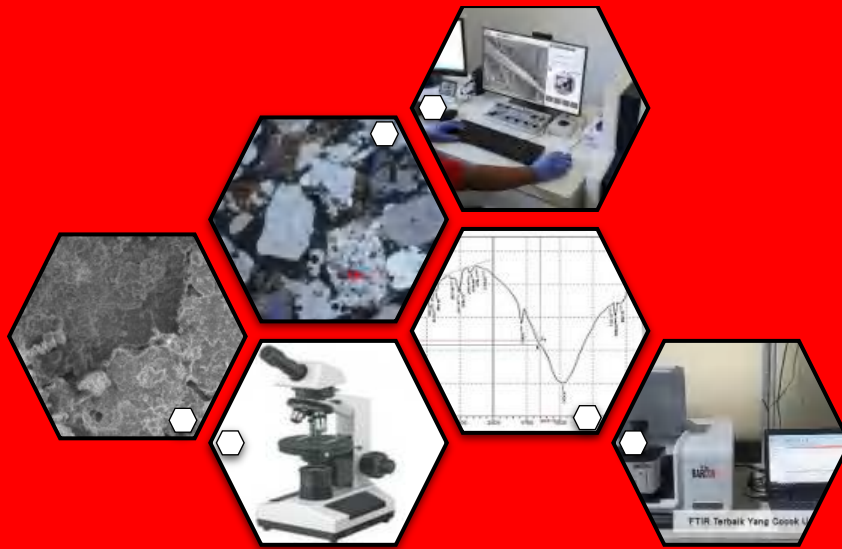


ANALISIS KANDUNGAN MINERAL DAN PERBANDINGAN POROSITAS BATUAN DI ANABANUA KABUPATEN BARRU



NUR SALAMAH WASAHUA
H061 20 1036



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PROGRAM STUDI GEOFISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

**ANALISIS KANDUNGAN MINERAL DAN PERBANDINGAN POROSITAS
BATUAN DI ANABANUA KABUPATEN BARRU**

**NUR SALAMAH WASAHUA
H061 20 1036**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
; MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**ANALISIS KANDUNGAN MINERAL DAN PERBANDINGAN POROSITAS
BATUAN DI ANABANUA KABUPATEN BARRU**

**NUR SALAMAH WASAHUA
H061 20 1036**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

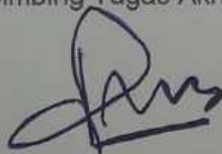
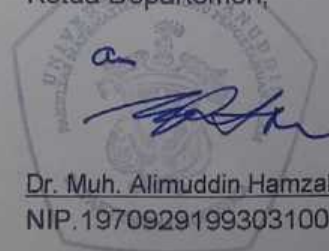
ANALISIS KANDUNGAN MINERAL DAN PERBANDINGAN POROSITAS
BATUAN DI ANABANUA KABUPATEN BARRU

yang telah disusun dan di ajukan oleh

NUR SALAMAH WASAHUA

H061 20 1036

Skripsi,

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada tanggal bulan
tahun dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
padaProgram Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
MakassarMengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,Prof. Dr. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv., IPM
NIP. 161989031006Mengetahui:
Ketua Departemen,Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng.
NIP. 19709291993031003Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Kandungan Mineral dan Perbandingan Porositas Batuan di Anabanua Kabupaten Barru" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv., IPM sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 13 Agustus 2024



NUR SALAMAH WASAHUA
H061 20 1036



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv., IPM** sebagai pembimbing utama saya, Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** sebagai dosen penguji dalam pelaksanaan seminar hasil dan sidang skripsi Geofisika saya. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka, penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh **Dosen Departemen Geofisika, Staf Departemen Geofisika** dan **Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** atas segala ilmu yang telah diajarkan serta pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.

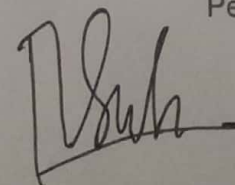
Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh gelar sarjana. Saya juga mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas doa, pengorbanan, dan motivasi yang diberikan oleh kedua orang tua terkasih, Ibunda **Asma Kohunussa** dan Ayahanda **Samayang Wasahua**, serta keluarga besar saya. Gelar ini saya persembahkan untuk kalian.

Kepada teman-teman **Geofisika 20**, terima kasih telah menjadi *partner* yang baik selama perkuliahan, terima kasih juga kepada teman-teman dalam grup **Pejuang Skripsi** yang telah menjadi tempat berkeluh kesah dan bertukar pikiran serta *support system* yang membuat saya yakin bisa menyelesaikan skripsi ini, kepada **Teman KKN 109 PS ENREKANG** terima kasih karena menjadi teman baik selama kehidupan KKN. Serta kepada semua yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terima kasih atas semua kebaikan dan dukungannya.

Last but not least, terima kasih untuk diri ini karena tetap sabar, ikhlas, dan yakin dapat menyelesaikan ujian yang Tuhan berikan. Terima kasih karena sampai detik ini masih percaya bahwa badai yang datang pasti akan berlalu, kerja keras anda sepadan dan anda pantas untuk mendapatkan semua hal baik dalam hidup ini.

Makassar, 13 Agustus 2024

Penulis



Nur Salamah Wasahua



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

NUR SALAMAH WASAHUA. **Analisis Kandungan Mineral dan Perbandingan Porositas Batuan di Anabanua Kabupaten Barru** (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv., IPM).

Latar Belakang. Kabupaten Barru memiliki kondisi geologi yang unik dengan empat urutan sedimen dari berbagai formasi geologis, yang memberikan potensi sumber daya mineral yang beragam. Namun, kandungan mineral di daerah tersebut masih belum sepenuhnya diketahui. Selain itu, analisis perbandingan porositas batuan yang dihasilkan oleh SEM dan mikroskop polarisasi masih juga minim dilakukan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi dan mengetahui perbandingan hasil porositas batuan di Anabanua, Kabupaten Barru yang dihasilkan oleh metode SEM dan mikroskop polarisasi. **Metode.** Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yakni: 1) menganalisis hasil FTIR berupa grafik transmisi untuk menentukan gugus fungsi dan kandungan mineral; 2) menganalisis hasil citra SEM yang diolah menggunakan software *Origin 2024b* untuk membuat data matriks, kurva 3D, dan *gray scale map*, yang akan digunakan dalam proses perhitungan porositas batuan dengan *Microsoft Excel 2019*; dan 3) menganalisis hasil citra mikroskop polarisasi dengan menghitung persentase porositas berdasarkan citra ruang pori di setiap medan pandang. **Hasil.** FTIR mengidentifikasi gugus fungsi dominan pada sampel adalah Si-O, Si-O-Al, Si-O-Si, Si-O-Fe, H-O-H, C-H, Ca-Mg-O, dan Al---O-H yang menunjukkan kandungan mineral kuarsa (AB 1, AB 3, dan AB 5), kalsit (AB 2), dan karbon (AB 4). Perbandingan porositas menunjukkan hasil yang signifikan berbeda antara SEM (51,29% hingga 71,16%, sangat baik) dan mikroskop polarisasi (0% hingga 10%, buruk). **Kesimpulan.** Analisis FTIR menunjukkan kandungan mineral yang beragam pada sampel batuan dan perbandingan porositas batuan memperlihatkan perbedaan signifikan antara hasil SEM dan mikroskop polarisasi, dimana SEM memberikan informasi lebih detail tentang volume ruang antar partikel dibandingkan dengan mikroskop polarisasi yang lebih bergantung pada analisis visual.

Kata kunci: mineral, *Fourier Transform Infrared*, *Scanning Electron Microscope*, mikroskop polarisasi, gugus fungsi, porositas batuan



ABSTRACT


NUR SALAMAH WASAHUA. **Analysis of Mineral Content and Comparison of Rock Porosity in Anabanua, Barru Regency** (supervised by Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv., IPM).

Background. Barru Regency features unique geological conditions with four sedimentary sequences from various geological formations, providing a diverse potential for mineral resources. However, the mineral content in the area is not yet fully understood. Additionally, comparative analysis of rock porosity using SEM and polarizing microscopy has been limited. **Objective.** This study aims to determine the mineral content based on functional groups and to compare rock porosity results in Anabanua, Barru Regency, obtained using SEM and polarizing microscopy methods. **Method.** The research is divided into three stages: 1) analyzing FTIR results in the form of transmission spectra to determine functional groups and mineral content; 2) analyzing SEM images processed with Origin 2024b software to create matrix data, 3D curves, and gray scale maps, which will be used for rock porosity calculation with Microsoft Excel 2019; and 3) analyzing polarizing microscopy images by calculating the porosity percentage based on pore space images in each field of view. **Results.** FTIR identified the dominant functional groups in the samples as Si-O, Si-O-Al, Si-O-Si, Si-O-Fe, H-O-H, C-H, Ca-Mg-O, and Al-O-H, indicating the presence of quartz (AB 1, AB 3, and AB 5), calcite (AB 2), and carbon (AB 4). Porosity comparison showed significant differences between SEM (51.29% to 71.16%, very good) and polarizing microscopy (0% to 10%, poor). **Conclusion.** FTIR analysis shows diverse mineral content in rock samples, and the comparison of rock porosity reveals significant differences between SEM and polarizing microscopy results, with SEM providing more detailed information on the volume of pore space between particles compared to polarizing microscopy, which relies more on visual analysis.

Keywords: minerals, Fourier Transform Infrared, Scanning Electron Microscope, polarizing microscopy, functional groups, rock porosity



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
SKRIPSI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2.1 Tujuan.....	2
1.2.2 Manfaat.....	2
1.3 Landasan Teori.....	2
1.3.1 Geologi Regional.....	2
1.3.2 Batuan.....	4
1.3.2.1 Batuan Sedimen.....	5
1.3.2.2 Batuan Metamorf.....	6
1.3.3 Mineral.....	6
1.3.3.1 Sifat Fisik Mineral.....	7
1.3.3.2 Sifat Kimiawi Mineral.....	8
1.3.4 Porositas Batuan.....	9
1.3.5 Metode Fourier Transform Infrared (FTIR).....	10
1.3.6 Metode Scanning Electron Microscope (SEM).....	12
1.3.7 Metode Mikroskop Polarisasi.....	13
BAB II METODE PENELITIAN	14
	14
.....	14
.....	14
.....	15
.....	15

2.3.1 Studi Literatur.....	15
2.3.2 Tahap Pengambilan Sampel.....	15
2.3.3 Tahap Preparasi Sampel	15
2.3.4 Tahap Karakterisasi Sampel.....	16
2.4 Bagan Alir Penelitian.....	17
BAB III HASIL PENELITIAN	18
3.1 Hasil Fourier Transform Infrared (FTIR)	18
3.2 Perbandingan Hasil Citra Scanning Electron Microscope dengan Citra Mikroskop Polarisasi.....	22
BAB IV PEMBAHASAN	24
4.1 Analisis Kandungan Mineral Berdasarkan Gugus Fungsi	24
4.2 Analisis Perbandingan Hasil Porositas Batuan antara SEM dengan Mikroskop Polarisasi.....	30
BAB V KESIMPULAN	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Distribusi Litologi di Wilayah Barru	3
Gambar 2. Siklus Batuan.....	5
Gambar 3. Deret Bowen.....	6
Gambar 4. Prinsip Kerja FTIR dan Proses Perubahan Sinyal pada Sistem Peralatan Spektroskopi FTIR	12
Gambar 5. Prinsip Kerja SEM	12
Gambar 6. Mikroskop Polarisasi Nikon LV100N	13
Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian	14
Gambar 8. Bagan Alir Penelitian	17
Gambar 9. Grafik Transmisi Terhadap Bilangan Gelombang FTIR Sampel AB 1	18
Gambar 10. Grafik Transmisi Terhadap Bilangan Gelombang FTIR Sampel AB 2.....	19
Gambar 11. Grafik Transmisi Terhadap Bilangan Gelombang FTIR Sampel AB 3.....	20
Gambar 12. Grafik Transmisi Terhadap Bilangan Gelombang FTIR Sampel AB 4.....	21
Gambar 13. Grafik Transmisi Terhadap Bilangan Gelombang FTIR Sampel AB 5.....	22
Gambar 14. (a) Hasil Citra SEM AB 1, (b) Hasil Citra Mikroskop Polarisasi AB 1, (c) Hasil 3D Citra SEM, dan (d) Scala Map Citra SEM	23
Gambar 15. (a) Hasil Citra SEM AB 2, (b) Hasil Citra Mikroskop Polarisasi AB 2, (c) Hasil 3D Citra SEM, dan (d) Scala Map Citra SEM	24
Gambar 16. (a) Hasil Citra SEM AB 3, (b) Hasil Citra Mikroskop Polarisasi AB 3, (c) Hasil 3D Citra SEM, dan (d) Scala Map Citra SEM	25
Gambar 17. (a) Hasil Citra SEM AB 4, (b) Hasil Citra Mikroskop Polarisasi AB 4, (c) Hasil 3D Citra SEM, dan (d) Scala Map Citra SEM	26
Gambar 18. (a) Hasil Citra SEM AB 5, (b) Hasil Citra Mikroskop Polarisasi AB 5, (c) Hasil 3D Citra SEM, dan (d) Scala Map Citra SEM	27



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala Kekerasan Mineral.....	7
Tabel 2. Klasifikasi Porositas Batuan	9
Tabel 3. Daerah Serapan Gugus Fungsi pada FTIR.....	10
Tabel 4. Pita Serapan Mineral pada FTIR	11
Tabel 5. Daerah Serapan Senyawa Sampel AB 1	18
Tabel 6. Daerah Serapan Senyawa Sampel AB 2	19
Tabel 7. Daerah Serapan Senyawa Sampel AB 3	20
Tabel 8. Daerah Serapan Senyawa Sampel AB 4	21
Tabel 9. Daerah Serapan Senyawa Sampel AB 5	22
Tabel 10. Hasil Persentase Porositas Batuan.....	30



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Preparasi Sampel	35
Lampiran 2. Hasil Metode FTIR	36
Lampiran 3. Hasil Metode SEM dan Hasil Olah Data Menggunakan Origin	41
Lampiran 4. Hasil Metode Mikroskop Polarisasi.....	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Barru merupakan salah satu lokasi yang memiliki banyak potensi sumberdaya mineral yang beragam, hal ini disebabkan oleh kondisi geologi dari daerah tersebut. Secara geologi wilayah Barru mengandung empat urutan sedimen yang terdiri dari berbagai formasi geologis, di bagian bawah, terdapat endapan *Flysch Kretaseus* dari Formasi Balangbaru yang dilapisi oleh sedimen daratan Tersier dari Mallawa, kemudian di atasnya terdapat karbonat redeposisi perairan laut dangkal dari Formasi Tonasa, dan di bagian paling atas terdapat sedimen vulkanik klasik dari Formasi Camba (Jaya et al., 2021).

Kompleksnya kondisi geologi wilayah Barru membuat daerah ini memiliki berbagai jenis batuan dengan mineral penyusun yang berbeda-beda. Kandungan mineral tersebut dapat berupa unsur logam ataupun non logam dengan porositas batuan yang berbeda. Mengacu pada hirarki geologi, batuan dan mineral itu saling berhubungan erat hal ini dikarenakan mineral merupakan syarat utama pembentukan batuan, mineral terbentuk dari kristal-kristal yang berasal dari unsur atom dan senyawa. Namun tidak semua mineral memiliki kristal hal ini tergantung genesa atau proses pembentukannya (Rey dan Poluakan, 2020). Sedangkan menurut Ariyanto dkk. (2020) porositas batuan merupakan perbandingan antara volume ruang pori pada batuan dengan volume total batuan. Terdapat beberapa metode yang sering digunakan untuk menganalisa mineral batuan, seperti x-ray diffraction, x-ray fluorescen, energy dispersive x-ray, dan lain sebagainya.

Berdasarkan penelitian Yasir dkk. (2021) terdapat salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui gugus fungsi mineral suatu batuan yaitu metode Fourier Transform Infrared (FTIR) yang memiliki kemampuan menganalisa dengan cepat gugus fungsi mineral batuan dan bersifat tidak merusak serta hanya membutuhkan preparasi sampel yang sederhana. Sedangkan untuk mengetahui porositas batuan dapat menggunakan beberapa metode seperti Scanning Electron Microscope (SEM) dan mikroskop polarisasi. Metode SEM dan mikroskop polarisasi mempunyai fungsi yang sama dalam analisis batuan yaitu untuk mengetahui bagaimana kondisi struktur morfologi batuan dan porositasnya, namun kedua metode ini tentu saja memiliki kelemahan dan keunggulannya masing-masing sehingga perlu dianalisis perbandingan porositas antara SEM dan mikroskop polarisasi untuk menilai efektivitas masing-masing metode dalam mengukur porositas material tertentu. Hasil analisis ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi observasi mikroskopik yang lebih akurat dan efektif dalam memahami struktur mikroskopik, selain itu informasi terkait kandungan mineral batuan penting untuk diketahui karena dapat n terkait potensi ekonomi berupa sumber daya mineral dan sifat-



difokuskan pada kandungan mineral dan perbandingan porositas an oleh metode SEM dan mikroskop polarisasi dengan lokasi abanua, Dusun Dacippong, Kabupaten Barru. Lokasi penelitian ini berdaya mineral yang belum sepenuhnya diketahui, selain itu hasil

porositas batuan antara metode SEM dan mikroskop polarisasi masih minim dilakukan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian terkait perbandingan porositas batuan yang didapatkan dua metode tersebut dan apa saja kandungan mineral pada batuan daerah yang diteliti, sehingga dapat memberikan informasi terkait bagaimana hasil perbandingan porositas batuan antara kedua metode dan juga dapat memberikan informasi terkait mineral batuan yang merujuk pada pemanfaatan batuan tersebut.

1.2 Tujuan Dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan mineral berdasarkan gugus fungsi batuan di Anabanua, Kabupaten Barru.
2. Mengetahui bagaimana perbandingan hasil porositas batuan antara metode SEM dan mikroskop polarisasi di Anabanua, Kabupaten Barru.

1.2.2 Manfaat

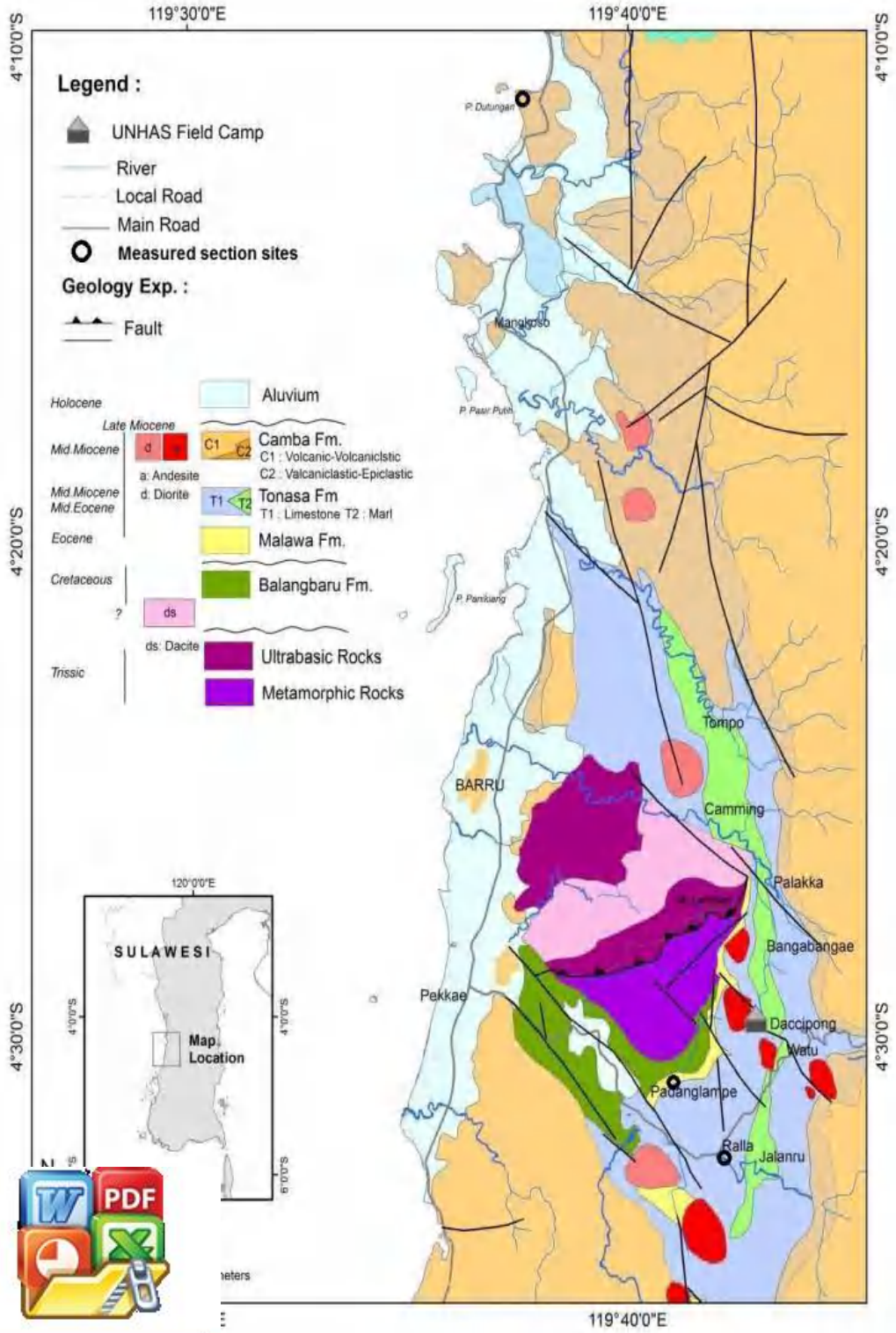
Penelitian mengenai analisis kandungan mineral menggunakan metode FTIR dan perbandingan porositas batuan antara hasil SEM dengan mikroskop polarisasi memberikan manfaat berupa informasi mengenai porositas dan kandungan mineral apa saja yang terkandung dalam batuan di daerah penelitian sehingga dapat membantu dalam proses pemanfaatan batuan tersebut baik dari segi konstruksi, mitigasi bencana, maupun sumber daya mineral.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional

Secara geologi terdapat empat unit batuan sedimen telah diidentifikasi di wilayah Barru, yaitu sedimen *Flysch Kretaseus* dari Balangbaru, sedimen daratan dari Formasi Mallawa, batuan karbonat dangkal dan campuran dari Formasi Tonasa (Wilson & Bosence, 1996), serta sedimen vulkaniklastik dari Formasi Camba. Struktur geologi di Kabupaten Barru cukup kompleks dan terdiri dari bagian kompleks tektonik pra-Tersier di bagian Selatan Pulau Sulawesi. Wilayah ini terdiri dari batuan dasar metamorfik, ultrabasa, dasit, dan sedimen laut dalam Formasi Balangbaru yang berumur Kapur, serta sedimen *terrestrial-marine* Formasi Mallawa yang berumur Eosen dan paparan karbonat batugamping Formasi Tonasa yang berumur Eosen hingga Miosen Tengah. Unit-unit litologi ini memiliki karakteristiknya sendiri (Sukamto, 1982).





Optimized using trial version
www.balesio.com

Peta Distribusi Litologi di Wilayah Barru (Jaya et al., 2021)

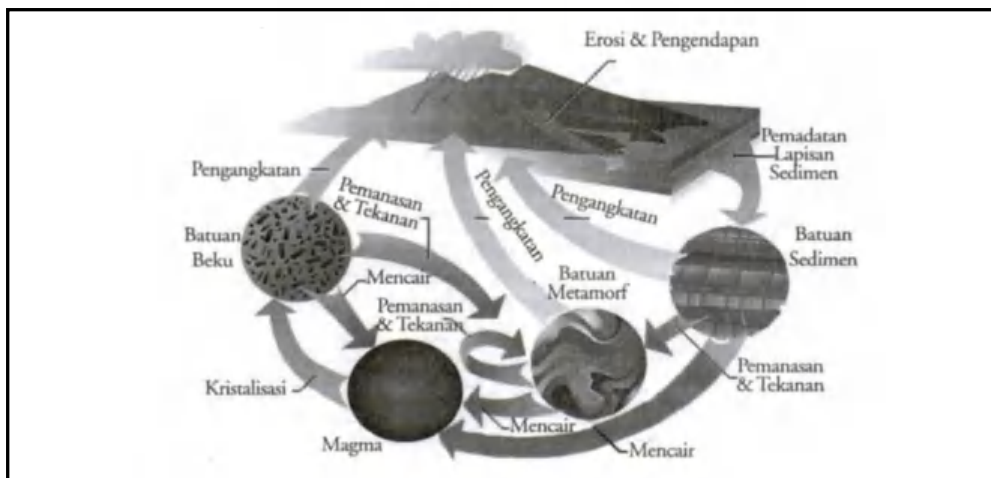
Berdasarkan **Gambar 1.** pada bagian atas lapisan penutup terdiri dari batuan *marine volcanic* hingga *non-marine* yang berasal dari Formasi Camba berumur Miosen. Kemudian terdapat sedimen laut dangkal batugamping Formasi Tonasa yang terendapkan bersamaan dengan blok sesar (*faulted block*) sejak kala Eosen, sehingga beberapa fasiesnya adalah sedimen redeposisi. Pengendapan sedimen laut dangkal dan sedimen karbonat dikontrol oleh segmen-segmen rifting (*rifting segmentation*) (Jaya et al., 2021).

Menurut Sukamto (1982) secara regional, daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi yang secara stratigrafi lembar geologi ini terdiri dari beberapa satuan batuan yang berbeda, yaitu: Batuan Malihan (s): Terdiri dari sekis dan genes, serta mengandung mineral seperti glaukupan, garnet, epidot, muscovit, dan klorit. Satuan batuan ini umumnya tersebar miring ke arah Timur laut, sebagian terbreksikan, dan tersesarkan naik ke arah Barat daya dan tebalnya tidak kurang dari 2000 m. Batuan Ultrabasa (Ub): Ini terdiri dari peridotit yang sebagian besar terserpentinatkan. Batuan ini berwarna hijau tua hingga kehitaman dan kebanyakan terbreksikan dan tererosi melalui sesar yang naik ke arah Barat daya. Tebalnya tidak kurang dari 2500 meter dan bersentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Komplek Melange (m): Ini adalah kumpulan batuan campuran yang secara tektonik terdiri dari gres, breksi, konglomerat, batupasir, dan lain-lain. Batuan ini tersebar miring ke arah Timur laut dan terdorong naik ke arah Barat daya. Tebalnya tidak kurang dari 1750 m dan bersentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Formasi Tonasa (Temt): Ini terdiri dari batugamping koral pejal yang sebagian tererosi. Batuan ini berwarna putih, coklat muda, dan kelabu muda, dan berisi batugamping bioklastik dan kalkarenit. Di daerah Ralla, ditemukan batugamping yang mengandung banyak serpihan sekis dan batuan ultramafik. Tebalnya diperkirakan tidak kurang dari 3000 meter dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Diorit-granodiorit (d): Ini adalah terobosan diorit dan granodiorit yang sebagian besar berupa stok dan sebagian retas. Kebanyakan bertekstur porfiri dan berwarna kelabu muda sampai kelabu. Tebalnya tidak kurang dari 1750 m dan tererosi melalui sesar di sekitarnya.

1.3.2 Batuan

Batuan adalah salah satu elemen kulit bumi yang merupakan kumpulan agregasi ilmiah dari beberapa mineral, baik yang terkonsolidasi maupun tidak terkonsolidasi. Terdapat tiga jenis batuan berdasarkan proses dan lingkungan pembentukannya yaitu batuan beku (*igneous*), batuan sedimen (*sedimentary*) dan batuan *metamorphic* atau metamorf (Massinai et al., 2022). Proses pembentukan ketiga batuan tersebut membentuk suatu siklus yang dinamakan siklus daur batuan, siklus ini menggambarkan perubahan batu akibat perubahan suhu hingga menjadi jenis batuan lainnya menjadi magma (Tantowi dkk., 2018).





Gambar 2. Siklus Batuan (Johannes dkk., 2018)

Berdasarkan **Gambar 2**. Batuan pertama yang terbentuk dari proses siklus batuan adalah batuan beku, batuan ini terbentuk dari proses pendinginan magma dengan atau tanpa proses kristalisasi yang kemudian mengalami proses pengangkutan, erosi dan pengendapan sehingga membentuk batuan sedimen. Batuan beku yang tidak mengalami proses pengangkutan dapat berubah menjadi batuan metamorf akibat suhu dan tekanan yang tinggi. Begitupun batuan sedimen dapat berubah menjadi batuan metamorf, batuan metamorf juga dapat berubah menjadi batuan sedimen jika batuan ini mengalami proses pengangkutan, erosi dan kemudian terendapkan (Sultoni dkk., 2019).

1.3.2.1 Batuan Sedimen

Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk di permukaan bumi dengan temperatur dan tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan batuan metamorf. Batuan ini berasal dari batuan yang mengalami proses pelapukan dan erosi. Material hasil pelapukan tersebut kemudian diangkut oleh air atau udara, diendapkan, dan terkumpul di cekungan pengendapan sehingga membentuk sedimen. Selanjutnya, material sedimen ini mengalami proses pemadatan, pengerasan, dan litifikasi, sehingga terbentuklah batuan sedimen (Safitri dan Aljarwi, 2018). Terdapat pengelompokan batuan sedimen menurut beberapa ahli. Salah satunya adalah berdasarkan Pettijohn (1975), O'Dunn, dan Sill (1986). Mereka membagi batuan sedimen menjadi dua kelompok besar berdasarkan teksturnya, yaitu:

1. Batuan Sedimen Klastik

Batuan sedimen klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk dari pengendapan material asal. Batuan asal ini bisa berupa batuan beku, metamorf, atau organik. Pengendapan batuan sedimen ini terjadi melalui proses pengendapan material batuan jenis ini bersifat fragmental atau terdiri dari butiran batuan. Ukuran butiran dalam batuan klastik sangat bervariasi, mulai dari sangat halus seperti pada batuserpih sampai dengan 2 mm seperti pada



2. Batuan Sedimen Non-Klastik

Batuan sedimen non-klastik adalah jenis batuan sedimen yang terbentuk dari penguapan larutan, akumulasi bahan organik, ataupun keduanya. Pembentukan batuan ini dapat terjadi melalui proses kimiawi, biologi, organik, atau kombinasi dari keduanya, yang dikenal sebagai biokimia. Batuan sedimen non-klastik memainkan peran penting dalam geologi karena dapat memberikan informasi tentang kondisi lingkungan pada saat pembentukannya, seperti salinitas air, dan aktivitas biologis di masa lalu. Ukuran butir pada batuan ini lebih halus dibandingkan batuan sedimen klastik, yang terdiri dari mikrokristalin atau sisa-sisa organisme (Zakri dan Saldy, 2020).

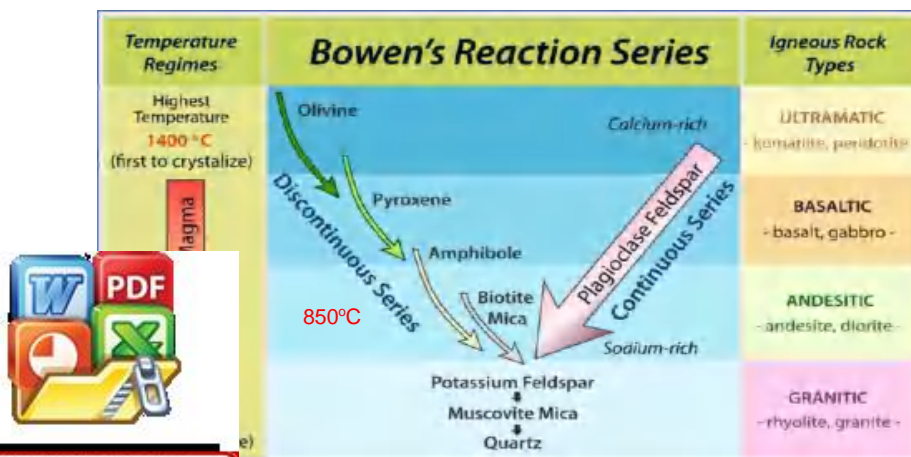
1.3.2.2 Batuan Metamorf

Batuan metamorf adalah jenis batuan yang terbentuk dari transformasi atau perubahan dari tipe batuan yang sudah ada sebelumnya melalui proses yang disebut metamorfisme, yang berarti perubahan bentuk. Batuan asal atau protolit yang terkena panas lebih dari 150°C dan tekanan ekstrem 1500 bar akan mengalami perubahan fisik dan kimia yang signifikan. Protolit ini bisa berupa batuan sedimen, batuan beku, atau batuan metamorf (Safitri dan Aljarwi, 2018).

1.3.3 Mineral

Mineral merupakan padatan anorganik yang terbentuk secara alami dengan susunan atom yang teratur dan memiliki komposisi kimia tertentu. Mineral pada umumnya mempunyai ikatan kimia antara unsur utama dengan unsur-unsur pembentukan lainnya, hal ini dikarenakan mineral-mineral tersebut terbentuk bersamaan dengan mineral lainnya yang berasal dari satu sumber yang sama. Unsur pembentukan mineral yang berikatan dengan unsur utama mineral akan digunakan untuk menentukan klasifikasi mineral tersebut (Rey dan Poluakan, 2020).

Pembentukan mineral erat kaitannya dengan deret Bowen hal ini dikarenakan tidak semua mineral membentuk batuan secara bersamaan dalam kondisi yang sama, ada beberapa terbentuk lebih awal pada suhu tinggi. Pola kristalisasi batuan inilah yang mengikuti garis Bowen seperti pada **Gambar 3**. di bawah ini:



Gambar 3. Deret Bowen (Massinai et al., 2022)

Pada **Gambar 3**, penentuan mineral di bawah permukaan yang terbentuk pertama kali adalah mineral yang sangat tidak stabil dan mudah berubah menjadi mineral lainnya. Temperatur terus menurun dan proses pembentukan mineral berjalan sesuai dengan perubahan suhu. Mineral yang terbentuk pada suhu yang lebih rendah cenderung lebih stabil. Saat temperatur magma menurun, olivin adalah mineral pertama yang terbentuk, diikuti oleh pyroxene, amphibole, dan biotite mica, yang muncul dalam deret diskontinu. Sementara itu, pada deret kontinu, pembentukan dimulai dengan mineral Ca-Plagioklas dan diakhiri dengan pembentukan Na-Plagioklas. Mineral K-Feldspar kemudian terbentuk pada penurunan suhu selanjutnya, diikuti oleh muscovite, dan terakhir terbentuknya mineral kuarsa (Massinai et al., 2022).

1.3.3.1 Sifat Fisik Mineral

Secara umum untuk menentukan suatu mineral tidak hanya dilakukan dengan memperhatikan satu sifat fisik saja, melainkan beberapa sifatnya digabungkan kemudian dianalisis. Menurut Panchuk (2019), ada enam sifat fisik mineral yang dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Bentuk kristal

Suatu mineral cenderung memiliki bentuk kristal yang khas jika dapat berkembang tanpa hambatan. Namun, jika pertumbuhannya terganggu, bentuk kristalnya akan terpengaruh. Setiap mineral memiliki ciri khas bentuk kristal yang merupakan hasil dari susunan kristal di dalamnya.

2. Massa jenis

Setiap mineral memiliki berat jenis tertentu, yang ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya dan kepadatan ikatan unsur-unsur tersebut di dalam kristal.

3. Bidang belah

Mineral cenderung pecah melalui bidang yang memiliki arah tertentu, yang ditentukan oleh susunan atom-atomnya. Bidang belah ini merupakan area "lemah" pada mineral.

4. Warna

Meskipun warna bukan penciri utama untuk membedakan mineral, beberapa warna khas dapat digunakan untuk mengenali unsur tertentu dalam mineral tersebut.

5. Kekerasan

Salah satu cara untuk mendiagnosa mineral adalah dengan mengetahui tingkat kekerasannya. Kekerasan mineral adalah resistensi terhadap abrasi atau goresan. Skala kekerasan mineral yang dikenal sebagai Skala Kekerasan Mohs, berkisar dari yang paling lunak (skala 1) hingga yang paling keras (skala 10) seperti yang tertampil pada **Tabel 1**, di bawah ini.

Tabel 1. Skala Kekerasan Mineral (Massinai et al., 2022)

Kekerasan (<i>Hardness</i>)	Mineral
	<i>Talc</i>
	<i>Gypsum</i>
	<i>Calcite</i>
	<i>Fluorite</i>
	<i>Apatite</i>
	<i>Orthoclase</i>

7	<i>Quartz</i>
8	<i>Topaz</i>
9	<i>Corumdum</i>
10	<i>Diamond</i>

6. Kilap

Sifat fisik kilap pada batuan merujuk pada kemampuan permukaan batuan untuk memantulkan cahaya. Kilap pada batuan dapat bervariasi tergantung pada komposisi mineral yang membentuk batuan tersebut. Ada beberapa jenis kilap yang umum ditemui pada batuan, yaitu:

a. Kilap Logam

Kilap logam adalah kilap yang dari permukaan batuan dapat memantulkan cahaya seperti logam. Kilap ini sering kali terlihat pada batuan yang mengandung mineral-logam seperti pirit atau magnetit.

b. Kilap Non-Logam

Kilap ini muncul dari permukaan mineral yang tidak memiliki sifat refleksi seperti logam, sehingga cahaya yang dipantulkan tidak memiliki karakteristik bersinar atau mengkilap seperti logam. Contohnya kilap mutiara (*pearlescent*), kilap kaca (*vitreous*), kilap sutera (*silky*), kilap resin (*resinous*), dan kilap tanah (*dull*). Kilap ini ditentukan oleh komposisi mineral dan tekstur permukaan batuan.

1.3.3.2 Sifat Kimiawi Mineral

Berdasarkan komposisi kimianya, ada delapan kelompok mineral yang dapat dibedakan, yaitu oksida, sulfida, sulfat, *native elemen*, halid, karbonat, hidroksida, dan fosfat. Namun, hanya sebagian kecil yang berperan dalam proses pembentukan batuan. Mineral-mineral yang relevan untuk pembentukan batuan disebut mineral pembentuk batuan, yang menjadi komponen utama batuan dalam kerak dan mantel bumi. Mineral pembentuk batuan dikelompokkan menjadi silikat, oksida, sulfida, karbonat, dan sulfat. Menurut penelitian Massinai et al. (2022), terdapat empat kategori utama mineral yang membentuk batuan, yaitu:

1. Mineral Silikat

Hampir 90% dari mineral yang membentuk batuan termasuk dalam kelompok ini. Mineral silikat adalah hasil dari persenyawaan antara silikon, oksigen, dan beberapa unsur logam. Karena jumlahnya yang besar, sekitar 90% berat kerak bumi terdiri dari mineral silikat, dan hampir 100% dari mantel bumi. Mineral silikat merupakan komponen utama dalam pembentukan berbagai jenis batuan, termasuk batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf.

2. Mineral Oksida



Untuk akibat persenyawaan langsung antara oksigen dan unsur a lebih sederhana daripada mineral silikat. Mineral oksida s daripada mineral lainnya kecuali silikat dan juga lebih berat rupa mineral oksida yang umum meliputi air (H_2O), korondum (Al_2O_3) , dan kassiterit (SnO_2).

3. Mineral Sulfida

Mineral sulfida terbentuk dari persenyawaan langsung antara unsur tertentu dengan belerang. Beberapa mineral sulfida memiliki nilai ekonomis, seperti pirit (FeS_3), chalcocite (Cu_2S), galena (PbS), dan sphalerit (ZnS).

4. Mineral Karbonat dan Sulfat

Mineral ini terbentuk dari persenyawaan dengan ion $(\text{CO}_3)^{2-}$, yang dikenal sebagai karbonat. Contohnya adalah kalsium karbonat (CaCO_3), yang dikenal sebagai mineral kalsit. Mineral ini merupakan komponen utama dalam pembentukan batuan sedimen.

1.3.4 Porositas Batuan

Porositas batuan memiliki dampak pada karakteristik fisik batuan seperti kecepatan gelombang elastis, resistivitas elektrik, dan densitas batuan (Ariyanto dkk., 2020). Menurut Mojo dkk. (2018) porositas batuan dapat dirumuskan kedalam sebuah persamaan yang dinyatakan dalam persen, hal ini dapat dilihat pada **Persamaan (1)** di bawah ini.

$$\phi = \frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume keseluruhan batuan}} \times 100 \quad (1)$$

Dari **Persamaan (1)** dapat dilihat bahwa porositas batuan merupakan hasil perbandingan antara volume ruang kosong dalam batuan dengan volume total batuan itu sendiri. Keberadaan porositas batuan dapat menjadi indikator adanya potensi volume air, udara, maupun gas pada suatu batuan (Ariyanto dkk., 2020). Menurut Rafdy dkk. (2018) terdapat pengklasifikasian porositas batuan yang disajikan dalam **Tabel 2.** di bawah ini.

Tabel 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

Porositas batuan juga sering digunakan sebagai parameter penting dalam beberapa studi salah satunya adalah studi mengenai kualitas batubara sebagai reservoir *Coalbed Methane*. Menurut Ariyanto (2020) terdapat 7 faktor yang dapat mempengaruhi porositas suatu batuan yaitu:

1. Ukuran butiran (*grain size*)

Semakin kecil ukuran butir, semakin kecil pula rongga yang terbentuk, dan sebaliknya, semakin besar ukuran butir, semakin besar pula rongga yang terbentuk.

2. Bentuk butir (*sphericity*)

Butir batuan yang lebih menyudut memiliki nilai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan butir batuan yang butirannya lebih bundar.



3. Susunan butiran

Kesamaan ukuran butiran dapat menghasilkan susunan butiran yang lebih teratur, seperti bentuk kubus, yang memiliki nilai porositas lebih besar daripada susunan butiran yang berbentuk *rhombohedral*.

4. Pemilahan

Pemilahan butiran yang baik menghasilkan keseragaman, yang memengaruhi nilai porositas. Pemilahan yang buruk dapat mengakibatkan butiran kecil mengisi rongga-rongga di antara butiran yang lebih besar sehingga mengurangi nilai porositas.

5. Komposisi mineral

Mineral yang mudah larut, seperti mineral karbonat, dapat meningkatkan nilai porositas karena proses pelarutan.

6. Sementasi Material

Material semen dalam batuan, seperti silika, oksida besi, dan mineral lempung, dapat mengurangi nilai porositas.

7. Kompaksi dan pemampatan

Kompaksi dan pemampatan dapat mengurangi nilai porositas, terutama pada batuan yang terletak di bawah permukaan karena peningkatan beban.

1.3.5 Metode Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan salah satu metode spektroskopi inframerah dimana radiasi inframerah akan dilewatkan melalui sampel kemudian beberapa radiasi tersebut ada yang diserap dan ditransmisikan (Hulungo dkk., 2022). Metode ini dilengkapi dengan transformasi fourier untuk analisis hasil spektrumnya, selain itu metode FTIR ini dapat digunakan untuk menganalisis bagaimana komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, *coating* atau pelapisan, polimer, sampel biologi, material semi konduktor, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral (Lasut dkk., 2020).

FTIR memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi dan mengukur jumlah senyawa campuran secara kualitatif dan kuantitatif. Saat melakukan analisis kualitatif, pengamatannya difokuskan pada bentuk dan puncak spesifik dalam spektrum yang mengindikasikan jenis kelompok gugus fungsional dalam senyawa tersebut. Sementara itu untuk analisis kuantitatif, dapat memberikan informasi terkait jumlah kandungan dalam suatu senyawa. Instrument inframerah dapat mengukur spektrum getaran sampel dengan cara melewatkan radiasi inframerah dan merekam sejauh mana panjang gelombang yang dapat diserap. Jumlah energi yang dapat diserap merupakan gugus fungsi dari jumlah molekul yang ada. Spektrum inilah yang akan memberikan informasi terkait gugus fungsi senyawa pada rentang frekuensi daerah serapan senyawa, seperti yang disajikan pada **Tabel 3**. (Yasir dkk., 2021).



Daerah Serapan Gugus Fungsi pada FTIR (Ceyda dan Safak, 2019)

Fungsi	Daerah Serapan Senyawa (cm ⁻¹)
)	3750-3000, 900-850
edra)	3660 ± 90
	3698 ± 200
hing)	1020-790
hing)	1400, 790-529, 462

(Al, Mg)---O-H	3718-3680
Si-O-(Mg, Al) (<i>Stretching</i>)	1250-800
Si-O, Si-O-Fe (<i>Stretching</i>)	1084, 540-420
Ca-Mg-O, C-H, C-O, O-H	1700, 1006, 356

Dalam proses analisis hasil FTIR secara kualitatif dapat dilakukan dengan menganalisis seberapa besar nilai bilangan serapan gelombang yang kemudian ditinjau apakah nilai tersebut merepresentasikan mineral apa yang terkandung didalam sampel tersebut, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 4.** yang menyajikan nilai pita serapan mineral pada FTIR.

Tabel 4. Pita Serapan Mineral pada FTIR (Yin et al., 2018)

Mineral	Pita Absorpsi FTIR
<i>Kaolinite</i>	3619, 1101, 1009, 938, 913, 756, 696, 538, 470, 431
<i>Quartz</i>	1165, 1089, 1033, 1028, 792, 779, 696, 509, 460
<i>Gypsum</i>	1146, 1114, 604
<i>Calcite</i>	3695, 1425, 1086, 713, 875, 709, 278
<i>Feldspars</i>	690, 645, 468, 424
<i>Dolomite</i>	684, 356, 301, 174
<i>Amorphous silica</i>	1099, 1013, 606
<i>Muscovite</i>	1062, 482, 462
<i>Saponite</i>	660
<i>Metakaolinite</i>	560
<i>Nitrate</i>	1384
<i>Carbon</i>	1700, 1006, 800

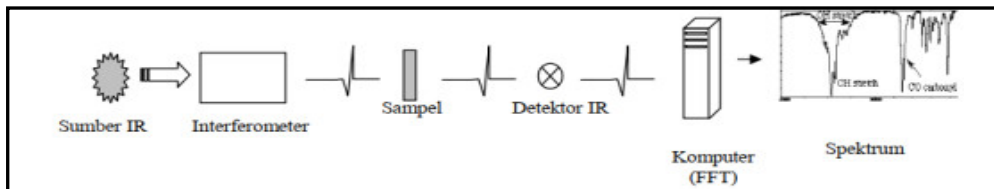
Sistem kerja dari metode ini adalah ketika sinar inframerah yang bersifat polikromatik dilewatkan melalui interferometer sehingga berubah menjadi sinyal interferogram kemudian diserap oleh sampel dan sebagian ditransmisikan. Kemudian sinar tersebut akan diterima oleh detektor sehingga dapat menunjukkan hasil dari sampel yang dianalisis dengan melihat hubungan antara panjang gelombang dan

hal ini ditunjukkan dengan persamaan:

$$\hat{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

alah bilangan gelombang (cm^{-1}) dan λ adalah panjang gelombang Prinsip kerja dari metode FTIR tertera pada **Gambar 4.** dibawah usi, 2008).



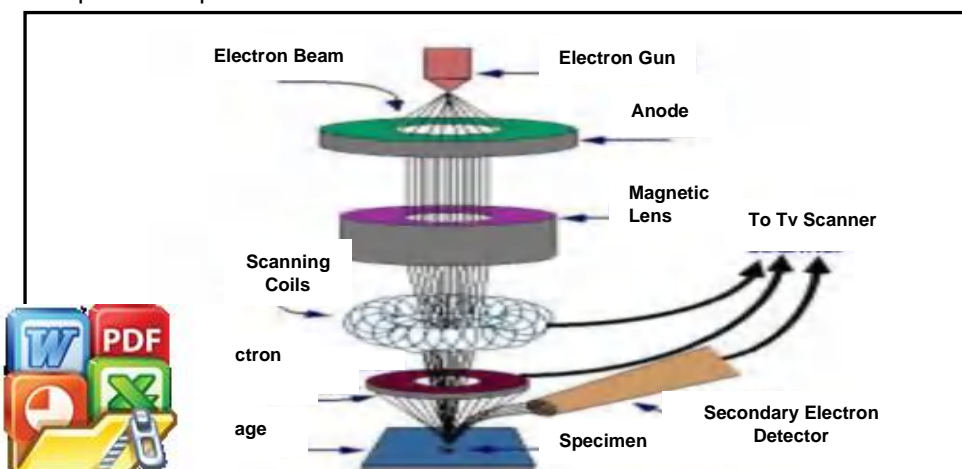


Gambar 4. Prinsip Kerja FTIR dan Proses Perubahan Sinyal pada Sistem Peralatan Spektroskopi FTIR (Suseno dan Firdausi, 2008)

1.3.6 Metode Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang mampu menghasilkan gambaran permukaan suatu sampel dengan resolusi yang tinggi. Metode ini merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mengukur ketebalan dan ukuran butir suatu material (Septiano dkk., 2021). SEM memiliki perbesaran 10-3000000x, dengan *depth of field* 4-0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar dan resolusi yang baik serta kemampuan alat ini dalam mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian (Lasut dkk., 2020).

Pada dasarnya prinsip kerja SEM adalah menembakkan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan sampel, sehingga permukaan sampel haruslah bersifat konduktif. Oleh karena itu permukaan sampel yang non konduktif akan terlebih dahulu dilapisi dengan material konduktif seperti material Au atau Au-Pt. Permukaan sampel yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron tersebut dan menghasilkan elektron sekunder (Didik, 2020). Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi kemudian mengalami penguatan sinyal, yang ditampilkan dengan gradasi gelap-terang di layar monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Layar CRT ini memungkinkan gambar struktur obyek yang telah diperbesar dapat dilihat. Dalam operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga memungkinkan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Widiyastuti, 2016). Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada **Gambar 5.** di bawah ini.



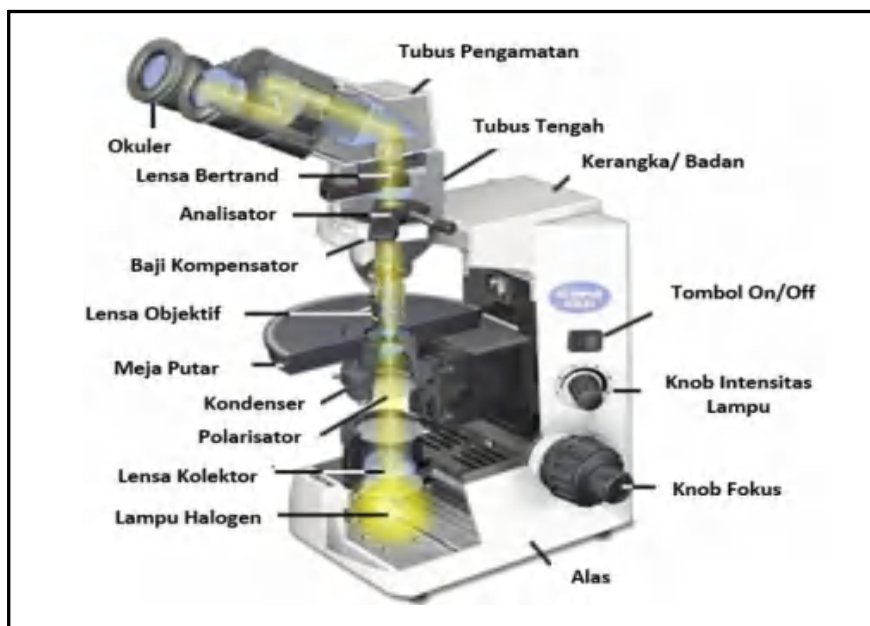
Gambar 5. Prinsip Kerja SEM (Hidayat dkk., 2017)



1.3.7 Metode Mikroskop Polarisasi

Mikroskop polarisasi adalah mikroskop yang menggunakan cahaya terpolarisasi untuk mengamati objek berupa sayatan tipis batuan. Mikroskop ini juga merupakan salah satu alat yang digunakan dalam analisis batuan karena dapat mengamati bagaimana struktur mikro dan sifat optik mineral yang terkandung dalam suatu batuan (Wiloso, 2023). Prinsip kerja dari mikroskop polarisasi adalah dengan menggunakan sumber cahaya yang terletak di bagian bawah mikroskop, yang kemudian ditembakkan ke lensa objektif untuk memberikan pencahayaan pada sampel yang sedang dianalisis. Cahaya yang ditembakkan merupakan cahaya terpolarisasi, sehingga cahaya tersebut memiliki arah getar yang tidak acak yang membuat mikroskop ini mampu menampilkan ruang pori, ciri-ciri, dan sifat mineral secara lebih jelas, terutama dalam hal warna, karena setiap mineral memiliki warna yang unik (Kasmiani dkk., 2018).

Mikroskop polarisasi memiliki perbedaan signifikan dengan mikroskop lain dalam hal pengamatan, dengan menggunakan dua metode pengamatan yang berbeda yaitu pengamatan nikol sejajar dan pengamatan nikol bersilang, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 6.** di bawah ini (Wiloso, 2023).



Gambar 6. Mikroskop Polarisasi Nikon LV100N (Wiloso, 2023)

