

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya mineral yang cukup banyak. Hal ini menjadikan sektor pertambangan sebagai salah satu sektor utama penyumbang devisa negara. Pertambangan merupakan salah satu kegiatan pengambilan endapan mineral berharga dari dalam kulit bumi, baik penggaliannya dilakukan dipermukaan maupun yang dibawah permukaan. PT Semen Tonasa merupakan salah satu perusahaan nasional yang bergerak dalam bidang industri semen, lokasi penambangannya terletak di desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. PT Semen Tonasa memiliki empat unit pabrik, yaitu Unit Tonasa I, II, III, IV dan Unit V yang sementara dalam pembangunan. Untuk memenuhi target produksi Semen Tonasa, maka dilakukan upaya peningkatan produksi bahan baku semen pada keempat pabrik tersebut. Salah satu bahan baku utama pembuatan semen yaitu batugamping 80%, tanah liat (*Clay*)15%, pasir silika 5%.

Penambangan batugamping yang dikelola PT Semen Tonasa dalam aktivitasnya menerapkan tambang terbuka. Pembongkaran dilakukan dengan cara peledakan, hal ini dilakukan karena batugamping yang tersingkap di *Quarry* mempunyai bentuk fisik yang keras dan struktur batuan yang bervariasi. Masalah peledakan sangat erat kaitannya di dalam pencapaian target material. Perhitungan-perhitungan terhadap geometri peledakan menjadi hal yang sangat penting karena masalah ketersediaan material, ukuran material hasil peledakan dan masalah *safety* (keamanan) dari akibat-akibat yang ditimbulkan oleh kegiatan peledakan itu sendiri di lapangan. Melihat besarnya pengaruh kegiatan peledakan di dalam memenuhi tersedianya material yang diperlukan dalam produksi maka sangatlah beralasan jika penentuan geometri peledakan menjadi sangat penting untuk diterapkan berdasarkan keadaan yang ada di lapangan sehingga nantinya didapat hasil maksimal tetapi dengan biaya tidak terlalu besar (ekonomis). Adapun target produksi batu kapur saat ini pada crusher II, III, IV dan V pada PT Semen Tonasa adalah 686.452,5 Ton/bulan. Yang berarti target produksi batu kapur tiap harinya sebesar 31.202,38 Ton/hari (Ranggu, 2023).

Batuan merupakan material alam yang tersusun atas mineral-mineral, baik yang terkonsolidasi maupun tidak terkonsolidasi, yang merupakan penyusun utama kerak bumi dan terbentuk dari proses-proses alam. Batuan dapat mengandung satu atau lebih mineral. Proses pembentukan batuan dimulai dari magma yang bergerak ke atas mulai kehilangan mobilitasnya saat masih berada di litosfer dan membentuk ruang magma sebelum mencapai permukaan. Dalam situasi ini, magma akan membeku di tempat, dan ion-ion di dalamnya kehilangan gerakan bebasnya dan menyusun diri untuk membentuk batuan di permukaan bumi (intrusif). Namun, tidak semua jenis mineral yang membentuk batuan secara bersamaan di bawah kondisi

ini. Beberapa terbentuk lebih awal pada suhu tinggi. Menurut Seri Bowen, pembentukan batuan ini mempunyai pola kristalisasi (Massinai et al., 2022).

Batuan memiliki karakteristik berupa sifat-sifat tertentu yang bergantung pada jenisnya. Sifat-sifat ini penting untuk dipahami dalam mekanika batuan dan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama: sifat fisik dan sifat mekanis. Sifat-sifat ini sangat mempengaruhi proses pembentukan batuan. Kedua sifat ini dapat ditentukan baik di laboratorium maupun di lapangan. Sifat fisik pada batuan adalah karakteristik yang dimiliki oleh batuan tersebut sejak terbentuk. Sifat fisik pada batuan meliputi porositas, kadar air, berat jenis (asli dan semu), massa jenis (densitas). Sedangkan sifat mekanis pada batuan yaitu kuat tekan. Penentuan sifat fisik dilakukan dengan tahapan uji tanpa merusak (*non destructive test*) batuan sedangkan untuk penentuan sifat mekanis melalui tahapan uji merusak (*destructive test*) sehingga sampel batu akan hancur (Natasya et al., 2024).

Batugamping (limestone) merupakan satu dari dua jenis batuan karbonat. Batuan karbonat sendiri adalah batuan sedimen yang tersusun atas mineral utama yaitu kelompok mineral karbonat. Berdasarkan mineral utamanya batuan karbonat dapat dibagi menjadi dua yaitu batugamping dan dolomit (*dolostone*). Perbedaan batugamping dan dolomit yaitu batugamping didominasi mineral kalsit (CaCO_3), sedangkan dolomit didominasi oleh mineral dolomit (MgCaCO_3). Batugamping merupakan salah satu bahan galian industri yang banyak digunakan oleh sektor industri pertanian maupun sektor konstruksi antara lain untuk bahan bangunan industri, bahan baku semen, dan industri bata silika. Batu gamping terbentuk melalui proses erosi air dan sedimentasi, di mana mineral-mineral yang terlibat dalam proses ini menjadi bahan pengotor. Bahan pengotor ini menyebabkan variasi warna pada batu kapur, yang dapat berupa putih, abu-abu muda, abu-abu tua, coklat, merah, hingga hitam. Batu kapur biasanya dimanfaatkan dalam sektor pertanian dan industri, konstruksi, penstabil jalan raya, dan sebagai bahan baku semen (Natasya et al., 2024).

Klasifikasi Dunham (1962) merupakan klasifikasi batugamping yang paling sederhana dan banyak digunakan. Klasifikasi ini didasarkan pada tekstur pengendapan sedimen dan adanya pengikat biologis. Terdapat tiga bagian utama yang perlu diperhatikan dalam penentuan klasifikasi batugamping berdasarkan klasifikasi Dunham yaitu batugamping yang di dukung oleh matriks, di dukung oleh butiran, dan terikat secara biologis. Klasifikasi batugamping terbagi atas 6 jenis antara lain *mudstone*, *wackstone*, *boundstone*, *grainstone*, *packstone* dan *crystalline*. Pada klasifikasi Dunham (1962) istilah-istilah yang muncul adalah grain dan mud. Bila batuan bertekstur mud-supported diinterpretasikan terbentuk pada energi rendah. Sebaliknya grain-supported hanya terbentuk pada lingkungan dengan energi gelombang kuat sehingga hanya komponen butiran yang dapat mengendap (Mangalik et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dilakukan penelitian analisis komposisi kimia dan sifat fisik batugamping berdasarkan klasifikasi Dunham terhadap hasil uji X-Ray di *Quarry* penambangan batugamping PT Semen Tonasa yang terdapat di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan dengan tujuan untuk menentukan hubungan antara komposisi kimia dan sifat fisik batugamping serta jenis batugamping berdasarkan klasifikasi Dunham melalui uji X-Ray (XRF) dan mikroskop polarisasi di *Quarry* penambangan batugamping PT Semen Tonasa.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengklasifikasikan batugamping dari PT Semen Tonasa menggunakan teori Dunham.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis sifat fisik dan komposisi kimia batugamping menggunakan analisis X-Ray (XRF) dan mikroskop polarisasi.
3. Menentukan hubungan antara komposisi kimia dan sifat fisik batugamping serta jenis batu gamping berdasarkan klasifikasi Dunham yang teridentifikasi melalui analisis X-Ray (XRF) dan mikroskop polarisasi.

1.2.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk:

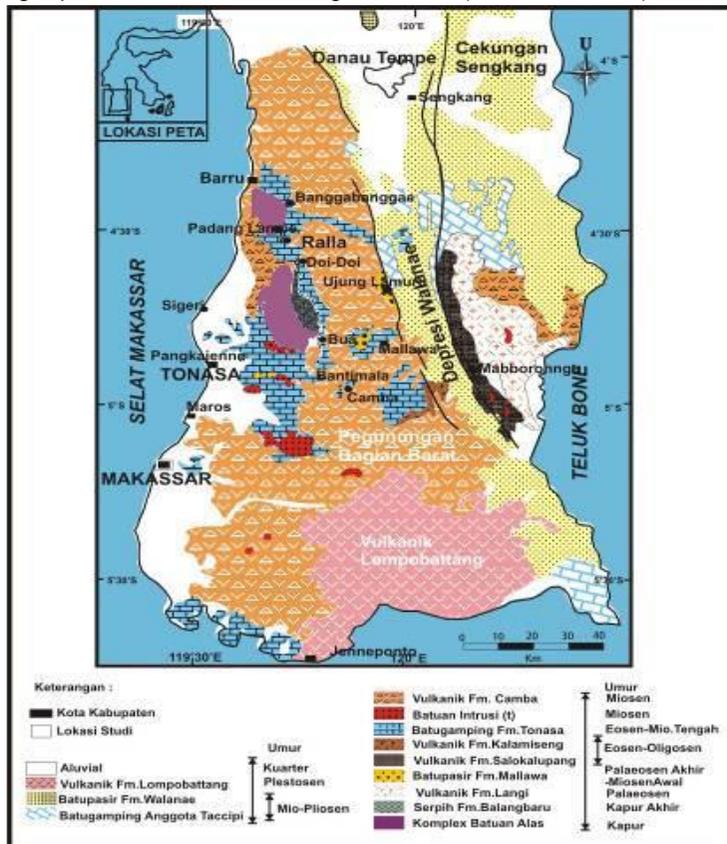
1. Mengetahui klasifikasi batugamping yang ada di PT Semen Tonasa yang didasarkan pada teori Dunham.
2. Mengetahui komposisi kimia dan sifat fisik yang terkandung dalam batugamping dari hasil uji XRF dan mikroskop polarisasi.
3. Mengetahui hubungan antara komposisi kimia dan sifat fisik batugamping serta jenis batu gamping berdasarkan klasifikasi Dunham hasil uji XRF dan mikroskop polarisasi.

1.3 Teori

1.3.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah penelitian termasuk dalam peta geologi lembar Pangkajene dan Watampone bagian barat Sulawesi dengan skala 1: 250.000 yang secara administratif terletak pada koordinat $119^{\circ}5'00''$ – $120^{\circ}45'00''$ BT dan $4^{\circ} - 5^{\circ}$ LS. Berdasarkan **gambar 1**. Struktur geologi regional daerah penelitian menurut Sukanto (1982) bahwa pada akhir dari kegiatan gunung api pada Kala Miosen awal diikuti oleh kegiatan tektonik yang menyebabkan terjadinya permulaan terban Walanae. Terban Walanae ini memanjang dari utara ke selatan dengan sulawesi bagian barat dimana struktur sesar inilah yang mempengaruhi terhadap struktur geologi sekitarnya. Proses tektonik ini juga yang menyebabkan terbentuknya cekungan tempat pembentukan formasi Walanae. Peristiwa ini berlangsung sejak

awal Miosen Tengah dan menurun perlahan selama proses sedimentasi hingga Kala Pliosen. Menurunnya Terban Walanae dibatasi oleh dua sistem sesar normal yaitu Sesar Walanae yang tersingkap di sebelah timur dan Sesar Soppeng yang tersingkap tidak menerus dibagian barat (Sukamto,1982).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Lengan Sulawesi Selatan (Sukamto dan supriatna,1982)

Pada Lembar Pangkajene dan Watampoe bagian Barat (Rab. Sukamto, 1982) pada pegunungan bagian barat menempati hampir setengahnya luas daerah, yang melebar dibagian selatan (50 km) dan menyempit d ibagian Utara (22 km) dengan puncak tertingginya 1694 m dan ketinggian rata-ratanya 1500 m dari permukaan laut. Di lereng barat dan di beberapa tempat di lereng timur terdapat topografi karst yang mencerminkan adanya batugamping. Pegunungan ini dibatasi oleh dataran Pangkajene – Maros yang luas, dan sebagian merupakan lanjutan di dataran sekitarnya.

Pegunungan yang di Timur relatif lebih sempit dan lebih rendah, dengan puncaknya rata-rata setinggi 700 m dari permukaan air laut, sedangkan yang tertinggi adalah 787 m di mana sebagian besar pegunungan ini tersusun dari batuan gunung api. Di bagian selatannya selebar 20 km dan lebih tinggi, tetapi ke Utara menyempit

dan merendah dan akhirnya menunjam ke bawah batas antara lembah Walanae dan dataran Bone. Pada bagian Utara pegunungan ini mempunyai topografi karst yang permukaannya sebagian berkerucut. Batasnya pada bagian Timur laut adalah dataran Bone yang luas dan menempati hampir sepertiga bagian Timur.

Lembah Walanae yang memisahkan kedua pegunungan tersebut dibagian Utara selebar 35 km, tetapi di bagian Sungai Walanae yang mengalir ke utara. Sedangkan bagian Selatan berupa perbukitan rendah dan dibagian Utara terdapat dataran aluvium yang sangat luas yang mengelilingi Danau Tempe.

1.3.2 Defenisi Batugamping

Batugamping atau kapur yang dalam bahasa Inggris disebut dengan *Limestone* adalah batuan sedimen yang terbentuk di lingkungan laut yang memiliki salinitas dan suhu tinggi. Serpihan cangkang hewan-hewan laut dan puing-puing lain yang terdiri dari ion kalsium dan bikarbonat diendapkan di dasar laut membentuk kalsit ($CaCO_3$) melalui reaksi kimia. Kalsit dan mineral lain tersebut mengeras menjadi batugamping. Sisa-sisa hewan mungkin juga terkubur dalam lumpur karbonat dan akhirnya berubah menjadi fosil. Seiring waktu, kenaikan dan penurunan permukaan laut dapat mengekspos lapisan batu kapur di permukaan bumi. Batugamping yang mengandung lebih dari 95% kalsium karbonat dikenal sebagai batugamping berkalsium tinggi. Batugamping umumnya didominasi oleh butir-butir berbentuk bulat (oid) berdiameter 0.2-0.5 mm. Bagian dari molekul kalsium jika digantikan oleh magnesium, dikenal sebagai batu kapur magnesium $MgCO_3$ atau batugamping dolomit $CaMg(CO_3)_2$.

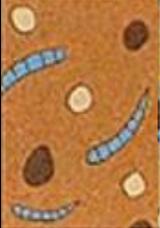
Batugamping memiliki nilai densitas pada rentang 2.5 - 2.7 kg/cm^3 . Porositas pada batugamping cenderung bernilai rendah yaitu pada rentang nilai 4 - 25%. Semakin tua batugamping maka nilai densitas akan semakin tinggi dan nilai porositas akan semakin rendah. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya usia maka waktu yang dibutuhkan untuk proses sementasi dan konsolidasi akan semakin banyak juga. Oleh karena itu, semakin tua batugamping maka semakin kuat batugamping tersebut. Nilai kuat tekan bebas berkisar dari 10 - 170 Mn/m^2 . Nilai modulus young tidak konstan pada batugamping tetapi berhubungan erat dengan kekuatan batugamping. Nilai modulus young batugamping bervariasi dari $8 \times 10^3 - 75 \times 10^3 Mn/m^2$. Semakin tua batugamping maka nilai modulus young akan semakin besar (Aryaseta et al., 2022).

1.3.3 Klasifikasi Batugamping (Dunham, 1962)

Dunham (1962) menyusun klasifikasi batugamping berdasarkan tekstur deposisinya, yaitu tekstur yang terbentuk pada waktu pengendapannya, meliputi ukuran butir dan susunan butir, sering disebut dengan istilah sortasi. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan klasifikasi batugamping berdasarkan tekstur deposisinya, yaitu (Sukandarrunidi, 2021):

- Terjadinya perubahan derajat tekstur pengendapan.

- Komponen asli terikat atau tidak terikatnya selama proses deposisi.
- Tingkat kelimpahan antar butiran (grain) dan lumpur karbonat.

Mudstone	Wackstone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
					
Less than 10% grains	More than 10% grains	Grain-supported	Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound together	Depositional texture not recognizable
Mud-supported					
Contains mud, clay and fine silt-size carbonate					
Original components not bound together during deposition					
Depositional texture recognizable					

Gambar 2. Klasifikasi Batuan Karbonat (Dunham, 1962)

Klasifikasi batugamping dikemukakan oleh beberapa ahli, salah satunya adalah Dunham (1962). Dunham (1962) mengklasifikasikan batugamping berdasarkan pada tekstur deposisinya, sehingga didapatkan enam jenis batugamping, yaitu *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *boundstone*, dan *crystalline* (Ali et al., 2022).

Batugamping dengan kandungan beberapa butir (<10 %) di dalam matriks lumpur karbonat disebut *mudstone*, dan bila *mudstone* tersebut mengandung butiran tidak saling bersinggungan disebut *wackestone*. Lain halnya bila antar butirannya saling bersinggungan disebut *packstone* atau *grainstone*. *Packstone* mempunyai tekstur *grain-supported* dan biasanya memiliki matriks mud. Dunham (1962) memakai istilah *boundstone* untuk batugamping dengan *fabric* yang mengindikasikan asal-usul komponen-komponennya yang direkatkan bersama selama proses deposisi (misalnya pengendapan lingkungan terumbu).

A. *Mudstone*

Batuan ini termasuk dalam jenis batuan sedimen non-klastik dengan warna segar putih abu-abu dan warna lapuknya adalah putih kecokelatan. Batuan ini bertekstur non-klastik dengan komposisi kimia karbonat dan strukturnya pun tidak berlapis. Butiran kurang dari 10% dari seluruh komponen penyusun batuan maka disebut sebagai *mudstone*. *Mudstone* terdapat dalam lingkungan paparan karbonat (*carbonate platform*) dan cekungan. *Calcareous mudstone* berasal dari hancuran

calcareous alga hijau, pemisahan partikel-partikel skelatal besar, dan kemungkinan penyerapan inorganik dari air laut. *Mudstone* pada lingkungan cekungan dan lereng cekungan berasal dari *winnowed platform muds (periplatform ooze)* atau berasal dari cangkang-cangkang *nannoplankton coccoliths (nannofossil ooze)*. *Mudstone* berakumulasi pada lingkungan energi rendah (Okto et al., 2021).

B. Wackestone

Wackestone adalah jenis batugamping organik dan klastik yang tersusun atas dominasi lumpur oleh mikrit dan sparit. Fragmen umumnya *skeletal* dan *nonskeletal grain* yang mengambang di antara matriks. Batuan ini terbentuk pada fasies koral berarus rendah dan tenang, seperti pada daerah lagonal dan *back reef*. *Wackestone* dicirikan dengan kelimpahan mikrit dan sparit, kehadiran siderit akibat substitusi atom kalsium oleh atom besi, dan agregat kalsit dalam mikrit. *Wackestone* merupakan lumpur didukung batugamping yang mengandung butiran karbonat lebih dari 10% (lebih besar dari 20 mikron) "mengambang" dalam matriks lumpur halus-halus kapur (Okto et al., 2021).

C. Packestone

Packestone adalah jenis batugamping organik dan klastik yang tersusun atas dominasi butiran yang dapat berupa fosil, mineral, dan *skeletal grain* lainnya yang juga dibatasi dengan mikrit dan sparit. Berbeda dengan *wackestone*, butiran pada *packstone* saling bersinggungan membentuk kemas tertutup. Tekstur ini menunjukkan dominasi fragmen yang berasal dari *supply sediment* yang besar. *Packestone* terbentuk pada *reef flat* yang merupakan pucak terumbu maupun terbentuk pada *fore reef* yang berinteraksi dengan arus dan gelombang laut. Pada *packstone* juga dijumpai fosil *red algae* dengan sortasi yang buruk dan kemas terbuka. Mineral aragonit juga dijumpai setempat pada tubuh *red algae* dan *molusca* yang telah mengalami deformasi (Okto et al., 2021).

D. Grainstone

Grainstone salah satu jenis batugamping berdasarkan klasifikasi (Dunham, 1962) merupakan hubungan antar komponen-komponen tanpa lumpur sehingga sering disebut batuan karbonat bebas lumpur yang didukung butir. Batugamping jenis *grainstone* memiliki komponen berupa *grain supported*. Pada *grainstone*, hadir banyak *allochem* berupa *skeletal grain* maupun *non skeletal grain* (Geofany et al., 2019). *Grainstone* ini merupakan material rombakan yang menunjukkan lingkungan berenergi sedang-lemah. Batugamping yang ditemukan menunjukkan bahwa indeks energi yang diendapkan pada kondisi air laut sedikit bergelombang. Sebagian besar cangkang fosil telah mengalami neomorfisme menghasilkan rekristalisasi mikrit (Jannah & Hastuti, 2019).

E. Boundstone

Batugamping *boundstone* adalah salah satu jenis batugamping menurut Dunham, (1962). Batugamping jenis *boundstone* dicirikan dengan komponen tekstur yang terikat selama pengendapan. *Boundstone* merupakan batugamping yang terikat oleh ganggang, karang atau organisme uniseluler lainnya ketika dia terbentuk. *Boundstone* ditemukan di daerah sekitar terumbu karang, dan daerah yang terumbu karang 2,5 – 3 juta tahun lalu, tapi mungkin dikelilingi lahan kering. Tergantung pada cara bahan organik telah diatur dalam sedimen ketika batu itu terbentuk dan jenis bahan organik itu (Geofany et al., 2019).

F. Crystalline

Batugamping *Crystalline* merupakan salah satu jenis batuan sedimen, bahkan juga terbentuk dari kerangka *calcite* yang berasal dari organisme *microscopic* di laut yang dangkal. Sehingga sebagian peralapisan batugamping hampir murni terdiri dari kalsit, dan pada peralapisan yang lain terdapat sejumlah kandungan *silt* atau *clay* yang membantu ketahanan dari batugamping tersebut terhadap cuaca. Sehingga lapisan yang gelap pada bagian atas batuan ini mengandung sejumlah besar fraksi dari silikayang terbentuk dari kerangka mikrofosil, sehingga dimana lapisan pada bagian ini lebih tahan terhadap cuaca. *Crystalline* dengan ciri-ciri warna abu-abu kecoklatan, tekstur non klastik, pemilahan sedang, komposisi karbonat, terdiri dari kalsit. warna lapuk coklat hitam, struktur masif, tekstur non klastik, komposisi komposisi kristal kalsit 100% (Tabuni et al., 2021).

1.3.4 Mineral

Mineral adalah zat padat, alamiah, memiliki sistim kristal dan komposisi kimia tertentu. Mineral dapat terbentuk pada berbagai proses yang berkaitan dengan lingkungan magmatik, lingkungan sedimen maupun lingkungan metamorfik. Mineral sangat penting dan berkaitan erat dengan peradaban dan kehidupan manusia. Secara umum, berdasarkan kilapnya, mineral dibagi menjadi kelompok mineral logam dan non logam. Contoh beberapa mineral logam adalah mineral emas, nikel, tembaga, perak, besidan titanium. Contoh beberapa mineral non logam, dalam hal ini mineral industri adalah gypsum, kalsit, fluorit, sulfur, intan dan kuarsa (Endang Hartiningsih, 2023).

Mineral didefinisikan sebagai bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam perbandingan tertentu, dimana atom-atom di dalamnya tersusun mengikuti suatu pola yang sistematis. Beberapa jenis mineral memiliki sifat dan bentuk tertentu dalam keadaan padatnya, sebagai perwujudan dari susunan teratur di dalamnya. Terdapat dua cara untuk mengenal suatu mineral, yang pertama adalah dengan melakukan analisis secara kimiawi, dan yang kedua yang paling umum dilakukan adalah dengan cara mengenali sifat-sifatnya. Sifat –sifat fisik mineral antara lain bentuk kristalnya, berat jenis, bilangan belah, warna goresan, kilap dan kekerasan (Hulungo et al., 2022).

1.3.4.1 Sifat Kimia Mineral

Komposisi kimia suatu mineral merupakan hal yang sangat mendasar, karena beberapa sifat-sifat mineral/kristal tergantung kepadanya. Sifat-sifat mineral/kristal tidak hanya tergantung kepada komposisi tetapi juga kepada susunan ruang dari atom-atom penyusun dan ikatan antar atom-atom penyusun kristal/mineral. Daya yang mengikat atom (ion atau grup ion) dari zat pada kristalin adalah bersifat listrik di alam. Tipe dan intensitasnya sangat berkaitan dengan sifat-sifat fisik dan kimia dari mineral. Kekerasan, belahan, daya lebur, kelistrikan dan konduktivitas termal, dan koefisien ekspansi termal berhubungan secara langsung terhadap daya ikat. Kimia mineral merupakan suatu ilmu yang dimunculkan pada awal abad ke-19, setelah dikemukakannya "hukum komposisi tetap" oleh Proust pada tahun 1799, teori atom Dalton pada tahun 1805, dan pengembangan metode analisis kimia kuantitatif yang akurat. Karena ilmu kimia mineral didasarkan pada pengetahuan tentang komposisi mineral, kemungkinan dan keterbatasan analisis kimia mineral harus diketahui dengan baik.

Prinsip-prinsip kimia yang berhubungan dengan kimia mineral (Evadelvia Ginal Sambari, 2022).

1. Hukum komposisi tetap (*The Law of Constant Composition*) oleh Proust (1799): "Perbandingan massa unsur-unsur dalam tiap senyawa adalah tetap".
2. Teori atom Dalton (1805): Setiap unsur tersusun oleh partikel yang sangat kecil dan berbentuk seperti bola yang disebut atom dari unsur yang sama bersifat sama sedangkan dari unsur yang berbeda bersifat berbeda pula dan atom dapat berikatan secara kimiawi menjadi molekul.

Batugamping merupakan bahan galian jenis mineral industri yang tersusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3) yang umumnya berbentuk mineral kalsit atau aragonit, dengan kandungan berkisar antara 90-99% dan mengandung unsur lain, diantaranya magnesium. Salah satu hal penting yang harus diketahui dalam menganalisis adalah adanya keterdapatannya unsur Ca dan Mg. Bila kadar Ca tinggi dan Mg rendah berarti kualitasnya baik, sebaliknya bila kadar Ca rendah dan kadar Mg tinggi maka kualitasnya buruk. Kadar Mg yang tinggi akan mengganggu proses pengerasan, karena unsur Mg tidak dapat terikat dengan unsur lain dalam semen. Batugamping mengandung CaO lebih dari 50% (persen berat) sangat baik digunakan sebagai bahan bangunan, dalam bentuk semen. Selain itu, batugamping sering mengandung silikat (SiO_2) dari mineral kuarsa atau lempung, dengan kandungan sekitar 0-5%. Keberadaan oksida besi (Fe_2O_3) dalam jumlah kecil, sekitar 0-2%, dapat memberikan warna kekuningan atau kemerahan pada batugamping. Aluminium oksida (Al_2O_3) biasanya ditemukan dalam jumlah kecil, sekitar 0-1%, yang berasal dari kontaminasi material lempung selama proses sedimentasi. Variasi dalam komposisi kimia ini berpengaruh terhadap sifat fisik batugamping serta penggunaannya dalam berbagai industri, seperti semen, baja, pupuk, dan bahan baku kimia lainnya (Alfarizi et al., 2020).

1.3.4.2 Sifat Fisik Mineral

Penentuan nama mineral dapat dilakukan dengan membandingkan sifat-sifat fisik mineral antara mineral yang satu dengan mineral yang lainnya. Sifat-sifat fisik mineral tersebut meliputi: warna, kilap (*luster*), kekerasan (*hardness*), gores (*streak*), belahan (*cleavage*), pecahan (*fracture*), struktur/bentuk kristal, berat jenis, sifat dalam (*tenacity*), kemagnetan, porositas, permeabilitas dan pelapukan. Sifat fisik mineral yang berkaitan dengan unsur kimia dalam batugamping (CaCO_3) meliputi beberapa karakteristik utama yang dipengaruhi oleh keberadaan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai penyusun utamanya yaitu warna, kekerasan (*hardness*), porositas, permeabilitas dan pelapukan.

A. Warna

Warna adalah kesan mineral jika terkena cahaya. Warna mineral dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *idiokromatik* bila warna mineral selalu tetap, umumnya dijumpai pada mineral-mineral yang tidak tembus cahaya (*opak*), seperti galena, magnetit dan pirit. *Alokromatik*, bila warna mineral tidak tetap, tergantung dari material pengotornya. Umumnya terdapat pada mineral-mineral yang tembus cahaya, seperti kuarsa dan kalsit. Warna batugamping sangat bervariasi tergantung pada kemurnian kalsium karbonat (CaCO_3) serta keberadaan unsur-unsur lain yang menjadi impuritas di dalamnya. Secara umum, batugamping murni yang tersusun hampir seluruhnya dari kalsit (CaCO_3) cenderung berwarna putih atau abu-abu terang karena sifat reflektif dari mineral kalsit yang bersih. Namun, jika terdapat unsur atau mineral lain yang bercampur, warna batugamping dapat berubah (Evadelvia Ginal Sambari, 2022).

B. Kekerasan (*hardness*)

Salah satu sifat fisik mineral yaitu kekerasan yang ditentukan berdasarkan skala empiris terhadap mineral-mineral standar yang diberlakukan. Pengujian kekerasan mineral bersifat "digoreskan" (*scelerometric*). Skala kekerasan yang umum digunakan para ahli mineral yaitu skala Mohs. Batugamping memiliki kekerasan sekitar 3 pada skala Mohs dipengaruhi oleh unsur kalsium (Ca) yang dominan dalam mineral seperti kalsit (CaCO_3) dan dolomit ($\text{CaCO}(\text{CO}_3)_2$) yang cenderung menghasilkan batuan dengan kekerasan rendah hingga sedang (Djoko Wintolo, 2023).

C. Porositas dan Permeabilitas

Porositas merupakan ruang yang terdapat diantara fragmen butiran yang ada pada batuan. Jenis porositas pada batuan sedimen adalah porositas baik, porositas sedang, dan porositas buruk. Dalam penentuannya di lapangan digunakan istilah porositas baik jika permeabilitasnya baik, porositas sedang jika permeabilitasnya sedang, dan porositas buruk jika permeabilitasnya buruk. Kelulusan (permeabilitas) adalah sifat yang dimiliki oleh batuan untuk dapat meloloskan air. Batuan yang kaya

akan CaCO_3 , seperti batugamping dan dolomit, umumnya memiliki porositas primer yang rendah, terutama jika mengalami rekristalisasi atau pepadatan (Marlina et al., 2023).

D. Pelapukan

Pelapukan adalah proses yang mengubah keadaan fisik atau kimia batuan oleh pengaruh faktor waktu, iklim dan cuaca, organisme (vegetasi), dan topografi. Iklim dan organisme sebagai faktor aktif dalam pelapukan di mana curah hujan dan kelembaban mempercepat reaksi kimia seperti pelarutan dan hidrolisis, sementara perubahan suhu ekstrem menyebabkan ekspansi dan kontraksi batuan yang mengakibatkan retakan. Organisme, seperti akar tanaman dan mikroorganisme, juga dapat mempercepat pelapukan dengan menembus celah batuan dan menghasilkan asam organik yang melarutkan mineral. Batuan sebagai objek yang terkena pelapukan dengan komposisi mineral dan strukturnya menentukan tingkat ketahanan terhadap proses ini. Waktu dan topografi sebagai faktor pengontrol yang berpengaruh secara tidak langsung dimana semakin lama batuan terpapar lingkungan, semakin besar tingkat pelapukan yang terjadi. Kondisi topografi juga memengaruhi intensitas pelapukan, di mana daerah dengan kemiringan curam lebih rentan terhadap erosi, sementara daerah dataran rendah lebih banyak mengalami pelapukan kimia karena air bertahan lebih lama. Batugamping dengan kandungan CaCO_3 tinggi sangat rentan terhadap pelapukan kimia akibat pelarutan, terutama di daerah yang kaya karbon dioksida dan curah hujan tinggi. Keberadaan unsur lain seperti Mg, SiO_2 , Fe_2O_3 , dan SO_3 dapat memperlambat atau mempercepat proses pelapukan tergantung pada sifat reaktifnya terhadap air dan lingkungan sekitarnya (Tamanak et al., 2020).

1.3.5 Metode XRF (*X-ray fluorescence*)

XRF adalah metode untuk menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif suatu unsur-unsur kimia yang berupa cairan, padatan, maupun serbuk. Emisi *fluoresensi* yang dipancarkan oleh sampel ketika disinari (radiasi) oleh sinar X dari instrumen XRF. Instrumen XRF berguna untuk mengukur panjang gelombang masing-masing komponen material. Analisis kualitatif bertujuan sebagai identifikasi jenis-jenis unsur yang terdapat dalam suatu bahan sampel dan mengetahui komposisi kimia bahan tersebut. Analisis kuantitatif bertujuan untuk identifikasi konsentrasi atau kadar unsur-unsur dalam material atau bahan sampel (Ningsih & Sanjaya, 2022).

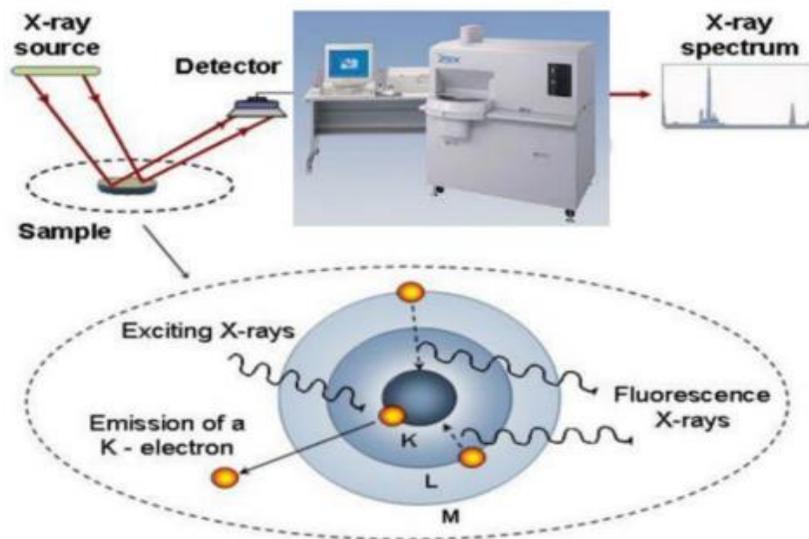


Gambar 3. XRF (X-ray fluorescence)

Fluoresensi Sinar-X (XRF) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia batuan. XRF juga terkadang dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis. Metode ini cepat, akurat, tidak merusak, dan biasanya hanya memerlukan sedikit persiapan sampel. Aplikasinya sangat luas dan mencakup ilmu material dan industri makanan beserta penambangan bijih, geokimia, dan analisis lingkungan air dan bahan limbah (Jamaluddin et al., 2018). Metode XRF ini didasarkan pada penggunaan sinar-X untuk merangsang atom dalam sampel sehingga menghasilkan *fluoresensi* sinar-X, yang kemudian dapat diukur dan dianalisis untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang hadir. Hasil analisis komposisi kimia dengan metode XRF memberikan informasi mendalam tentang unsur-unsur yang ada dalam sampel. Selain kandungan unsur-unsur yang umumnya terdapat pada batu bara seperti Si, Fe, Ca, dan Al, metode XRF juga dapat memberikan informasi kritis tentang unsur-unsur logam berbahaya (Hanum et al., 2024).

Prinsip kerja XRF yaitu XRF menangkap panjang gelombang emisi flourense yang dihasilkan oleh material sebagai respon material jika terkena pancaran sinar X. Ketika sumber radioaktif (tabung X-Ray) memancarkan sinar X-Ray mengenai

sampel, objek akan menyerap dan mendifraksikan sinar X-Ray tersebut dalam sudut dan panjang gelombang tertentu, yang dibaca oleh detektor sebagai *channel* grafik menggambarkan konsentrasi atom pada sampel. Sinar X yang diserap objek akan mentransfer energi pada elektron di bagian kulit dalam atom, menyebabkan elektron tersebut berpindah dan menghasilkan ruang kosong sehingga atom tidak stabil. Untuk menstabilkan atom elektron lain di kulit yang lebih luar akan berpindah ke dalam dan proses ini menghasilkan energi X-Ray baru yang berbeda dengan X-Ray asal. Emisi sinar X-Ray inilah yang dinamakan sebagai X-Ray Flourescence. Detektor selanjutnya menangkap emisi sinar X-Ray flourescence sebagai gambaran dari konsentrasi atom di dalam sampel. **Gambar 4.** dibawah ini menunjukkan prinsip kerja alat XRF (Mira et al., 2022)



Gambar 4. Prinsip Kerja Alat XRF

LSF (Lime Saturation Factor)

LSF merupakan kadar CaO yang terkandung dalam *meal*. *Lime saturated factor* (LSF) adalah parameter kualitas klinker yang bertujuan menunjukkan jumlah maksimum CaO yang diperlukan untuk bereaksi dengan oksida lain sehingga tidak terjadi CaO bebas berlebihan di klinker. Pengujian dilakukan untuk mengontrol kualitas klinker sebelum diolah menjadi semen. LSF dicari berdasarkan perhitungan persamaan (1):

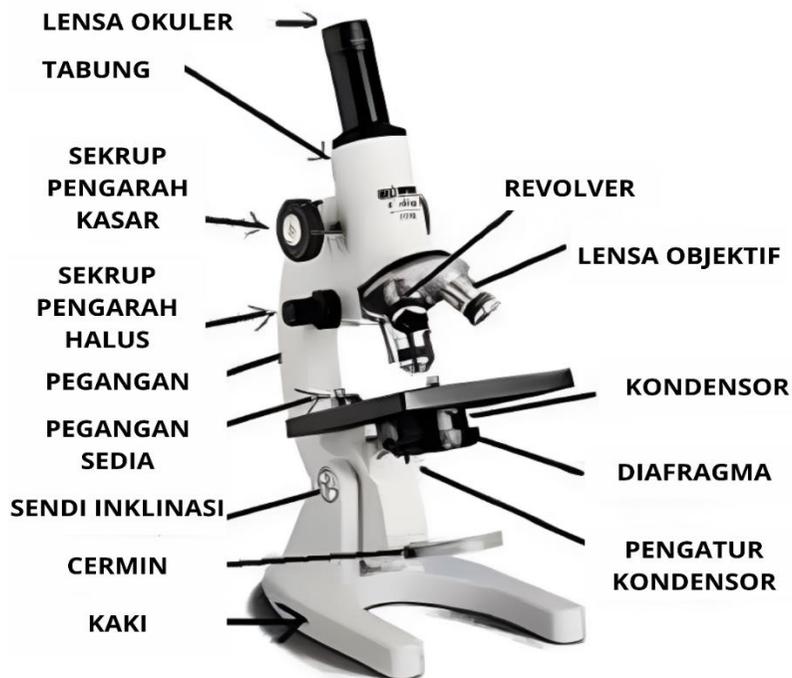
$$LSF = \frac{CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3} \times 100\% \quad (1)$$

Penetapan standar LSF dibuat agar pemakaian bahan bakar menjadi lebih efisien, karena semakin tinggi nilai LSF maka semakin sulit material untuk dibakar sehingga

pemakaian bahan bakar pun semakin banyak dan tidak efisien, penetapan standar LSF juga didasari agar tercapainya C_3S sebesar 60% dalam klinker (Galenica, 2020).

1.3.6 Metode Mikroskop Polarisasi

Mikroskop polarisasi adalah mikroskop yang menggunakan cahaya terpolarisasi untuk mengamati objek yang salah satunya merupakan sayatan tipis batuan, cahaya ini berada di bagian bawah mikroskop yang ditembakkan ke arah lensa objektif. Perbedaan mikroskop polarisasi dengan mikroskop lain adalah terdapat 2 metode pengamatan berupa pengamatan nikol sejajar/*plane polarized light* dan pengamatan nikol bersilang/*cross polarized light*.



Gambar 5. Mikroskop polarisasi

Sayatan tipis batuan merupakan batuan yang dijadikan dalam bentuk preparat sehingga dapat diamati secara mikroskopis. Pengamatan mikroskopis batuan dengan bantuan mikroskop polarisasi disebut dengan pengamatan petrografis. Pengamatan petrografis akan menunjukkan sifat-sifat optis dari mineral maupun material penyusun batuan. Pengamatan petrografis dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih teliti dan akurat dibandingkan pengamatan contoh setangan batuan. Pembuatan sayatan tipis dilakukan dengan peralatan khusus dan melalui tahapan-tahapan tertentu, sehingga dapat dihasilkan sayatan tipis yang

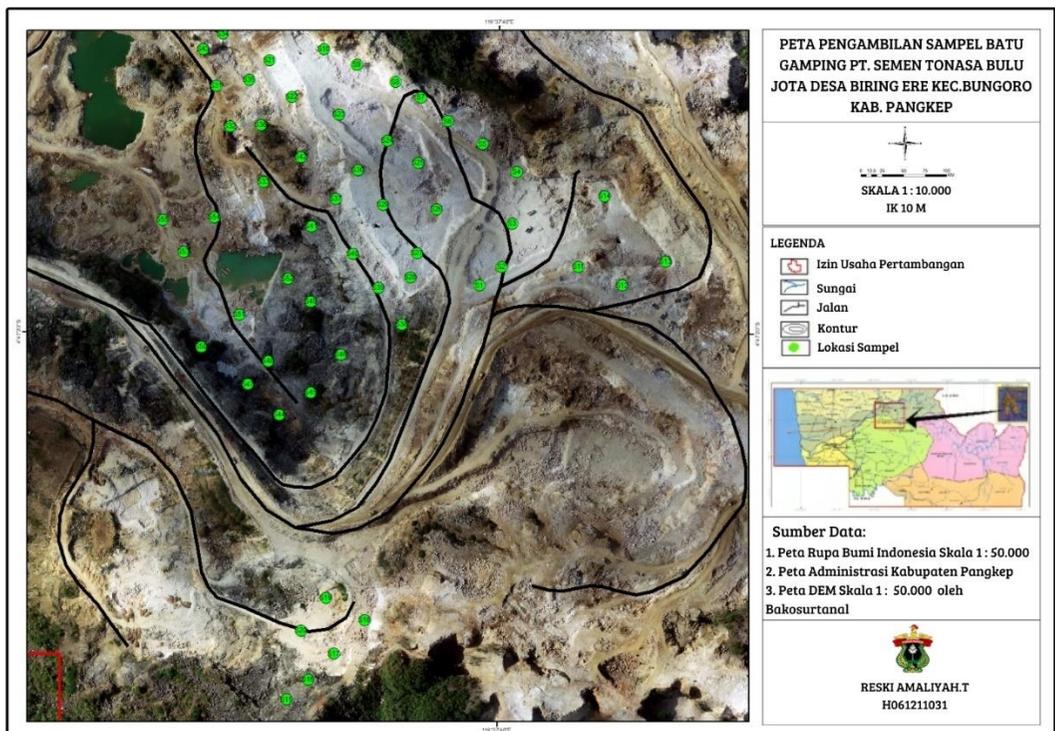
memiliki ukuran pas untuk dapat diamati. Ketebalan sayatan tipis idealnya adalah 0,03 mm

Mikroskop polarisasi bekerja dengan memanfaatkan cahaya terpolarisasi untuk mengamati sifat optik mineral dalam sayatan tipis batuan. Cahaya dari sumber di bagian bawah mikroskop melewati polarisator, yang mengubah cahaya biasa menjadi cahaya terpolarisasi dengan arah getaran tertentu. Cahaya ini kemudian melewati sayatan tipis batuan, di mana setiap mineral akan mempengaruhi cahaya berdasarkan sifat optiknya, seperti birefringence, pleokroisme, dan indeks bias. Setelah melewati sampel, cahaya yang telah berinteraksi dengan mineral diteruskan ke lensa objektif, diperbesar, dan diamati melalui okuler atau kamera. (Wiloso, 2023).

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 1 Oktober – 30 November 2024 dan lokasi penelitian ini yaitu berada di *Quarry* penambangan batugamping PT Semen Tonasa, Laboratorium *Quality Control* Tonasa IV, dan Laboratorium Preparasi Batuan/ Sayatan Tipis Batuan Teknik Geologi UNHAS. Penelitian ini dimulai dengan proses pengambilan sampel yang dilakukan pada 55 titik yang berbeda pada blok 4, blok 5, blok 7, blok 8, blok 9 dan blok 10 di penambangan *Quarry* batugamping PT Semen Tonasa.



Gambar 6. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat dan Bahan yang digunakan di Tambang *Quarry* Batugamping PT Semen Tonasa

Alat dan bahan yang digunakan di tambang *Quarry* batugamping PT Semen Tonasa yaitu:

1. Palu geologi berfungsi untuk memecah batugamping yang berukuran besar jika ditemui di lokasi pengambilan batugamping.

2. GPS berfungsi untuk menentukan titik koordinat lokasi pengambilan sampel batugamping.
3. Gunting berfungsi untuk memotong kantong sampel dan kertas kode sampel.
4. Spidol berfungsi sebagai alat tulis untuk memberikan kode sampel pada batugamping.
5. *Clib board* berfungsi sebagai papan pengalas untuk mencatat kode sampel.
6. HT (*Handy Talkie*) berfungsi sebagai alat komunikasi dalam pengambilan sampel.
7. Batugamping berfungsi sebagai bahan yang akan diambil di lokasi.
8. Kertas sampel berfungsi untuk penamaan kode sampel pada batugamping yang diambil.
9. Plastik sampel berfungsi sebagai tempat menyimpan sampel batugamping.

2.2.2 Alat dan Bahan yang digunakan di Laboratorium *Quality Control* Tonasa IV

Alat dan bahan yang digunakan di Laboratorium *Quality Control* Tonasa IV yaitu:

1. Palu geologi berfungsi untuk memecah batugamping menjadi beberapa bagian untuk dimasukkan ke dalam alat *Jaw crusher*.
2. *Jaw crusher* berfungsi untuk menghancurkan atau mengecilkan material batugamping.
3. Oven berfungsi untuk mengeringkan material batugamping.
4. *Disk mill 4 B* berfungsi untuk menghaluskan material batugamping.
5. Pil herzog berfungsi sebagai bahan campuran batugamping agar batugamping dapat mengeras.
6. *Neraca digital* berfungsi untuk menimbang sampel batugamping hingga 10 gram.
7. *Vessel* berfungsi sebagai wadah batugamping untuk digiling.
8. *Swing mill herzog* berfungsi menggiling batugamping selama 2 menit.
9. Kertas sampel berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan batugamping yang telah dihaluskan.
10. *Ring* berfungsi sebagai media cetak sampel batugamping.
11. *Automatic press* berfungsi untuk mencetak sampel batugamping ke dalam *ring*.
12. Pensil berfungsi untuk memberikan tanda pada setiap sampel batugamping yang telah di cetak.
13. Komponen alat XRF berfungsi untuk menganalisis kandungan unsur dari sampel batugamping.
14. Komputer dengan *software OXSAS* dan *software Search Match* berfungsi sebagai perangkat pengolah data sekaligus pengontrol alat XRF.

2.2.3 Alat dan Bahan yang digunakan di Laboratorium Preparasi/Sayatan Tipis Batuan Teknik Geologi UNHAS

Alat dan bahan yang digunakan di Laboratorium Preparasi/Sayatan Tipis Batuan Teknik Geologi UNHAS yaitu:

1. Mesin pemotong batu berfungsi untuk memotong sampel batugamping.
2. *Hot plate* berfungsi memanaskan sampel batugamping.
3. Alat poles berfungsi menghaluskan permukaan lempengan batugamping untuk diteliti pada mikroskop polarisasi.
4. Kaca preparat berfungsi sebagai media tempat merekatkan sayatan tipis batugamping.
5. *Epoxy resin* berfungsi merekatkan irisan batugamping ke kaca objek.
6. Kaca poles berfungsi menghaluskan permukaan sayatan tipis batugamping.
7. Mikroskop polarisasi berfungsi untuk mengamati struktur batuan pada sayatan tipis batugamping.

2.3 Pengumpulan Data

2.3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Metode observasi dilakukan dengan cara tinjauan langsung ke lokasi pengambilan sampel dan laboratorium pengolahan sampel.
2. Metode eksperimen dengan cara menganalisis sampel pada laboratorium *Quality Control* dengan komponen alat XRF dan laboratorium preparasi batuan/sayatan tipis.

2.3.2 Prosedur Pengambilan Sampel

1. Melakukan tinjauan lokasi pengambilan sampel pada Quarry penambangan batugamping PT Semen Tonasa.
2. Menentukan lokasi pengambilan sampel batugamping.
3. Mengambil sampel batugamping pada titik lokasi pengambilan sampel yang telah ditentukan
4. Mengamati sifat fisik dan mencatat kode sampel batugamping yang telah diambil dari lokasi pengambilan sampel.
5. Memasukkan sampel batugamping dan kode sampel ke dalam plastik sampel.
6. Mengambil gambar sampel batugamping beserta kodenya.
7. Membawa sampel batugamping yang telah diambil ke mobil untuk disimpan yang nantinya akan di bawa ke laboratorium untuk pengujian sampel.

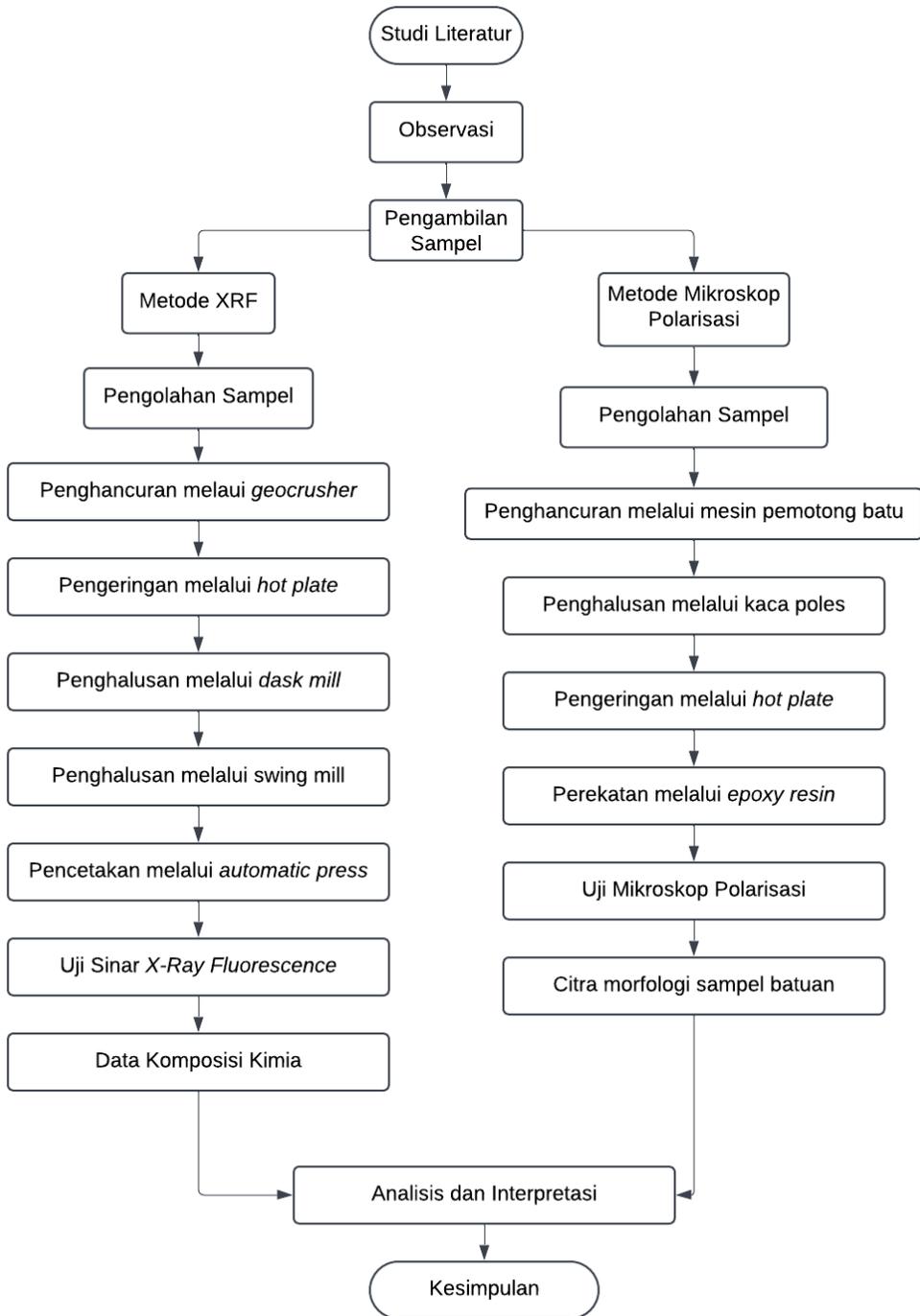
2.3.3 Prosedur Uji Sampel Komposisi Kimia Batugamping

1. Memperkecil ukuran batugamping menggunakan palu geologi agar dapat dimasukkan ke dalam alat *Jaw Crusher*
2. Menghancurkan material batugamping menggunakan alat *Jaw Crusher*.
3. Mengeringkan material batugamping ke dalam oven sebelum dihaluskan pada alat *disk mill*
4. Menghaluskan material batugamping menggunakan alat *disk mill* menjadi butiran yang sangat halus.
5. Menimbang sampel sebanyak 10,00 gram pada neraca analitik lalu menambahkan 3 pill herzog.
6. Memasukkan sampel yang telah ditimbang sebelumnya di neraca digital kedalam *grinding vessel*.
7. Memasukkan *grinding vessel* kedalam *swing mill* untuk digiling selama 2 menit.
8. Mengeluarkan *grinding vessel* dari dalam *swing mill*, lalu tuangkan sampel pada kertas yang bersih.
9. Memasukkan sampel ke dalam ring kemudian press sampel pada mesin press atau *automatic press*.
10. Menganalisis sampel batugamping pada mesin XRF dengan *software Oxsas* yang dikontrol oleh komputer untuk mengetahui kandungan unsur yang terkandung dalam sampel batugamping.

2.3.4 Prosedur Uji Sampel Sifat Fisik Batugamping

1. Membuat *Slab* (lempengan potongan batuan dengan ketebalan 2-3 cm) menggunakan Mesin pemotong batu ukuran besar (diameter 36 cm).
2. Membuat *Chip* (orientasi potongan batuan dari *slab*) menggunakan mesin pemotong batu ukuran sedang (diameter 8 inci). Ukuran *chip* mengikuti kaca preparat mikroskop yang digunakan.
3. Menghaluskan permukaan *chip* menggunakan kaca poles dengan ukuran #1000 dan #3000. Semakin halus dan rata permukaan *chip* maka kualitas sayatan tipis akan semakin baik.
4. Mengeringkan *chip* dengan menggunakan *hot plate* dengan suhu 110°C selama 1 jam kemudian menempelkannya pada kaca preparat.
5. Rekatkan permukaan halus irisan batugamping pada kaca objek menggunakan *epoxy resin*. Biarkan sampai *epoxy resin* mengering sepenuhnya untuk mencapai stabilitas.
6. Memotong sisa *chip* yang menempel pada kaca preparat dengan menggunakan mesin pemotong batu dengan cakram berukuran halus.
7. Menghaluskan sayatan tipis kembali hingga mencapai ketebalan 3 μ .
8. Menempelkan kaca penutup sayatan tipis dan diamkan selama kurang lebih 2 jam untuk hasil yang maksimal.
9. Letakkan sayatan tipis di bawah mikroskop polarisasi untuk mengamati struktur batuan pada sayatan tipis batugamping.

2.4 Diagram Alir



Gambar 7. Diagram Alir

