

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah. Salah satu kekayaan alam yang cukup melimpah yaitu batugamping atau batu kapur. Batugamping mudah ditemukan dan digunakan untuk kepentingan industri sebagai bahan baku. Potensi batugamping di Indonesia sangat besar dan tersebar hampir merata di seluruh kepulauan Indonesia. Data yang pasti tentang jumlah sumberdaya batugamping belum ada. Namun secara umum potensi batugamping di Indonesia berdasarkan peta geologinya diperkirakan sekitar 28,678 miliar ton (Madiadipoera, 1990). Provinsi Sulawesi Selatan terdapat 14,50% atau seluas 260,81 km² wilayah batugamping yang sangat sesuai sebagai wilayah tambang batugamping, 47,52% atau seluas 854,46 km² wilayah batugamping di Sulawesi Selatan sesuai sebagai wilayah tambang batugamping dan 37,98% atau seluas 682,87 km² wilayah batugamping di Sulawesi Selatan tidak sesuai sebagai wilayah tambang batugamping. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak potensi batugamping yang dapat dimanfaatkan (Hidayat et al., 2019).

Batugamping adalah salah satu jenis mineral industri yang terbentuk dari kalsium karbonat (CaCO₃) dan beberapa unsur lain seperti magnesium. Batugamping yang memiliki kandungan CaO lebih dari 50% (berdasarkan persen berat) dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, terutama untuk pembuatan semen. Umumnya, batugamping berasal dari cangkang hewan laut seperti moluska, foraminifera, coelenterata, serta dari endapan karbonat. Dalam menentukan kualitas batugamping, kandungan unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) sangat penting. Batugamping dengan kadar Ca yang tinggi dan Mg yang rendah menunjukkan kualitas yang baik, sedangkan jika kadar Ca rendah dan Mg tinggi, maka kualitasnya dianggap kurang baik. Kandungan Mg yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses pengerasan karena tidak dapat berikatan dengan unsur lain dalam semen (Alfarizi et al., 2020).

XRF (*X-ray Fluorescence*) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur kimia dalam suatu bahan, baik yang berbentuk padat, cair, maupun bubuk. Metode ini bersifat cepat, akurat, tidak merusak sampel, dan hanya membutuhkan sedikit persiapan. XRF digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif, sehingga dapat memberikan informasi tentang jenis dan jumlah unsur dalam bahan tersebut (Brouwer, 2003).



Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan analisis kualitas ayah PT. Semen Tonasa menggunakan metode XRF. Namun, n yang secara khusus mengkaji kandungan unsur batugamping kan kualitasnya sebagai bahan baku semen, serta memetakan atugamping untuk mendukung perencanaan tambang di area

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode XRF untuk mengetahui komposisi unsur kimia batugamping yang terdapat di *Quarry* (tambang terbuka untuk mineral non-logam atau batuan) milik PT. Semen Tonasa, yang berada di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. Hasil analisis XRF akan menunjukkan kandungan unsur dalam batugamping, dan dari sana dapat diketahui kualitasnya berdasarkan nilai *Lime Saturation Factor* (LSF). Dengan begitu, dapat ditentukan proporsi batugamping yang tepat untuk digunakan sebagai bahan baku utama semen di PT. Semen Tonasa.

1.2 Tujuan dan manfaat

1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan dan kadar batugamping pada PT. Semen Tonasa.
2. Mengetahui persebaran kualitas mutu batugamping pada penambangan *quarry* di PT. Semen Tonasa.
3. Mengetahui proporsi batugamping yang tepat pada *Rawmill* untuk bahan baku pembuatan semen di PT. Semen Tonasa.

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan gambaran mengenai kandungan unsur batugamping, mengetahui persebaran kualitasnya di lokasi penambangan PT. Semen Tonasa, serta membantu menentukan proporsi pencampuran yang tepat sebagai bahan baku di unit *Rawmill* agar proses produksi semen lebih efisien dan sesuai standar.

1.3 Landasan teori

1.3.1 Geologi Regional

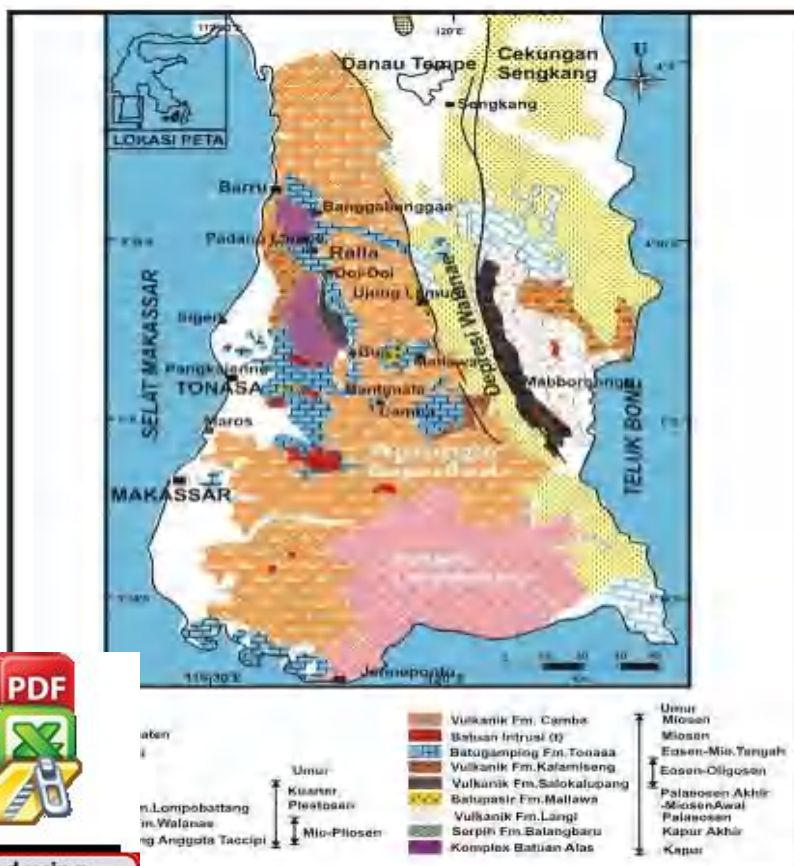
Secara regional, wilayah penelitian berada dalam cakupan Peta Geologi Lembar Pangkajene dan bagian barat Watampone, Sulawesi, dengan skala 1:250.000. Secara administratif, area ini terletak di antara koordinat $119^{\circ}5'00''$ – $120^{\circ}45'00''$ BT dan 4° – 5° LS. Berdasarkan **Gambar 1**, struktur dari geologi regional menurut Sukanto (1982) dalam peta tersebut menunjukkan bahwa bagian barat wilayah penelitian didominasi oleh pegunungan yang mencakup hampir separuh luas area. Pegunungan ini melebar di bagian selatan hingga 50 km dan menyempit di bagian utara hingga 22 km, dengan puncak tertinggi mencapai 1.694 meter dan ketinggian rata-rata sekitar 1.500 meter di atas permukaan laut (Utoyo, 2008).

Di lereng barat serta di beberapa bagian lereng timur, terdapat bentang alam menunjukkan keberadaan batugamping. Pegunungan ini dibatasi oleh Pangkajene–Maros, yang juga merupakan lanjutan dari dataran di bagian timur, terdapat pegunungan yang lebih sempit dan memiliki ketinggian, dengan rata-rata puncak sekitar 700 meter di atas permukaan laut, umumnya mencapai 787 meter. Pegunungan ini sebagian besar bersifat vulkanik. Bagian selatannya memiliki lebar sekitar 20 km dan bagian yang lebih besar, namun semakin ke utara, wilayah ini menyempit dan



menurun hingga akhirnya membentuk batas dengan Lembah Walanae dan dataran Bone.

Di bagian utara, topografi pegunungan ini menunjukkan bentuk karst dengan permukaan yang sebagian berkerucut. Di timur laut, wilayah ini berbatasan dengan dataran luas Bone yang mencakup hampir sepertiga bagian timur area penelitian. Lembah Walanae yang memisahkan kedua sistem pegunungan ini memiliki lebar sekitar 35 km di bagian utara, dilalui oleh aliran Sungai Walanae yang mengalir ke arah utara. Sementara itu, bagian selatannya terdiri dari perbukitan rendah, dan bagian utaranya merupakan dataran aluvial luas yang mengelilingi Danau Tempe. Menurut Sukanto (1982), aktivitas vulkanik yang terjadi pada awal Kala Miosen diikuti oleh aktivitas tektonik yang memicu terbentuknya cekungan terban Walanae, memanjang dari utara ke selatan di wilayah barat Sulawesi. Struktur sesar ini sangat memengaruhi konfigurasi geologi di sekitarnya. Proses tektonik tersebut juga berperan dalam pembentukan cekungan yang menjadi lokasi pengendapan Formasi Walanae. Aktivitas ini berlangsung sejak pertengahan Miosen dan terus berlanjut secara perlahan hingga Kala Pliosen, bersamaan dengan proses sedimentasi. Terban Walanae dibatasi oleh dua sistem sesar normal, yaitu Sesar Walanae di sebelah timur dan Sesar Soppeng di sisi barat, meskipun keberadaannya tidak sepenuhnya tersingkap (Sukanto, 1982).



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

1.3.2 Batugamping

Batugamping (*limestone*) merupakan batuan sedimen yang mayoritas tersusun atas kalsium karbonat (CaCO_3) dan berasal dari sisa-sisa organisme laut seperti kerang, siput laut, serta koral yang telah mati. Proses pembentukannya dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama: organik, mekanik, dan kimiawi. Batugamping yang terbentuk secara organik berasal dari akumulasi dan pengendapan cangkang, siput, serta ganggang yang berasal dari rangka koral. Batugamping mekanik memiliki karakteristik yang mirip dengan jenis organik, tetapi mengalami proses perombakan sebelum diangkut oleh arus dan diendapkan kembali di lokasi yang tidak jauh dari tempat asalnya. Sementara itu, batugamping yang terbentuk secara kimia terjadi di bawah kondisi iklim dan lingkungan tertentu, di mana proses kimia berperan dalam pembentukan batuan ini (Tumbelaka et al., 2016).

Perubahan permukaan laut dalam jangka panjang dapat menyebabkan lapisan batugamping muncul ke permukaan bumi. Batugamping yang mengandung lebih dari 95% kalsium karbonat disebut batugamping berkalsium tinggi. Secara umum, batuan ini didominasi oleh butiran berbentuk bulat (oid) dengan diameter 0,2-0,5 mm. Jika sebagian molekul kalsium digantikan oleh magnesium, terbentuklah batu kapur magnesium (MgCO_3) atau batugamping dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Densitas batugamping berkisar antara 2,5 - 2,7 kg/cm^3 , sementara porositasnya cenderung rendah, yakni sekitar 4 - 25%. Seiring bertambahnya usia, densitas batugamping meningkat, sementara porositasnya menurun karena proses sementasi dan konsolidasi yang berlangsung lebih lama. Hal ini juga berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan batugamping. Nilai kuat tekan bebas berkisar antara 10 - 170 MN/m^2 , sedangkan *modulus young* bervariasi antara 8×10^3 – 75×10^3 MN/m^2 , dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya usia batugamping.

Batugamping yang tersementasi dengan keras dapat digunakan sebagai bahan bangunan dan merupakan bahan yang sangat baik untuk campuran pembuatan semen. Batu kapur yang direkristalisasi membutuhkan pemolesan yang baik dan biasanya digunakan sebagai batu hias dan bangunan. Batugamping yang berpori dan memiliki permeabilitas tinggi juga berfungsi sebagai lapisan akifer air tanah maupun sebagai reservoir minyak bumi (Aryaseta et al., 2022).

1.3.2.1 Jenis Batugamping

Dunham (1962) mengklasifikasikan batugamping berdasarkan tekstur deposisionalnya, yaitu tekstur yang terbentuk selama proses pengendapan sedimen karbonat berlangsung. Klasifikasi ini berfokus pada karakteristik fisik batuan yang berkaitan erat dengan proses pembentukan awal, khususnya pada saat material karbonat mengalami akumulasi di lingkungan pengendapannya. Dalam sistem ini, faktor-faktor seperti ukuran butir, hubungan antarbutir, serta tingkat kematangan



ek penting. Selain itu, susunan butir yang sering disebut sebagai di pertimbangan utama karena memberikan informasi tentang dan mekanisme transportasi sedimen pada saat pengendapan li et al., 2022).

Mudstone	Wackestone	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)

Beberapa ahli telah mengusulkan klasifikasi batugamping, salah satunya Dunham (1962), yang membagi batugamping menjadi enam jenis, yaitu *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *boundstone*, dan *crystalline* (Ali et al., 2022).

A. *Mudstone*

Mudstone merupakan batuan sedimen non-klastik yang memiliki warna segar putih abu-abu, sementara warna lapuknya cenderung putih kecokelatan. Batuan ini memiliki tekstur non-klastik dengan komposisi kimia karbonat serta tidak berlapis dalam strukturnya. *Mudstone* didefinisikan sebagai batugamping yang mengandung kurang dari 10% butiran penyusun. Umumnya, *mudstone* ditemukan pada lingkungan paparan karbonat (*carbonate platform*) dan cekungan. *Calcareous mudstone* terbentuk dari hancuran alga hijau berkapur, pemisahan partikel skeletal berukuran besar, serta kemungkinan adanya penyerapan inorganik dari air laut. *Mudstone* yang berasal dari lingkungan cekungan dan lereng cekungan terbentuk dari lumpur platform yang mengalami proses pemindahan (*periplatform ooze*) atau dari cangkang nannoplankton coccoliths (*nannofossil ooze*). Batugamping ini terbentuk di lingkungan dengan energi rendah (Okto et al., 2022).

B. *Wackestone*

Wackestone merupakan batugamping organik dan klastik yang tersusun terutama dari lumpur karbonat yang terdiri atas mikrit dan sparit. Fragmen dalam *wackestone* dapat berupa butiran skeletal maupun nonskeletal yang tersebar dalam matriks lumpur. Batuan ini terbentuk di lingkungan fasies koral dengan arus rendah hingga tenang, seperti laguna dan area belakang terumbu (*back reef*). *Wackestone* ditandai mikrit dan sparit, serta kehadiran siderit yang terbentuk akibat reduksi dengan atom besi. Selain itu, agregat kalsit juga ditemukan. *Wackestone* merupakan batugamping yang didominasi lumpur dan mengandung kurang dari 10% butiran karbonat berukuran lebih dari 20 mikron yang tersebar dalam matriks lumpur halus (Okto et al., 2022).



C. Packstone

Packstone adalah batugamping organik dan klastik yang tersusun terutama dari butiran fosil, mineral, serta *skeletal grain* lainnya, yang terikat dalam mikrit dan sparit. Berbeda dengan wackestone, butiran dalam packstone saling bersinggungan dan membentuk kemas tertutup, menunjukkan dominasi fragmen hasil pasokan sedimen dalam jumlah besar. Packstone terbentuk di lingkungan dataran terumbu (*reef flat*) dan bagian depan terumbu (*fore reef*) yang dipengaruhi oleh arus serta gelombang laut. Fosil *red algae* sering ditemukan dalam batuan ini dengan sortasi yang buruk dan kemas terbuka. Mineral aragonit juga dapat ditemukan pada bagian tubuh *red algae* serta moluska yang telah mengalami deformasi (Okto et al., 2022).

D. Grainstone

Grainstone adalah jenis batugamping yang diklasifikasikan Dunham (1962) sebagai batuan karbonat tanpa lumpur yang didukung oleh butiran (*grain-supported*). Dalam *grainstone*, terdapat banyak *allochem* yang berupa butiran *skeletal* maupun *nonskeletal*. Batugamping jenis *Grainstone* ini terbentuk di lingkungan dengan energi sedang hingga tinggi, ditandai dengan hubungan antar butiran yang rapat tanpa keberadaan lumpur karbonat. Indeks energi lingkungan pengendapan *grainstone* menunjukkan kondisi air laut yang sedikit bergelombang. Sebagian besar cangkang fosil dalam *grainstone* mengalami *neomorfisme* yang dapat menyebabkan *rekristalisasi mikrit* (Moreira et al., 2019).

E. Boundstone

Boundstone merupakan salah satu jenis batugamping menurut klasifikasi Dunham (1962), yang dicirikan oleh komponen teksturnya yang telah terikat selama proses pengendapan. Batugamping ini terbentuk oleh aktivitas organisme seperti ganggang, karang, atau organisme uniseluler lainnya yang merekatkan material sedimen saat batuan terbentuk. *Boundstone* umumnya ditemukan di sekitar terumbu karang, termasuk yang berusia sekitar 2,5–3 juta tahun lalu, meskipun saat ini mungkin sudah dikelilingi oleh daratan kering. Susunan dan jenis bahan organik dalam boundstone bergantung pada bagaimana material tersebut diatur dalam sedimen selama pembentukan batuan (Sukmawati et al., 2022).

F. Crystalline limestone

Crystalline limestone adalah salah satu jenis batugamping yang juga termasuk dalam batuan sedimen. Batuan ini terbentuk dari kerangka kalsit yang berasal dari organisme mikroskopis di laut dangkal. Beberapa lapisan batugamping hampir seluruhnya tersusun dari kalsit murni, sementara lapisan lainnya mengandung silt atau lempung yang meningkatkan ketahanan terhadap pelapukan. Lapisan gelap pada bagian atas batuan ini mengandung fraksi silika dalam jumlah besar yang berasal dari kerangka mikrofosil, sehingga lebih tahan terhadap proses pelapukan.

Crystalline limestone memiliki ciri-ciri warna abu-abu kecokelatan, tekstur non-edang, serta komposisi utama berupa kristal kalsit 100%. Warna g cokelat kehitaman, dengan struktur masif yang memberikan adap perubahan lingkungan (Agustina et al., 2023).



1.3.2.2 Tekstur Batugamping

Tekstur batugamping merupakan karakteristik yang mencerminkan hubungan antara ukuran, bentuk, susunan, dan hubungan antar komponen penyusun batuan. Tekstur ini memiliki peran penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik batugamping, seperti porositas, permeabilitas, dan ketahanan terhadap pelapukan (Boggs, 2009). Berdasarkan ukuran butir, batugamping dapat diklasifikasikan menjadi mikritik, yang kandungannya tersusun dari kristal kalsit sangat halus, serta sparitik, yang memiliki kristal kalsit lebih kasar. Selain itu, bentuk butirnya dapat bervariasi dari membulat (*rounded*), yang menunjukkan transportasi sebelum pengendapan, hingga yang bersudut (*angular*), yang mengindikasikan sedikit atau tidak adanya transportasi sebelum proses pengendapan (Zuhdi, 2019).

Dalam petrologi karbonat, terdapat dua sistem utama untuk mengklasifikasikan tekstur batugamping, yaitu sistem Folk dan Dunham. Folk (1959) membagi batugamping menjadi *orthochemical limestone*, yang tersusun oleh mikrit dan sparit, serta *allochemical limestone*, yang mengandung butiran seperti oolit, fosil, pelet, dan *intraclast* (Folk, 1959). Sementara itu, Klasifikasi Dunham (1962) membagi batugamping berdasarkan proporsi lumpur karbonat dan keberadaan butiran penyusun, yang terdiri dari *mudstone* (dominan lumpur karbonat), *wackestone* (mengandung butiran dalam jumlah cukup signifikan tetapi tetap didominasi lumpur karbonat), *packstone* (butiran yang cukup banyak dan saling bersentuhan), *grainstone* (hampir tidak mengandung lumpur karbonat, dengan butiran yang saling bersentuhan), dan *boundstone* (batugamping yang terikat secara organik oleh organisme seperti alga atau koral) (Dunham, 1962).

Tekstur batugamping juga berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekaniknya. Porositas dan permeabilitas batugamping sangat bergantung pada ukuran dan susunan butiran; semakin besar ukuran butir dan semakin longgar susunannya, semakin tinggi pula porositas dan permeabilitasnya (Tucker & Wright, 1990). Selain itu, batugamping mikritik cenderung lebih tahan terhadap pelapukan dibandingkan batugamping sparitik karena butirannya lebih kompak (Boggs, 2009).

1.3.3 Penambangan Batugamping di PT. Semen Tonasa

PT. Semen Tonasa adalah produsen semen terbesar di kawasan Indonesia Timur, yang beroperasi di atas lahan seluas 715 hektar yang terletak di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Pangkep). Berdasarkan Keputusan MPRS No. II/MPRS/1960 tertanggal 5 Desember 1960, diputuskan untuk membangun pabrik semen di wilayah Sulawesi Selatan, tepatnya di Desa Tonasa, Kecamatan Balocci, Kabupaten Pangkep, sekitar 54 kilometer di utara Kota Makassar. Pendirian Pabrik Semen Tonasa Unit 1 merupakan bagian dari proyek Kementerian Perindustrian dan merupakan hasil kerja sama antara



nia dengan pemerintah Cekoslowakia, yang dimulai sejak tahun 1968. Pabrik Semen Tonasa memiliki kapasitas produksi sebesar 8.725.000 ton semen empat unit pabrik aktif, yakni Pabrik Tonasa I, II, III, IV dan V. Target produksi dari masing-masing pabrik, kegiatan utama yang dilakukan dalam proses penambangan. Penambangan batugamping dilakukan

menggunakan metode tambang terbuka (*open pit*), dimulai dari tahap pembersihan lahan, pembongkaran, peledakan, pemuatan, pengangkutan, hingga tahap pengolahan material (Lesmana & Waterman, 2019).

Kegiatan penambangan bahan galian merupakan bagian dari upaya penyediaan bahan baku yang dibutuhkan di berbagai sektor industri. Karena itu, aktivitas pertambangan sangat erat kaitannya dengan proses pencarian dan eksplorasi sumber daya tambang. Salah satu aspek dalam dunia pertambangan adalah perhitungan estimasi potensi tambang. Estimasi ini memiliki peran penting dalam menentukan kuantitas dan kualitas cadangan, merancang metode penambangan yang tepat, menyusun rencana produksi, dan memperkirakan durasi operasional perusahaan menjalankan kegiatan penambangan (Nurjannah & Yuwono, 2013).

Semen merupakan produk industri yang dihasilkan dari campuran bahan baku seperti batu kapur atau batugamping sebagai komponen utama, serta lempung atau bahan pengganti lainnya. Produk akhir berupa bubuk atau dalam bentuk curah yang akan mengeras ketika dicampur dengan air, tanpa memperhatikan proses pembuatannya. Batugamping adalah material alami yang mengandung kalsium oksida (CaO), sedangkan tanah liat mengandung senyawa seperti silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan magnesium oksida (MgO). Untuk memproduksi semen, bahan-bahan ini dipanaskan hingga meleleh sebagian guna membentuk klinker, yang kemudian dihancurkan dan dicampur dengan gipsum dalam takaran tertentu (Suakartono, 2020).

Dalam proses produksi semen, terdapat empat komponen utama penyusunnya, yaitu: batu kapur sebanyak 75%, pasir besi 5%, silika 5%, dan tanah liat (*clay*) sebanyak 15% (Dewi, 2011).

1.3.4 Metode XRF (X-Ray Fluorescence)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur kimia secara kualitatif dan kuantitatif dalam berbagai bentuk sampel, seperti cairan, padatan, atau serbuk. Teknik ini bekerja dengan mendeteksi emisi fluoresensi yang dihasilkan oleh sampel ketika disinari oleh sinar-X dari instrumen XRF. Alat ini berfungsi untuk mengukur panjang gelombang dari setiap komponen material yang dianalisis.

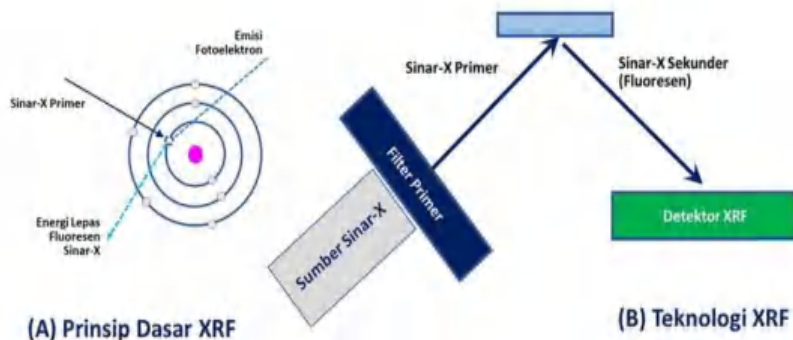
Analisis kualitatif dengan metode XRF bertujuan untuk mengidentifikasi jenis unsur dalam suatu bahan dan menentukan komposisi kimianya. Sementara itu, analisis kuantitatif digunakan untuk mengukur konsentrasi atau kadar unsur-unsur dalam bahan sampel. Selain itu, XRF juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan serta komposisi lapisan atau pelapis material (Ningsih & Sanjaya, 2022).

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan logam dengan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Metode XRF memiliki juga satuan part per *million* (ppm). Selain itu, metode ini memiliki beberapa keuntungan, diantaranya seperti biaya yang relatif murah untuk menganalisis berbagai elemen secara bersamaan, proses analisis yang cepat, serta hasil yang mencakup baik kualitatif maupun kuantitatif. Penerapannya luas, mencakup bidang ilmu



material, industri makanan, eksplorasi tambang, geokimia, serta analisis lingkungan seperti air dan limbah (Jamaluddin & Umar, 2018).

Prinsip kerja XRF didasarkan pada interaksi sinar-X dengan atom dalam sampel. Ketika sampel disinari oleh sinar-X, atom dalam bahan akan menyerap energi, menyebabkan elektron di kulit dalam berpindah dan menciptakan ketidakstabilan. Untuk menyeimbangkan kondisi ini, elektron dari kulit luar akan bergerak ke dalam, menghasilkan energi dalam bentuk emisi sinar-X baru, yang disebut fluorescence sinar-X. Detektor kemudian menangkap emisi ini dan menerjemahkannya ke dalam bentuk spektrum yang mencerminkan konsentrasi unsur dalam sampel (Hanum et al., 2024).



Gambar 3. Prinsip Dasar & Teknologi XRF (Hanum et al., 2024)

Dalam metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), khususnya pada tipe *Wavelength Dispersive* XRF (WD-XRF), prinsip kerja alat sangat dipengaruhi oleh hukum fisika yang dikenal sebagai Hukum Bragg. Hukum ini pertama kali diperkenalkan oleh William Lawrence Bragg pada tahun 1913 dan menjadi dasar dalam teknik difraksi sinar-X, termasuk sistem analisis panjang gelombang dalam WD-XRF. Dalam konteks ini, sinar-X yang dipancarkan dari sampel akan diarahkan ke kristal analitik. Ketika sinar tersebut mengenai bidang-bidang atom dalam kristal pada sudut tertentu, hanya sinar dengan panjang gelombang tertentu yang akan dipantulkan secara konstruktif dan diteruskan ke detektor. Proses pemantulan selektif ini memungkinkan pemisahan sinyal berdasarkan panjang gelombang, sehingga masing-masing unsur kimia dalam sampel dapat diidentifikasi secara akurat. Mekanisme inilah yang membedakan WD-XRF dari *Energy Dispersive* XRF (EDXRF), di mana WD-XRF menggunakan prinsip Hukum Bragg dan kristal difraksi, sedangkan EDXRF hanya menggunakan detektor energi tanpa pemisahan panjang gelombang melalui kristal.

Penerapan prinsip Bragg dalam XRF sangat penting karena memberikan resolusi spektral yang tajam, serta mengurangi kemungkinan tumpang tindih. Hal ini menjadikan WD-XRF unggul untuk analisis material kompleks seperti logam, mineral, dan bahan industri termasuk batugamping. Oleh karena itu, pemahaman terhadap prinsip ini penting dalam menjelaskan bagaimana sampel dapat dianalisis secara tepat (Jenkins et al., 1995).



1.3.5 Klasifikasi Unsur Batugamping

Karakteristik kimia dari batugamping ditentukan dengan mengamati kandungan utama senyawa oksida seperti Kalsium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), Silika (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), dan Besi Oksida (Fe_2O_3), yang kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan atau korelasi antar senyawa tersebut (Choerunnisa et al., 2019). Untuk mengklasifikasikan batugamping, digunakan dua pendekatan, yakni klasifikasi Dunham (1962) pada **Gambar 2**, yang didasarkan pada komposisi petrografi batugamping, serta klasifikasi Todd (1968) yang didasarkan pada perbandingan rasio Ca/Mg dan Mg/Ca pada **Tabel 1**.

Rasio Ca/Mg mencerminkan tingkat kestabilan selama proses pembentukan batuan karbonat. Semakin tinggi rasio Ca/Mg menunjukkan bahwa proses evaporasi air laut berlangsung dalam intensitas yang rendah, serta tingkat salinitas yang relatif rendah selama pembentukan batugamping. Selain itu, rasio Ca/Mg pada batuan karbonat cenderung meningkat seiring dengan jaraknya yang semakin jauh dari garis pantai, sedangkan rasio Mg/Ca justru menurun (Marshner, 1968).

Tabel 1. Klasifikasi Kimia pada Batugamping (Todd, 1966).

Klasifikasi	Standar Rasio	
	Ca/Mg	Mg/Ca
<i>Pure Limestone</i>	100 – 39	0.00 – 0.3
<i>Magnesian Limestone</i>	39 – 12.30	0.03 – 0.08
<i>Dolomitic Limestone</i>	12.30 – 1.41	0.08 – 0.18

1.3.5.1 Silika (SiO_2)

Silika (SiO_2) merupakan salah satu unsur pengotor dalam batugamping yang berasal dari mineral kuarsa atau silikat lainnya. Kandungan SiO_2 yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas batugamping sebagai bahan baku industri semen, karena dapat menurunkan kadar kalsium oksida (CaO) yang diinginkan. Analisis geokimia menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 dalam batugamping berkisar antara 0,27% hingga 3,78%. Korelasi negatif antara CaO dan SiO_2 menunjukkan bahwa peningkatan kadar silika dapat menurunkan kandungan kalsium oksida dalam batugamping (Eksan et al., 2019).

1.3.5.2 Aluminium Oksida (Al_2O_3)

Aluminium Oksida (Al_2O_3) juga termasuk unsur pengotor dalam batugamping yang dapat mempengaruhi kualitasnya sebagai bahan baku semen. Kandungan Al_2O_3 yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kadar CaO . Dalam analisis geokimia, dalam batugamping ditemukan antara 0,04% hingga 1,04%. Korelasi negatif antara CaO dan Al_2O_3 menunjukkan bahwa peningkatan kadar Al_2O_3 dapat menurunkan kandungan kalsium oksida dalam batugamping (Anu et al., 2018).



1.3.5.3 Besi Oksida (Fe_2O_3)

Besi Oksida (Fe_2O_3) merupakan unsur pengotor lainnya dalam batugamping yang dapat mempengaruhi kualitasnya sebagai bahan baku semen. Kandungan Fe_2O_3 yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kadar CaO. Analisis geokimia menunjukkan bahwa kandungan Fe_2O_3 dalam batugamping berkisar antara 0,02% hingga 0,14%. Korelasi negatif antara CaO dan Fe_2O_3 menunjukkan bahwa peningkatan kadar besi oksida dapat menurunkan kandungan kalsium oksida dalam batugamping (Semanu et al., 2018).

1.3.5.4 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium Oksida (CaO) merupakan komponen utama dalam batugamping yang menentukan kualitasnya sebagai bahan baku industri semen. Kandungan CaO yang tinggi menunjukkan kualitas baik. Analisis geokimia menunjukkan bahwa kandungan CaO dalam batugamping berkisar antara 46,92% hingga 55,41% (Syahroza et al., 2013). Proses kalsinasi batugamping pada suhu tertentu dapat meningkatkan kadar CaO. Penelitian ini menunjukkan bahwa kalsinasi batugamping pada suhu 900°C selama 7 jam menghasilkan kadar CaO sebesar 47% (Krisnasiwi, 2020).

1.3.5.5 Magnesium Oksida (MgO)

Magnesium Oksida (MgO) merupakan salah satu unsur kimia yang umum ditemukan dalam batugamping dan berperan penting dalam mengklasifikasikan jenis batuan karbonat, terutama antara batugamping dan dolomit. Kandungan MgO dapat menunjukkan sejauh mana dolomitisasi telah terjadi pada batuan karbonat tersebut. Menurut klasifikasi Todd (1968), rasio Ca/Mg dan Mg/Ca menjadi indikator penting dalam menentukan tipe batuan karbonat. Kandungan MgO yang tinggi biasanya menunjukkan bahwa batugamping telah mengalami proses dolomitisasi, yakni penggantian sebagian ion kalsium oleh ion magnesium. Hal ini berdampak pada perubahan sifat fisik dan kimia batuan, seperti densitas dan kekerasannya.

Berdasarkan hasil analisis geokimia terbaru, kandungan MgO dalam batugamping dapat berkisar antara 0,52% hingga 3,24%, tergantung pada lokasi dan proses geologinya. Korelasi negatif antara kandungan MgO dan CaO menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan MgO, maka kandungan CaO cenderung menurun, karena proporsi kalsium dalam mineral karbonat digantikan oleh magnesium (Hwidi et al., 2018).

1.3.6 Standar Komposisi Batugamping Sebagai Bahan Baku Semen

Hasil analisis komposisi kimia mineral oksida batugamping diperoleh SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO dan CaO. Kemudian persentasi mineral oksida yang diperoleh dibandingkan dengan standar kualitas batugamping oleh Duda (1976) untuk bahan yang terlihat pada **Tabel 2**. Standar kualitas batugamping untuk ditetapkan berdasarkan persyaratan komposisi kimia, yaitu harus memenuhi persyaratan minimum.



Tabel 2. Standar Batugamping Bahan Baku Semen Duda (1976)

Komposisi Kimia	Standar Bahan Baku Semen Duda (1970)
SiO ₂	0,57%-4,75%
Al ₂ O ₃	0.71%-2,00%
Fe ₂ O ₃	0,36%-1,47%
CaO	49,8%-55,6%
MgO	<2%

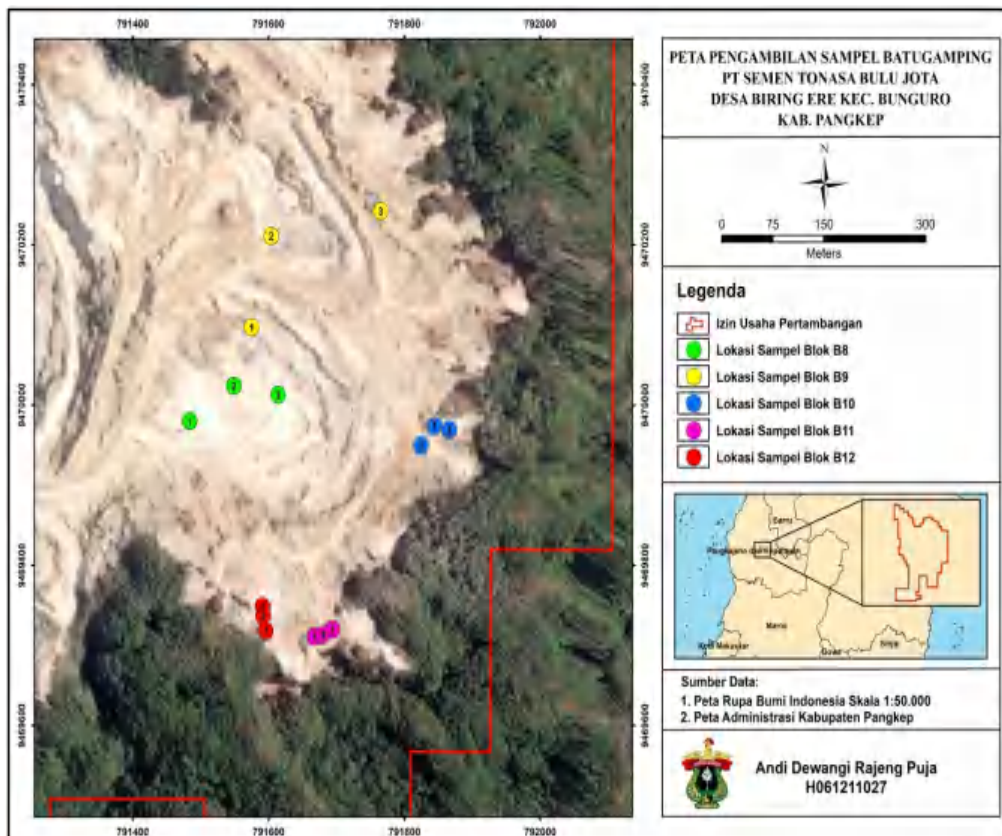
Batugamping adalah jenis mineral industri yang digali yang terbuat dari CaCO₃ dan bahan lainnya. Salah satu hal penting yang harus diketahui tentang analisis adalah adanya Ca dan Mg. Kadar Ca yang tinggi dan Mg yang rendah menunjukkan kualitas yang baik, sedangkan kadar Ca yang rendah dan Mg yang tinggi menunjukkan kualitas yang buruk. Kadar Mg yang tinggi akan mengganggu proses pengerasan karena Mg tidak dapat terikat dengan unsur lain dalam semen. Batugamping yang mengandung CaO lebih dari 50% (persen berat), memiliki kualitas yang baik dan dapat digunakan sebagai bahan bangunan, terutama dalam bentuk semen. Batugamping biasanya berasal dari cangkang *moluska*, *foraminifera*, *coelenterate*, dan sedimen karbonat (Alfarizi et al., 2020).



BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 3 Maret – 27 Maret 2025 dan lokasi penelitian ini berada di *Quarry* penambangan batugamping PT. Semen Tonasa dan Laboratorium *Quality Control* Tonasa IV. Penelitian ini dimulai dengan proses pengambilan sampel yang dilakukan pada 15 titik yang berbeda pada blok 8, blok 9, blok 10, blok 11, dan blok 12 di penambangan *quarry* batugamping PT. Semen Tonasa.



Gambar 4. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

2.2 Alat dan Bahan

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



g digunakan di tambang *quarry* batugamping PT. Semen Tonasa

berfungsi untuk memecah batugamping yang berukuran besar di lokasi pengambilan batugamping.

si untuk menentukan titik koordinat lokasi pengambilan sampel

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. *Pill herzog* berfungsi sebagai bahan campuran batugamping agar batugamping dapat mengeras dan tidak lengket di wadah *vessel*.
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.

2.3 Pengumpulan Data



umpulan Data

akan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

ervasi dilakukan dengan cara tinjauan langsung ke lokasi sampel dan laboratorium pengolahan sampel.

2. Metode eksperimen dengan cara menganalisis sampel pada laboratorium *Quality Control* dengan komponen alat XRF dan membuat peta persebaran menggunakan *Arcgis*.

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 unsur 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.



2.4 Bagan Alir Penelitian

