

Skripsi Geofisika

**KARAKTERISASI KOMPOSISI BATUGAMPING MENGGUNAKAN
METODE XRF (*X-RAY FLUORESCENCE*) PADA PT SEMEN TONASA
PANGKEP PROVINSI SULAWESI SELATAN**



OLEH:

NUR AZIZAH AINI

H061 20 1033

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



HALAMAN JUDUL

**KARAKTERISASI KOMPOSISI BATUGAMPING MENGGUNAKAN
METODE XRF (*X-RAY FLUORESCENCE*) PADA PT SEMEN TONASA
PANGKEP PROVINSI SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH:

NUR AZIZAH AINI

H061 20 1033

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**KARAKTERISASI KOMPOSISI BATUGAMPING MENGGUNAKAN
METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) PADA PT SEMEN TONASA
PANGKEP PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan Diajukan oleh:

NUR AZIZAH AINI

H061 20 1033

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Februari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Makhrani S.Si., M.Si.
NIP. 197202271998022002

Pembimbing Pertama

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

Ketua Departemen

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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Azizah Aini
NIM : H061201033
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“KARAKTERISASI KOMPOSISI BATUGAMPING MENGGUNAKAN
METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) PADA PT SEMEN TONASA
PANGKEP PROVINSI SULAWESI SELATAN”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Februari 2024

Yang menyatakan,



NUR AZIZAH AINI



SARI BACAAN

Provinsi Sulawesi Selatan memiliki wilayah batugamping yang luas dan sesuai untuk dimanfaatkan seperti pada *Quarry* Batu Kapur PT. Semen Tonasa, Kabupaten Pangkep. Batugamping yang digunakan pada industri semen, memiliki kualitas yang bergantung pada kandungan CaO dan MgO. Metode XRF digunakan untuk mengidentifikasi komposisi mineral oksida. Hasil analisis XRF digunakan untuk membuat korelasi antar mineral oksida melalui *bivariate plots* dan klasifikasi batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg dan Mg/Ca. Berdasarkan metode XRF diperoleh mineral oksida utama pada batugamping yaitu SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, dan MgO, dengan CaO sebagai penyusun utama. Batugamping daerah penelitian memiliki warna segar putih atau putih keabu-abuan dengan warna lapuk putih kecokelatan dan putih keabuan gelap. Analisis *bivariate plots* menunjukkan semakin tinggi mineral oksida SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan MgO maka akan semakin rendah konsentrasi dari CaO. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal seperti, adanya suplai pengotor detrital selama proses pengendapan batugamping dan kondisi lingkungan pengendapan. Klasifikasi batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg dengan rentang 55-322 dan rentang rasio Mg/Ca yaitu 0,003-0,01, menunjukkan bahwa batugamping daerah penelitian merupakan *pure limestone* atau batugamping murni. Peta sebaran mineral oksida menunjukkan lokasi penelitian memiliki kualitas batugamping yang bagus, hanya saja pada blok 10 titik sampel B10.2 kurang layak digunakan sebagai bahan baku semen karena memiliki kadar CaO yang rendah dan kadar SiO₂ dan MgO yang tinggi. Berdasarkan rasio CaO batugamping PT Semen Tonasa secara keseluruhan baik digunakan sebagai bahan baku semen karena kadar dari CaOnya yang lebih dari 48%.

Kata Kunci : Batugamping, Korelasi, Mineral Oksida, Rasio Ca/Mg dan Mg/Ca, XRF.



ABSTRACT

South Sulawesi Province has a large area of limestone that is suitable for utilization such as the Limestone Quarry of PT Semen Tonasa, Pangkep Regency. Limestone used in the cement industry has a quality that depends on the CaO and MgO content. The XRF method is used to identify the oxide mineral composition. The results of XRF analysis were used to make correlations between oxide minerals through bivariate plots and classification of limestone based on Ca/Mg and Mg/Ca ratios. Based on the XRF method, the main oxide minerals in limestone are SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, and MgO, with CaO as the main constituent. The study area limestone has a fresh white or grayish white color with a brownish white and dark grayish white weathered color. Bivariate plots analysis shows the higher the oxide minerals SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ and MgO, the lower the concentration of CaO. This is caused by several things such as the supply of detrital impurities during the limestone deposition process and the environmental conditions of deposition. The classification of limestone based on the Ca/Mg ratio with a range of 55-322 and a range of Mg/Ca ratio of 0.003-0.01, indicates that the limestone of the study area is pure limestone. The oxide mineral distribution map shows that the research location has good quality limestone, but only in block 10 sample point B10.2 is less suitable for use as cement raw material because it has low CaO content and high SiO₂ and MgO content. Based on the CaO ratio, PT Semen Tonasa limestone as a whole is good for use as cement raw material because the CaO content is more than 48%.

Keywords: Limestone, Ca/Mg and Mg/Ca Ratio, Correlation, Oxide Minerals, XRF.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah saya haturkan puja dan puji syukur kehadiran Allah Swt. atas karunia dan segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang dibuat ini, teruntuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dalam jenjang pendidikan strata satu (S1) Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Tugas akhir yang berjudul **“Karakterisasi Komposisi Batugamping Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence) Pada PT Semen Tonasa Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan”** selesai setelah melalui proses yang panjang. Ucapan syukur dan terimakasih kepada kedua orangtua, yaitu kepada bapak **Rahmad S.** dan ibu **Andi Murni** atas doa dan dukungannya, untuk saudari **Riskiyanti Rahmad, Nurlaela** dan **Ayu Trysnawati** atas motivasi dan arahnya. Kemudian, kepada seluruh keluarga yang senantiasa mendukung dan membantu selama masa studi hingga penyelesaian penyusunan tugas akhir ini.

Tidak dapat disangkal bahwa butuh usaha yang keras dalam penyelesaian penyusunan Tugas Akhir ini. Namun, karya ini tidak akan selesai tanpa orang-orang tercinta di sekeliling saya yang mendukung dan yang telah memberikan dukungan

upun materiil. Maka penulis ucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada hak yang telah membantu, ucapan terima kasih penulis haturkan kepada:



1. Kepala Departemen Geofisik, Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**, sekaligus dosen pengajar yang membantu dan membimbing selama perkuliahan.
2. Pembimbing Utama, Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si.** yang senantiasa menuntun selama masa studi di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddi, serta bimbingan dan motivasi dalam mengerjakan dan memahami Tugas Akhir Penulis hingga akhir.
3. Pembimbing Pertama, Pak **Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T** yang senantiasa membimbing dalam menyusun dan memahami Tugas Akhir Penulis sampai Tugas Akhir Penulis selesai.
4. Ibu **Dra. Maria, M.Si** dan Pak **Ir. Bambang Harimeji, M.Si** selaku dosen Penguji yang telah memberukan kritik, masukan dan saran yang memotivasi untuk kesempurnaan Tugas Akhir Penulis.
5. Bapak/Ibu dosen Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas pengajaran ilmu yang telah diberikan selama di bangku kuliah ataupun di lapangan praktikum.
6. Pak **Anto**, Pak **Putra** dan Pak **Fadly** selaku bagian tata usaha di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam mengurus berkas dan segala bentuk pelayanan administratif selama masa perkuliahan.
7. Bapak **Agus Firmanto** selaku pembimbing lapangan pada Quality Control IV



emen Tonasa atas arahan dan pemahaman terkait prinsip kerja salah satu de yang digunakan pada penelitian ini.

8. Bapak **Haryono Gumawan** selaku pembimbing pada Tambang Batu Kapur PT Semen Tonasa atas bantuan dan arahannya dalam pengambilan sampel.
9. Terima kasih pada Kanda Senior HMGF 2018, **Kak Agung, Kak Rahmat, Kak Sheren** dan **Kak Yusuf dll.** Yang selalu membagi ilmu dan memberikan arahan.
10. Teman-Teman Geofisika 2020, **Arpah, Milka, Guntur, Aan, Mela, Defina, Wulan, Alghi, Resty, Selfi, Umi, Ila, Gery, Hamman, Aza, Imran, Iis, Emi, Izzah, Tazkia, Akbar, Astri, Asmawan, Aurel, Sandra, Regita, Indah, Fira, Merlia, Wikal, Nikom, Ika, Faiz, Alif, Asi, Echa, Angel, Ima, Lola, Gloria, Jane, Rezky, Qalby, Mifta, Icha, Cholis, Magfirah, Ansya, Yudi, Ical, Awi, Yonas, Agung, Rianul, Saiful** dan **Ihsan**. Terima kasih banyak atas bantuan dan dukungan selama perkuliahan virtual hingga pengerjaan Tugas Akhir.
11. Sahabat seperjuangan **Dirham, Hasna, Nisfit, Ema** dan **Dayat**. Senantiasa membantu, mengajarkan dan membagi ilmu selama perkuliahan serta memotivasi dan menghibur Penulis sampai tahap Tugas Akhir selesai.
12. Saudara tak sedarah **Putri** dan **Rara**, selalu sabar menemani, memotivasi dan menghibur Penulis sejak SMA sampai penyelesaian Tugas Akhir ini.
13. Sobat manusia spesial **Fathirah, Andina, Thalita** dan **Clarisa**. Senantiasa mengajak dan menghibur serta menerima kerusuhan penulis.
14. Sahabat Army **Ocha** dan **Arifah**, yang telah kebersamai menekuni hobi dan menghibur Penulis sejak bangku kuliah.



15. Teman-teman Kelas Mia 4 Man 1 Makassar Angkatan 2020 **Najwa, Aisyah, Fifi, Fira, Oya, Kiki, Recha, Aulia, Tri, Nisa, Besse, Shiren, Alif, Fachry, Diaz, Abyan dll.**, yang kebersamai Penulis sejak 2017.
16. Teman-teman KKN Unhas Gelombang 109 Desa Salenrang, **Kak Syahrul, Kak Dyan, Kak Adi, Kak Rara, Kak Cica, Kak Kris, Wahidah dan Risman**. Serta kepada Kepala Desa Salenrang, pak **Jidong** yang selalu kebersamai selama masa KKN.
17. Adik-adik Geofisika 2022 **Ikko, Nikum, Niskam, Febri, Yeni, Haslinda, Palupi, Fahrezy dll.**
18. Terakhir dan terutama terima kasih banyak kepada Penulis yaitu **Nur Azizah Aini**, atas perjalanan panjang dalam menyelesaikan skripsi ini. Perjuangan, dedikasi, dan semangat yang telah diaplikasikan dalam setiap langkah penulisan ini patut diapresiasi. Skripsi ini bukan hanya sebatas karya tulis, namun juga bukti keteguhan hati dan semangat untuk mencapai tujuan.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Penulis berharap ini dapat memberikan manfaat. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun untuk memperbaiki kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Makassar, 13 Februari 2024

Nur Azizah Aini



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Ruang Lingkup.....	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Geologi Regional	5
II.2 Lingkungan Pengendapan Batuan Sedimen	8
II.3 Batugamping.....	14
II.3.1 Lingkungan Pembentukan Batugamping.....	14
II.3.2 Mineral dan Komposisi Kimia Batugamping.....	16
II.4 Klasifikasi Batugamping Todd (1966)	17
II.5 Korelasi Antar Komposisi Kimia Batugamping.....	23
II.6 Standar Komposisi Batugamping sebagai Bahan Baku Semen.....	24
II.7 Metode XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	25
II.8 Interpolasi	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
Lokasi Penelitian.....	32
Alat dan Bahan	33
3.1 Alat.....	33



III.2.2 Bahan.....	34
III. 3 Prosedur Penelitian.....	34
III.4 Diaram Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
IV. Hasil dan Pembahasan	37
IV. 1 Deskripsi Batugamping.....	37
IV.2 Hasil Pengujian XRF (<i>X-ray Fluorescence</i>).....	40
IV.3 Korelasi Antar Mineral Oksida.....	44
IV.4 Rasio Ca/Mg	49
IV.5 Kualitas Batugamping PT Semen Tonasa	52
IV.6 Persebaran Komposisi Batugamping PT. Semen Tonasa	54
BAB V PENUTUP.....	61
V.1 Kesimpulan.....	61
V.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Peta Geologi Daerah Pangkajene Kepulauan dan Sekitarnya	5
Gambar 2. 2	Lingkungan pengendapan Batuan Sedimen (Johnsons et al., 2017) 9	
Gambar 2. 3	Batugamping (Dokumentasi Pribadi)	17
Gambar 2. 4	Skema Analisis Komposisi Kimia Batugamping (Todd, 1966)	18
Gambar 2. 5	Korelasi Mineral Oksida Batugamping (Choerunnisa et al., 2019).	24
Gambar 2. 6	Prinsip Kerja Sinar-X (Jamaludin dan Adiantoro, 2012)	26
Gambar 2. 7	Skema Kerja Alat XRF (Brouwer, 2003)	27
Gambar 2. 8	Hukum Bragg (Brouwer, 2003).....	28
Gambar 3. 1	Peta Lokasi Penelitian	32
Gambar 3. 2	Alat Preparasi Sampel, a). <i>Jaw Crusher</i> b). <i>Disk Mill</i>	33
Gambar 3. 3	Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 4. 1	Batugamping Blok 4.....	37
Gambar 4. 2	Batugamping Blok 5.....	38
Gambar 4. 3	Batugamping Blok 7.....	38
Gambar 4. 4	Batugamping Blok 8.....	38
Gambar 4. 5	Batugamping Blok 9.....	39
Gambar 4. 6	Batugamping Blok 10.....	39
Gambar 4. 7	Batugamping Blok 11.....	39
Gambar 4. 8	Batugamping Blok 12.....	40
Gambar 4. 9	<i>Bivariate plots</i> antara SiO ₂ dengan Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ dan MgO..	44
Gambar 4. 10	<i>Bivariate plots</i> antara Al ₂ O ₃ dengan SiO ₂ , CaO, Fe ₂ O ₃ dan MgO	45
Gambar 4. 11	<i>Bivariate plots</i> Fe ₂ O ₃ dengan SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, dan MgO	46
Gambar 4. 12	<i>Bivariate plots</i> CaO dengan SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ dan MgO	47
Gambar 4. 13	<i>Bivariate plots</i> MgO dengan SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ dan CaO.....	47
Gambar 4. 14	Peta Sebaran Mineral Oksida SiO ₂	54
Gambar 4. 15	Peta Sebaran Mineral Oksida Al ₂ O ₃	56
4. 16	Peta Sebaran Mineral Oksida Fe ₂ O ₃	57
4. 17	Peta Sebaran Mineral Oksida CaO	588
4. 18	Peta Sebaran Mineral Oksida MgO	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Klasifikasi Todd (1966)	19
Tabel 2. 2 Standar Batugamping Bahan Baku Semen Duda (1976)	25
Tabel 4. 1 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 4	40
Tabel 4. 2 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 5	41
Tabel 4. 3 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 7	41
Tabel 4. 4 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 8	41
Tabel 4. 5 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 9	42
Tabel 4. 6 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 10	42
Tabel 4. 7 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 11	42
Tabel 4. 8 Kandungan Mineral Oksida Sampel Batuan Blok 12	42



LAMPIRAN

Lampiran 1. Koordinat dan Elevasi Titik Sampel.....	66
Lampiran 2. Preparasi Sampel	68
Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan.....	71



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia memiliki sumber daya batugamping yang hampir merata, menjadikannya sumber daya yang sangat potensial. Saat ini belum ada data yang pasti mengenai kuantitas sumber daya batugamping. Di sisi lain, berdasarkan peta geologi Indonesia, secara umum Indonesia memiliki potensi batugamping sekitar 28,678 miliar ton (Madiadipoera et al., 1990). Provinsi Sulawesi Selatan memiliki 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., 2020)

Batugamping adalah jenis mineral yang digali secara industri yang terbuat dari kalsium karbonat atau CaCO₃ dan bahan lainnya, seperti magnesium. Batugamping yang mengandung lebih dari 50% CaO (persen berat) dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan terutama dalam bentuk semen. Batugamping biasanya berasal dari cangkang moluska, *foraminifera*, *coelenterata* dan sedimen karbonat. Salah satu hal penting yang perlu diketahui dalam analisis kualitas batugamping adalah

an Ca dan Mg. Kadar Ca yang tinggi dan Mg yang rendah menunjukkan 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 berikatan dengan unsur lain pada semen (Alfarizi et al., 2020).

XRF (*X-ray Fluorescence*) adalah metode analitik untuk menentukan komposisi kimia berbagai jenis bahan dalam bentuk padat, cair, bubuk, atau bentuk lainnya. Metode ini cepat, akurat, dan tidak merusak, membutuhkan sedikit persiapan sampel. XRF digunakan untuk analisis unsur dan senyawa secara kualitatif dan kuantitatif, memberikan informasi tentang jenis dan jumlah unsur dalam bahan yang dianalisis (Brouwer, 2003). Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan karakterisasi serta mengidentifikasi kualitas batugamping PT Semen Tonasa dengan metode XRF, namun sejauh ini belum ada penelitian yang secara khusus mengaitkan terhadap korelasi antara mineral oksida pada batugamping serta mengklasifikasikan batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg atau Mg/Ca.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan metode XRF untuk mengidentifikasi komposisi kimia batugamping yang terdapat di *Quarry* (sistem tambang terbuka pada penambangan mineral non logam atau batuan) Batu Kapur PT. Semen Tonasa, Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. Hasil analisis XRF ini kemudian dibuat hubungan antar mineral oksida batugamping dengan *bivariate plots* untuk mengetahui korelasinya dan digunakan untuk mengetahui bagaimana kualitas



batugamping sebagai bahan baku utama pembuatan semen pada PT Semen Tonasa dan pengaruhnya terhadap rasio Ca/Mg atau Mg/Ca pada palaeo salinitas. Hasil

dari penelitian ini dapat memberikan informasi tentang komposisi mineral oksida batugamping, karakteristik batugamping, kualitas batugamping dan persebarannya komposisi mineral oksida batugamping pada PT Semen Tonasa.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa kandungan mineral oksida dan bagaimana korelasi antar mineral oksida batugamping pada PT Semen Tonasa?
2. Bagaimana klasifikasi batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg dan Mg/Ca?
3. Bagaimana persebaran mineral oksida pada PT Semen Tonasa?

I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada dilakukan analisis terhadap mineral oksida pada sampel batugamping yang diambil di *Quarry* batu kapur PT Semen Tonasa yaitu pada blok 4, blok 5, blok 7, blok 8, blok 9, blok 10, blok 11 dan blok 12. Data yang digunakan data primer berupa sampel batugamping sedangkan data sekunder berupa Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi, citra satelit tambang Batu Kapur PT Semen Tonasa, klasifikasi batugamping Todd (1966) dan standar batugamping sebagai bahan baku semen Duda (1976). Penelitian ini menggunakan metode karakterisasi batugamping dengan XRF dan dilanjutkan klasifikasi batugamping dengan analisis hubungan rasio Ca/Mg. Hasil dari penelitian ini memberikan informasi mengenai karakteristik



ing, kualitas pada batugamping sebagai bahan baku semen dan persebaran oksidanya.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan dan korelasi antar mineral oksida batugamping pada PT Semen Tonasa.
2. Mengetahui klasifikasi batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg dan Mg/Ca.
3. Mengetahui persebaran mineral oksida pada PT Semen Tonasa.

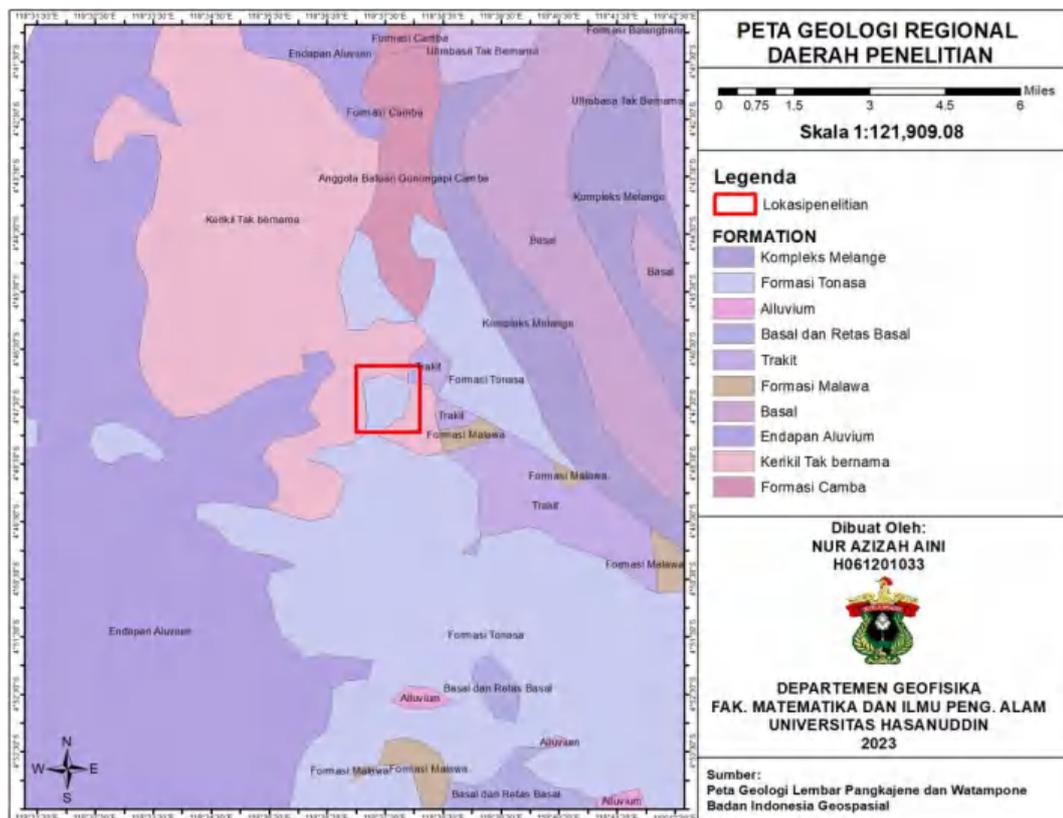


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah penelitian termasuk ke dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar morfologinya disusun atas batugamping (Sukanto 1982). Daerah penelitian berada pada Formasi Tonasa, ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Pangkajene Kepulauan dan Sekitarnya.



hampir separuh wilayah. Ketinggian tertinggi 1694 m, dan tinggi rata-rata 1500 m. Sebagian besar batuan vulkanik terbentuk di lereng barat dan di beberapa tempat di lereng timur, tanah keras menunjukkan adanya batugamping. Di lereng barat terdapat daerah perbukitan yang terbentuk oleh batuan pra-Tersier. Dataran Pangkajene-Maros yang merupakan lanjutan dataran tersebut di sebelah selatan berbatasan dengan pegunungan tersebut di sebelah barat daya.

Di atas Formasi Malawa terbentuk endapan karbonat Formasi Tonasa pada Eosen Awal hingga Miosen Tengah bagian bawah. Formasi Tonasa tebalnya sekitar 3000 meter dengan lingkungan pengendapannya neritik dangkal hingga dalam dan laguna. Topografi karst atau batugamping menara Maros-Pangkep terbentuk akibat proses tektonik pengangkatan yang melebihi kecepatan proses pelarutan, sehingga proses pelarutan secara dominan menjadi bersifat vertikal. Formasi Tonasa cukup besar untuk menutupi batuan vulkanik Miosen Tengah di sebelah barat. Batuan sedimen Formasi Malawa sebagian besar bercirikan endapan daratan dengan sisipan batu bara.

Batuan vulkanik membentuk sebagian besar pegunungan di bagian barat dan timur. Di puncak pegunungan bagian timur, batuan pembentuk Gunung Api Kalamiseng diperkirakan berumur Miosen Awal. Di lereng utara pegunungan bagian barat, batuan Gunung Api Soppeng diperkirakan berumur Miosen Awal. Batuan sedimen berumur Miosen Tengah sampai Pliosen Awal berselang-seling dengan batuan berumur 8,93-9,29 juta tahun. Batuan tersebut bersama-sama membentuk Camunjung yang tebalnya sekitar 5000 m. Sebagian besar pegunungan di barat terdiri dari Formasi Camba yang terletak di atas Formasi Tonasa.



Di wilayah yang sekarang dikenal sebagai Lembah Walanae, sedimen klastika Formasi Walanae endapkan selama Miosen akhir hingga Pliosen. Tebalnya sekitar 4500 meter, dengan biofera batugamping koral yang tumbuh di beberapa bagian batuan (batugamping Anggota Taccipi). Formasi Walanae terhubung ke bagian atas Formasi Camba karena aktivitas gunungapi dari Miosen Akhir hingga Pliosen Awal. Formasi ini juga berasal dari aktivitas gunungapi yang terus terjadi selama Pliosen, yang menghasilkan batuan gunung api Pare-pare (4,25-4,95 juta tahun) dan Baturape-Cindako.

Kegiatan gunungapi memiliki korelasi langsung dengan terobosan batuan beku yang terjadi di wilayah tersebut. Bentuknya terdiri dari stok, sill, dan retas, dan memiliki berbagai struktur yang terdiri dari basal, andesit, trakit, diorit, dan granodiorit dan berumur antara 8,3 dan 19 juta tahun (± 2 juta tahun). Setelah Pliosen Akhir, tampaknya tidak ada pengendapan yang signifikan atau aktivitas gunungapi yang terjadi di wilayah ini. Di utara Pangkajene dan di beberapa lokasi di tepi Sungai Walanae, endapan undak tampaknya terjadi selama Pliosen. Di dataran Pangkajene-Maros, bagian utara dataran Bone, dan di sekitar D.Tempe terdapat endapan aluvium yang luas.

Formasi Tonasa terdiri dari batugamping koral pejal sebagian terhablurkan. Berwarna putih dan kelabu muda; batugamping bioklastika dan kalkarenit. Berwarna putih coklat muda dan kelabu muda. sebagian berlapis baik, an dengan napal globigerina tufaan; bagian bawahnya mengandung oning berbitumen, setempat bersisipan breksi batugamping dan oning pasir; di dekat, Malawa, daerah Camba terdapat batugamping yang



mengandung glaukonit, dan di beberapa tempat di daerah Ralla dan sekitarnya ditemukan batugamping yang mengandung banyak sisipan sekis dan batuan ultramafik; batugamping berlapis sebagian mengandung banyak foraminifera besar, napalnya banyak mengandung *foraminifera* kecil dan beberapa lapisan napal pasiran mengandung banyak kerang (*pelecypoda*) besar dan siput (*gastropoda*) (Sukamto, 1982).

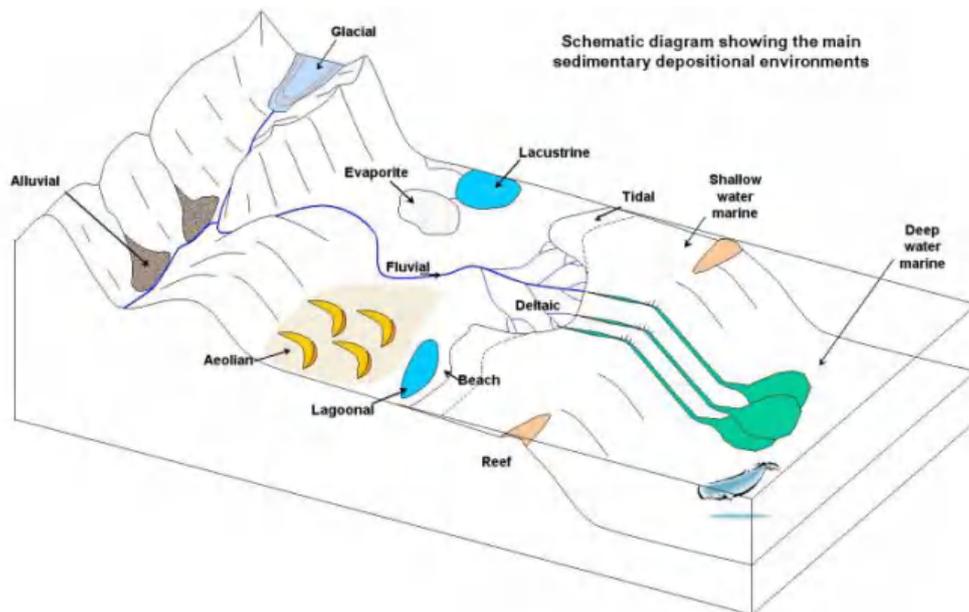
II.2 Lingkungan Pengendapan Batuan Sedimen

Sedimen adalah bahan atau partikel yang telah diangkut dari satu tempat ke tempat lain di permukaan bumi (di daratan atau lautan). Batuan sedimen akan terbentuk dari sedimen ini setelah mengeras. Sedimentologi adalah bidang ilmu yang mempelajari batuan sedimen. Iklim, topografi, vegetasi, dan susunan batuan yang ada mengontrol pembentukan sedimen. Air, angin, dan gaya gravitasi mengontrol pengangkutan sedimen. Sedimen dapat diangkut oleh air, angin, atau bahkan salju atau gletser (Noor, 2012).

Memahami lingkungan pengendapan asli adalah tujuan akhir dari banyak studi stratigrafi. Ahli geologi dapat menggunakan informasi tentang lokasi dan proses pembentukan batuan sedimen tertentu untuk menggambarkan lingkungan sebelumnya, seperti gletser gunung, dataran banjir yang landai, gurun kering, atau dasar laut dalam. Sketsa sederhana tentang studi lingkungan pengendapan adalah usaha yang kompleks. Lingkungan pengendapan batuan sedimen ditunjukkan pada

2.2 (Johnson et al., 2017).





Gambar 2. 2 Lingkungan pengendapan Batuan Sedimen (Johnsons et al., 2017).

Lingkungan pengendapan batuan sedimen dibagi menjadi beberapa lingkungan pengendapan seperti berikut ini (Johnson et al., 2017):

1. Laut

Lingkungan pengendapan laut adalah seluruhnya dan terus-menerus terendam air laut. Ciri-ciri pengendapannya adalah sangat bergantung pada kedalaman air dengan dua pengecualian: *submarine* selam dan turbidit.

2. Abisal

Batuan sedimen abisal terbentuk di dataran abisal. Dataran ini meliputi dasar laut yang relatif datar dengan beberapa fitur topografi kecil, yang disebut bukit abisal. Bukit-bukit kecil di dasar laut ini berdiameter antara 100 m sampai 20 Km dan kemungkinan dibuat oleh ekstensi. Sebagian besar dataran

sal tidak mengalami pergerakan fluida yang signifikan, sehingga batuan imen yang terbentuk di sana berbutir sangat halus. Ada tiga kategori



sedimen abisal. Rembesan berkapur terdiri dari cangkang plankton kaya kalsit yang telah jatuh ke laut lantai. Contoh sedimen jenis ini adalah batu kapur. Kedua aliran silika juga terbuat dari sisa-sisa plankton, tetapi organisme ini membangun cangkang mereka menggunakan silika atau silika terhidrasi. Jenis sedimen ketiga adalah tanah liat pelagis, partikel tanah liat yang sangat halus, biasanya berwarna coklat atau merah, turun melalui kolom air sangat lambat.

3. *Kontinental Slope*

Tidak banyak catatan batuan yang menunjukkan endapan lereng benua. Berkontur adalah jenis endapan lereng benua yang paling umum. Konturit terbentuk di lereng antara dasar laut dalam dan landas kontinen. Dalam proses mengendapkan, arus laut dalam mengendapkan sedimen menjadi arus yang halus yang memiliki berbagai bentuk, terkadang terjalin dengan turbidit.

4. *The lower shoreface*

Pada permukaan pantai yang lebih rendah berada di bawah kedalaman agitasi gelombang yang normal, sedimen tidak mengendap setiap hari. Lapisan sedimen ini biasanya memiliki laminasi halus dan mungkin memiliki stratifikasi silang *hummocky*. Gelombang yang lebih besar, seperti yang disebabkan oleh angin topan dan badai besar lainnya, memengaruhi permukaan pantai yang lebih rendah.

5. *Tidal flats/Daratan Lumpur*



aran lumpur, juga dikenal sebagai dataran pasang surut, adalah daerah imen yang sering mengalami banjir dan pengeringan karena pasang surut

air laut. Hamparan sedimen berbutir halus yang luas dapat ditemukan di ratapan pasang surut, tetapi mungkin juga mengandung pasir yang lebih kasar. Sedimen gradasi dan tanda riak *multi directional* merupakan ciri umum endapan dataran pasang surut. Karena sedimen sering terpapar udara saat air surut, retakan lumpur juga sering terlihat; kombinasi retakan lumpur dan tanda riak adalah hal yang unik pada rataaan pasang surut.

6. *Reefs*/Karang

Sebagian besar terumbu karang, sekarang dan di masa lalu geologis, berasal dari proses biologis organisme hidup. Air dengan kadar lumpur atau partikel tanah liat yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan terumbu karang. Sedimen yang ditemukan di terumbu karang biasanya berbutir halus, sebagian besar karbonat, dan cenderung mengendap di antara kerangka karang yang masih utuh. Terumbu memiliki dampak besar pada pengendapan sedimen di lingkungan *lagoon* karena terumbu karang adalah pemecah badai alami, penahan gelombang dan badai, yang memungkinkan butiran halus mengendap dan terakumulasi.

7. *Lagoon*

Lagoon adalah badan air laut kecil yang terletak di daratan dari pantai atau terisolasi oleh fitur geografis seperti terumbu karang atau pulau penghalang.

Lagoon biasanya memiliki sedimen berbutir halus karena terlindung dari pasang surut, arus, dan ombak. *Lagoon*, serta muara, adalah ekosistem dengan

duktivitas biologis yang tinggi. Batuan dari lingkungan ini sering kali mencakup bekas bioturbasi atau endapan batu bara.



8. Delta

Delta terbentuk ketika sungai masuk ke danau atau lautan dan terdiri dari tiga bentuk dasar yaitu delta yang didominasi oleh sungai, delta yang didominasi oleh gelombang, dan delta didominasi oleh air pasang. Kecepatan aliran air tergantung pada kemiringan atau gradien dasar sungai, yang menjadi lebih dangkal saat sungai turun dari pegunungan. Kecepatan aliran juga turun dengan cepat, dan sedimen diendapkan, dari bongkahan kasar hingga pasir halus, dan lumpur untuk membentuk delta. Sehingga satu bagian dari delta akan terbebani oleh sedimen, aliran yang bergerak lambat dialihkan berulang-ulang, dan membentuk delta lebih kecil.

9. Fluvial

Air mengalir melalui saluran di atas tanah membentuk sistem sungai. Sistem ini biasanya terdiri dari dua jenis utama: berkelok-kelok dan jalinan. Sebagian besar sedimen di dataran banjir yang jauh dari saluran berasal dari material berbutir halus yang hanya diendapkan selama banjir. Aliran yang berkelok-kelok membawa butiran sedimen melintasi dataran banjir secara berputar.

10. Aluvial

Aliran air yang terputus-putus adalah ciri khas sistem aluvial. Endapan aluvial biasanya ditemukan di daerah yang kering dengan sedikit tanah yang berkembang. Kipas aluvial, kerucut besar endapan yang dibentuk oleh aliran dari lembah pegunungan yang kering ke wilayah kering yang lebih terbuka,

lah endapan sedimen aluvial yang paling umum. Sedimen aluvial sering ditemukan di dekat danau payau dan biasanya tidak tersortir dengan baik.



11. Pluvial

Sistem pluvial biasanya tumbuh di pesisir, tetapi biasanya terjadi di tempat yang lembah, dataran rendah, lintang rendah, dan hangat dengan banyak air mengalir. Sistem paludal terdiri dari rawa atau lahan basah lainnya. Rawa gambut adalah deposit paludal yang umum karena kaya akan bahan organik yang dapat diubah menjadi batu bara selama proses litifikasi. Tempat yang paludal dapat dikaitkan dengan endapan pasang surut, delta, lakustrin, dan/atau aliran sungai.

12. Aeolian

Endapan aeolian, adalah endapan sedimen yang tertiuip angin. Endapan ini biasanya terdiri dari ukuran klast dari debu halus hingga pasir Lanau yang halus, dan tanah liat dapat menyeberang jauh, bahkan seluruh samudra yang melayang di udara.

13. Zona Pesisir

Area pantai, yang lebih dikenal sebagai pantai, terdiri dari pasir yang sebagian besar terbuat dari kuarsa dan sangat lapuk. Pasir hitam dan jenis pasir pantai lainnya ada, tetapi biasanya mereka adalah pengecualian dari aturan. Mineral zirkon, rutil, dan turmalin dapat digunakan untuk mengetahui jumlah pelapukan butir pasir pantai karena sangat berevolusi (Hubert, 1962).

14. Lakustrin

Endapan lakustrin, yang ditemukan di berbagai lokasi di danau, terbentuk melalui proses yang hampir sama dengan endapan laut, tetapi dalam skala



yang jauh lebih kecil. Hembusan angin, arus, dan endapan pasang surut memainkan peran kecil dalam pembentukan endapan lakustrin (Sly, 1978).

15. Glasial

Sedimentasi glasial terdiri dari endapan sedimen yang paling tidak tersortir yang ada di alam, dan jenis klast utamanya disebut diamiktit, yang berarti "dua ukuran". Endapan glasial terdiri dari campuran fragmen batuan besar dan kecil yang tidak tersortir (Eyles et al., 1988)

II.3 Batugamping

Batugamping dibedakan menjadi batugamping non-klastik dan klastik. Batugamping non klastik terdiri dari koloni binatang laut seperti *ceolenterata*, moluska, *protozoa*, *foraminifera*, dan sebagainya. Karena pertumbuhan dan perkembangan koloni koral, lapisannya tidak bagus dan tidak banyak dikotori oleh mineral lain di lapangan. Batugamping klastik adalah produk dari erosi oleh air, transportasi, sortasi, dan sedimentasi. Akibatnya, selama proses tersebut, jenis mineral lain terikut, berfungsi sebagai pengotor dan memberikan warna pada batugamping yang bersangkutan (Sukandarrumidi, 2018).

II.3.1 Lingkungan Pembentukan Batugamping

Batuan karbonat banyak dihasilkan oleh proses biogenik dan biokimia. Sedimen *calcareous* dibentuk oleh bagian keras organisme berasosiasi dengan alga dan bakteri, terutama di laut dangkal yang hangat, jauh dari sumber sedimen asal darat.



batugamping biasanya terletak di daerah pantai hingga laut dangkal. Endapan karbonat juga dapat terbentuk di gua, mata air panas, tanah, danau, laut dalam. Banyak organisme yang membentuk karbonat di lingkungan

tersebut mendukung kemungkinan batugamping dapat mengendap oleh bahan biogenik. Secara sederhana, sistem pengendapan karbonat terbagi menjadi dua: *marine shallow water-lacustrine* dan *deeper water facies of pelagic* (Tucker & Wright, 1990).

1. *Marine shallow water-lacustrine*

Kebanyakan batuan karbonat ditemukan di laut dangkal. Meskipun demikian, itu masih mungkin bahwa batuan karbonat juga dapat terbentuk di tempat lain di sekitarnya. Daerah pantai, batas paparan, daerah peritidal, lakustrin, dan terumbu adalah beberapa lingkungan yang berasosiasi dengan laut dangkal dan daratan. *Bindstone*, *rudstone*, dan *framestone* adalah jenis batuan yang terbentuk di daerah ini. Zona *back-reef lagoon* memiliki tingkat energi yang rendah karena berada di luar batas batas. Akibatnya, di daerah ini banyak diendapkan sedimen yang halus dan memiliki organisme yang berbeda dengan organisme di bagian terumbu yang lain, seperti koral, alga, dan rumput laut, yang berkontribusi pada pembentukan batuan karbonat, juga dikenal sebagai retakan terumbu. Tetapi tidak semua terumbu memiliki *lagoon* (Tucker & Wright, 1990).

2. *Deeper water facies of pelagic*

Batuan karbonat pelagik adalah endapan laut terbuka yang terdiri dari debris skeletal organisme planktonik. *Coccolith*, *foraminifera*, dan *pteropoda* adalah beberapa organisme yang membentuk batuan karbonat ini. Yang dimaksud dengan lingkungan laut terbuka adalah dasar samudra, lereng gah laut, dan lereng continental. Dalam rekaman geologi, batugamping



pelagik diendapkan pada masa Mesozoik dan Kenozoik. Namun, pada masa Paleozoik, kemungkinan besar telah terjadi proses subduksi lempeng samudra. Adanya zona kompensasi karbonat atau *Carbonate Compensation Depth* (CCD) adalah komponen penting yang mengontrol pengendapan batuan karbonat pelagik. Karena kecepatan pengendapan kalsium sebanding dengan kecepatan pelarutan, kalsium karbonat tidak dapat terendapkan pada kedalaman sekitar beberapa kilometer. Pengurangan suhu, peningkatan tekanan, dan penambahan karbondioksida pada kedalaman air laut yang tinggi memengaruhi proses pelarutan ini. Namun masih terdapat kemungkinan material karbonat dapat diendapkan, terutama yang berupa biji yang tertutup, radiolaria, dan *foraminifera* dengan cangkang yang sangat tebal. Dalam kebanyakan kasus, sedimen pelagik diendapkan melalui proses transportasi dari arus laut dalam daripada suspensi seperti material halus lainnya, yang terdiri dari *foraminifera nanofosil oozes* homogen dengan mineralogi sederhana yang terdiri dari *low-Mg calcite* (Tucker & Wright, 1990).

II.3.2 Mineral dan Komposisi Kimia Batugamping

Batugamping adalah batuan sedimen, sebagian besar batugamping batu berasal dari laut dan asal usulnya dikaitkan dengan organisme pembentuk batuan. Mineral utama dari batugamping adalah kalsit atau kalsium karbonat (CaCO_3), merupakan sumber yang kaya akan mineral penting seperti kalsium, selenium, besi, dan

Kalsit dan dolomit merupakan mineral karbonat yang paling umum dalam batugamping. Mineral kalsit adalah mineral yang dapat dijumpai



dalam keadaan murni ataupun tidak, dikarenakan adanya kandungan mineral pengotornya (Dwiyanto et al., 2022).



Gambar 2. 3 Batugamping (Dokumentasi Pribadi).

Komposisi penyusun batugamping terdiri atas mineral oksida yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , MnO , TiO_2 , dan P_2O dan elemen jejak yaitu Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, and Eu. Karakteristik geokimia dari batugamping ini dapat digunakan untuk interpretasi kondisi pengendapannya. Selain itu, juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan perubahan muka air laut pada lingkungan pengendapan batugamping (Atmoko et al., 2018).

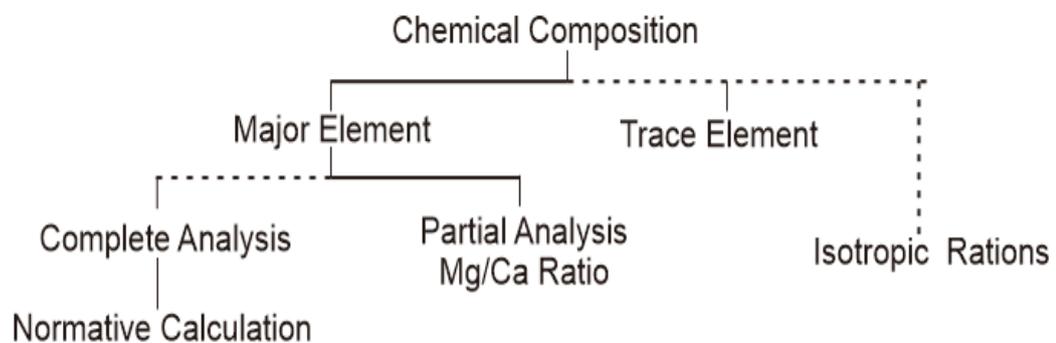
II.4 Klasifikasi Batugamping Todd (1966)

Klasifikasi petrogenetik batuan karbonat adalah sistem tata nama yang kompleks namun fleksibel yang dikembangkan dalam upaya untuk mengatur beberapa sifat deskriptif kelompok batuan yang sangat rumit ini ke dalam hubungan yang sistematis dan signifikan secara genetik. Sifat-sifat yang dikenali dalam klasifikasi ini dikelompokkan dalam tiga judul yaitu, Unsur-unsur komposisi, Tekstur dan komposisi kimia. Klasifikasi berdasarkan komposisi kimia yang umumnya digunakan sebagai kalsium magnesium (atau rasio Mg/Ca). Komposisi kimianya



juga dapat disajikan dalam bentuk persen oksida, atau persentase mineral jika perhitungan normatif.

Mendeskripsikan secara akurat sifat-sifat batuan karbonat sangat penting untuk memahami pembentukan dan kondisi lingkungannya karena memberikan wawasan tentang sumbernya, lingkungan pengendapan, dan sejarah diagenetiknya. Sifat-sifat batuan karbonat, seperti unsur komposisi, tekstur, dan komposisi kimia, memberikan informasi berharga tentang proses dan kondisi di mana batuan tersebut terbentuk dan diubah seiring waktu. Pemahaman ini penting untuk menafsirkan sejarah geologi, mengidentifikasi potensi reservoir atau akuifer, dan menilai nilai ekonomi batuan karbonat (Todd, 1966).



Gambar 2. 4 Skema Analisis Komposisi Kimia Batugamping (Todd, 1966).

Istilah terakhir dalam klasifikasi batuan karbonat dengan melihat komposisi kimia sampel yang dipertimbangkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Istilah ini mungkin didasarkan pada analisis unsur utama, dengan atau tanpa penentuan unsur jejak, atau sekadar pengukuran kandungan ion kalsium-magnesium relatif.



komposisi kimia untuk batuan karbonat yang mengandung *terrigenous* dapat yaitu CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, kandungan elemen utama persentase. Hal yang paling umum dalam menggambarkan komposisi kimia

parsial atau utama adalah rasio kalsium/magnesium. Rasio ini merupakan istilah deskriptif yang setara, mungkin berguna tidak hanya untuk tujuan korelasi atau evaluasi ekonomi mineral, tetapi juga sebagai data untuk interpretasi sejarah diagenetik suatu batugamping. Standar klasifikasi berdasarkan rasio kalsium dan magnesium seperti tabel berikut ini:

Tabel 2. 1 Tabel Klasifikasi Todd (1966)

Standar Rasio Ca/Mg	Standar Rasio Mg/Ca	Jenis Batugamping
>39	0 – 0,03	<i>Pure Limestone</i>
39,0 – 12,3	0,03 – 0,08	<i>Magnesian Limestone</i>
12,3 – 5,67	0,08 – 0,18	<i>Dolomatic Limestone</i>
5,67 – 1,86	0,18 – 0,54	<i>Dolomitized Limestone</i>
1,86 – 1,50	0,54 – 0,67	<i>Calcareous Dolomite</i>
1,50 – 1,22	0,67 – 0,82	<i>Dolomite</i>
1,22 – 1,00	0,82 – 1,00	<i>Magnesian Dolomite</i>

Berdasarkan Tabel 2.1 Todd mengklasifikasikan batugamping menjadi menjadi 7, yaitu diantaranya:

1. *Pure Limestone*

Batugamping murni dapat dihasilkan dari akumulasi kerangka organisme aragonit, dari pengendapan kimiawi secara langsung, atau dari hilangnya $MgCO_3$. Rasio Ca/Mg yang tinggi dari keseluruhan batugamping ini, mungkin disebabkan oleh kandungan magnesium yang rendah dari komposisi batugamping yang diendapkan langsung dari air laut. Penjelasan lain adalah kemungkinan kekurangan organisme kalsit purba dalam magnesium, yaitu kemungkinan terjadi dedolomitisasi. Dedolomitisasi mengubah butiran halus dolomit permeabel menjadi padat. Dedolomitisasi terkadang terlihat



memiliki bintik-bintik pada batugamping. *Pure limestone* mengindikasikan proses pembentukan batugamping diendapkan pada lingkungan dengan tingkat evaporasi atau laju penguapan air laut dan salinitas yang rendah.

2. *Magnesian Limestone*

Batas atas dari rasio Ca/Mg dari batugamping yang sedikit dolomit adalah 12,3%. Batugamping ini mungkin merupakan hasil dari akumulasi struktur kerangka organisme. Komposisi batu kapur berbutir halus dari batugamping dengan sedikit kandungan dolomit. Dengan dugaan batugamping menunjukkan butiran halus batugamping yang berasal dari bahan kimia lebih banyak homogen (secara kimiawi) dan mengandung lebih sedikit bahan organik dibandingkan dengan pasta berbutir halus yang dihasilkan dari penggabungan puing-puing organik.

3. *Dolomatic Limestone*

Banyak batugamping, yang memiliki Ca/Mg sebesar 3,5 hingga 16, disebut dolomit. Meskipun struktur kerangka organisme dapat memiliki rasio Ca/Mg serendah itu, dolomitisasi sekunder (diagenetik) yang berperan dalam asal-usul pembentukannya.

4. *Dolomitized Limestone*

Dolomitized limestone adalah jenis batuan sedimen yang telah mengalami proses *dolomitization*. Dalam proses ini, batugamping mengalami perubahan menjadi dolomit dengan konsentrasi kalium dan magnesium. *Dolomitization*

adi ketika batugamping bersentuan dengan air yang mengandung



magnesium, sehingga mineral kalsit (kalsium karbonat, CaCO_3) dalam batu kapur digantikan oleh mineral dolomit.

5. *Calcareous Dolomite*

Batas atas dolomit berkapur adalah rasio Ca/Mg 1,86 – 1,50. Jenis ini dapat dihasilkan dari pengendapan yang berlebihan dari CaCO_3 di atas dolomit, atau dolomitisasi yang tidak sempurna. Dolomit dari kelompok ini dihasilkan dari sirkulasi larutan air tanah, bisa dapat dengan mudah diidentifikasi dengan variasi Ca/Mg pada jarak yang pendek (Todd, 1966).

6. Dolomit

Berdasarkan hasil penelusuran Chilinger (1957) kadar dolomit yang tinggi pada batugamping dapat terjadi ketika batugamping mengalami proses *dolomitization*, di mana mineral kalsit dalam batugamping digantikan oleh mineral dolomit. Batugamping yang mengalami *dolomitization* memiliki kadar magnesium yang lebih tinggi daripada batugamping biasa. Kadar dolomit lebih tinggi dibandingkan *Dolomitized Limestone*.

7. *Magnesian Dolomit*

Dolomit murni memiliki rasio Ca/Mg 1,22 – 1,00 dan Mg/Ca 0,82 – 1,00. Namun, beberapa batuan dolomit mengandung kelebihan magnesium. Dolomit ini kemungkinan adalah hasil pengendapan (kimiawi) dari kelebihan MgCO_3 , yang dapat terjadi pada suhu tinggi dan diendapkan pada lingkungan dengan tingkat evaporasi atau laju penguapan air laut dan salinitas yang relatif

sgl.



Rasio kalsium-magnesium (Ca/Mg) dan magnesium-kalsium (Mg/Ca) merupakan elemen komposisi penting yang dipertimbangkan dalam klasifikasi petrogenetik batuan karbonat (Todd, 1966). Rasio timbal balik Mg/Ca, merupakan parameter penting untuk memahami sejarah diagenetik dan komposisi mineralogi batuan karbonat. Rasio Ca/Mg dan Mg/Ca sangat penting dalam mengidentifikasi tingkat substitusi magnesium dalam mineral karbonat, khususnya pada kalsit dan dolomit yang dapat memberikan wawasan mengenai proses pengendapan dan diagenetik yang mempengaruhi komposisi batuan (Jordy, 1955).

Pada kondisi alami rasio Mg/Ca meningkat selama penguapan air laut, misalnya pada lingkungan air laut asin. Rasio dolomit/kalsit sampai sekarang digunakan untuk menyimpulkan lingkungan pengendapan pada batuan sedimen. Rasio Mg/Ca umumnya mengalami perubahan pada batuan karbonat yang lebih tua, namun masih harus dibuktikan sejauh mana hal tersebut dapat diganti atau dimodifikasi dengan menggunakan rasio Ca/Mg (Marschner, 1968). Peningkatan rasio Ca/Mg dapat mempengaruhi proses evaporasi air laut. Air laut yang menguap akan meninggalkan residu mineral, dan rasio Ca/Mg dapat mempengaruhi komposisi mineral yang terendapkan. Peningkatan rasio Ca/Mg dapat menghasilkan endapan mineral yang kaya akan kalsium dan magnesium, seperti dolomit, yang dapat terbentuk selama proses evaporasi air laut. Oleh karena itu, perubahan rasio Ca/Mg dapat mempengaruhi komposisi mineral dari endapan evaporit yang terbentuk selama evaporasi air laut (Todd, 1966).



an Mg pada mineral kalsit yang rendah dikarenakan mungkin pada an pengendapan batugamping pernah berada pada suhu tinggi, sehingga

hal ini mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti berikut ini (Goldsmith et al., 1955):

1. Pelepasan/eksolusi terjadi selama pendinginan
2. Tekanan CO₂ yang tidak cukup untuk mempertahankan Mg dalam larutan padat.
3. Proses redrograde pada pasca metamorf, termasuk terjadi hidrotermal dan pelapukan pada suhu rendah.
4. Lingkungan pengendapan yang miskin kandungan Mg.

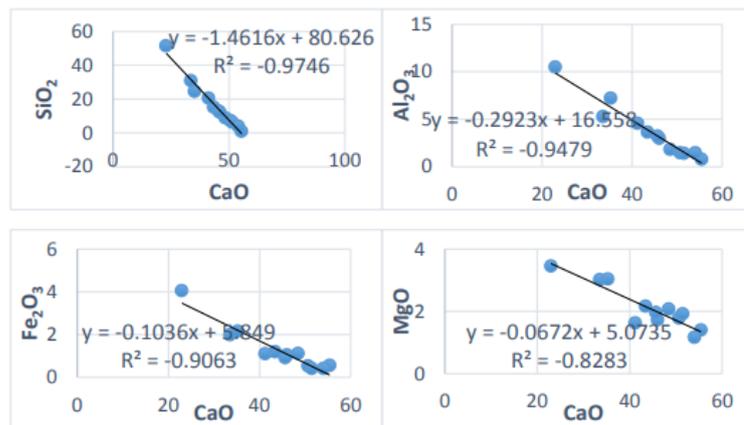
II.5 Korelasi Antar Komposisi Kimia Batugamping

Analisis geokimia menggunakan metode XRF data yang digunakan untuk analisis dengan menggunakan unsur utama oksida seperti CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, dan Fe₂O₃, yang digunakan untuk parameter analisis lingkungan pengendapan. *Bivariate plots* adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antar dua variabel. Hasil analisis XRF kemudian dibuat hubungan antar senyawa oksida menggunakan *bivariate plots*. Kemudian *bivariate plots* akan menghasilkan nilai koefisien determinasi R² yang kemudian digunakan untuk melihat seberapa besar kontribusi (kekuatan) pengaruh yang diberikan variabel X terhadap variabel Y. Penggunaan elemen utama dalam korelasi *bivariate plots* adalah mineral oksida utama penyusun batugamping seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Choerunnisa et al., 2019).



asi pada senyawa SiO₂ dipengaruhi oleh laju *influks terrigenous* selama pengendapan batugamping. Kandungan SiO₂ pada batugamping ikan kemungkinan pada proses pembentukan menghasilkan pengotor

detrital atau komponen terlarutnya di lingkungan laut dangkal (Devi dan Duarah, 2015). Kandungan Al_2O_3 yang rendah menunjukkan bahwa pelapukan yang rendah selama transportasi dan pengendapan sebelum diagenesis (Ehinola et al., 2016). Konsentrasi Fe_2O_3 biasanya berasal dari pelapukan kimia yang intens pada mineral berat seperti *ferromagnesian*. Rendahnya kadar menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan tidak mendukung pengendapan besi, begitu pun sebaliknya. Kadar CaO dapat diasumsikan dipengaruhi oleh suplai detrital yang terjadi pada proses pembentukannya. Konsentrasi MgO dipengaruhi tingkat salinitas yang terjadi selama proses pengendapan (Choerunnisa et al., 2019).



Gambar 2. 5 Korelasi Mineral Oksida Batugamping (Choerunnisa et al., 2019).

II.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 baku semen seperti yang terlihat pada Tabel 2.2. Standar kualitas batugamping



han baku semen ditetapkan berdasarkan persyaratan komposisi kimia, dengan CaO harus memenuhi persyaratan minimum.

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

Komposisi Kimia	Standar Bahan Baku Semen Duda (1976)
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).

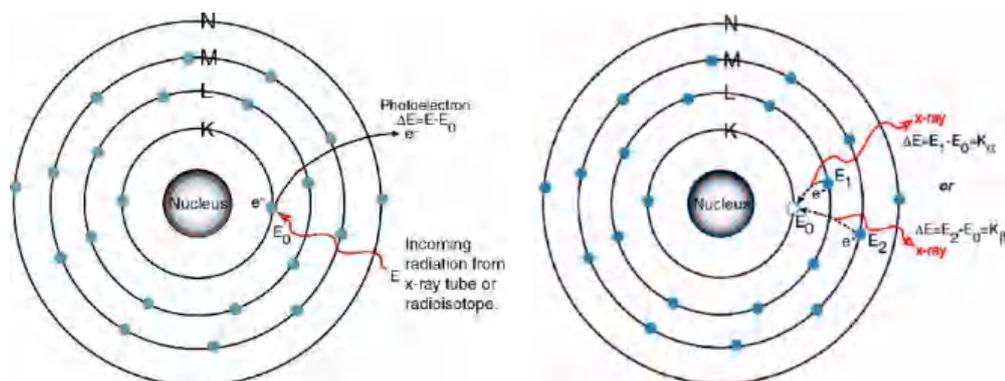
II.7 Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Sinar-X dapat dilihat sebagai gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang terkait, atau sebagai berkas foton dengan energi terkait. Kedua pandangan tersebut benar. Gelombang elektromagnetik lainnya termasuk cahaya, gelombang radio, dan sinar-y. Sinar-X memiliki panjang gelombang dan energi antara sinar-y dan sinar ultra violet. Panjang gelombang sinar-X berkisar antara 10 nm, yang setara dengan energi dalam kisaran 0,125 hingga 125 keV. Panjang gelombang sinar-X berbanding terbalik dengan energinya, berdasarkan



pada $E * \lambda = hc$. Energi (E) adalah energi dalam keV dan A adalah panjang gelombang dalam nm. Suku hc adalah hasil kali konstanta *Planck* dan kecepatan cahaya dengan menggunakan keV dan nm sebagai satuannya.

Spektrometer XRF adalah alat uji yang digunakan untuk analisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif menunjukkan jenis unsur yang terkandung dalam bahan melalui spektrum unsur pada karakteristik energi sinar-x, dan analisis kuantitatif menunjukkan jumlah unsur yang terkandung dalam bahan melalui ketinggian puncak spektrum (Jamaludin dan Adiantoro, 2012). Energi sinar-X yang dipancarkan tergantung pada perbedaan energi antara kulit dengan lubang awal dan energi elektron yang mengisi lubang (dalam contoh, perbedaan energi kulit K dan kulit L). Setiap atom memiliki tingkat energi tertentu, sehingga radiasi yang dipancarkan adalah karakteristik dari atom tersebut.

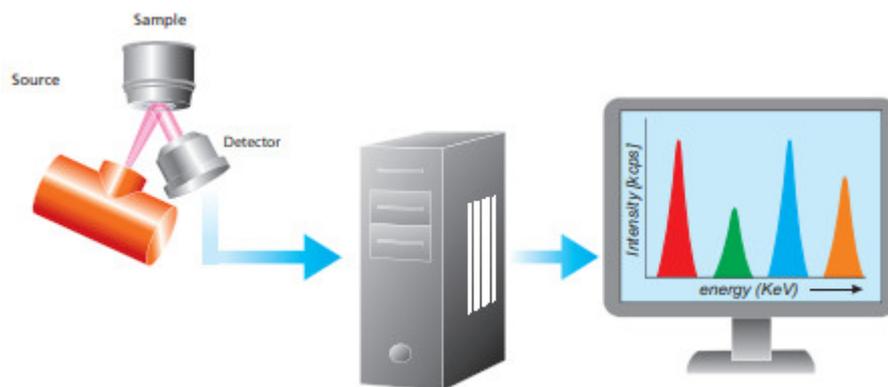


Gambar 2. 6 Prinsip Kerja Sinar-X (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).

Analisis XRF bergantung pada identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X dari peristiwa efek fotolistrik, Gambar 2.6 menunjukkan bagaimana kerja dari sinar-X dalam spektrometri (Jamaludin dan Adiantoro, 2012). listrik terjadi ketika elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar-X



(radiasi gamma, juga dikenal sebagai sinar-X). Jika energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat yang ditransmisikan elektron dalam orbit atom target K, L, atau M, elektron atom target akan keluar dari orbitnya, sehingga atom target akan mengalami kekosongan. Setelah elektron dari orbital yang lebih luar memenuhi ruang kosong ini, sinar-X dilepaskan. Jika elektron kulit K yang diganti, emisi sinar-X disebut deret K. Jika elektron kulit L yang diganti, emisi sinar-X disebut deret L. Garis spektrum sinar-X disusun dalam seri K, L, dan M. Spektrum sinar-X yang dihasilkan oleh semua elemen dalam sampel berasal dari transisi elektron ke kulit yang sama dari berbagai tingkatan. Karena sinar-X yang berbeda akan dipancarkan untuk setiap jenis transisi orbital kulit atom, setiap elemen akan memiliki banyak garis karakteristik dalam spektrum (Bertin, 1975).



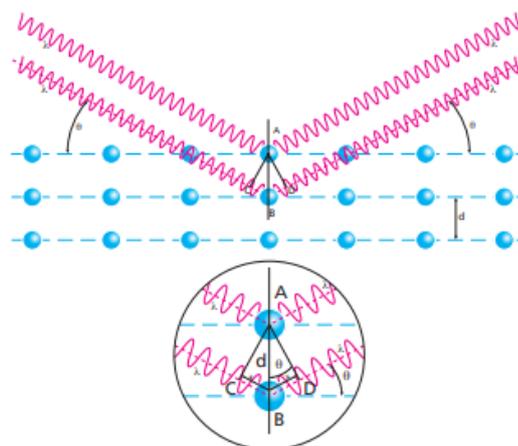
Gambar 2. 7 Skema Kerja Alat XRF (Brouwer, 2003).

Skema kerja sinar-X pada alat XRF ditunjukkan pada Gambar 2.7 Prinsip dasar spektrometri sinar-x pada metode XRF dimulai dari sinar X primer dari sumber pengeksitasi atau radioisotop ditembakkan ke cuplikan. Dalam proses efek foto pancaran radiasi ini berinteraksi dengan cuplikan, menghasilkan pendaran sekunder yang ditangkap oleh detektor dan kemudian dianalisis. Detektor



akan menangkap sinar X sekunder dari cuplikan dan mengubahnya menjadi pulsa listrik. Setelah *preamplifier* dan *amplifier* meningkatkan pulsa listrik, pulsa listrik diteruskan ke sistem analisator salur ganda (MCA). MCA (*Multi-Channel Analisator*) kemudian mencacah pulsa listrik dan menampilkannya dalam bentuk puncak-puncak spektrum sinar X. Puncak tinggi dan rendah spektrum sinar X berbeda satu sama lain dalam karakteristik energi tertentu (Mulyono et al., 2012).

Hukum Bragg memenuhi prinsip dasar metode difraksi. Sebuah kristal dapat dilihat sebagai tumpukan lapisan tipis yang semuanya memiliki ketebalan yang sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 Jika seberkas sinar-X paralel jatuh pada kristal, lapisan pertama memantulkan sebagian kecil dari sinar-X. Radiasi yang tersisa menembus kristal dan dipantulkan oleh lapisan berikutnya. Jika perbedaan panjang jalur antara pantulan dari lapisan adalah kelipatan setengah panjang gelombang radiasi, kedua sinar yang dipantulkan menghilang. Jika selisihnya tepat satu bilangan bulat dikalikan panjang gelombang, kedua berkas pantul akan menguat. Selisih panjang lintasan adalah bilangan bulat dikali panjang gelombang, hal ini berdasarkan Hukum Bragg pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Hukum Bragg (Brouwer, 2003).



Hukum Bragg berdasarkan prinsip metode difraksi dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\theta) \quad (2.1)$$

n : bilangan bulat (1,2,3....)

d : jarak antar bidang pada kristal

λ : Panjang gelombang (m)

θ : Sudut antara sinar datang dan bidang kristal.

Pada sudut θ , semua radiasi yang dipantulkan dengan panjang gelombang λ dan mematuhi hukum Bragg 'sefase' dan dijumlahkan. Semua panjang gelombang lainnya pada sudut yang sama akan lenyap. Oleh karena itu, detektor yang ditempatkan pada sudut θ dapat mengukur intensitas panjang gelombang yang sesuai. Panjang gelombang yang dipantulkan mematuhi hukum Bragg untuk $n = 1$ disebut pantulan orde pertama, untuk $n = 2$ disebut orde kedua dan seterusnya. Namun harus diperhatikan bahwa, pada sudut tertentu, radiasi akan terlihat dengan panjang gelombang λ , $\lambda/2$ dan $\lambda/3$, tetapi detektor akan dapat membedakannya.

II.8 Interpolasi

Interpolasi merupakan menggabungkan data dari sejumlah data yang telah diketahui. Interpolasi dalam pemetaan adalah estimasi nilai pada area yang tidak diukur atau di sampel, yang menghasilkan peta atau sebaran nilai pada berbagai area yang tidak diketahui nilainya. Sudah pasti dihasilkan selama proses interpolasi.

n dalam metode pengambilan sampel data, kesalahan dalam pengukuran,



atau kesalahan dalam analisis laboratorium adalah beberapa sumber dari kesalahan sebelum interpolasi (Pramono, 2008).

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) menggunakan fungsi matematik biasa untuk interpolasi. Metode IDW hanya bergantung pada hubungan antara data dan objek titik yang ditaksir untuk perhitungan. Metode ini mempertimbangkan setiap poin data dalam fungsi rata-rata dengan mempertimbangkan sepejarak terhadap poin target yang diprediksi. Untuk melakukan evaluasi metode IDW, hasil interpolasi dari manipulasi pangkat atau kekuatan yang digunakan dibandingkan. Karena lebih sederhana, mudah dipahami, dan dapat diterapkan untuk kasus dengan jumlah data yang terbatas, metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) ini banyak digunakan di berbagai bidang (Purnomo et al., 2022).

Kerugian metode IDW adalah nilai hasil interpolasi hanya dapat disesuaikan dengan nilai dalam data sampel. Istilah isotropik mengacu pada hubungan antara hasil interpolasi dan data sampel. Nilai yang dihasilkan tidak boleh kurang dari minimum atau lebih besar dari data sampel karena metode ini menggunakan rata-rata antara sampel yang berdekatan. Oleh karena itu, hasil interpolasi model ini tidak dapat menunjukkan puncak lembah atau bukit tertinggi. Sampel data harus rapat dengan variasi lokal untuk mendapatkan hasil yang baik (Pramono, 2008).

Persamaan IDW yang digunakan dalam pembobotan adalah sebagai berikut (Isaak dan Srivastava, 1989):



$$w_i = \frac{1}{\sum_i^w \frac{1}{d_i^p}} \quad (2.2)$$

Untuk menghitung nilai titik yang ditaksir digunakan persamaan berikut ini:

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i \quad (2.3)$$

\hat{Z}_0 : Nilai titik yang ditaksir (1,2,3....)

w_i : Faktor bobot dari titik-i

Z_i : Nilai dari titik penafsir-i

d_i : Jarak antara titik I dengan titik yang ditaksir

p : Faktor eksponen (*power*) 1,2,3....

