

ANALISIS *LIME SATURATION FACTOR (LSF)* DAN *FREE LIME (FREE CaO)* PADA KLINKER DI PT. SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE (XRF)*



**NUR A'ISYAH NASRULLAH
H061 20 1021**

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



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ANALISIS *LIME SATURATION FACTOR (LSF)* DAN *FREE LIME (FREE CaO)* PADA KLINKER DI PT. SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE (XRF)*

**NUR A'ISYAH NASRULLAH
H061 20 1021**



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

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ANALISIS *LIME SATURATION FACTOR* (LSF) DAN *FREE LIME* (FREE CaO) PADA KLINKER DI PT. SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE* (XRF)

**NUR A'ISYAH NASRULLAH
H061 20 1021**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

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



SKRIPSI

**ANALISIS LIME SATURATION FACTOR (LSF) DAN FREE LIME (FREE CaO) PADA
KLINKER DI PT. SEMEN TONASA MENGGUNAKAN
METODE X-RAY FLUORESCENCE (XRF)**

NUR A'ISYAH NASRULLAH

H061 20 1021

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Sains pada 31 Juli 2024
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



I. M. Si
'1998022002

Mengetahui:
Ketua Program Studi Geofisika,



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "*Analisis Lime Saturation Factor (LSF dan free lime (free CaO) Pada Klinker Di PT. Semen Tonasa Menggunakan Metode X-Ray Fluorescence (XRF)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Makhrani.,S.Si. M.Si sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

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

Makassar, Juli 2024



Nur A'isyah Nasrullah
NIM H061201021



Terima kasih **Petualangan Anak Desa Baru**, Unna, Muti, Fadil, Syifa, Angel, Niswar, Fiqri, Wahyu, dan Reyhan sebagai teman KKN yang telah memberikan semangat, doa, dan *support*-nya kepada penulis. Terima kasih untuk seluruh keluarga dan seluruh pihak yang tidak sempat saya sebutkan satu persatu yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi.

Terakhir, untuk diri saya sendiri **Nur A'isyah Nasrullah** terima kasih banyak telah berjuang sampai di titik ini, bisa mengendalikan diri dari berbagai tekanan yang ada serta terus semangat dan tidak pernah menyerah sesulit apapun proses yang dijalani serta menyelesaikan skripsi ini sebaik dan semaksimal mungkin. Walaupun penulis sangat menyadari masih sangat jauh dari kesempurnaan. Terima kasih telah berhasil menunjukkan bahwa perjuangan yang didasari oleh keinginan yang kuat serta usaha dan doa berhak mendapatkan hal yang terbaik.

Penulis

Nur A'isyah Nasrullah

H061201021



ABSTRAK

NUR A'ISYAH NASRULLAH. **Analisis *Lime Saturation Factor (LSF)* dan *free lime (free CaO)* pada klinker di PT. Semen Tonasa menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*** (dibimbing oleh Makhrani).

Latar belakang. Ada beberapa pengujian kualitas klinker yang perlu dilakukan pada PT. Semen Tonasa diantaranya pengujian *Lime Saturation Factor (LSF)* dan *free lime (free CaO)*. *Lime Saturation Factor (LSF)* adalah parameter yang menunjukkan jumlah maksimum CaO yang diperlukan untuk bereaksi dengan oksida lain dalam proses pembentukan klinker, sementara *free lime (free CaO)* adalah kapur yang tidak bereaksi selama proses klinkerisasi. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pengaruh *Lime Saturation Factor (LSF)* dan *free lime (free CaO)* terhadap kualitas klinker. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)* di Quality Control (QC) PT. Semen Tonasa. **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LSF berkisar antara 95.64% hingga 98.96%, dan nilai *free lime (free CaO)* berkisar antara 1.00% hingga 2.13%. Terdapat hubungan positif antara *Lime Saturation Factor (LSF)* dan *free lime (free CaO)*, dimana peningkatan *Lime Saturation Factor (LSF)* menyebabkan peningkatan *free lime (free CaO)*, yang berdampak pada kualitas dan peningkatan kebutuhan energi dalam proses penggilingan klinker. Pengendalian yang tepat terhadap *Lime Saturation Factor (LSF)* sangat penting untuk memastikan reaksi sempurna antara CaO dan bahan baku lainnya, sehingga menghasilkan klinker berkualitas tinggi dengan kandungan *free lime (free CaO)* yang minimal.

Kata Kunci : LSF, *free lime*; Klinker; Semen; XRF.



ABSTRACT

NUR A'ISYAH NASRULLAH. **Analysis of Lime Saturation Factor (LSF) and free lime (free CaO) in clinker at PT. Semen Tonasa using X-Ray Fluorescence (XRF) method** (supervised by Makhrani).

Background. There are several clinker quality tests that need to be carried out at PT. Semen Tonasa includes Lime Saturation Factor (LSF) and free lime (free CaO) testing. Lime Saturation Factor (LSF) is a parameter that indicates the maximum amount of CaO required to react with other oxides in the clinker formation process, while free lime (free CaO) is lime that does not react during the clinkerization process.

Objective. This study aims to identify the effect of Lime Saturation Factor (LSF) and free lime (free CaO) on clinker quality. **Methods.** This study used the X-Ray Fluorescence (XRF) method in Quality Control (QC) of PT Semen Tonasa. **Results.** The results showed that the LSF value ranged from 95.64% to 98.96%, and the free lime (free CaO) value ranged from 1.00% to 2.13%. There is a positive relationship between Lime Saturation Factor (LSF) and free lime (free CaO), where an increase in Lime Saturation Factor (LSF) causes an increase in free lime (free CaO), which has an impact on quality and increased energy requirements in the clinker grinding process. Proper control of the Lime Saturation Factor (LSF) is essential to ensure complete reaction between CaO and other raw materials, resulting in high quality clinker with minimal free lime (free CaO) content.

Keywords: LSF, free lime; Clinker; Cement; XRF.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	1
1.2.1 Tujuan	1
1.2.2 Manfaat	2
1.3 Landasan Teori	2
1.3.1 Geologi Regional	2
1.3.2 Batuan	3
1.3.3 Batuan Sedimen	5
1.3.4 Batugamping	5
1.3.5 Semen	6
1.3.6 Klinker	7
1.3.6.1 Bahan Baku Klinker	7
1.3.6.2 Proses Pembuatan Klinker	8
1.3.7 Metode <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	14
1.3.8 <i>Lime Saturation Factor</i> (LSF)	17
<i>free CaO</i>	18
REVISI PENELITIAN	20
Aktu	20
I	20
Pulpan Data	20



II.4 Prosedur Kerja Pengujian <i>Lime Saturation Factor</i> (LSF) dan <i>free lime</i> (<i>free CaO</i>)	20
II.5 Analisis Data	21
II.6 Bagan Alir	22
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	23
BAB IV PENUTUP	27
Kesimpulan	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	xv



DAFTAR TABEL

1. Data Hasil Pengamatan *Lime Saturation Factor* (LSF) dan *free lime* (*free CaO*) dengan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) 23



DAFTAR GAMBAR

1. Peta Regional Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan	2
2. Siklus Batuan	4
3. Alur Proses Pembuatan Klinker PT. Semen Tonasa	8
4. Lokasi Penambangan	9
5. Lokasi <i>Crusher</i>	10
6. Lokasi <i>Raw Mill</i>	11
7. Lokasi <i>Preheater</i>	12
8. Lokasi pembakaran (<i>kiln</i>)	13
9. Lokasi Pendinginan (<i>cooling</i>)	14
10. Prinsip kerja XRF	15
11. Ilustrasi Difraksi Sinar-X	16
12. Bagan Alir	22
13. Grafik Hasil Pengujian <i>Lime Saturation Factor</i> (LSF)	24
14. Grafik Hasil Pengujian <i>free lime</i> (<i>free CaO</i>)	25



DAFTAR LAMPIRAN

1. SNI syarat mutu *free lime* (*free CaO*) xvi
2. Hasil Uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) Pada Sampel Klinkerxvi
3. Senyawa Kimia dari semen portland xvii
4. Foto-Foto Kegiatan xvii



BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada zaman ini permintaan akan bahan bangunan telah meningkat sehingga mendorong kebutuhan akan solusi yang lebih efisien dan efektif dalam memenuhi standar dalam penggunaan bahan perekat seperti semen (Kadar dkk, 2022). Proses pembuatan semen portland di PT. Semen Tonasa terdiri dari beberapa proses, yaitu proses penambangan, proses penggilingan bahan mentah (*raw meal*), proses pembakaran menjadi klinker, dan proses penggilingan klinker menjadi semen (PT. Semen Tonasa). Klinker merupakan bahan utama dalam pembuatan semen dari perpaduan antara batu kapur (CaO) dan tanah liat (SiO_2) dengan tambahan bahan korektif pasir silika dan pasir besi (Rahmawatie dkk, 2017).

Ada beberapa pengujian kualitas klinker yang perlu dilakukan pada PT. Semen Tonasa diantaranya pengujian *Lime Saturation Factor* (LSF) dan *free lime* (*free CaO*). *Lime Saturation Factor* (LSF) adalah parameter kualitas klinker yang bertujuan menunjukkan jumlah maksimum CaO yang diperlukan untuk bereaksi dengan oksida lain sehingga tidak terjadi *free lime* (*free CaO*) berlebihan pada proses klinker (Sari dkk, 2018). Pengujian dilakukan untuk mengontrol kualitas klinker sebelum diolah menjadi semen. *Free lime* (*free CaO*) adalah kapur (CaO) yang tidak bereaksi selama proses klinkerisasi, *free lime* (*free CaO*) yang tinggi membuat beton memiliki kuat tekan yang rendah sehingga membentuk gel yang akan mengembang dalam keadaan basah sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton (Afrimirza, 2017).

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul “Analisis *Lime Saturation Factor* (LSF) dan *free lime* (*free CaO*) Pada Klinker Di PT. Semen Tonasa Menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF)”, untuk mengetahui *Lime Saturation Factor* (LSF) dan *free lime* (*free CaO*) pada klinker.

I.2 Tujuan dan Manfaat

I.2.1 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh *Lime Saturation Factor* (LSF) dan *free lime* (*free CaO*) terhadap kualitas klinker di PT.

lasarkan pengamatan dengan menggunakan metode *X-Ray*



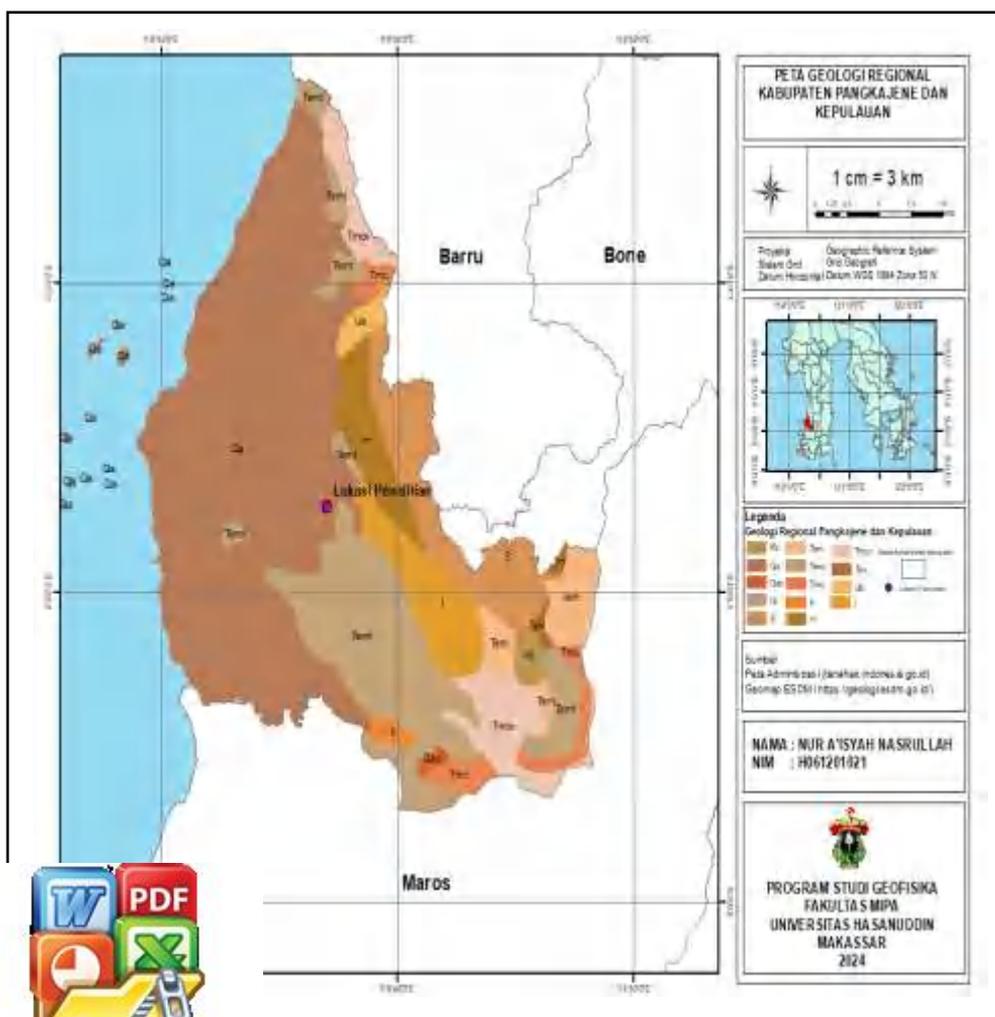
I.2.2 Manfaat

Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu untuk ajuan perusahaan menambah informasi ilmiah dalam mengontrol dan mengoptimalkan proses produksi untuk menghasilkan klinker dengan kualitas yang lebih baik.

I.3 Landasan Teori

I.3.1 Geologi Regional

Berdasarkan tinjauan geologi regional, daerah penelitian termasuk dalam wilayah lembar Pangkajene dan kepulauan Pada peta Lembar Pangkajene dan Watampone. Geologi regional Kabupaten Pangkep menunjukkan keragaman geologis yang signifikan yang mencakup berbagai formasi batuan.



a Geologi Regional Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan



Penyusun stratigrafi kawasan karst Maros – Pangkep adalah batuan dari Formasi Tonasa (Temt) yang terdiri dari batugamping koral, batugamping bioklastik, dan kalkarenit. Batuan ini sebagian terhamburkan, berwarna putih abu-abu dan kelabu muda, sebagian kuning gading, berlapis baik dan bersisik (*grainstone-packstone*) Secara genetis sebaran batugamping yang membentuk karst ini diendapkan dalam lingkungan laut dangkal (neritik), kemudian secara evolusi endapan ini terangkat ke permukaan, mengandung fosil moluska dan foraminifera (*nummulites* dan *discocyclina*) yang menunjukkan umur Eosen atas hingga Miosen Tengah, penyebaran formasi batuan mengarah ke bagian Utara-Selatan, menipis ke arah barat laut dan timur laut, menindih secara selaras batupasir Formasi Mallawa dan tertindih tidak selaras oleh batuan vulkanik Formasi Camba, di beberapa tempat batuan karbonat ini diterobos oleh batuan beku berupa sill dan retas (Sukanto, 1982).

Stratigrafi regional daerah penelitian merupakan bagian dari cekungan Sulawesi yang terdiri atas beberapa macam batuan seperti batugamping Formasi Tonasa (Temt), batuan gunung api Formasi Camba (Tmcv) dan batuan gunung api terpropilitkan (Tvp) (Sukanto, 1982).

1.3.2 Batuan

Batuan adalah benda padat bentukan alam yang merupakan agregasi atau kumpulan dari mineral baik sejenis maupun tidak sejenis dalam perbandingan tertentu seperti batubara. Sedangkan mineral adalah bahan padat homogen bentukan alam yang terdiri atas material organik atau anorganik yang mempunyai sifat fisik dan kimia tertentu (Chaerul, M. (2017). Batuan terdiri dari zat yang terkonsolidasi secara alami, yang mungkin terdiri dari mineral atau potongan batuan lainnya, dan bahan fosil, seperti cangkang atau tumbuhan. Batuan dapat dipelajari dan dibedakan dengan mengelompokkan jenis-jenis yang memiliki kemiripan penampakan, komposisi serupa, dan proses pembentukan yang sama (Monica & Kevin, 2005). Sebagian besar batuan terdiri dari berbagai macam mineral yang memiliki sifat fisik dan kimia berbeda. Berdasarkan cara terjadinya (genesanya) batuan penyusun kerak bumi dapat dibagi menjadi 3 yakni sebagai berikut (Zuhdi, 2019) :

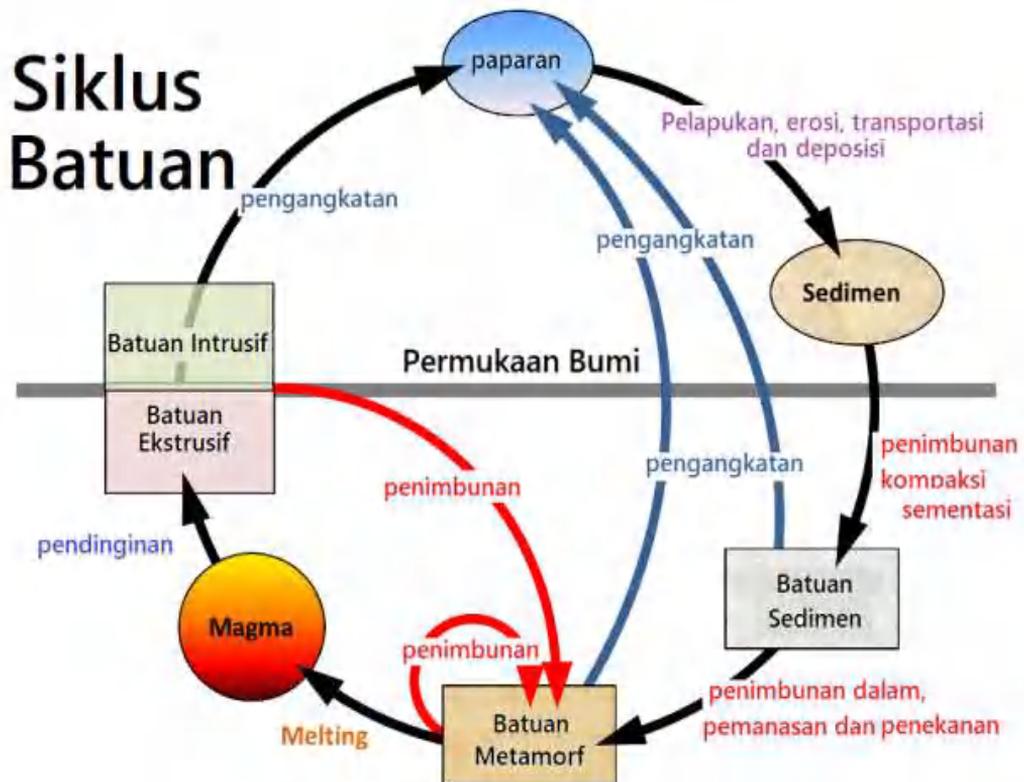
- Batuan beku (*igneous rocks*) terbentuk oleh pembekuan magma. Batuan beku dibagi menjadi batuan plutonik dan batuan vulkanik. Batuan plutonik atau intrusif terbentuk ketika magma mendingin dan terkristalisasi perlahan di dalam bumi. Salah satu contoh batuan beku plutonik adalah granit. Batuan beku vulkanik atau ekstrusif membeku dan terbentuk pada permukaan bumi sebagai lava atau fragmen beku.



• Batuan sedimen (*sedimentary rocks*) terbentuk karena endapan dari hasil pelapukan material batuan. Material hasil pelapukan ini bisa berupa zat organik atau anorganik. Material ini kemudian terkompaksi serta tersementasi.

Batuan sedimen yang terbentuk di permukaan bumi terdiri dari 65% batu lempung 20%-25% batu pasir dan 10%-15% batuan karbonat.

- Batuan metamorf (*metamorphic rocks*) terbentuk dari hasil ubahan/alterasi dari mineral dan batuan lain karena pengaruh tekanan dan temperatur. Tekanan dan temperatur yang mempengaruhi pembentukan batuan ini sangat tinggi dibandingkan pada pembentukan batuan beku dan sedimen sehingga mengubah mineral asal menjadi mineral lain.



Gambar 1.2 Siklus batuan (Zahudi, 2019)

Gambar 1.2 menunjukkan siklus batuan yang dapat berubah menjadi tipe batuan lain. Proses pembentukan batuan dimulai dari magma cair yang dikeluarkan dari dalam bumi melalui proses ejsi dari aktivitas vulkanik berupa keluarnya magma ke permukaan bumi, baik secara efusif (ekstrusi) maupun letusan (eksplosif). Jika magma mengalami pendinginan, maka batuan tersebut akan menjadi batuan beku (batuan intrusif atau batuan ekstrusif). Jika batuan beku mengalami pelapukan, transportasi, kemudian terendapkan dan mengalami penimbunan, maka batuan tersebut akan menjadi batuan sedimen. Batuan sedimen jika mengalami penimbunan dan penekanan, maka batuan tersebut akan berubah menjadi batuan metamorf (Zahudi, 2019).



I.3.3 Batuan Sedimen

Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk dari batuan-batuan yang telah ada kemudian mengalami pelapukan, dorongan oleh air, pengikisan-pengikisan oleh angin beserta proses, diagenesa, transportasi dan litifikasi. Batuan ini terendapkan di tempat-tempat yang relatif lebih rendah letaknya dari batuan asalnya, misalnya di laut, samudera, ataupun danau-danau. Mula-mula batuan sedimen merupakan batuan-batuan yang lunak, akan tetapi karena proses diagenesa maka batuan-batuan lunak tadi berubah menjadi keras. Batuan sedimen terdiri dari batuan sedimen klastik dan batuan sedimen non – klastik (Zahudi, 2019) :

- Batuan Sedimen Klastik

Batuan sedimen klastik terbentuk dari pengendapan kembali batuan-batuan asal. Batuan asal dapat berupa batuan beku, batuan sedimen itu sendiri maupun batuan metamorf. Dalam pembentukannya batuan sedimen klastik ini mengalami diagenesis yaitu perubahan yang berlangsung pada temperatur rendah di dalam suatu sedimen selama proses litifikasi. Batuan sedimen klastik tersusun oleh klastik - klastik yang terjadi karena proses pengendapan secara mekanis dan banyak mengandung mineral allogeneic. Mineral *allogeneic* adalah mineral yang tidak terbentuk pada lingkungan sedimentasi atau pada saat sedimentasi terjadi. Mineral ini berasal dari batuan asal yang telah mengalami transportasi dan kemudian terendapkan pada lingkungan sedimentasi. Pada umumnya berupa mineral yang mempunyai resistensi tinggi.

- Batuan Sedimen Non-Klastik

Batuan sedimen proses pembentukannya dapat berasal dari proses kimiawi, atau sedimen yang berasal dari sisa-sisa organisme yang telah mati. Batuan sedimen non-klastik memainkan peran penting dalam memahami sejarah geologi, lingkungan pengendapan, dan juga sebagai sumber daya ekonomi, seperti batu gamping untuk industri semen dan batubara untuk energi.

Batuan sedimen berjumlah 5% dari seluruh batuan-batuan yang terdapat di kerak bumi yang terdiri dari batu lempung 15%, batu pasir 5% dan batugamping kira-kira 80% (Rita dan Hengki, 2015). Batuan sedimen menutupi lebih dari 50% permukaan bumi dan oleh karena itu juga sangat penting dalam banyak aspek kehidupan kita, mulai dari pertanian hingga pondasi bangunan, dan dari sumber daya air tanah hingga seluruh lingkungan. Batuan sedimen terbentuk melalui serangkaian proses fisik, kimia, dan biologi (J.H. Schon , 2011).



merupakan negara yang memiliki kekayaan alam yang sangat u kekayaan alam yang cukup melimpah yaitu batugamping. ditemukan dan digunakan untuk kepentingan industri sebagai i Sulawesi Selatan terdapat 14,5% atau seluas 260,81 km²

wilayah batugamping yang sangat sesuai sebagai wilayah tambang batugamping. Batugamping memiliki struktur yang masif atau perlapisan yang tipis. Pada umumnya terdapat karang pada batugamping masif yang kuat yang mengandung silika. Semakin tua umur pada batugamping, maka batugamping akan lebih rekristalisasi dan lebih kuat (Massinai , 2015).

Salah satu daerah yang memiliki potensi cadangan batugamping adalah Kelurahan Bontoa, Kecamatan Minasatene kabupaten Pangkajene dan Kepulauan. Batugamping merupakan salah satu bahan galian non logam yang tersusun dari mineral kalsit dan aragonit. Pembentukan berasal dari proses kimiawi atau dari sisa-sisa organisme yang mati. Batugamping ini merupakan gradasi dari batugamping bioklastik dan batugamping klastik fragmen batugamping dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam bidang industri (Annisa dkk, 2022).

Kandungan utama pada batuan ini adalah mineral kalsium karbonat (CaCO_3) yang terjadi akibat proses kimia dan organik. Secara umum mineral yang terkandung dalam batugamping adalah kalsium karbonat (kalsit) sebesar 95%, dolomit sebanyak 3% dan sisanya adalah mineral *clay*. Mineral karbonat yang umum ditemukan berasosiasi dengan batugamping adalah aragonite, yang merupakan mineral metastable karena pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit (CaCO_3). Batugamping yang memiliki kandungan utama CaCO_3 pada dasarnya berwarna putih dan umumnya sering dijumpai pada batu kapur, kalsit, dan marmer (Lewicka dkk, 2020).

Salah satu hal penting yang harus diketahui dalam menganalisis adalah terdapat unsur Ca dan Mg. Bila kadar Ca tinggi dan Mg rendah berarti kualitasnya baik, begitu pula sebaliknya apabila kadar Ca rendah dan kadar Mg tinggi maka kualitasnya buruk yang menyebabkan terganggunya proses pengerasan pada semen, karena unsur Mg tidak dapat terikat dengan unsur lain dalam semen. Batugamping yang mengandung CaO lebih dari 50% (persen berat) sangat baik digunakan sebagai bahan bangunan dalam bentuk semen. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai kualitas semen menggunakan metode geokimia selama proses penambangan agar mengetahui komposisi kimia dari material yang akan di tambang. Salah satu metode geokimia yang digunakan adalah *X-ray fluorescence* (XRF) (Alfarizi dkk, 2020).

Pada pemboran batugamping kadang ditemukan kadar yang tidak sesuai atau rendah sehingga tidak dapat dijadikan bahan baku utama dalam pembuatan semen, sehingga mempengaruhi tingkat penjualan. Maka dari itu sebelum ke gudang terlebih dahulu akan dilakukan di deskripsi dan nya menggunakan alat *X-ray fluorescence* (XRF) agar dapat atugamping tersebut dijadikan bahan utama pembuatan semen 5).



I.3.5 Semen

Semen berasal dari bahasa latin “*Caementum*” yang berarti bahan perekat. Dalam pengertian umum, semen diartikan sebagai bahan perekat yang mempunyai sifat-sifat yang mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun tembok (Bonardo , 2013). Semen Portland sendiri memiliki beberapa tipe, berdasarkan standar yang diterbitkan oleh BSN, berikut ini Standar Semen Portland beserta nomor SNI-nya:

1. Semen Portland	SNI 15 2049 2004
2. Semen Masonry	SNI 15 3758 2004
3. Semen Portland Putih	SNI 15 0129 2004
4. Semen Portland Pozzolan (PPC)	SNI 15 0302 2004
5. Semen Portland Komposit (PCC)	SNI 15 7064 2004

Untuk menghasilkan semen dibutuhkan batu kapur yang merupakan bahan alam yang mengandung senyawa Kalsium Oksida (CaO), Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO). Bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk klinker, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai (Rahmawatie dkk, 2017).

I.3.6 Klinker

Klinker merupakan bahan utama dalam pembuatan semen yang berupa bahan padat yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam *kiln* membentuk butiran-butiran atau nodul, biasanya diameter 3-25 mm. Objek klinker dipilih karena produk klinker merupakan bahan utama dalam produk semen di mana klinker yang sesuai spesifikasi akan menuju *finish mill* untuk diproses lebih lanjut, sedangkan klinker yang *out spec* akan dimasukkan ke penampungan sementara menunggu diolah dengan klinker yang baik dengan perbandingan tertentu. klinker yang berada di luar baku mutu (*out spec*) akan menyebabkan biaya produksi meningkat dan terjadi penumpukan material di gudang sehingga akan menghambat proses produksi selanjutnya. Selain itu, klinker yang *out spec* dapat meningkatkan beban kerja pekerja karena para pekerja harus sering melakukan *adjustment* agar hasil produksi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan (Rahmawatie dkk, 2017).



I Klinker

ker untuk pembuatan semen adalah proses yang kompleks komponen dan fase dalam proses pembuatannya. Bahan baku ialah batu kapur, pasir silika, tanah liat, dan pasir besi. Dengan agai sumber, kualitas klinker semen harus dikontrol agar tetap

memenuhi standar. Berdasarkan penelitian (Duda 2007) bahan baku utama klinker terdiri dari:

a. Batu kapur (*limestone*)

Batu Kapur merupakan sumber utama senyawa Kalsium. Batu kapur murni umumnya merupakan kalsit atau aragonite yang secara kimia keduanya dinamakan CaCO_3 . Senyawa Karbonat dan Magnesium dalam batu Kapur umumnya berupa dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Dalam proses pembuatan Semen, CaCO_3 akan berubah menjadi oksida Kalsium (CaO) dan dolomite berubah bentuk menjadi kristal oksida magnesium (MgO). Batu kapur pada klinker digunakan sebanyak 81%.

b. Tanah liat (*clay*)

Tanah Liat merupakan sumber utama senyawa silikat. Disamping itu, juga merupakan sumber senyawa – senyawa penting lainnya seperti senyawa besi dan alumina. Dalam jumlah amat kecil kadang–kadang juga didapati senyawa alkali (Na dan K) yang dapat mempengaruhi mutu semen. Tanah liat pada klinker digunakan sebanyak kurang lebih 9%.

c. Bahan baku korektif

Pada umumnya, bahan baku korektif yang digunakan mengandung oksida silika, oksida alumina dan oksida yang diperoleh dari Pasir Silika (*Sand*), Tanah Liat (*Clay*), dan Pasir Besi tergantung kandungan yang kurang. Bahan additive klinker terdiri dari pasir besi atau *copper slag* digunakan sebanyak kurang lebih 1% dan pasir silika atau SiO_2 digunakan kurang lebih 9%, serta *gypsum* digunakan pada penggilingan akhir sebanyak 3 – 5% total pembuatan semen.

I.3.6.2 Proses Pembuatan Klinker

PT. Semen Tonasa pada saat ini menggunakan 2 *line* unit produksi. Adapun tahapan pembuatan semen di PT. Semen Tonasa sebagai berikut :



Dari gambar 1.3 dapat di lihat proses pembuatan semen melibatkan beberapa tahap penting mulai dari penambangan bahan baku hingga pengemasan, yang dimana membutuhkan pengendalian kualitas yang ketat pada setiap langkahnya untuk memastikan produk akhir memenuhi standar yang diharapkan. Berikut ini adalah penjelasan lebih rinci tentang setiap langkah utama dalam proses pembuatan semen:

- **Penambangan (*Quarry*)**

Proses pembuatan semen dimulai dengan tahap penambangan bahan baku. Pada gambar 1.4 merupakan lokasi penambangan batu kapur dilakukan di Gunung Bulu Jota, yang berlokasi di belakang pabrik PT. Semen Tonasa. Berikut adalah gambaran dari lokasi penambangan bahan baku:



Gambar 1.4 Lokasi Penambangan (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Penambangan (*quarry*) yaitu penggalian dan penambangan bahan baku dari daerah tambang. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan klinker adalah



yang mengandung oksida-oksida Kalsium, Silika dan Alumina. Bahan yang digunakan adalah batu kapur (*limestone*) dan tanah liat (*clay*) in berbagai bahan baku di PT. Semen Tonasa dilakukan di mbangan, bergantung pada bahan baku semen. Untuk proses kapur dilakukan pengeboran (*drilling*), peledakan (*blasting*), akhir diangkut ke *crusher* batu kapur.

- **Penghancuran (*Crushing*)**

Pada gambar 1.5 merupakan lokasi *crusher* batu kapur PT. Semen Tonasa yang merupakan tahap selanjutnya setelah proses penambangan dimana dilakukan pemecahan batu kapur dan bahan-bahan lainnya menjadi ukuran yang lebih kecil untuk memudahkan langkah-langkah selanjutnya.



Gambar 1.5 Lokasi *Crusher* (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Penghancuran (*crushing*) yaitu penghancuran material menjadi bentuk yang lebih kecil dan siap dimasukkan ke *raw mill*, hasil penghancuran disimpan di dalam gudang. Batu kapur yang berasal dari *quarry* mengalami dua tahap proses penghancuran yaitu *primary crusher* yang berukuran kurang lebih 125mm kemudian melewati *secondary crusher* yang berukuran kurang lebih 80 mm. material yang telah hancur akan disimpan di gudang penyimpanan yang disebut *pile reclaimers* atau *mix pile*.



Raw Mill)

gambar 1.6 merupakan lokasi raw mill. *Raw mill* merupakan tahap pencampuran bahan baku yaitu batu kapur (*limestone*) dan tanah



Gambar 1.6 Lokasi *Raw Mill* (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Pada proses ini juga dilakukan pengoreksian bahan korektif berupa pasir silika dan pasir besi (*iron sand*) dengan perbandingan tertentu, sehingga hasil produksinya disebut *raw meal*. Di dalam *raw mill* material mengalami dua proses yaitu proses penggilingan dan proses pengeringan. Proses penggilingan dilakukan untuk menyiapkan campuran yang homogen dengan kehalusan tertentu sesuai dengan keperluan pembakaran *kiln*. Homogenisasi *raw mill* dilakukan untuk menjaga komposisi bahan kimia dari *raw mill* tetap sama pada saat masuk *kiln*.

- **Pemanasan Awal (*Preheater*)**

Tahapan selanjutnya dalam proses pembuatan semen yaitu proses pemanasan awal yang dilakukan di lokasi *preheater* (Gambar 1.7) untuk memastikan bahan baku siap masuk ke dalam *kiln*. Proses *preheater* berfungsi mereduksi kadar air (H_2O) serta memisahkan antara *kiln feed* dengan gas dari *kiln* dengan menggunakan alat *cyclone*. Temperatur di tiap-tiap alat *cyclone* harus dijaga agar tidak terjadi *flashing* (material mentah masuk *kiln*).



cyclone, material mentah yang sudah dipanaskan akan berputar sementara gas panas naik ke atas dan keluar menuju *cyclone* i berulang di setiap tahap *cyclone*, sehingga material mentah akan panas sebelum akhirnya masuk ke *kiln*.



Gambar 1.7 Lokasi *Preheater* (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Penting untuk memastikan aliran gas dan material mentah ini berjalan lancar agar efisiensi proses pemanasan maksimal. Setiap tahap *cyclone* dalam *preheater* memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi dan mengoptimalkan proses produksi semen.

- **Pembakaran (*Kiln*)**

Berikut ini adalah lokasi pembakaran (Gambar 1.8) di PT. Semen Tonasa, dimana bahan baku diolah dan dipanaskan hingga mencapai suhu yang diperlukan untuk menghasilkan klinker. Dimana material akan mengalami pembakaran dari suhu rendah (*preheater*) ke suhu tinggi dengan alat utama yang digunakan adalah tanur putar (*rotary kiln*). Bahan bakar yang digunakan adalah batubara yang dibakar dalam kiln untuk memanaskan bahan mentah menjadi klinker.





Gambar 1.8 Lokasi Kiln (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Pada *kiln* terjadi proses perpindahan panas yang sebagian besar ditentukan oleh proses radiasi sehingga memerlukan isolator yang baik untuk mencegah panas terbang keluar. Panas yang digunakan berasal dari unit penyediaan bahan bakar batu bara (*coal meal*) dengan suhu ± 1200 °C. Di dalam *kiln* terjadi proses kalsinasi yaitu proses penguraian kalsium karbonat yang terkandung dalam bahan baku sehingga dihasilkan Kalsium Oksida (CaO).

- **Pendinginan (*Cooling*)**

Setelah bahan baku telah melalui berbagai tahap seperti penggilingan, pencampuran, dan pembakaran, selanjutnya dilakukan pendinginan. Di lokasi pendinginan (seperti yang terlihat dalam Gambar 1.9), suhu material perlahan diturunkan secara bertahap untuk mencegah pendinginan yang tidak terkontrol dan memastikan kualitas akhir semen sesuai dengan standar yang diharapkan. Proses pendinginan untuk mengontrol karakteristik kimia dan fisik material ini lanjut dalam tahap produksi semen.





Gambar 1.9 Lokasi Pendinginan (*cooling*) (Sumber : PT. Semen Tonasa)

Cooling adalah proses pendinginan pada klinker berbentuk batu-batuan yang dikeluarkan oleh *kiln*. klinker didinginkan dengan tujuan untuk menaikkan mutu dan memudahkan proses transportasi klinker. Pada proses pendinginan terjadi di *ETA cooler* dengan menggunakan suhu ± 100 °C.

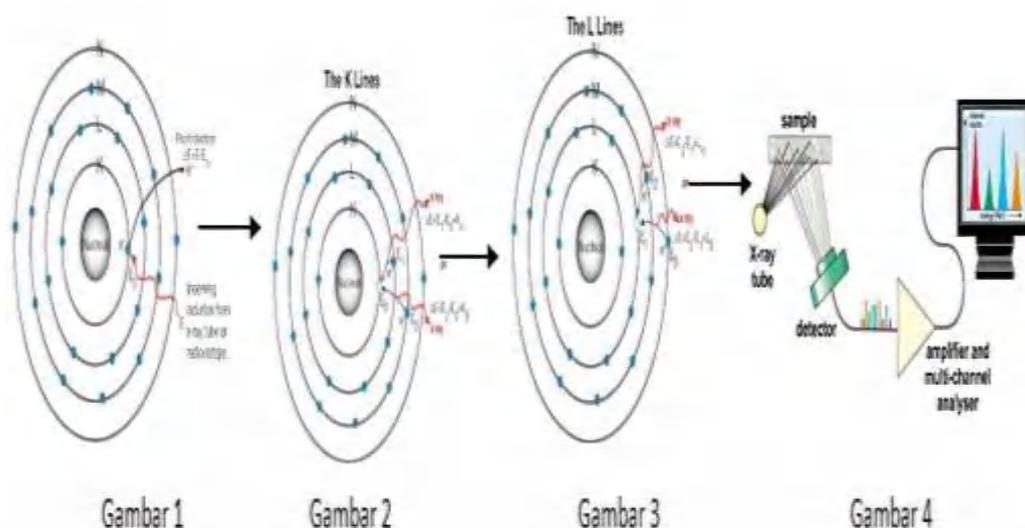
1.3.7 Metode X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia serta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. Metode spektrometri merupakan metode analisis suatu bahan dengan peralatan tertentu yang hasil ujinya berupa spektrum.

Metode XRF ini sering digunakan untuk menganalisis suatu sampel dimana menggunakan pendekatan secara kualitatif maupun kuantitatif yang sampel. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum sinar-x karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif ini jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh spektrum.



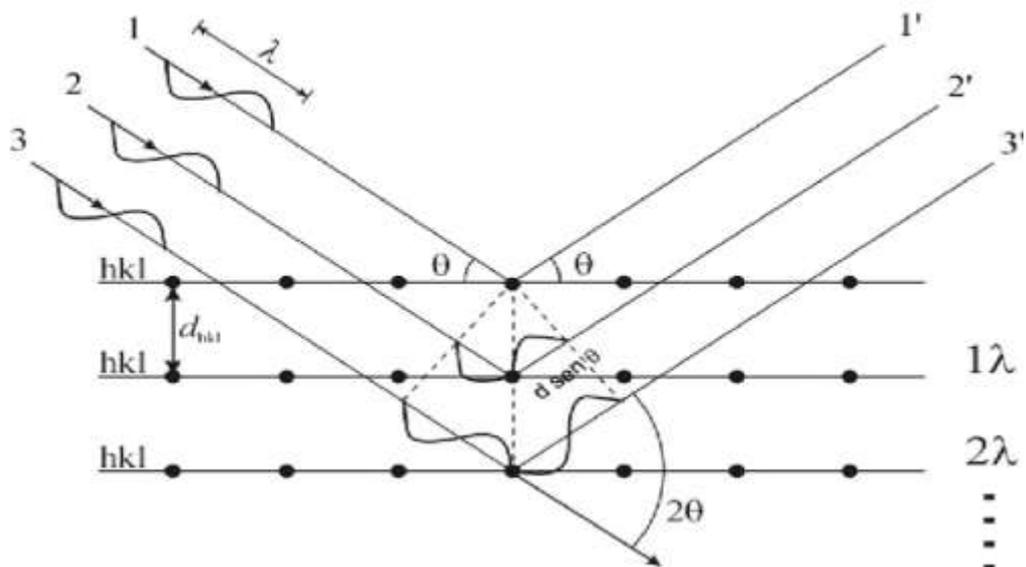
Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-x). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang bertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Peristiwa tersebut dapat dilihat pada gambar 1.10 (Jamaludin dkk, 2012).



Gambar 1.10 Prinsip kerja XRF (Sumantry, 2002)

Sinar-x *fluorescence* yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan dari penyinaran sampel dengan sinar-x primer dari tabung sinar-x (X-Ray Tube), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 volt. Bila radiasi dari tabung sinar-x mengenai suatu bahan maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih rendah, sambil memancarkan sinar-x karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam limasukkan ke *analyser* untuk diolah datanya (Agus dan Darma,





Gambar 1.11 Ilustrasi Difraksi Sinar-x (Hammond, 2009)

Beberapa metode difraksi yang dapat dilakukan sehubungan dengan penentuan koordinat atom-atom yaitu difraksi sinar-X dan neutron. Kedua metode ini saling mengisi (komplemen), ada bahan yang baik ditentukan oleh sinar-X dan sebaliknya tidak baik oleh neutron. Dalam beberapa hal penggunaan neutron untuk penelitian bahan sering memberikan informasi yang tidak mungkin diperoleh dengan teknik lainnya. Hal ini disebabkan neutron mempunyai sifat-sifat khusus yang menguntungkan. Prinsip dasar dari masing-masing metode difraksi adalah sama yaitu harus memenuhi hukum Bragg. Bila seberkas sinar-X jatuh pada suatu bahan, maka berkas ini akan didifraksikan oleh bidang kristal yang disusun oleh atom-atom (ion).

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

Keterangan :

n : orde (1,2,3....)

d : jarak antar bidang (celah)

λ : Panjang gelombang (m)

θ : Sudut deviasi (sinar datang dan sinar pantul).



di atas meninjau besarnya sudut difraksi θ , tergantung pada arget λ , dan jarak antar bidang d. Interferensi konstruktif akan an lintasan adalah kelipatan bilangan bulat n untuk panjang (Suminta, 2003). Menurut Kurniawati (2014) kelebihan dan y *Fluorescence* (XRF) sebagai berikut :

a. Kelebihan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

- Mudah digunakan dan sampel dapat berupa padat, serbuk, butiran dan cairan.
- Tidak merusak sampel (*Non Destructive Test*) sampel utuh dan analisa dapat dilakukan berulang-ulang.
- Banyak unsur yang dapat dianalisa sekaligus (Na-U).
- Konsentrasi dari ppm hingga kadar dalam persen (%).
- Hasil keluar dalam beberapa detik (hingga beberapa menit tergantung aplikasi)
- Menjadi metode analisa unsur standar dengan banyaknya metode analisis ISO dan ASTM yang mengacu pada analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF).

b. Kelemahan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

- Tidak cocok untuk analisis elemen yang ringan seperti H dan He
- Analisis sampel cair membutuhkan volume gas helium yang besar
- Preparasi sampel membutuhkan waktu yang cukup lama
- Tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam sampel
- Tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material.

1.3.8 Lime Saturation Factor (LSF)

Menurut Sari, dkk (2018) *Lime Saturation Factor* (LSF) adalah parameter kualitas klinker yang bertujuan menunjukkan jumlah maksimum CaO yang diperlukan untuk bereaksi dengan oksida lain sehingga tidak terjadi *free lime* (*free CaO*) berlebihan di klinker.

Menurut PT. Semen Tonasa (2018), *Lime Saturation factor* (LSF) adalah perbandingan antara CaO dalam *raw mix*, dengan jumlah maksimum CaO yang dibutuhkan untuk mengikat oksida-oksida lainnya. Untuk mencapai *Lime Saturation Factor* (LSF) pada klinker, dibutuhkan unsur C₃S (Trikalsium Silikat) dan C₂S (Dikalsium Silikat) yang merupakan bagian terbesar (70%-80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air maka C₃S (Trikalsium Silikat) akan segera terhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur C₂S (Dikalsium Silikat) bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur C₃A (Trikalsium Alumina) bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam, semen yang mengandung unsur C₃A



lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Adikan dalam semen adalah C₄AF (Tetrakalsium Aluminoforit) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen, adapun rumus *Lime Saturation Factor* (LSF) yang digunakan adalah :

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

Keterangan :

- CaO : Persentase Kalsium Oksida dalam campuran
- SiO₂ : Persentase Silika dalam Campuran
- Al₂O₃ : Persentase Alumina dalam Campuran
- Fe₂O₃ : Persentase Besi Oksida dalam Campuran
- 2,8 : Jumlah rata-rata CaO yang diperlukan untuk menetralkan Silika dalam pembentukan C₃S dan C₂S
- 1,18 : Jumlah rata-rata CaO yang diperlukan untuk menetralkan Alumina dalam pembentukan C₃A
- 0,65 : Jumlah rata-rata CaO yang diperlukan untuk menetralkan Besi Oksida dalam pembentukan C₄AF

Rumus tersebut telah dipakai untuk mengontrol *kiln feed* di Eropa dan akhir ini juga telah diterima oleh perusahaan - perusahaan semen di Amerika. Dimana bila *Lime Saturation Factor* (LSF) meningkat, klinker sulit dibakar dan selalu menunjukkan kadar *free lime* (*free CaO*) yang tinggi. Bila *Lime Saturation Factor* (LSF) lebih dari 99% maka klinker sulit dibakar, ada kecenderungan *free lime* (*free CaO*) tinggi dan potensial C₃S lebih tinggi sehingga kekuatan awal dan panas hidrasi semen juga tinggi. Bila *Lime Saturation Factor* (LSF) kurang dari 90% maka klinker mudah dibakar dengan kebutuhan panas yang rendah.

1.3.9 Free lime (free CaO)

Free lime (*free CaO*) adalah Kalsium Oksida (CaO) yang belum bereaksi dengan komponen lain (SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃) selama proses pembuatan semen. Sumber utama *free lime* (*free CaO*) adalah dari pembakaran batu kapur (CaCO₃) yang menghasilkan CaO dan CO₂, serta dari proses klinkerisasi dimana sebagian CaO tidak bereaksi dengan komponen lain dalam campuran bahan baku. Dalam pembuatan semen Portland, *free lime* berasal dari batu kapur (kalsium karbonat, CaCO₃) yang dipecah menjadi CaO dan CO₂ selama proses kalsinasi di kiln pada suhu tinggi (Taylor, 1997).

Free lime (*free CaO*) dapat mempengaruhi kualitas beton dalam beberapa cara. Pertama, *free lime* dapat berkontribusi pada retak dan ekspansi beton.

Penelitian oleh Mindess dkk, (2003) menunjukkan bahwa *free lime* (*free CaO*) dapat untuk membentuk Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂) yang dapat nsi. Kedua, *free lime* (*free CaO*) dapat mempengaruhi daya serangan kimia. Daryle dkk, (2007) mengungkapkan bahwa yang larut dalam air dapat meningkatkan pH yang dapat ksi dengan bahan kimia eksternal .



Kontrol *free lime* (*free CaO*) dalam produksi semen sangat penting untuk memastikan kualitas produk akhir. Menurut (Mehta, 2014), beberapa strategi pengendalian meliputi:

- **Optimasi Suhu dan Waktu Pembakaran**

Menjaga suhu dalam kisaran yang tepat dan memastikan waktu pembakaran yang cukup untuk menghindari pembentukan *free lime* (*free CaO*).

- **Penyesuaian Rasio Bahan Baku**

Menyusun campuran bahan baku yang tepat untuk memastikan bahwa semua CaO terikat dalam senyawa mineral semen.

