



Pengaruh *Lime Saturation Faktor* (LSF) Terhadap Kualitas C_3S Dan *Free Lime* (FcaO) Pada Produksi Klinker PT. Semen Padang

Dwi Annisa Fithry^{1✉}, **Durain Parmanaon**², **Alfein Rahmad**³, **Raihan Alvaro Arbi**¹

⁽¹⁾Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Riau

⁽²⁾Universitas Negeri Padang

⁽³⁾PT. Semen Padang

DOI: 10.31004/jutin.v8i2.42498

✉ Corresponding author:
[dwiannisa@umri.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p>Kata kunci: Semen; Klinker; Lime Saturation Factor; C_3S; FCaO</p>	<p>PT. Semen Padang merupakan salah satu perusahaan semen terbesar di Indonesia, Proses yang terdapat pada PT Semen Padang terdiri dari <i>unit Raw Mill, Kiln, dan Cement Mill</i>. Salah satu proses yang sangat penting terdapat pada kiln dimana terjadinya proses pembakaran bahan baku raw mix menjadi klinker. Klinker adalah produk yang dihasilkan melalui pembakaran campuran bahan baku berupa batu kapur, batu silika, tanah liat, dan pasir besi yang telah menjadi Raw mix pada suhu tinggi. Kualitas klinker dapat mempengaruhi kualitas semen, kualitas yang baik akan menghasilkan semen sesuai dengan yang diinginkan, seperti kuat tekan, daya tahan, dan waktu pengikatan yang sesuai. Dari penelitian ini diperoleh neraca massa masuk 465,4501869 dan neraca massa keluar 465,4364777 diperoleh <i>mass loss</i> 0,003%, sementara neraca energi masuk dan keluar sama yaitu 457.422.536,27. Dan dengan dilakukan Optimasi produksi klinker dengan pengaruh <i>lime saturation factor</i> (LSF) terhadap C_3S dan <i>free lime</i> (FCaO) maka didapatkan hasil yang sesuai dengan standarisasi.</p>
<p>Keywords: Cement; Klinker; Lime Saturation Facto; C_3S; FCaO</p>	<p>Abstract</p> <p><i>PT Semen Padang is one of the largest cement companies in Indonesia, the process at PT Cement Padang consists of Raw Mill, Kiln, and Cement Mill units. One very important process is in the kiln where the process of burning raw mix materials into clinker occurs. Clinker is a product produced by burning a mixture of raw materials in the form of limestone, silica stone, clay, and iron sand which has become a Raw mix at high temperatures. The quality of clinker can affect the quality of cement, good quality will produce cement as desired, such as compressive strength,</i></p>

durability, and appropriate binding time. From this study, the incoming mass balance of 465.4501869 and the outgoing mass balance of 465.4364777 obtained a mass loss of 0.003%, while the incoming and outgoing energy balance is the same, namely 457,422,536.27. By optimizing clinker production with the influence of lime saturation factor (LSF) on C₃S and free lime (FCaO), the results obtained are in accordance with standardization.

1. PENDAHULUAN

PT. Semen Padang merupakan pabrik semen tertua di Indonesia yang berdiri sejak tahun 1910, perusahaan ini merupakan pabrik semen terbesar di Indonesia yang terletak di Kota Padang Sumatera Barat. Total kapasitas produksi PT. Semen Padang adalah 10.400.000 ton/tahun. Pada PT. Semen Padang terdapat VI unit pabrik semen, yang terdiri dari parik indarung I, II, III, IV, V, dan VI. Untuk pabrik indarung I sudah dinonaktifkan dan dimusiumkan sejak bulan oktober 1999. Setiap pabrik semen pada umumnya terbagi menjadi 7 area, yaitu *crusher area*, *Raw Mill*, *Kiln*, *Coal Mill*, *Cement Mill*, *Packer*, dan *Electrical room area* (Nendar Almeiwiyanto, 2023).

Pengendalian kualitas merupakan hal penting bagi perusahaan agar kualitas produk terjamin dan sesuai dengan yang diinginkan. Semen merupakan produk utama campuran dari bahan baku berupa *lime stone*, *silica stone*, *clay*, *iron sand* dan zat additive berupa *gypsum* dan *pozzolan*. Selanjutnya produk tersebut akan diproses dalam *raw mill* dan ditransfer ke *CF Silo* lalu dari *CF silo* menuju *unit klin* dimana terjadinya proses kalsinasi dan terbentuklah klinker, klinker yang sesuai standarisasi akan ditransfer ke *dome silo* dan yang tidak sesuai akan ditransfer ke *unburn silo*, klinker yang sesuai standarisasi akan langsung diproses ke bagian *finish mill* untuk selanjutnya ditambahkan zat additive dan terbentuklah semen (Rahmawati & Damayanti, 2017).

Klinker merupakan bahan utama dalam pembuatan semen, dihasilkan dari proses pembakaran Raw mix berupa campuran dari batu kapur, batu silika, tanah liat, dan pasir besi pada suhu yang sangat tinggi, sekitar 1400-1500°C. Klinker yang dihasilkan memiliki kualitas yang berbeda-beda akibat pengaruh dari bahan baku yang dapat mempengaruhi kualitas semen. Oleh karena itu peneliti ingin menganalisis penyebab dari kualitas klinker yang terkadang tidak stabil dimana melihat pengaruh dari *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap kadar C₃S dan *free lime (FCaO)* pada kualitas klinker agar tidak memperburuk kualitas semen yang dihasilkan (Rahim, 2023).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis Pengaruh *Lime Saturation Factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap kadar C₃S dan *free lime (FCaO)* pada kualitas klinker dan juga menghitung neraca massa dan energi pada *Rotary Klin* guna untuk meningkatkan efisiensi proses dan meningkatkan kualitas klinker.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam analisis nilai LSF *kiln feed* dan klinker menggunakan alat X-Ray dimana *Lime Saturation Faktor (LSF)* yaitu perbandingan antara CaO efektif terhadap CaO maksimum teoritis yang di perlukan untuk mengikat senyawa – senyawa oksida seperti SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. CaO yang efektif bereaksi dengan oksida lain akan menyebabkan tidak terjadi free lime (FCaO) berlebihan pada klinker. Penetapan standar *lime saturation factor (LSF)* dibuat guna pemakaian bahan bakar menjadi lebih efisien.

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

Rumus LSF sangat penting digunakan untuk menghitung keseimbangan kimia dari bahan baku yang digunakan dalam produksi semen. Selain itu juga dapat membantu memastikan bahwa

komposisi bahan baku sesuai untuk menghasilkan klinker berkualitas tinggi dan juga dapat mengoptimalkan proses pembakaran pada *kiln*.

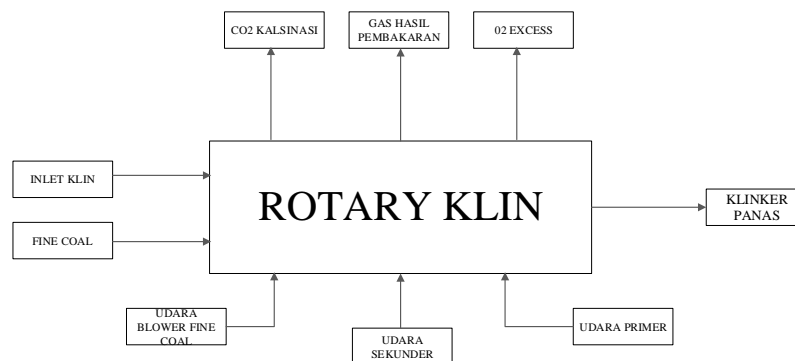
cara yang digunakan untuk menganalisa material menggunakan alat *X-Ray* untuk mendapatkan nilai oksidanya. *X-Ray* adalah teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur bahan. Penganalisis ini menentukan kimia sampel dengan mengukur sinar-X fluoresensi (atau sekunder) yang dipancarkan dari sampel saat dipicu oleh sumber sinar-X primer. Setiap unsur yang ada dalam sampel menghasilkan serangkaian sinar-X fluoresensi karakteristik yang unik untuk unsur tertentu, itulah sebabnya spektroskopi *X-Ray* merupakan teknologi yang sangat baik untuk analisis kualitatif dan kuantitatif komposisi material. *X-Ray* yang digunakan di laboratorium Quality Control terbagi dua yaitu *x-ray diffraction (XRD)* dan *x-ray fluoresensi (XRF)* dimana XRD merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa Kristal dalam mineral dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta mendapatkan ukuran partikel Kristal. Sedangkan XRF merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair (Alfarizi et al., 2020)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Neraca Massa dan Energi pada *Rotary Kiln*

A. Neraca Massa

Dalam ilmu teknik kimia, neraca massa merupakan hal yang penting. Prinsip neraca massa adalah jumlah massa yang masuk sama dengan jumlah massa yang keluar, dalam hal ini berlaku hukum kekekalan massa. Massa yang dimaksud dapat berupa material padat, cair, dan gas. Tidak semua zat dapat dihitung secara manual dengan menggunakan alat pengukur massa untuk itu kita perlu parameter lain misalnya densitas, panas spesifik, berat molekul dan lainnya guna untuk mengetahui massa suatu zat:



Gambar 3.1 Flow Neraca Massa *Rotary Kiln*

Keterangan:

1. Massa Masuk
 - a. *Inlet Kiln*
 - b. *Fine Coal*
 - c. Udara Blower Fine Coal
 - d. Udara Sekunder
 - e. Udara Primer
2. Massa Keluar
 - a. Gas Hasil Pembakaran
 - b. *O₂ Excess*
 - c. CO₂ kalsinasi
 - d. Klinker Panas

$Input = kiln\ feed + fine\ coal + udara\ primer + udara\ sekunder + udara\ blower\ fine\ coal = 345,085059 + 8 + 22,56 + 82,96512793 + 6,84 = 465,4501869\ t/h$

$Output = CO_2\ kalsinasi + GHP + O_2\ Excess + klinker\ panas = 27,57845076 + 108,9875197 + 10,31909809 + 318,5514083 = 465,4364768\ t/h$

$Input - output = 465,4501869\ t/h - 465,4364768\ t/h = 0,013710093\ t/h$

$\%mass\ loss = \Delta m / (m\ input) \times 100\% = 0,013710093 / 465,4501869 \times 100\% = 0,003\%$

Dari perhitungan neraca massa yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada neraca massa global *rotary kiln* pada indarung V sebesar 0,003% dengan rincian adanya *mass loss* yang tidak begitu signifikan sebesar 0,013710093 t/h dengan aliran masuk total 465,4364768 ton/h dan aliran keluar total 465,436768 t/h. perbedaan ini dapat mengidentifikasi beberapa hal seperti adanya kebocoran pada alat namun tidak besar.

B. Neraca Energi

Neraca energi atau yang umum disebut neraca panas merupakan suatu kesetimbangan panas yang masuk dan keluar sistem. Neraca panas menggunakan prinsip kekekalan energi. Dalam neraca panas dihitung panas yang masuk, panas yang dihasilkan, panas yang digunakan, dan panas keluar selama operasi, Persamaan neraca panas:

$panas\ input + panas\ dihasilkan - panas\ output - panas\ yang\ digunakan = panas\ akumulasi$

perhitungan pada neraca panas dapat dihitung dengan cara menghitung panas sensibel dan panas laten:

1. Panas Sensibel

Merupakan panas yang diterima atau dilepaskan berdasarkan kenaikan suhunya tanpa ada perubahan fasa. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$Q = \int_{T_{ref}}^T n C_p dT$$

Dimana,

Q : Panas Sensibel, kkal

N : Mol, Kmol

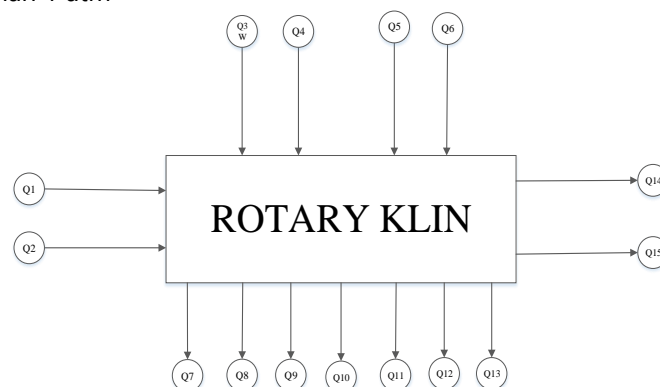
Cp : kapasitas panas, kkal/kmol.K

T : suhu material, K

Tref : suhu referensi, K

2. Panas laten

Merupakan panas yang diterima atau dilepaskan system yang terjadi karena adanya perubahan fasa pada tekanan 1 atm



Gambar 3.2 Flow Neraca Energi Rotary Kiln

Keterangan:

1. Panas Masuk

- Q1 : Panas yang dibawa umpan kiln
 Q2 : Panas dari pembakaran batu bara
 Q3 : Panas dari udara sekunder
 Q4 : Panas yang dibawa udara primer
 Q6 : Panas sensibel atau batu bara
 Q6 : Panas H₂O dalam batu bara

2. Panas Keluar

- Q7 : Panas dari gas hasil pembakaran batu bara
 Q8 : Panas dari CO₂ hasil kalsinasi
 Q9 : Panas disosiasi
 Q10 : Panas yang dibawa H₂O dalam batu bara
 Q11 : Panas yang hilang
 Q12 : Panas konduksi
 Q13 : Panas konveksi
 Q14 : Panas radiasi
 Q15 : Panas dari klinker yang keluar dari kiln

$$\text{Input} = \text{panas umpan klin} + \text{panas pembakaran batu bara} + \text{panas udara sekunder} \\ + \text{panas udara primer} + \text{panas sensibel batu bara} + \text{panas H}_2\text{O} + \text{panas disosiasi}$$

$$\text{Input} = 91.572.789 + 10.636.065,60 + 184.791,75 + (-78,84) + 225.770,08 + 58.055,81 + 372.745.142,86 \\ = 475.422.536,27$$

$$\text{Output} = \text{panas klinker keluar} + \text{panas CO}_2 \text{ hasil kalsinasi} + \text{panas GHP} + \text{panas H}_2\text{O batu bara} \\ + \text{panas laten H}_2\text{O} + \text{panas konduksi} + \text{panas konveksi} + \text{panas radiasi}$$

$$\text{Output} = 132.593.654,34 + 2.58.801,63 + 8.345.801,63 + 46.918,20 + 753.933,33 + 98.365.800,27 \\ + 7.567.284,42 + 1,23 + 225.490.485,34 = 475.422.536,27$$

$$\text{Input} - \text{Output} = 475.422.536,27 - 475.422.536,27$$

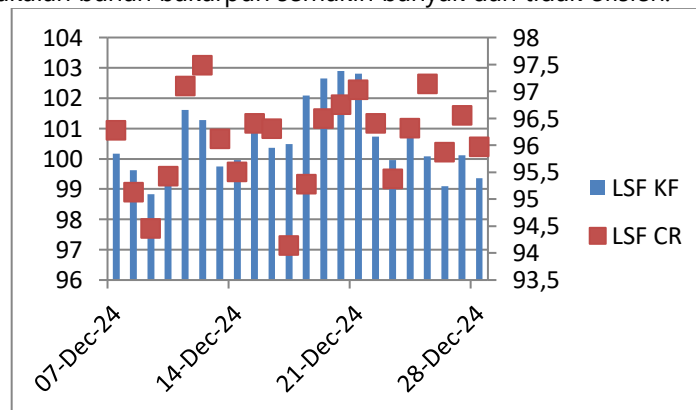
Dari perhitungan neraca energi dapat disimpulkan bahwa perhitungan neraca energi dari peneliti sama dengan neraca energi yang ada pada rotary kiln.

C. Analisis kualitas klinker

Analisis kualitas klinker hubungan *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap kualitas klinker C3S dan *free lime (FCaO)*.

1. Hubungan *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap *lime saturation factor (LSF) klinker (CR)*

Nilai LSF merupakan nilai yang menunjukkan perebandingan CaO efektif terhadap CaO maksimum teoritis yang dapat mengikat senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. CaO yang efektif bereaksi dengan oksida lain akan menyebabkan tidak terjadi *free lime* berlebihan di klinker. LSF pada *klin feed* berkisar rentang 96-102 (Galenica, 2020). Penetapan standar LSF dibuat agar pemakaian bahan bakar menjadi lebih efisien, karena semakin tinggi nilai LSF aka semakin sulit material tersebut untuk dibakar sehingga pemakaian bahan bakarpun semakin banyak dan tidak efisien.



Grafik 3.1 Hubungan LSF KF terhadap LSF CR

Berdasarkan data pada bulan Desember 2024, dapat dilihat bahwa *lime saturation factor (LSF)* klinker pada pabrik indarung V PT. Semen Padang yang paling rendah yaitu 94% dan yang paling tinggi 97,4 untuk sampel klinker, sedangkan untuk sampel *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* yang paling rendah 98,8 dan yang paling tinggi 102,8%. Adapun pengaruh nilai LSF terhadap klinker sebagai berikut:

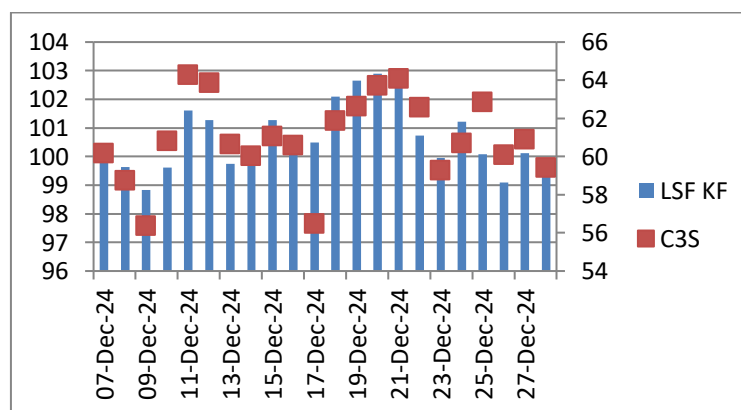
- LSF tinggi: LSF tinggi akan mengakibatkan *kiln feed* sulit untuk dibakar, kecenderungan kadar CaO bebas tinggi, potensial C_3S lebih tinggi sehingga kekuatan awal dan panas hidrasi semen juga tinggi serta temperatur di *burning zone* tinggi.
 - LSF rendah: LSF rendah akan mengakibatkan *kiln feed* yang mudah dibakar dengan kebutuhan panas yang rendah, kadar CaO bebas rendah, *liquid phase* berlebihan ada kemungkinan terjadinya pembentukan *ring coating*, klinker membentuk bola-bola dan sulit untuk digiling, potensial C_3S naik secara proporsional dan panas hidrasi semen cenderung rendah dan C_2S tinggi.
2. Hubungan *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap C_3S

C_3S merupakan mineral yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan semen dikarenakan reaksinya dengan air yang membentuk senyawa *calcium silicate hydrates (CSH)* (Marhaini et al., 2021). Dalam *kiln*, klinker terbentuk pada suhu 1.200°C-1.45°C. C_3S atau *alite* memberi kekuatan awal semen yaitu sebelum 28 hari dan dapat mempengaruhi kekuatan akhir semen (Suharto et al., 2020). C_3S dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$C_3S = 4071 (CaO - FCaO) - 7,6 (SiO_2) - (Al_2O_3) - 1,43(Fe_2O_3)$$

Senyawa CSH berfungsi sebagai pengikat utama di dalam semen, sehingga menjadi C_3S sebagai mineral yang paling mempengaruhi kuat tekan semen. Hubungan antara C_3S dengan kuat tekan awal semen berhubungan secara positif (Salih et al., 2020).

Semen dengan persentase C_3S yang tinggi akan mempengaruhi percepatan penggunaan produk semen yaitu mengacu pada peningkatan volume dan laju penggunaan dalam berbagai sektor, terutama konstruksi. Faktor yang mendorong dapat berupa pembangunan infrastruktur yang pesat, sehingga pertumbuhan populasi perkotaan yang pesat meningkatkan kebutuhan akan semen (Rahmawati & Damayanti, 2017).



Grafik 3.2 Hubungan LSF KF terhadap C_3S

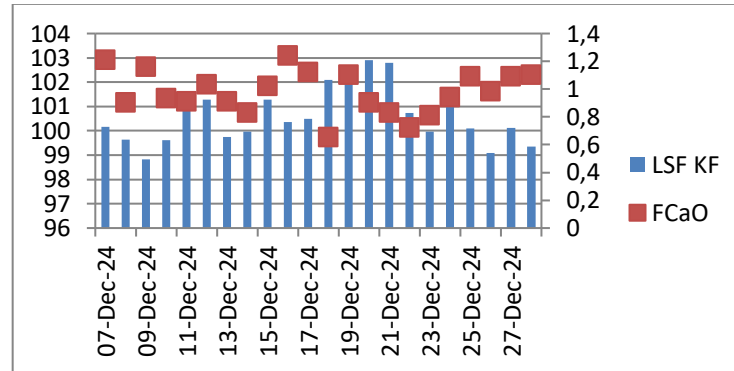
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa kadar C_3S pada pabrik indarung V PT. semen padang paling rendah pada tanggal 9 Desember 2024 dengan kadar C_3S sebesar 56,37% dan yang paling tinggi pada tanggal 11 Desember 2024 dengan kadar C_3S 64,28%. Dimana sebagian besar sampel memenuhi standar dan 7 sampel yang tidak memenuhi standar SNI 15-6514.2001 yaitu maksimal 62%. Adapun pengaruh nilai LSF sebagai berikut:

- Kadar C_3S meningkat: dikarenakan nilai LSF yang tinggi menandakan bahwa bahan baku tersebut memiliki kadar kalsium oksida (CaO) yang cukup untuk membentuk C_3S .
- Kadar C_3S menurun: dikarenakan nilai LSF yang rendah menandakan bahwa jumlah CaO dalam bahan baku tidak mencukupi untuk pembentukan C_3S dalam jumlah yang optimal.

3. Hubungan *lime saturation factor (LSF) kiln feed (KF)* terhadap *Free lime (FCaO)*

CaO bebas atau *free lime* merupakan salah satu parameter dalam pengujian semen untuk menentukan kualitas klinker. Pengujian dilakukan untuk menunjukkan jumlah CaO yang bebas atau tidak bereaksi dengan oksida-oksida dalam klinker.(Rahim, 2023)

Kadar CaO di dalam klinker bervariasi, kadar CaO yang di atas standar akan dapat mempengaruhi kualitas semen, yaitu pecah-pecah setelah terjadi ikatan dengan air. Sebaliknya semen akan lemah, jika kekurangan CaO. Lemahnya ikatan semen juga dapat diakibatkan oleh temperatur yang kurang tinggi, atau kalsinasi CaCO₃ kurang sempurna (Suharto et al., 2020).



Grafik 3.3 Hubungan LSF KF terhadap FCaO

Dapat dilihat bahwa kadar CaO bebas pada pabrik Indarung V PT. Semen Padang yang paling rendah pada tanggal 18 Desember 2024 sebesar 0,65% dan yang paling tinggi pada tanggal 16 Desember 2024 sebesar 1,24% . dimana sebagian besar memenuhi standar dan 2 sampel tidak memenuhi standar. Adapun Dampak LSF KF terhadap *Free Lime*:

1. LSF tinggi: mengartikan bahwa ada lebih banyak kalsium oksida relative terhadap komponen lainnya. Tetapi akan menghasilkan klinker dengan kadar *free lime* yang lebih tinggi jika proses pembakaran tidak optimal. Free lime yang tinggi dalam klinker dapat menyebabkan penurunan kekuatan semen.
2. LSF rendah: mengartikan bahwa kadar kalsium oksida relatif lebih sedikit, yang dapat mengurangi jumlah *free lime* dalam klinker. Tetapi LSF rendah dapat menyebabkan pembentukan fase mineral yang tidak diinginkan dalam klinker.

D. Peluang Optimasi Klinker

Berikut merupakan data yang di ambil dari laboratorium yaitu data *Lime Saturation faktor (LSF) kiln feed (KF)*, *Lime Saturation Factor (LSF) Klinker (CR)*, C₃S dan *free lime (FCaO)* pada bulan Desember 2024 guna untuk menganalisis kualitas klinker apakah sesuai dengan standarisasi dan bagaimana cara mengatasinya apabila tidak sesuai dengan standarisasi. Melihat kualitas klinker pada bulan Desember 2024 dapat dilihat pada tabel 3.1:

Tabel 3.1 Data yang mempengaruhi kualitas klinker pada Bulan Desember 2024

TGL	LSF CR	LSF KF	C ₃ S	FCaO
07-Dec-24	96,27238	100,17	60,18	1,21
08-Dec-24	95,12397	99,63	58,75	0,90
09-Dec-24	94,44794	98,824	56,37	1,16
10-Dec-24	95,4155	99,606	60,83	0,93
11-Dec-24	97,0954	101,61	64,28	0,91
12-Dec-24	97,47268	101,28	63,86	1,03
13-Dec-24	96,10895	99,753	60,64	0,91
14-Dec-24	95,49881	99,962	60,04	0,83
15-Dec-24	96,39484	101,27	61,08	1,02
16-Dec-24	96,30127	100,37	60,61	1,24

TGL	LSF CR	LSF KF	C ₃ S	FCaO
17-Dec-24	94,13254	100,48	56,50	1,12
18-Dec-24	95,2716	102,09	61,87	0,65
19-Dec-24	96,48946	102,66	62,65	1,10
20-Dec-24	96,74053	102,89	63,72	0,90
21-Dec-24	97,02253	102,8	64,09	0,83
22-Dec-24	96,39604	100,73	62,58	0,72
23-Dec-24	95,36577	99,955	59,28	0,81
24-Dec-24	96,30842	101,22	60,71	0,94
25-Dec-24	97,12658	100,09	62,87	1,09
26-Dec-24	95,86298	99,09	60,08	0,98
27-Dec-24	96,54751	100,11	60,90	1,09
28-Dec-24	95,9593	99,351	59,43	1,10

Sumber: Laboratorium QC Indarung V

Dapat dilihat pada tabel diatas hampir seluruh data memenuhi standar namun ada juga yang tidak memenuhi standar seperti:

- Pada tanggal 9 Desember 2024 dimana kadar C₃S rendah
- Pada tanggal 11 Desember 2024 C₃S tinggi
- Pada tanggal 18 Desember free lime rendah
- Pada tanggal 19-21 Desember C₃S tinggi
- Pada tanggal 22 Desember C₃S tinggi dan Free lime rendah.

Solusi:

- Apabila C₃S rendah dibawah standarisasi maka solusinya melakukan analisis kimia terhadap bahan baku berupa batu kapur dan silika untuk menentukan komposisi yang tepat sehingga dapat memastikan rasio antara CaO dan SiO₂ dalam bahan baku sesuai dengan yang dibutuhkan untuk pembentukan C₃S yang optimal, begitu pula apabila kadar C₃S tinggi maka dilakukan cara yang sama.
- Apabila FCaO rendah akibat komposisi rasio antara *kalsium karbonat* (CaCO₃) dan *silicon dioksida* (SiO₂) dalam bahan baku sehingga tidak dapat mempengaruhi pembentukan kapur bebas. Jika *kalsium karbonat* (CaCO₃) sedikit maka kapur bebas yang dihasilkan rendah. Dapat juga disebabkan oleh proses pembakaran dimana suhu pembakaran terlalu rendah atau waktu pembakaran yang terlalu pendek sehingga dapat menghambat pembentukan *free lime* (FCaO) maka solusinya dapat melakukan analisis komposisi bahan baku dengan memastikan rasio *kalsium karbonat* (CaCO₃) dan *silicon dioksida* (SiO₂) dalam bahan baku sesuai yang diinginkan atau sesuai dengan standarisasi dan memeriksa proses pembakaran dengan memastikan suhu dan waktu pembakaran yang optimal dan juga memeriksa proses pendinginan.

Setelah dilakukannya analisa optimasi kualitas klinker dari pengaruh *Lime Saturation Factor* (LSF) *Klin Feed* (KF) terhadap C₃S dan *free lime* (FCaO) maka dapat kualitas klinker yang diinginkan dan sesuai standarisasi. Berikut merupakan data setelah dilakukannya analisa perbaikan dapat dilihat pada tabel 3.2:

Tabel 3.2 Data Setelah Melakukan analisa			
LSF CR	LSF KF	C ₃ S	FCaO
96,30127	100,37	60,61	1,24
95,13254	100,48	56,50	1,12
95,2716	102,09	60,87	1,15
96,48946	102,66	59,65	1,10

LSF CR	LSF KF	C ₃ S	FCaO
96,74053	102,89	58,72	0,90
97,02253	102,8	60,09	0,83
96,39604	100,73	60,58	0,92
95,36577	99,955	59,28	0,88
96,30842	101,22	60,71	0,94

Sumber: Laboratorium QC Indarung V

Dari data diatas dapat kita simpulkan bahwa penyebab kualitas klinker yaitu pada C₃S dan FCaO tidak sesuai atau berubah-ubah sesuai dengan apa yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dan terlihat setelah dilakukannya perbaikan kualitas klinker yang dihasilkanpun sudah mulai stabil dan C₃S dan FCaO sesuai dengan standarisasi.

3. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai *lime saturation factor (LSF)* tinggi dapat menyebabkan klinker sulit untuk dibakar serta dapat meningkatkan temperatur burning zone. Sedangkan nilai *lime saturation factor (LSF)* rendah dapat menyebabkan klinker mudah terbakar dengan kebutuhan panas yang rendah, terbentuknya ring coating dan klinker membentuk bola-bola sehingga sulit untuk digiling.
2. Nilai *lime saturation factor (LSF)* tinggi maka kadar C₃S akan tinggi menandakan bahwa bahan baku memiliki kadar CaO yang cukup untuk membentuk C₃S. sedangkan nilai LSF rendah maka kadar C₃S rendah dikarenakan jumlah CaO dalam bahan baku tidak mencukupi untuk pembentukan C₃S dalam jumlah yang optimal.
3. Nilai *lime saturation factor (LSF)* tinggi maka kadar *free lime (FCaO)* akan tinggi sehingga dapat menyebabkan masalah pada kualitas seperti penurunan kekuatan semen. Sedangkan nilai LSF rendah maka *free lime (FCaO)* rendah sehingga dapat menyebabkan pembentukan mineral.

5. REFERENCES

- Alfarizi, Y., Budiadi, & Trisnaning, P. T. (2020). Analisis Geokimia XRF untuk Menentukan Kualitas Batugamping di Bukit Tarjarang Pt. Semen Padang, Indarung, Kec. Lubuk Kilagan, Padang, Sumatra Barat. *Jurnal GEODA*, 1(2), 19–28.
- Galenica, A. J. (2020). *OPTIMASI PERHITUNGAN LIME SATURATED FACTOR PADA RAW MILL BERDASARKAN KADAR CAO DAN TOC*. 1(September).
- Marhaini, Sri Yusmartini, E., & Aini, K. (2021). The Effect of Tricalcium Silicate (C₃S) Percentage in Clinkerson the Cement Quality. *International Journal of Engineering & Technology*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.14419/ijet.v10i1.31294>
- Nendar Almeiwiyanto, S. (2023). *Analisis Perawatan Komponen Fan pada Cement Mill Pabrik Indarung V PT Semen Padang dengan Pendekatan Metode Reliability Centered Maintenance Analysis of Fan Component Maintenance in the Cement Mill of PT Semen Padang Indarung V Factory using the Reliabili*. 13(2), 2–7.
- Rahim, H. (2023). *Analisis Kadar CaO Bebas Lime Saturation Factor (LSF) Klinker PT. Semen Bosowo Maros*. 2, 7–10.
- Rahmawati, B., & Damayanti, R. W. (2017). Pengendalian Kualitas Produk Klinker Pada PT. XYZ Dengan Menggunakan Grafik T2 Hotteling. *Prosiding Seminar Dan Konferensi Nasional*, 365–374.
- Salih, M. A., Aldikheeli, M. R., & Shaalan, K. A. (2020). Evaluation of factors influencing the compressive strength of Portland cement statistically. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/737/1/012059>
- Suharto, S., Amin, M., Al Muttaqqi, M., Syafridi, S., & Nurwanti, K. (2020). Pengaruh Penggunaan Batu Basalt Lampung dan Batubara dalam Bahan Baku terhadap Karakteristik Klinker. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 10(1), 49. <https://doi.org/10.37209/jtbtt.v10i1.167>