

EVALUASI KINERJA ALAT *CALCINER* DITINJAU DARI EFESIENSI *THERMAL* DAN EMISI GAS CO₂ DI PABRIK II PT SEMEN BATURAJA Tbk

Rama Wijaya*¹, Indah Purnamasari², Abraham Abimanyu
Kristiyono Putro³, Safaruddin⁴

^{1,2} Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

³Staff Manager produksi Produksi PT. Semen Baturaja Tbk, Indonesia

⁴SMBR Learning Development PT. Semen Baturaja Tbk, Indonesia

Corresponding Author: safaruddintohir@gmail.com

<p>Info Article</p> <p>Received : 16 Desember 2022</p> <p>Revised : 12 Januari 2023</p> <p>Accepted : 02 Februari 2023</p> <p>Publication : 28 Februari 2023</p>	<p>Abstract: <i>The role of thermal efficiency of the calciner is very important because it describes the performance of the calciner, whether or not the performance of the calciner can be seen from the efficiency of the thermal calciner. The thermal efficiency of the calciner obtained based on the calculation of the Mass Balance and Heat Balance ranges from 75,59%-79,74% with an average actual thermal efficiency of 77,26% while for the average heat loss of 22,74%. The results of efficiency calculations show that the performance of the calciner tool in terms of thermal efficiency of the calciner unit is quite efficient and still good for use, because it is characterized by the efficiency of the thermal calciner unit is still included in the range of thermal calciner efficiency by design. From the average amount of CO₂ produced from calcination of 100.033,7376 kg/hour and fuel combustion of 43.201,24151 kg/hour, will have an adverse impact on the quality of the surrounding air. So it must be minimized in the use of coal and maximize efficiency in the kiln system.</i></p>
<p>Keyword: Calsiner Tool Performance Evaluation, Thermal Efficiency, CO₂ Gas Emissions</p> <p>Kata Kunci: Evaluasi Kinerja Alat Calsiner, Efisiensi Thermal, Emisi Gas CO₂</p>	<p>Abstrak: Peranan efisiensi <i>thermal</i> dari <i>calciner</i> sangat penting karena menggambarkan kinerja dari <i>calciner</i>, baik atau tidaknya kinerja <i>calciner</i> dapat dilihat dari efisiensi <i>thermal calciner</i>. Efisiensi <i>thermal</i> dari alat <i>calciner</i> yang didapatkan berdasarkan perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas berkisar 75,59%-79,74% dengan efisiensi <i>thermal</i> aktual rata-rata sebesar 77,26% sementara itu untuk <i>heat loss</i> rata-rata sebesar 22,74%. Hasil perhitungan efisiensi menunjukkan bahwa kinerja alat <i>calciner</i> ditinjau dari efisiensi <i>thermal</i> unit <i>calciner</i> terbilang cukup efisien dan masih baik untuk digunakan, karena ditandai dengan efisiensi <i>thermal</i> unit <i>calciner</i> masih termasuk dalam rentang efisiensi <i>thermal calciner</i> secara desain. Dari jumlah rata-rata CO₂ yang dihasilkan dari kalsinasi sebesar 100.033,7376 kg/jam dan pada pembakaran bahan bakar sebesar 43.201,24151 kg/jam, ini akan berdampak kurang baik terhadap kualitas udara di sekitarnya. Sehingga harus diminimalisir pada penggunaan batubara dan memaksimalkan efisiensi pada sistem <i>kiln</i>.</p>
<p>Licensed Under a Creative Commons Attribution 4.0 International License</p> 	

PENDAHULUAN

Globalisasi saat ini, dimana isu mengenai hemat energi marak diperbincangkan. Hal ini pula menyentuh dunia Industri Semen yang terdorong untuk menggunakan energi sebaik mungkin. Pada awal pengolahan semen digunakan *kiln* sebagai wadah pemasakan utama namun pada tahun 1942 diperkenalkan teknologi calciner yang berfungsi untuk menghemat bahan bakar dengan membagi reaksi kalsinasi dari *rotary kiln* sehingga mengurangi beban kerja *rotary kiln*. Teknologi ini telah diterapkan pada awal berdiri PT Semen Baturaja Tbk.

Calciner merupakan hasil modifikasi *suspension preheater* yang memungkinkan untuk mengembangkan dan menyerap lebih dari 60% dari total masukan panas di zona panas kalsinasi (*Critical Calcination Zone*) (Turnell, 2001). Dengan pengembangan teknologi ini, kapasitas produksi klinker dapat ditingkatkan dan terbukti bisa meningkatkan derajat kalsinasi yang tinggi. Dengan adanya kenaikan derajat kalsinasi yang tinggi di *preheater* maka proses pemasakan di dalam rotary kiln tinggal sedikit dan pemakaian bahan bakar di main burner bisa dikurangi sehingga bata tahan api (*refractory*) di dalam kiln lebih awet. Selain itu, diameter kiln bisa lebih kecil dan lebih pendek dengan thermal load lebih rendah. Semua hal ini membuat operasi kiln lebih stabil dan mudah dikontrol.

Penggunaan *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. Sudah dimulai sejak pertama kali berdiri yaitu pada tahun 1974, artinya penggunaan *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. Sudah cukup lama, oleh karena itu perlu diketahui efisiensi thermal dari unit *calciner*. Efisiensi *thermal* pada unit *calciner* merupakan suatu hal yang penting untuk diperhatikan, karena efisiensi *thermal* merupakan tolak ukur untuk mengetahui kinerja alat *Calciner*. Efisiensi *thermal* menggambarkan seberapa baik alat tersebut bekerja ditinjau dari seberapa banyak thermal (panas) yang hilang. Semakin banyak thermal (panas) yang hilang akan menyebabkan efisiensi *thermal* dari *calciner* berkurang. Hal ini tentunya menggambarkan bahwa kinerja dari *calciner* kurang baik.

Tujuan dari tugas khusus ini adalah Untuk mengetahui perhitungan Neraca Massa & Neraca Panas pada Alat *Calciner*; untuk mengetahui Efisiensi *Thermal & Heat Loss* yang terjadi pada unit *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dan juga untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pada alat *Calciner*. Adapun manfaat dari tugas khusus ini adalah sebagai berikut: Dapat memahami *Input* dan *Output* Neraca Massa dan Energi Pada alat *Calciner*; Dapat melakukan perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada alat *calciner*; Mengetahui cara untuk meningkatkan efisiensi kerja dari alat

Calciner; Mengetahui penyebab terjadinya heat loss pada alat calciner; Diharapkan dapat mengetahui proses yang terjadi di dalam alat *Calciner*

Calciner merupakan bagian dari *Preheater* yang difungsikan untuk membantu kinerja kiln dalam mendekomposisi CaCO_3 menjadi CaO , maka *calciner* diharuskan memiliki efisiensi yang layak. Alat *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. telah beroperasi sejak pertama kali berdiri yaitu pada tahun 1974, Mengingat usia penggunaan calciner yang sudah cukup lama, maka diperlukan adanya pengecekan mengenai efisiensi *thermal* dari unit *calciner* tersebut. Ditinjau dari seberapa besar *heat loss* yang terdapat pada unit *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. cara menentukan efisiensi *thermal* alat *calciner* adalah dengan menghitung Neraca Energi dari alat *calciner* maka dapat diketahui seberapa besar efisiensi *thermal* dengan melihat *heat loss* yang terdapat pada unit *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk.

METODE

Dalam melaksanakan perhitungan Efisiensi *Thermal* pada alat *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dapat dilakukan dengan beberapa tahap penyelesaian, yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu dilakukan dengan mencari informasi serta pengumpulan data mengenai alat *Calciner*. Adapun buku yang digunakan yaitu buku diklat PT Semen Baturaja Tbk (2010); Hougen, Olaf A (1959); Perry, R.H. (2008) dll. dan juga informasi yang tersedia di media internet maupun laporan-laporan terkait dengan permasalahan yang ada.

2. Pengumpulan Data

- a. Mengambil data aktual dari CCR (*Central Control Room*) mengenai jumlah *massa flow kiln feed*, temperatur *calciner feed* dan *product*, jumlah pemakaian *fine coal* suhu dan *mass flow*, O_2 Excess, %kalsinasi, suhu udara tersier, dan %*Dust*.
- b. Mengambil data komposisi *kiln feed*, *Fine coal*, *ash fine coal*, serta komposisi *calciner feed* dari laboratorium QC dan QA
- c. Mengambil data desain *Calciner* dari laporan *Auditing* dan Analisis Proses Operasional PT Semen Baturaja Tbk.

3. Perhitungan

Untuk menghitung efisiensi pada alat *Calciner* memerlukan referensi sebagai tahap awal untuk melakukan perhitungan dan referensi yang digunakan yaitu buku diklat

PT Semen Baturaja Tbk, 2010 dan buku referensi lainnya, kemudian dilanjutkan dengan beberapa tahap penyelesaian. Adapun tahap-tahap yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut:

– Menghitung Neraca Massa

Perhitungan Neraca massa didasarkan atas hukum kekekalan massa dengan persamaan dibawah ini:

$$\sum \mathbf{min} = \sum \mathbf{mout}$$

Dimana:

$$\sum \mathbf{min} = \text{mumpun calciner} + \text{mbatubara} + \text{mudara tersier}$$

$$\sum \mathbf{mout} = \text{mgas pembakaran} + \text{mproduk calciner}$$

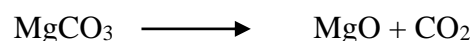
Massa Input Calciner

a. Menghitung massa *Calciner Feed* dari data *Kiln feed*

Massa umpan kalsiner didapatkan dari hasil perhitungan massa keluar preheater, dihitung dengan cara:

- Menghitung raw mix setelah penguapan H₂O di preheater.
- Menghitung umpan kalsiner setelah dikurangi dengan dust loss

b. Menghitung mol reaksi yang terkalsinasi. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses kalsinasi pada calciner adalah sebagai berikut:



c. Menghitung massa komponen batubara di *calciner*. Massa komponen batubara dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\mathbf{m_{(bb)}} = \% \mathbf{m_{(bb)}} \times \mathbf{m_{total(bb)}} \quad (\text{Sumber: Hougén 1961 h.417})$$

Dimana:

$$\mathbf{m_{(bb)}} = \text{Massa komponen batubara (kg)}$$

$$\% \mathbf{m_{(bb)}} = \text{Komponen massa batubara (\% m)}$$

$$\mathbf{M_{total(bb)}} = \text{Massa total komponen batubara (kg)}$$

d. Menghitung massa komponen abu batubara di *calciner*. Massa komponen abu batubara dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\mathbf{m_{(abu)}} = \% \mathbf{m_{(abu)}} \times \mathbf{m_{total(abu)}} \quad (\text{Sumber: Hougén 1961 h.417})$$

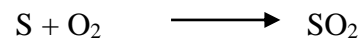
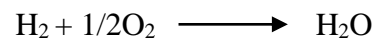
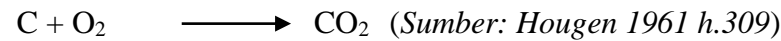
Dimana:

$m_{(abu)}$ = Massa komponen abu batubara (kg)

% $m_{(abu)}$ = Komponen massa abu batubara (% m)

$M_{total(abu)}$ = Massa total komponen abu batubara (kg)

- e. Menghitung mol udara pembakaran dari reaksi pembakaran batubara. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembakaran batubara adalah sebagai berikut:



- f. Menghitung mol udara yang disuplai ke *Calciner*. Diketahui % O_2 excess pada *calciner* dan mol O_2 teoritis hasil reaksi pembakaran batubara sehingga dapat dihitung mol udara yang disuplai dengan menggunakan persamaan:

$$O_2 \text{ sesungguhnya} = \% O_2 \text{ excess} \times \text{mol } O_2 \text{ teoritis} \quad (\text{Sumber: Hougen 1961 h.423})$$

$$N_2 \text{ dari udara} = \frac{79}{100} \times \text{mol udara sesungguhnya}$$

– Massa Output *Calciner*

- a. Menghitung massa gas hasil pembakaran yang terbentuk. Komposisi gas hasil pembakaran tersebut terdiri dari CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 , O_2 . Gas hasil pembakaran ini akan dimanfaatkan kembali untuk membantu proses pemanasan material pada Suspension Preheater dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Gas hasil pembakaran} = \text{total massa} (CO_2 + H_2O + SO_2 + N_2 + O_2)$$

(Sumber: Hougen 1961 h.419)

- b. Menghitung massa produk dalam kalsiner. Pada reaksi kalsinasi menghasilkan produk CaO dan MgO , sehingga didapat massa produk yang keluar dari kalsiner.

$$\text{Produk keluar } \textit{Calciner} = \text{massa total komponen produk}$$

- a) Menghitung Neraca Energi

- a. Menghitung panas *calciner feed*

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

Dimana:

$$m = \text{Massa batubara (kg/jam)}$$

$$C_p = \text{Panas Spesifik (kJ/kg.}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T = \text{Temperatur (}^\circ\text{C)}$$

b. Menghitung panas sensibel batubara

$$C_p = A + BT \times 10^{-6} + CT^2 \times 10^{-9} \quad (\text{Sumber: F.L. Smidth, hal-74})$$

$$Q = m_{bb} \times C_{p_{bb}} \times \Delta T$$

Keterangan:

m_{bb} = massa batubara (kg/jam)

$C_{p_{bb}}$ = panas spesifik batubara (kJ/kg.°C)

ΔT = temperatur (°C)

(Sumber: Perray, K.E (1979:141))

c. Menghitung panas pembakaran batubara

$$Q = m_{bb} \times NHV_{bb}$$

Keterangan:

m_{bb} = massa batubara (kg/jam)

NHV_{bb} = panas spesifik batubara (kJ/jam)

(Sumber: Hougen, Olaf A. & Kenneth. hal.424)

d. Menghitung panas sensible udara (udara tersier)

$$C_p = A + BT \times 10^{-6} + CT^2 \times 10^{-9}$$

(Sumber: F.L. Smidth, hal-74)

$$Q = m_{bb} \times C_{p_{bb}} \times \Delta T$$

Keterangan:

m_{bb} = Massa batubara (kg/jam)

$C_{p_{bb}}$ = Panas spesifik batubara (kJ/kg. °C)

ΔT = Temperatur (°C)

(Sumber: Perray, K.E (1979:141))

e. Menghitung panas exhaust gas

$$C_p = A + B/2 (T + T_0) \times 10^{-3} + C/3 (T^2 + TT_0 + T_0^2) \times 10^{-6}$$

Sumber: Hougen Olaf A. & Kenneth. Hal.255-258

f. Menghitung panas penguapan H₂O

$$Q = m \times \lambda \quad (\text{Sumber: Taylor, 1990})$$

g. Menghitung panas reaksi kalsinasi



$$\Delta H_r \text{ CaCO}_3 = (\Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}) \times \text{mol CaCO}_3$$



$$\Delta H_r \text{ MgCO}_3 = (\Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}) \times \text{mol MgCO}_3$$

(Sumber: Hougen, O. A., dkk. (1962:311))

h. Menghitung panas *calciner product*

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

i. Menghitung *Heat loss*

$$Q = \text{Panas Input} - \text{Panas Output}$$

1) Menghitung % *Efisiensi termal* pada alat *Calciner*

$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{\text{Panas Input} - \text{Heat Loss}}{\text{Panas Input}} \times 100\%$$

(Sumber: Smith, J. M., Ness, H.C.V., & Abbott, M.M. (2001:150))

2) Menghitung % Heat Loss

$$\% \text{ Heat Loss} = \frac{Q_{\text{Loss}}}{Q_{\text{Input}}} \times 100\%$$

4. Asumsi

Basis perhitungan 1 jam operasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil perhitungan perbandingan Neraca Massa dan Massa Energi pada alat *Calciner* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Neraca Massa dan Neraca Energi *Calciner*

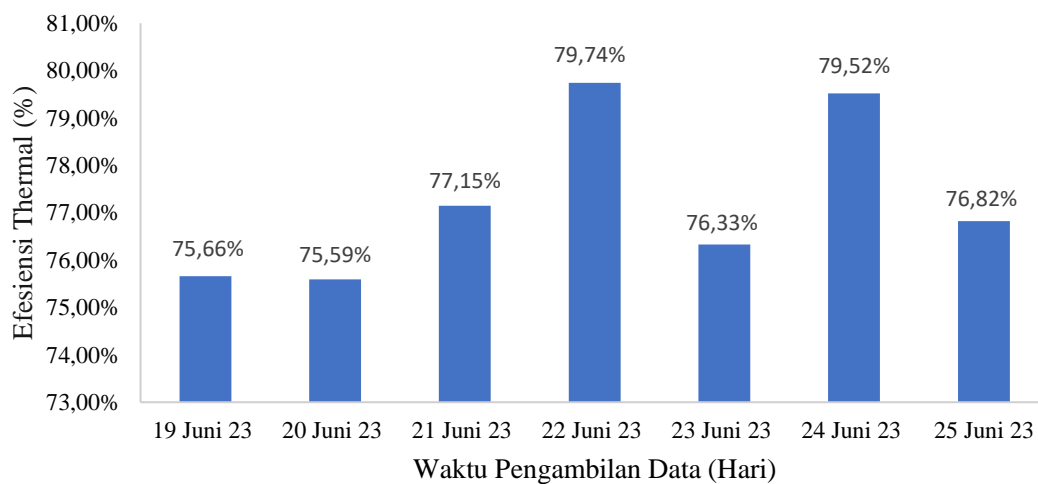
Tanggal	Neraca Massa (kg)	Neraca Energi (kkal)
19 juni 2023	652.504,4401	261.850.434,4
20 juni 2023	675.290,0988	267.283.193,7
21 juni 2023	632.457,1543	248.712.819,6
22 juni 2023	663.951,0425	258.296.638
23 juni 2023	617.748,18	250.089.124
24 juni 2023	626.566,969	242.976.890,6
25 juni 2023	614.016,1847	240.056.595,6

Dari tabel diatas, perhitungan Neraca Massa diperlukan dalam perhitungan Neraca Energi. Sedangkan, perhitungan Neraca Energi diperlukan dalam perhitungan Efisiensi *Thermal Calciner*. Pengambilan data untuk perhitungan dilakukan selama 7 hari mulai dari tanggal 19 Juni 2023 sampai dengan 25 Juni 2023. Perhitungan neraca massa pada alat *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. yang terdiri dari 7 hari didapatkan hasil yang *balance* atau bisa dikatakan tidak ada massa yang terbuang.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efisiensi *Thermal Calciner* pada tanggal 19 Juni 2023 sampai dengan 25 Juni 2023.

Tanggal	Efisiensi <i>Thermal</i> Aktual (%)	Efisiensi <i>Thermal</i> Desain (%)
19 Juni 2023	75,66%	
20 Juni 2023	75,59%	
21 Juni 2023	77,15%	
22 Juni 2023	79,74%	65-85%
23 Juni 2023	76,33%	
24 Juni 2023	79,52%	
25 Juni 2023	76,82%	
Rata-rata	77,26%	

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka dibuatlah grafik % Efisiensi *Thermal* pada alat *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Data Waktu dan % Efisiensi *Thermal*

Hasil perhitungan efisiensi *thermal* pada alat *calciner* secara aktual seperti terlihat pada Gambar 4. di atas merupakan hasil perhitungan yang dilakukan selama 7 hari berturut-turut mulai dari tanggal 19 Juni 2023 sampai dengan 25 Juni 2023, dimana kenaikan dan penurunan setiap harinya mengalami perubahan yang tidak konstan. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa % efisiensi *thermal* maksimum diperoleh pada tanggal 22 Juni dengan efisiensi sebesar 79,74% dan % efisiensi *thermal* minimum diperoleh pada tanggal 20 Juni 2023 dengan efisiensi sebesar 75,59%, sehingga didapatkan efisiensi *thermal* aktual rata-rata yaitu sebesar 77,26%. Menurut literatur dari PT Semen Baturaja Tbk. alat *Calciner* ditargetkan memiliki efisiensi *thermal* diantara 65-85% (Biro II PT Semen Baturaja Tbk, 2023). Dari data dan grafik tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi *thermal* dari alat *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. masih termasuk dalam rentang efisiensi *thermal* secara desain. Hal ini menunjukkan

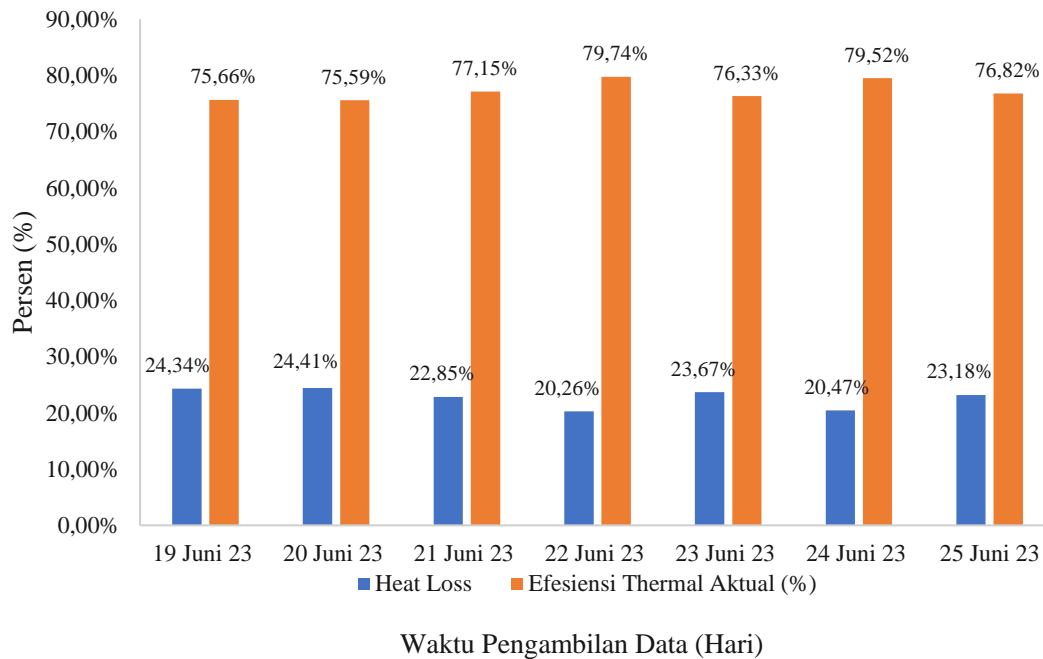
bahwa kinerja dari alat *calciner* pada PT Semen Baturaja Tbk. terbilang cukup efisien dan masih baik untuk digunakan.

Sehingga dapat dianalisa bahwa kenaikan dan penurunan efisiensi *thermal* disebabkan oleh beberapa faktor yaitu massa batubara yang disuplai, massa umpan kiln feed yang digunakan, udara tersier yang berasal dari *grate cooler* dan *heat loss* yang dihasilkan. Persediaan udara tersier yang digunakan dapat berpengaruh terhadap proses pembakaran, karena jika persediaan udara tersier berkurang dapat menyebabkan pembakaran tidak berjalan sempurna sehingga kadar CO akan meningkat dan panas yang dihasilkan berkurang. Persediaan udara tersier yang berlebih juga dapat mengakibatkan dampak buruk karena udara akan mendinginkan panas yang dibutuhkan di dalam sistem sehingga proses pembakaran menjadi kurang sempurna. Kadar oksigen yang berlebih merupakan pemicu terjadinya konsumsi panas. Jadi perlu dilakukan analisa yang tepat terhadap banyaknya jumlah udara tersier yang dibutuhkan. Namun hal yang tidak diinginkan dapat terjadi yaitu adanya *false air*, yaitu udara yang masuk pada rangkaian alat karena terjadi kebocoran. Konsumsi panas yang tidak tepat sasaran akan meningkatkan rugi kalor dalam system, sehingga membuat reaksi yang terjadi pada *calciner* menjadi kurang efektif. Selanjutnya kelebihan kadar oksigen pada *calciner* akan menyebabkan nilai *heat loss* yang semakin meningkat.

Tabel 3. Hasil Perhitungan % *Heat Loss Calciner* pada 19 Juni 2023 s/d 25 Juni 2023

Tanggal	<i>Heat Loss (%)</i>
19 Juni 2023	24,34%
20 Juni 2023	24,41%
21 Juni 2023	22,85%
22 Juni 2023	20,26%
23 Juni 2023	23,67%
24 Juni 2023	20,47%
25 Juni 2023	23,18%
Rata-rata	22,74%

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka dibuatlah grafik % *heat loss* pada alat *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dapat dilihat pada gambar 5. dibawah ini.



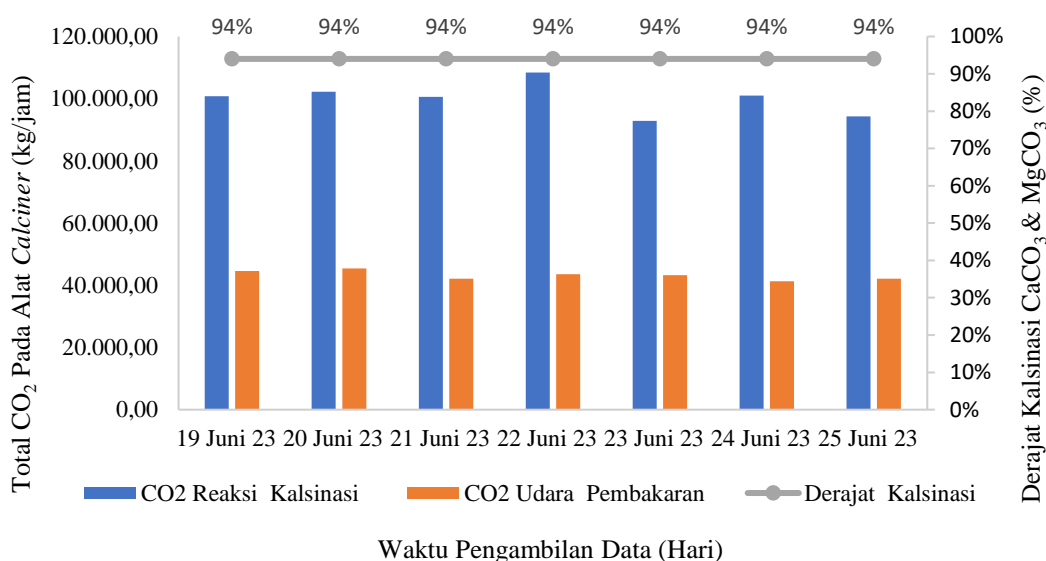
Gambar 5. diatas merupakan gambar grafik yang menunjukkan pengaruh %*heat loss* terhadap efisiensi *thermal* pada alat *calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dari gambar diatas dapat diamati bahwa panas yang hilang (*heat loss*) berbanding terbalik dengan efisiensi *thermal calciner*. Semakin besar *heat loss* yang dihasilkan, menyebabkan nilai efisiensi *thermal* pada *calciner* semakin kecil. Hal ini dikarenakan, panas yang dibutuhkan untuk proses sebagian hilang atau terbuang. Nilai *heat loss* ini merupakan nilai yang menunjukkan seberapa energi panas tersebut hilang atau tidak dimanfaatkan seperti dari panas yang disuplai, dan terbawa oleh beberapa produk samping seperti panas *calciner product*, panas *exhaust gas*, panas reaksi kalsinasi, serta panas untuk penguapan H₂O. Nilai %*heat loss* tersebut didapatkan dari total jumlah panas yang hilang dibagi dengan total panas yang masuk ke dalam proses.

Tinggi rendahnya *Heat loss* yang didapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti adanya gangguan operasional pada alat serta terjadinya kebocoran yang tidak dapat di jangkau, sehingga pada proses pemanasan yang berlangsung secara terus-menerus akan menjadikan dinding alat tersebut menjadi lebih tipis. Hal tersebut akan mengakibatkan panas yang ada di dalam alat tidak dimanfaatkan secara maksimal, sehingga hal tersebut akan mengurangi nilai efisiensi dari alat tersebut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan CO₂ pada reaksi kalsinasi, CO₂ udara pembakaran dan derajat kalsinasi pada tanggal 19 Juni 2023 sampai dengan 25 Juni 2023

Tanggal	CO ₂ Reaksi Kalsinasi (kg/jam)	CO ₂ Udara Pembakaran (kg/jam)	Derajat Kalsinasi
19 Juni 2023	100.799,1352	44.640,1366	94%
20 Juni 2023	102.257,991	45.363,78583	94%
21 Juni 2023	100.576,5257	42.146,55738	94%
22 Juni 2023	108.463,8809	43.510,0688	94%
23 Juni 2023	92.844,88803	43.294,68554	94%
24 Juni 2023	100.993,5083	41.321,13771	94%
25 Juni 2023	94.300,23402	42.132,31868	94%
Rata-rata	100.033,7376	43.201,24151	94%

Perhitungan reaksi kalsinasi di *calciner* dapat dilakukan dengan menghitung Neraca Massa umpan yang masuk dari CaCO₃ & MgCO₃. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan CO₂ yang dihasilkan dari alat *calciner* maka dibuatlah grafik % derajat kalsinasi dari CO₂ yang dihasilkan pada alat *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk. dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Grafik hubungan antara CO₂ udara pembakaran dan CO₂ reaksi kalsinasi terhadap derajat kalsinasi

Dari gambar grafik 6. menunjukkan rangkaian dari nilai emisi CO₂ yang dihasilkan oleh reaksi kalsinasi dan proses pembakaran bahan bakar pada *Calciner* di PT Semen Baturaja Tbk dari tanggal produksi 19 Juni sampai dengan 25 Juni 2023, dimana terlihat bahwa nilai emisi CO₂ reaksi kalsinasi terendah pada tanggal 23 Juni 2023 yaitu sebesar

92.844,88803 kgCO₂/jam, sedangkan emisi CO₂ tertinggi pada tanggal 22 Juni 2023 yaitu sebesar 108.463,8809 kgCO₂/jam. Perhitungan rata-rata dari CO₂ kalsinasi selama 7 hari yaitu menghasilkan sebesar 100.033,7376 kgCO₂/jam. Dengan derajat kalsinasi yang diperoleh selama 7 hari dengan hasil yang konstan yaitu sebesar 94%. Tingkat kalsinasi dalam sistem ILC sangat tinggi, seringkali berkisar antara 90-95% (FL.Smidth,2011).

Sedangkan untuk nilai emisi CO₂ pada proses pembakaran bahan bakar terendah pada tanggal 24 Juni 2023 yaitu sebesar 41.321,13771 kgCO₂/jam, dan emisi CO₂ tertinggi pada tanggal 20 Juni 2023 yaitu sebesar 45.363,78583 kgCO₂/jam, dengan rata-rata dari CO₂ proses pembakaran bahan bakar selama 7 hari yaitu menghasilkan 43.201,24151 kgCO₂/jam.

Terbentuknya gas CO₂ ini akan menimbulkan dampak lingkungan, dimana kualitas udara di lingkungan sekitarnya akan menurun. Sumber pembentukan gas rumah kaca pada sistem *kiln* adalah pada pembakaran bahan bakar (batubara), pada pembentukan CaO dan MgO (Farisa Ridha Mutiara, H. 2013).

Dari jumlah rata-rata CO₂ yang dihasilkan dari kalsinasi maupun pada pembakaran bahan bakar akan berdampak kurang baik terhadap kualitas udara di sekitarnya. Terdapat beberapa metode untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, dalam hal ini gas CO₂, yaitu meminimalkan penggunaan batubara, pemasangan *waste heat recovery power generator* (WHRPG), memaksimalkan efisiensi di sistem *kiln*, memisahkan CO₂ dari *flue gas* untuk *recovery* CO₂, dan melakukan penghijauan di sekitar wilayah pabrik (PT Semen Baturaja Tbk, 2023).

KESIMPULAN

Calciner ialah hasil modifikasi *Suspension Preheater* yang memungkinkan untuk mengembangkan dan menyerap lebih dari 60% dari total masukan panas di zona panas kalsinasi (*Critical Calcination Zone*) (Turnell,2001). *Calciner* dibantu bahan bakar batubara yang kontak dengan udara panas dari *kiln* (udara tersier) yang berasal dari *grate cooler*. Tujuan utama penggunaan *Calciner* ialah mengurangi beban pembakaran dari rotary kiln. Pada PT Semen Baturaja Tbk menggunakan preheater dengan 5 *stage*, dimana *calciner* ditempatkan setelah siklon IV, kemudian hasil *calciner* menuju siklon V lalu diumpankan ke *rotary kiln*.

Efisiensi *thermal* dari alat *Calciner* yang didapatkan berdasarkan perhitungan neraca massa dan neraca panas berkisar 75,59%-79,74% dengan efisiensi *thermal* aktual

rata-rata sebesar 77,26% sementara itu untuk *heat loss* rata-rata sebesar 22,74%. Adapun faktor yang mempengaruhi Efisiensi *thermal* yaitu massa batubara yang disuplai, massa umpan *kiln feed* yang digunakan, udara tersier yang berasal dari *grate cooler* dan *heat loss* yang dihasilkan. Dari penjelasan grafik tentang pengaruh *heat loss* terhadap efisiensi *thermal* dapat diamati bahwa panas yang hilang (*heat loss*) berbanding terbalik dengan efisiensi *thermal calciner*. Semakin besar *heat loss* yang dihasilkan, menyebabkan nilai efisiensi *thermal* pada calciner semakin kecil. Hal ini dikarenakan, panas yang dibutuhkan untuk proses sebagian hilang atau terbuang. *Heat loss* yang didapatkan merupakan panas yang tak termanfaatkan dari panas yang disuplai, dan dibawa oleh beberapa produk samping seperti panas *calciner product*, panas *exhaust gas*, panas reaksi kalsinasi, serta panas untuk penguapan H₂O.

Kinerja alat *Calciner* ditinjau dari efisiensi *thermal* unit *calciner* terbilang cukup efisien dan masih baik untuk digunakan, karena ditandai dengan efisiensi *thermal* unit *calciner* masih termasuk dalam rentang efisiensi *thermal calciner* secara desain. Terbentuknya gas CO₂ akan menimbulkan dampak lingkungan, dimana kualitas udara di lingkungan sekitarnya akan menurun. Dari jumlah rata-rata CO₂ yang dihasilkan dari kalsinasi sebesar 100.033,7376 kg/jam dan pada pembakaran bahan bakar sebesar 43.201,24151 kg/jam, ini akan berdampak kurang baik terhadap kualitas udara di sekitarnya. Sehingga harus diminimalisir pada penggunaan batubara dan memaksimalkan efisiensi pada sistem *kiln*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatty, M. S. Y., (1981) "CEMENT KILN SYSTEM BUILDUPS," I.C.S. Proceedings, Columbus, Ohio., pages 110-115.
- Farisa Ridha Mutiara, H. (2013). EVALUASI EFISIENSI PANAS DAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA ROTARY KILN PABRIK SEMEN.
- FLSmidth. (2003). ATOX™ CALCINER. United States of America : FLSmidth Inc.
- Keefe, B. P. and Shenk, R. E.. (2002). "STAGED COMBUSTION FOR LOW-NO_x CALCINERS". Jacksonville, Florida. IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference.
- Perry, R.H. (2008). PERRY'S CHEMICAL ENGINEERING HAND BOOK, 6 TH ED. New York: Mc Graw Hill Inc.

Smith, J. M., Ness, H.C.V., & Abbott, M.M. (2001). INTRODUCTION TO CHEMICAL ENGINEERING THERMODYNAMICS, 8 TH ED. New York: McGraw-Hill Education.

Turnell, V. J. (2001). FUEL CHANGES IN CEMENT KILN APPLICATIONS. Proceedings, APCAC XVII Technical Conference.