

## ANALISIS TERMAL PADA GRATE COOLER BERDASARKAN PARAMETER YANG MEMPENGARUHI


Ilham Nurhakim<sup>\*1</sup>, Mustain Zamhari<sup>2</sup>, Abraham Abimanyu  
Kristiyono Putro<sup>3</sup>, Safaruddin<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

<sup>3</sup>Staff Manager produksi Produksi PT. Semen Baturaja Tbk, Indonesia

<sup>4</sup>SMBR Learning Development PT. Semen Baturaja Tbk, Indonesia

Corresponding Author: [safaruddintohir@gmail.com](mailto:safaruddintohir@gmail.com)

<b>Info Article</b>	<p><b>Abstract:</b> Grate cooler is a cooling device which is located after the rotary kiln. Cooler cooling air is obtained from blowing from 13 fan units. This air will cool the clinker that comes out of the kiln with a fast cooling method or also called the quenching method. Grate cooler is the most modern cooler. At the beginning of the development, the use of grate coolers was intended to obtain a fast cooling rate with the aim of reducing the influence of periclase crystals, so that good clinker quality was obtained, good heat transfer greatly influenced this type of cooler so that it could accept clinker with temperatures of <math>\pm 1400 - 1200</math> °C. The displacement that occurs in this tool is in cross current and counter current conditions. The location of the grate cooler cannot be separated from the kiln because it is directly connected to the kiln outlet.</p>
Received :	
16 Desember 2022	
Revised :	
12 Januari 2023	
Accepted :	
02 Februari 2023	
Publication :	
28 Februari 2023	
<b>Keyword:</b>	
Termal, Grate	
Cooler,	
Parameter	
<b>Kata Kunci:</b>	
Termal, Grate	
Cooler, Parameter	
<b>Licensed Under a</b>	
Creative Commons	
Attribution 4.0	
International	
License	
	
	<p><b>Abstrak:</b> Grate cooler adalah alat pendingin yang letaknya setelah rotary kiln. Udara pendingin cooler didapatkan dari hembusan dari 13 unit fan. Udara ini akan mendinginkan klinker yang keluar dari kiln dengan metode pendinginan secara cepat atau disebut juga metode quenching. Grate cooler merupakan pendingin yang paling modern. Pada awal perkembangan pemakaian grate cooler dimaksudkan untuk mendapatkan laju pendinginan yang cepat dengan tujuan mengurangi pengaruh kristal periclase, sehingga diperoleh kualitas klinker yang baik, perpindahan panas yang baik sangat mempengaruhi cooler jenis ini agar dapat menerima klinker dengan temperatur <math>\pm 1400 - 1200</math> °C. Perpindahan yang terjadi di alat ini adalah pada kondisi cross current dan counter current. Peralatan grate cooler tidak bisa dipisahkan letaknya dari kiln karena terpasang langsung menyambung pada outlet kiln.</p>

## PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang menentukan kualitas semen yang diproduksi adalah kualitas klinker yang dihasilkan. Klinker adalah produk semen setengah jadi, yang dibuat dengan cara campuran homogen bahan baku dalam *rotary kiln* melalui proses pembakaran pada suhu tinggi sekitar 1450 °C. Alumunium Oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Besi Oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang terdapat dalam komposisi berfungsi sebagai *fluks* untuk mengurangi suhu sintering dan juga berkontribusi untuk kekuatan semen.

Dalam pembuatan klinker selain melalui proses pembakaran atau sintering untuk membentuk senyawa-senyawa yang terkandung di dalamnya, klinker juga melalui proses pendinginan (*cooling*). Proses pendinginan klinker dimulai dari area *kiln* di *cooling zone* selanjutnya klinker masuk ke alat *grate cooler* untuk didinginkan dengan menggunakan metode *quenching* (pendinginan secara mendadak). Proses pendinginan ini menggunakan media pendingin udara, udara didistribusikan oleh *fan* yang berjumlah 13 unit, sehingga alat dapat bekerja mendinginkan klinker atau terak yang berasal dari *kiln* yang bersuhu ±1200 °C menjadi ± 100 °C. Klinker yang telah didinginkan akan berbentuk granular yang memiliki pori-pori besar sehingga mempengaruhi kemudahan penggilingan terak atau klinker di dalam *cement mill*.

Karakteristik klinker atau terak yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh proses pendinginannya dan kemudahan penggilingan klinker sangat mempengaruhi kualitas akhir dari semen, sehingga perlunya menganalisis thermal dari alat tersebut dan mengevaluasi variable .

## METODE

### Mekanisme perpindahan panas di *Grate cooler*

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai transmisi energi dari suatu tempat ke tempat lain sebagai dampak dari perbedaan suhu pada sistem yang dialiri panas tersebut. Mekanisme perpindahan panas dapat berlangsung dari suatu material yang suhunya lebih rendah hingga mencapai suatu kondisi keseimbangan. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalam *grate cooler* ada 3, yaitu:

a) Perpindahan panas secara konduksi (Rambatan).

Konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian ke bagian lain tanpa ada partikel yang ikut berpindah. Laju perpindahan panas secara konduksi dipengaruhi oleh luas penampang perpindahan panas, konduktivitas termal dan perbedaan suhu.

Perpindahan panas secara konduksi yang terjadi di dalam *grate cooler* adalah perpindahan panas antara sesama partikel (klinker)

b) Perpindahan panas secara konveksi.

Konveksi adalah perpindahan panas dari satu bagian ke bagian lain yang disertai dengan partikelnya ikut berpindah. Gradien suhu tergantung padalaju alir fluida pembawa panas. Kecepatan aliran yang tinggi akan menyebabkan gradien suhu menjadi tinggi pula. Jadi gradien suhu pada dinding bergantung pada distribusi kecepatan sehingga perpindahan panas konveksi juga dipengaruhi oleh distribusi kecepatan fluida tersebut

c) Perpindahan panas secara radiasi

Panas juga dapat berpindah melalui daerah hampa atau melalui fluida ke permukaan lain dengan cara pemancaran gelombang elektromagnetik yang disebut dengan radiasi. Perpindahan panas radiasi terjadi antara udara panas yang ada di dalam *grate cooler* dengan udara lingkungan sekitar.

**Neraca Massa dan Neraca Panas**

1. Untuk mencari input massa *clinker*

$$Kiln\ Feed / Faktor\ Clinker \dots\dots\dots(1)$$

(PT. Semen Baturaja Tbk., 2023)

2. Untuk menghitung Kapasitas Panas

$$C_p = a + bT \cdot 10^{-6} + cT^2 \cdot 10^{-9} \dots\dots\dots(2)$$

(FL. Smidft, 2003)

3. Untuk mengetahui harga kapasitas panas, ada beberapa cara yaitu :

a) Kapasitas panas fungsi temperature

Kapasitas panas fungsi temperature secara umum mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \dots\dots\dots(3)$$

(FL. Smidft, 2003)

Persamaan ini digunakan untuk gas ideal anorganik, sedangkan untuk senyawa organik mempunyai persamaan :

$$C_p = \alpha + \beta T^2 + \gamma T^3, \alpha, \beta, \text{ dan } \gamma \text{ merupakan konstanta}$$

Untuk menghitung perubahan panas dari suatu system dengan menggunakan kapasitas panas fungsi temperature dari T1 dan T2.

- Untuk gas ideal anorganik

$$dQ = \int C_p \cdot dT = \int (a + bT + cT^2 + dT^3) dT \dots\dots\dots(4)$$

(FL. Smidft, 2003)

- Untuk gas ideal organik

$$dQ = \int C_p \cdot dT = \int (\alpha + \beta T + \gamma T^2) Dt \dots\dots\dots(5)$$

(FL. Smidft, 2003)

b) Kapasitas panas rata-rata

Kapasitas panas rata-rata dari perubahan temperature T1 ke T2 dapat diturunkan dari kapasitas panas fungsi temperature dengan persamaan :

$$C_{pm} = \int c_p \cdot dT / T_2 - T_1 \dots\dots\dots(6)$$

(FL. Smidft, 2003)

Untuk menghitung perubahan panas dari suatu system dengan menggunakan kapasitas panas rata-rata dari T1 ke T2

$$dQ = n \cdot C_p \cdot dT \dots\dots\dots(7)$$

c) Kapasitas panas molar

Kapasitas panas molar dari perubahan temperature T1 ke T2 dapat ditunkandari kapasitas panas fungsi temperature dengan persamaan :

$$C_p = a + b(T_1 + T_2/2) + c (T_1 + T_2/2) + d (T_1 + T_2)^3 \dots\dots\dots(8)$$

(FL.Smidft, 2003)

Untuk menghitung perubahaan panas suatu sistem dengan menggunakan kapasitas panas molal dari T1 ke T2 adalah :

$$dQ = n \cdot C_p \cdot dT \dots\dots\dots(9)$$

(F.LSmidft, 2003)

Dimana :

- N = Volume udara pembakaran (m<sup>3</sup>) dalam hal ini udara sekunder
- Cp = Panas jenis udara sekunder pada suhu tertentu (kcal/m<sup>3</sup> °C)
- dT = Temperatur udara sekunder masuk *kiln*

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

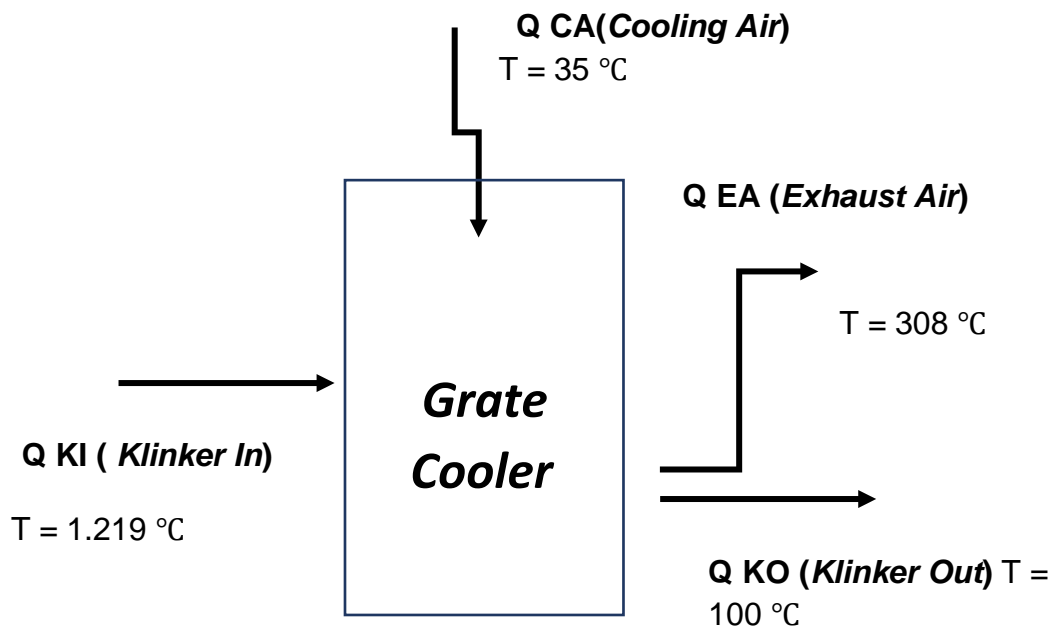
**Hasil Penelitian**

Dari data pengamatan yang sudah diambil, maka dilakukan perhitunganneraca energi selama 10 hari, dari tanggal 26 juni sampai dengan 05 juli 2023.

Tabel 5.8 Neraca Energi *Grate Cooler* 26 juni sampai 05 juli 2023

Input		Output	
Komponen	Laju alir (kcal/h)	Komponen	Laju alir (kcal/h)
Panas sensibel <i>klinker In</i>	58.876.799	Panas sensibel <i>exhaust air</i>	6.342.665
Panas sensibel udara Pendingin	744.769	Panas sensibel <i>klinker Out</i>	1.686.191
		Loss	8.028.857
		Panas terakumulasi	51.592.711
<b>Total</b>	<b>59.621.568</b>	<b>Total</b>	<b>59.621.568</b>

Diagram Alir Proses Neraca Energi 26 juni sampai 05 juli 2023



$$\Delta H \text{ Input} = \Delta H \text{ Output} + \text{Akumulasi panas}$$

$$(Q \text{ klinker in} + Q \text{ cooling air}) = (Q \text{ exhaust air} + Q \text{ klinker out}) + \text{Akumulasi panas}$$

$$(1.219 \text{ }^\circ\text{C} + 35 \text{ }^\circ\text{C}) = (308 \text{ }^\circ\text{C} + 100 \text{ }^\circ\text{C}) + \text{Akumulasi panas}$$

$$1.254 \text{ }^\circ\text{C} - 408 \text{ }^\circ\text{C} = \text{Akumulasi panas}$$

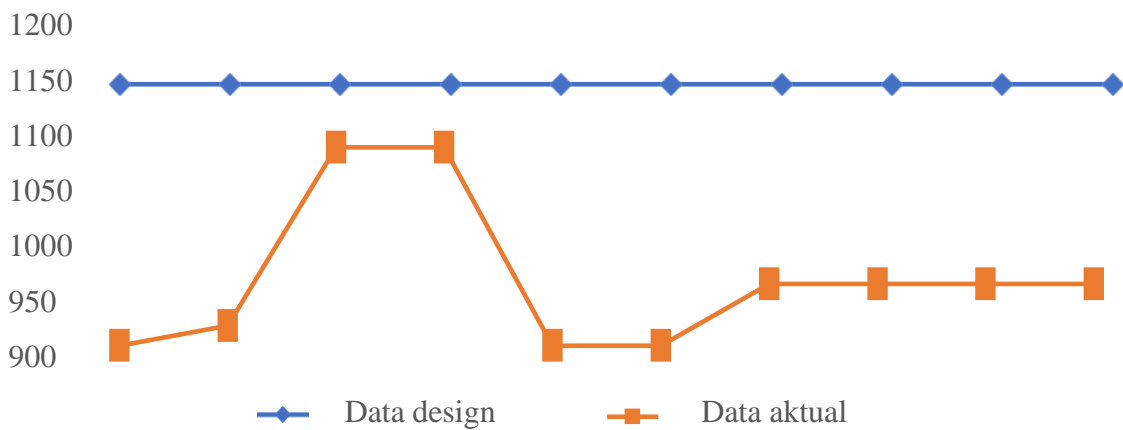
$$\text{Akumulasi panas} = 846 \text{ }^\circ\text{C}$$

Untuk mendapatkan kualitas klinker yang baik, maka diperlukan perpindahan panas yang baik antara klinker yang masuk ke *cooler* dengan udara pendingin yang didapatkan dari *fan*. Laju alir udara pendingin dipengaruhi oleh banyaknya *kiln feed* yang masuk ke dalam *cooler*. Untuk melihat apakah klinker yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik adalah dengan menghitung neraca massa dan neraca panas. Proses pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 26 juni sampai 05 juli pada pukul 09:00 WIB, yang diambil dari *Central Control Room* (CCR) dan Laboratorium *QC*. Panas input pada alat *grate*

*cooler* terdiri dari panas sensible kiln masuk, panas sensible udara pendingin. Sedangkan untuk panas output terdiri dari, panas sensibel klinker keluar, panas sensible exhaust air dan panas yang terakumulasi.

Berdasarkan data aktual pada tanggal 26 juni, suhu udara sekunder mencapai 1.000 °C dengan berat sebesar 78.533,43 kg/jam, panas sensible udara sekunder yang dihasilkan mencapai 19.908.225,139 Kcal/jam. Sedangkan udara tersier adalah udara yang masuk ke *preheater* dari *grate cooler* yang panasnya dapat dimanfaatkan untuk pemanasan awal. Suhu udara tersier 800 °C dengan berat 131.736,48 kg/jam, panas sensible udara tersier 26.660.456,345 Kcal/jam.

Dari data perhitungan yang didapatkan, dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut ini :



Grafik Perbandingan Data Desain Dan Data Aktual Udara Sekunder

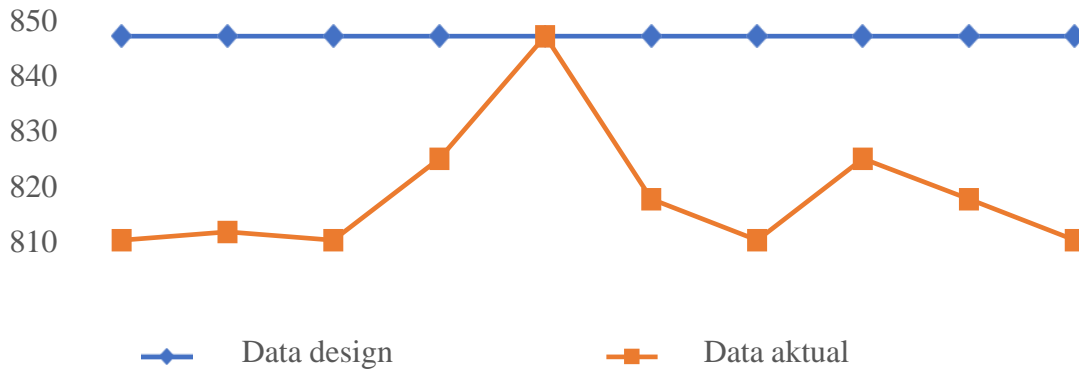
Berdasarkan gambar terlihat bahwa temperatur udara sekunder aktual lebih rendah dari temperature udara sekunder desain, dimana data desain temperatur udara sekunder mempunyai nilai 1.150 °C. Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa data aktual udara sekunder tidak mencapai data desain dikarenakan pengaruh dari laju udara pendingin serta *kiln feed* yang masuk.

Pada grafik diatas, setiap harinya mengalami kenaikan dan penurunan pada data aktual udara sekunder, akan tetapi tidak mengalami penurunan yang jauh dari data desain, dan pada hari ke 3 dan ke 4, udara sekunder aktual hampir mencapai data desain.

Maka dari itu, data aktual udara sekunder dapat dikatakan baik, karena udara sekunder masih dapat dimanfaatkan untuk udara bakar di *rotary kiln*. Pemanfaatan udara panas yang berasal dari *grate cooler* juga dapat mengurangi penggunaan

bahan bakar batubara, hal ini juga dapat mengurangi emisi kadar CO<sub>2</sub>

Selain pemanfaatan udara panas untuk udara sekunder sebagai udara panas pembakaran di *rotary kiln*, udara panas juga disalurkan menjadi udara tersier ke *preheater* sebagai udara pemanasan awal. Udara tersier juga terdapat data desain dan aktual yang ditunjukkan pada gambar

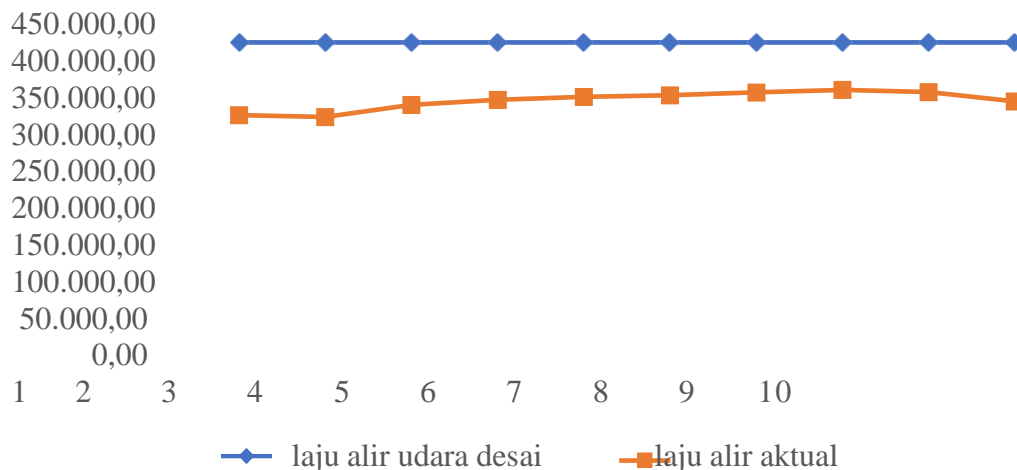


Grafik Perbandingan Data Desain Dan Data Aktual Udara Tersier

Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa data aktual udara tersier berada dibawah data desain udara tersier dan setiap hari mengalami kenaikan dan penurunan. Data desain udara tersier mempunyai nilai 850 °C, dimana faktor yang mempengaruhi temperatur udara sekunder adalah *kiln feed* dan laju alir udara. Semakin baik perpindahan panas antara klinker yang berasal dari *kiln* dan laju alir udara yang berasal dari *fan*, maka semakin baik pula udara panas yang dihasilkan. Terlihat bahwa pada hari ke 5, data aktual udara tersier mencapai data desain. Hal ini dapat dijelaskan bahwa *kiln feed* yang masuk dapat efisien didinginkan oleh udara pendingin, sehingga udara panas yang dihasilkan mencapai standar untuk disalurkan ke *preheater*. Dari 2 grafik diatas dapat dilihat bahwa panas yang terakumulasi dari *grate cooler* banyak dimanfaatkan kembali sebagai *heat recovery* (pemanfaatan kembali panas) dan sebagian menjadi *heatloss* (panas yang hilang)

## Pembahasan

Laju alir udara merupakan faktor penting dalam pendinginan klinker, karena *supplai* udara pendingin juga menentukan berapa banyak udara panas yang bisa dimanfaatkan. Udara pendingin yang tidak diikuti dengan *kiln feed* baik itu yang dihasilkan. Untuk dapat melihat apakah laju alir udara aktual dapat memenuhi standar yaitu, dengan cara melihat data desain laju alir udara, grafik perbandingan laju alir udara desain dan laju alir udara aktual dapat dilihat di gambar



Grafik Perbandingan Laju Alir Udara Pendingin Desain Dan Aktual

Dari grafik diatas, laju udara pendingin desain mencapai nilai 400.000,00 m<sup>3</sup>/jam. Data aktual laju alir udara pendingin mempunyai nilai mendekati data desain, yang mana alat tersebut beroperasi dengan baik. Faktor yang mempengaruhi laju udara pendingin tidak mencapai data desain adalah ketergantungan *kiln feed* yang masuk, apabila laju udara pendingin yang masuk tidak sebanding dengan *kiln feed* yang masuk maka akan ada 2 penyebab lain yaitu, jika laju udara pendingin yang masuk lebih sedikit dari *kiln feed* maka akan menyebabkan kualitas klinker yang kurang baik, sebaliknya jika laju udara pendingin lebih banyak dari *kiln feed* yang masuk, akan menyebabkan temperatur udara panas akan menurun dan menyebabkan udara panas tidak maksimal dimanfaatkan. Tidak maksimalnya *flow* udara pendingin dari *fan - fan* yang berada di *grate 1* dan *grate 2*, menyebabkan temperatur udara *inlet calsiner* cukup tinggi dan temperature *outlet* klinker melebihi 100°C.

## 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 terbawa oleh beberapa produk samping seperti panas *calciner product*, panas *exhaust gas*, panas reaksi kalsinasi, serta panas untuk penguapan H<sub>2</sub>O.

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 CO<sub>2</sub> akan menimbulkan dampak lingkungan, dimana kualitas udara di lingkungan sekitarnya akan menurun. Dari jumlah rata-rata CO<sub>2</sub> 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, 1981. 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<sub>x</sub> 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.