

PERPINDAHAN PANAS *CLINKER* PADA *GRATE COOLER* DI PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA TBK.

Faris Akbar Ansori¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang, Jalan H.S. Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Indonesia 41361.

E-mail : 1910631150080@student.unsika.ac.id¹.

INFO ARTIKEL

Diajukan:
30/11/2022

Diterima:
29/12/2022

Diterbitkan:
31/12/2022

ABSTRAK

Industri semen merupakan salah satu industri yang besar dan berkembang di Indonesia. Dalam industri semen, terdapat beberapa unit yang masing-masing memiliki peranan penting dalam proses pembuatan semen, salah satunya unit pembakaran, yang terdiri dari *Suspension Preheater*, *Kiln* dan *grate Cooler*. *Suspension Preheater* adalah tempat dimana terjadi proses kalsinasi awal bahan baku, lalu pada bagian *Kiln* merupakan kalsinasi lanjutan dari bahan baku sampai menjadi *clinker*. Pada bagian *grate Cooler*, terjadi proses pendinginan bahan baku yang telah keluar dari *Kiln*. *Grate Cooler* adalah salah satu alat yang sangat penting dalam proses pembuatan semen, dimana fungsi utamanya adalah untuk melakukan proses pendinginan secara tiba-tiba (*quenching*) pada *clinker* yang keluar dari unit *Kiln*. Pada *Grate Cooler* PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. plant 9-10, dilakukan pendinginan *clinker* dari temperatur 800-1450°C menuju 75-120°C. Permintaan pasar yang tinggi terhadap semen menuntut pabrik untuk beroperasi dengan kapasitas produksi yang juga tinggi. Perhitungan efisiensi panas pada *clinker Cooler* dapat dilakukan dalam dua tahap yaitu, perhitungan dengan neraca massa dan perhitungan dengan neraca panas. Dari perhitungan tersebut maka dapat diketahui efisiensi panas dari *clinker Cooler* baik efisiensi panas sistem maupun efisiensi panas reaksi.

Kata Kunci: *Clinker Cooler*; Neraca Massa; Neraca Panas.

ABSTRACT

The cement industry is a large and growing industry in Indonesia. In the cement industry, there are several units each of which has an important role in the cement manufacturing process, one of which is the combustion unit, which consists of a Suspension Preheater, Kiln and grate Cooler. Suspension Preheater is the place where the initial calcination process of the raw materials occurs, then in the Kiln section is the further calcination of the raw materials to become clinker. In the Grate Cooler section, there is a process of cooling raw materials that have come out of the Kiln. The Grate Cooler is a very important tool in the cement manufacturing process, where its

main function is to quench the clinker leaving the Kiln unit. On the Grate Cooler of PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. plant 9-10, clinker is cooled from 800-1450°C to 75-120°C. High market demand for cement requires factories to operate with high production capacity. The calculation of the heat efficiency of the clinker Cooler can be carried out in two stages, namely, the calculation with the mass balance and the calculation with the heat balance. From these calculations, it can be seen the heat efficiency of the clinker Cooler, both system heat efficiency and reaction heat efficiency.

Keywords: *Clinker Coolers; Heat Balance; Mass balance.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri produksi semen di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir semakin ketat. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya produk semen yang ada di pasar Indonesia. Selain itu, dengan banyaknya pesaing membuat perusahaan semen harus meningkatkan kualitas dan kuantitas produknya sehingga dapat bersaing. Salah satu caranya adalah dengan memiliki sistem yang baik dari sisi kinerja dan efektif agar jumlah produksi yang diinginkan tercapai dan dapat menekan biaya produksi yang tidak dibutuhkan [1].

Dalam proses pembuatan semen, setelah terjadi proses pembakaran (*Burning Process*), maka untuk tahap selanjutnya adalah dilakukan proses pendinginan material yang dilakukan oleh *clinker Cooler*. Proses pendinginan *clinker* di dalam *Grate Cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting mendapat perhatian dalam produksi semen [2]. Fungsi dari *Grate Cooler* itu sendiri untuk mendinginkan terak yang keluar dari proses pembakaran di *Kiln*. *Cooler* diharapkan dapat mendinginkan terak dari temperatur $\pm 1400^{\circ}\text{C}$ hingga $\pm 100^{\circ}\text{C}$ [3]

Grate Cooler terdiri dari stroke berbentuk *plate* yang diam (*fixed*) dan bergerak (*move*) secara bergantian dan beberapa *cooling fan* yang mendinginkan material [4] Mesin pendingin terak (*clinker Cooler*) berfungsi sebagai pendingin terak (*clinker*) yang keluar dari mesin pemanas (*Kiln*). *Clinker* yang keluar dari *Kiln* akan dihantarkan menuju mesin penggiling (*hammer crusher*) melalui papan silang (*crossbar*) yang pada prosesnya di gerakan oleh batang berjalan (*Driver Plate*) yang berjajar diatas bagian *Cooler* [5]

Grate Cooler merupakan salah satu alat pendingin (*Cooler*) yang digunakan di pabrik semen termasuk PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. untuk mendinginkan *clinker* [6]. *Grate Cooler* dipilih karena memiliki efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan jenis *Cooler*

lainnya. Efek pendinginan yang dihasilkan oleh *Grate Cooler* terjadi karena adanya udara yang dihembuskan oleh beberapa *blower* atau *fan* ke permukaan *clinker* di atas *grate plate* [7].

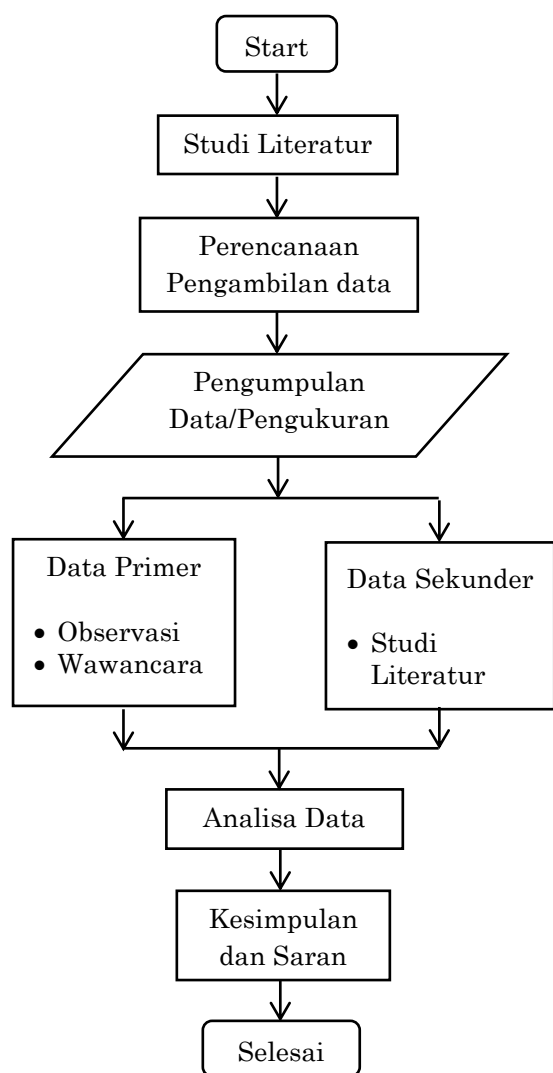
Produksi *clinker* biasanya tidak diukur secara langsung dan dihitung dari umpan *Kiln* dengan konfirmasi akhir dari pengiriman semen. Namun, akan sangat membantu untuk memiliki poin dalam sistem transfer *clinker* produksi *clinker* mana yang dapat dimuat ke truk untuk memungkinkan pemeriksaan berat [8]

Efisiensi adalah salah satu indikator untuk mengetahui kinerja alat yang digunakan, dan sebagai tolak ukur industri untuk dapat menghemat pengeluaran pabrik sehingga mampu bersaing dipasaran. Efisiensi alat dan *heat loss* pada unit *Grate Cooler* merupakan suatu hal yang penting untuk diperhatikan, karena efisiensi alat dan *heat loss* merupakan tolak ukur untuk mengetahui kinerja dari *Grate Cooler* [9]. *Grate Cooler* dengan kemampuan pendinginan terhadap *clinker* yang lebih baik secara kualitas dan kuantitas proses pendinginan terak dilakukan di dalam alat *Grate Cooler* [10]. Dan pendinginan *clinker* mempengaruhi struktur, komposisi mineral *grindability*, dan kualitas semen yang dihasilkan [11].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan cara observasi secara langsung, wawancara operator beserta pembimbing lapangan dan studi literatur. Penelitian ini dilakukan di PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. pada bulan Oktober – November 2022.

2.1. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram alir

Data-data yang diperlukan untuk menghitung efisiensi *Cooler* sebagai berikut :

- **Data Primer**
Data ini diperoleh dari observasi dan wawancara, yaitu :
 - Data temperatur udara sekunder
 - Data temperatur udara tersier
 - Data temperature udara buang
 - Data temperatur *clinker* keluar *Kiln*
 - Data temperatur *clinker* keluar *Cooler*
 - Data berat *clinker*
 - Data komposisi *coal* masuk SP (*Suspension Preheater*) dan *Kiln*
 - Data *fan* udara primer dan kapasitas *fan* pendingin *Cooler*
- **Data Sekunder**
Data ini diperoleh dari studi literature, yaitu :
 - Data panas jenis (*specific heat*) dari *clinker* maupun udara

- Data *relative Humidity* udara
- Data standar efisiensi pendinginan *Cooler*

Tabel 1. Komposisi material

Komponen	Komposisi (%Berat)
SiO ₂	13,58
Al ₂ O ₃	3,94
Fe ₂ O ₃	3,08
CaCO ₃	77,68
MgCO ₃	1,72
Total	100,00

2.2. Rumus

Untuk mengetahui panas yang dibawa udara pembakaran ditunjukkan pada persamaan (1) :

$$Q = m.C_p.\Delta T \quad (1)$$

Dimana :

- Q = Panas Sensible Udara
- m = Berat Udara
- C_p = Panas jenis udara
- ΔT = Selisih nilai temperatur

Untuk mengetahui panas yang hilang ditunjukkan pada persamaan (2) :

$$Q_R = Input - Output \quad (2)$$

Dimana :

Q_R = Panas yang hilang (*Heat loss*)

Untuk mengetahui efisiensi panas yang hilang ditunjukkan pada persamaan (3) :

$$\eta_P = \frac{\text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas}} \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

η_P = Efisiensi panas yang hilang

Untuk mengetahui efisiensi termal sistem dari *Cooler* ditunjukkan pada persamaan (4) :

$$\eta_{t s} = \frac{\text{Total panas input} - \text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas input}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana :

η_{t s} = Efisiensi termal sistem

Untuk mengetahui efisiensi termal reaksi dari *Cooler* ditunjukkan pada persamaan (5) :

$$\eta_{tr} = \frac{Q_{KI} - (Q_{VA} + Q_{KO} + Q_R)}{Q_{KI}} \times 100 \% \quad (5)$$

Dimana :

η_{tr} = Efisiensi termal reaksi

Q_{KI} = Panas sensible *clinker* keluar *Kiln*

Q_{VA} = Panas sensible udara buang

Q_{KO} = Panas sensible *clinker* keluar *Cooler*

Q_R = Panas yang hilang (*Heat loss*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Proses Produksi

Adapun tahapan dalam pembuatan semen sebagai berikut :

1. Penambangan

Bahan baku utama yang digunakan dalam memproduksi semen adalah batu kapur, pasir silika, tanah liat, pasir besi dan gipsum. Batu kapur, tanah liat dan pasir silika ditambang dengan cara pengeboran dan peledakan dan kemudian dibawa ke mesin penggiling yang berlokasi tidak jauh dari tambang. Bahan yang telah digiling kemudian dikirim melalui ban berjalan atau dengan menggunakan truk.

Dalam sistem proses basah, bahan baku dimasukkan ke dalam tanur dengan wujud aslinya yang masih basah, sehingga membutuhkan konsumsi panas yang relatif tinggi. Dalam sistem proses kering, bahan baku telah dikeringkan dan dimasukkan ke tanur dalam bentuk bubuk. Ini memberikan keuntungan sehingga digunakan oleh produsen semen saat ini. Indocement menggunakan proses tanur kering, yang mengkonsumsi panas lebih sedikit dan lebih efisien dibandingkan proses tanur basah.

2. Pengerinan dan Penggilingan

Semua bahan yang sudah dihancurkan dikeringkan di dalam pengering yang berputar untuk mencegah pemborosan panas. Kadar air dari material tersebut menjadi turun sesuai dengan kontrol kualitas yang telah ditentukan sesuai standar yang telah ditetapkan. Setelah disimpan di *Raw Mill Feed Bins*, campuran material yang telah mengikuti standar dimasukkan ke dalam penggilingan. Dalam proses penggilingan ini, pengambilan contoh dilakukan setiap satu jam untuk diperiksa agar komposisi masing-masing material tetap konstan dan sesuai dengan standar. Setelah itu tepung yang telah bercampur itu dikirimkan ke tempat penyimpanan.

3. Pembakaran dan Pendinginan

Dari tempat penyimpanan hasil campuran yang telah digiling, material yang telah halus itu dikirim ke tempat pembakaran yang berputar dan bertemperatur sangat tinggi sampai menjadi klinker. Setelah klinker ini didinginkan, dikirim ke tempat penyimpanan. Selama proses ini berlangsung, peralatan yang canggih digunakan untuk memantau proses pembakaran yang diawasi secara terus menerus dari Pusat Pengendalian. Bahan bakar yang dipergunakan adalah batu bara, kecuali untuk semen putih dan oil well cement digunakan gas alam.

4. Penggilingan Akhir

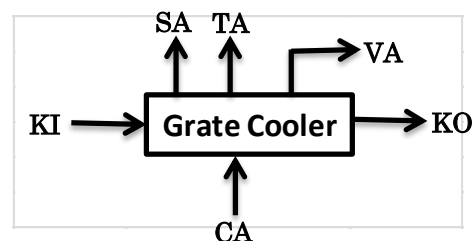
Clinker yang sudah didinginkan kemudian dicampur dengan gips yang masih diimpor, kemudian digiling untuk menjadi semen. Penggilingan ini dilaksanakan dengan sistem close circuit untuk menjaga efisiensi serta mutu yang tinggi. Semen yang telah siap untuk dipasarkan ini kemudian dipompa ke dalam tangki penyimpanan.

5. Pengemasan

Dari silo tempat penampungan, semen dipindahkan ke tempat pengantungan untuk kantong maupun curah. Pengemasan menjadi efisien dengan menggunakan mesin pembungkus dengan kecepatan tinggi. Kantong-kantong yang telah terisi dengan otomatis ditimbang dan dijahit untuk kemudian dimuat ke truk melalui ban berjalan. Sedangkan semen curah dimuat ke lori khusus untuk diangkut ke tempat penampungan di pabrik, atau langsung diangkut ke Tanjung Priok untuk disimpan atau langsung dikapalkan.

3.2. Perhitungan

3.2.1. Neraca Massa



Gambar 2. Diagram alir massa di *Cooler*

Dimana :

KI = Aliran *clinker* dari *Kiln*

- KO = Aliran *clinker* keluar *Cooler*
- SA = Udara sekunder ke *Kiln*
- TA = Udara tersier ke SP (*Suspension Preheater*)
- VA = Udara buang ke EP (*Electrostatic Precipitator*)
- CA = Udara Pendingin

Input Massa

1. *Clinker* dari *Kiln*

$$\begin{aligned}
 KI &= 4410 \text{ ton/hari} \\
 &= \frac{4410}{24} \\
 &= 183,75 \text{ ton/jam} \times 1000 \text{ kg} \\
 &= 183.750 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

2. Udara Pendingin

Tabel 2. Laju massa udara pendingin

<i>Cooler Fan</i>	Kapasitas (m ³ /jam)	Laju Massa (kg/jam)
<i>Cooler fan 1</i>	27.780	32.224,80
<i>Cooler fan 2</i>	39.600	45.936,00
<i>Cooler fan 3</i>	39.000	45.240,00
<i>Cooler fan 4</i>	60.000	69.600,00
<i>Cooler fan 5</i>	48.000	55.680,00
<i>Cooler fan 6</i>	73.200	84.912,00
Total	287.580	333.592,80

Laju udara pendingin = 333.592,80 kg/jam

Output Massa

Tabel 3. Kebutuhan batubara

Coal	Kg/jam
SP	14.314,43
<i>Kiln</i>	9.900

Neraca Massa Material Di SP

1. Udara Tersier

Tabel 4. Komposisi dan laju massa SP *feed*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
SiO ₂	13,58	41.040,44
Al ₂ O ₃	3,94	11.909,03
Fe ₂ O ₃	3,08	9.309,60
CaCO ₃	77,68	234.791,01
MgCO ₃	1,72	5.204,91
Total	100,00	305.255,00

Tabel 5. SP *feed* yang menjadi *clinker*

Komponen	Komposisi	Laju
----------	-----------	------

	(%Berat)	massa (kg/jam)
SiO ₂	13,58	32.605,13
Al ₂ O ₃	3,94	9.461,29
Fe ₂ O ₃	3,08	7.396,14
CaCO ₃	77,68	186.532,87
MgCO ₃	1,72	4.135,11
Total	100,00	240.130,54

Tabel 6. Komposisi dan laju massa umpan batubara kering SP

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
C	67,54	9.013,45
H	7,98	1.064,96
O	16,57	2.211,32
S	0,54	72,06
N	1,23	164,15
Ash	6,14	819,40
Total	100,00	13.345,34

Tabel 7. Komposisi dan laju massa batubara SP *feed*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
C	67,54	9.013,45
H	7,98	1.064,96
O	16,57	2.211,32
S	0,54	72,06
N	1,23	164,15
SiO ₂	2,44	325,56
Al ₂ O ₃	1,25	167,01
Fe ₂ O ₃	0,33	43,84
CaO	1,74	232,39
MgO	0,05	7,10
SO ₃	0,33	43,50
Total	100,00	13.345,34

Tabel 8. Komposisi dan laju massa udara *primary fan* SP

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
H ₂ O	1,48	154,29
O ₂	22,96	2.396,67
N ₂	75,56	7.889,04
Total	100,00	10.440

Tabel 9. Komposisi dan laju massa udara pembawa batubara SP

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
----------	--------------------	---------------------

H ₂ O	1,48	66
O ₂	22,96	1.025,24
N ₂	75,56	3.374,76
Total	100,00	4.466

Neraca Massa Di Kiln

2. Udara Sekunder

Tabel 10. Komposisi dan laju massa *Kiln feed*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
SiO ₂	20,12	32.930,69
Al ₂ O ₃	5,88	9.628,30
Fe ₂ O ₃	4,55	7.439,98
CaCO ₃	9,35	15.295,69
MgCO ₃	0,21	339,08
CaO	58,75	96.125,21
MgO	1,11	1.814,73
SO ₃	0,03	43,50
Total	100,00	163.617,19

Tabel 11. Komposisi dan laju massa umpan batubara kering *Kiln*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
C	67,54	6.233,79
H	7,98	736,54
O	16,57	1.529,37
S	0,54	49,84
N	1,23	113,53
Ash	6,14	566,70
Total	100,00	9.229,77

Tabel 12. Komposisi dan laju massa batubara *Kiln*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
C	67,54	6.233,79
H	7,98	736,54
O	16,57	1.529,37
S	0,54	49,84
N	1,23	113,53
SiO ₂	2,44	225,16
Al ₂ O ₃	1,25	115,50
Fe ₂ O ₃	0,33	30,32
CaO	1,74	160,72
MgO	0,05	4,91
SO ₃	0,33	30,09
Total	100,00	9.229,77

Tabel 13. Komposisi dan laju massa udara *primary fan Kiln*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
H ₂ O	1,48	240
O ₂	22,96	3.728,15
N ₂	75,56	12.271,84
Total	100,00	16.239,99

Tabel 14. Komposisi dan laju massa udara *Nose Ring*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
H ₂ O	1,48	154,29
O ₂	22,96	2.396,67
N ₂	75,56	7.889,04
Total	100,00	10.440

Tabel 15. Komposisi dan laju massa udara pembawa batubara *Kiln*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
H ₂ O	1,48	66
O ₂	22,96	1.025,24
N ₂	75,56	3.374,76
Total	100,00	4.466

Tabel 16. Komposisi dan laju massa udara sekunder

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
H ₂ O	1,48	1.172,06
O ₂	22,96	17.893,39
N ₂	75,56	59.071,63
Total	100,00	78.137,08

Tabel 17. Komposisi dan laju massa gas buang *Kiln*

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
CO ₂	23,74	29.764,94
SO ₂	0,08	99,68
NO ₂	0,30	373,03
H ₂ O	7,11	8.931,44
N ₂	65,77	82.607,27
O ₂	3,00	3.747,72
Total	100,00	125.524,08

Tabel 18. Komposisi dan laju massa udara tersier

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
----------	--------------------	---------------------

H ₂ O	1,48	2.246,05
O ₂	22,96	34.289,71
N ₂	75,56	113.200,96
Total	100,00	149.736,72

Tabel 19. Komposisi dan laju massa gas buang SP

Komponen	Komposisi (%Berat)	Laju massa (kg/jam)
CO ₂	23,74	140.147,01
SO ₂	0,08	243,80
NO ₂	0,30	912,38
H ₂ O	7,11	21.951,51
N ₂	65,77	207.072,03
O ₂	3,00	10.667,85
Total	100,00	380.994,58

3. Udara Cooler Menuju EP

Udara buang
 = Udara pendingin – udara sekunder – udara tersier
 = 333.592,80 - 78.137,08 - 149.736,72
 = 105.719 kg/jam

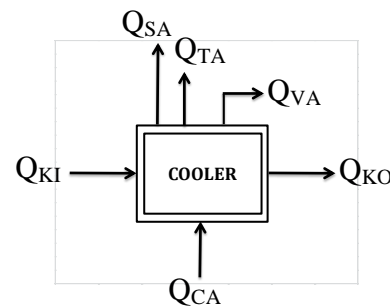
4. Clinker Keluar Cooler

Clinker keluar Cooler
 = Clinker masuk Cooler
 = 183.750 kg/jam

Tabel 20. Neraca massa di Cooler

Aliran	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
<i>Clinker</i> masuk	183.750	-
<i>Cooler</i> Udara pendingin	333.592,80	-
Udara sekunder	-	78.137,08
Udara tersier	-	149.736,72
Udara Cooler ke EP	-	105.719
<i>Clinker</i> keluar	-	183.750
Total	517.342,80	517.342,80

3.2.2. Neraca Panas



Gambar 3. Diagram alir panas di Cooler

Input Panas

1. Panas Sensible Clinker Keluar Kiln

Untuk menghitung panas sensible clinker keluar Kiln maka digunakan persamaan :

$$Q_{KI} = m \cdot C_{pc} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat clinker
 = 183.750 kg/jam

Temperatur = 1300°C

Temperatur referensi = 30°C

$\Delta T = (1300 - 30)^\circ C = 1270^\circ C$

C_{pc} = 0,255 kkal/kg°C

Jadi :

$$\begin{aligned} Q_{KI} &= m \cdot C_{pc} \cdot \Delta T \\ &= 183.750 \times 0,255 \times 1270 \\ &= 59.507.437,50 \text{ kkal} \end{aligned}$$

2. Panas Sensible Udara Pendingin

Untuk menghitung panas sensible udara pendingin maka digunakan persamaan :

$$Q_{CA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat udara masuk
 = 333.592,80 kg/jam

Temperatur = 35°C

Temperatur referensi = 30°C

$\Delta T = (35 - 30)^\circ C = 5^\circ C$

C_{pu} = 0,235 kkal/kg°C

Jadi :

$$\begin{aligned} Q_{CA} &= m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T \\ &= 333.592,80 \times 0,235 \times 5 \\ &= 391.971,54 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Output Panas

1. Panas Sensible Udara Sekunder

Untuk menghitung panas sensible udara sekunder maka digunakan persamaan :

$$Q_{SA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat udara sekunder kering
 = 78.137,08 kg/jam

Temperatur = 950°C

Temperatur referensi = 30°C
 $\Delta T = (950 - 30)^\circ\text{C} = 920^\circ\text{C}$
 $C_{pu} = 0,246 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$
 Jadi :
 $Q_{SA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$
 $= 78.137,08 \times 0,246 \times 920$
 $= 17.683.983,95 \text{ kkal}$

2. Panas Sensible Udara Tersier

Untuk menghitung panas sensible udara tersier maka digunakan persamaan :

$$Q_{TA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat udara tersier kering
 $= 149.736,72 \text{ kg/jam}$

Temperatur = 850°C
 Temperatur referensi = 30°C
 $\Delta T = (850 - 30)^\circ\text{C} = 820^\circ\text{C}$
 $C_{pu} = 0,250 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

Jadi :

$$Q_{TA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

$$= 149.736,72 \times 0,250 \times 820$$

$$= 30.696.027,60 \text{ kkal}$$

3. Panas Sensible Udara Buang

Untuk menghitung panas sensible udara tersier maka digunakan persamaan :

$$Q_{VA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat udara buang kering
 $= 105.719 \text{ kg/jam}$
 Temperatur = 250°C
 Temperatur referensi = 30°C
 $\Delta T = (250 - 30)^\circ\text{C} = 220^\circ\text{C}$
 $C_{pu} = 0,242 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

Jadi :

$$Q_{VA} = m \cdot C_{pu} \cdot \Delta T$$

$$= 105.719 \times 0,242 \times 220$$

$$= 5.628.479,56 \text{ kkal}$$

4. Panas Sensible Clinker Keluar Cooler

Untuk menghitung panas sensible *clinker* keluar *Cooler* maka digunakan persamaan :

$$Q_{KO} = m \cdot C_{pc} \cdot \Delta T$$

Dengan :

m = Berat *clinker* keluar *Cooler*
 $= 183.750 \text{ kg/jam}$
 Temperatur = 100°C
 Temperatur referensi = 30°C
 $\Delta T = (100 - 30)^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$
 $C_{pc} = 0,185 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

Jadi :

$$Q_{KO} = m \cdot C_{pc} \cdot \Delta T$$

$$= 183.750 \times 0,185 \times 70$$

$$= 2.371.792,50 \text{ kkal}$$

Tabel 21. Neraca panas pada *Cooler*

Aliran Panas	Input (Kkal)	Output (Kkal)
KI	59.507.437,50	-
CA	391.971,54	-
SA	-	17.683.983,95
TA	-	30.696.027,60
VA	-	5.628.479,56
KO	-	2.371.792,50
Jumlah	59.899.409,04	56.380.283,61
Panas hilang	-	3.519.125,43
Total	59.899.409,04	59.899.409,04

3.2.3. Menghitung Panas Yang Hilang Pada Cooler

Untuk menghitung panas yang hilang maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_R = \text{Input} - \text{Output}$$

Jadi :

$$Q_R = \text{Input} - \text{Output}$$

$$= (Q_{KI} + Q_{CA}) - (Q_{SA} + Q_{TA} + Q_{VA} + Q_{KO})$$

$$= 59.899.409,04 - 56.380.283,61$$

$$= 3.519.125,43 \text{ kkal}$$

3.2.4. Efisiensi Panas Yang Hilang

Untuk menghitung efisiensi panas yang hilang digunakan persamaan :

$$\eta_p = \frac{\text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas}} \times 100 \%$$

Jadi :

$$\eta_p = \frac{\text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.519.125,43}{59.899.409,04} \times 100 \%$$

$$= 5,87 \%$$

3.2.5. Efisiensi Termal Sistem Dari Cooler (η_{ts})

Untuk menghitung efisiensi termal sistem dari *Cooler* (η_{ts}) digunakan persamaan :

$$\eta_{ts} = \frac{\text{Total panas input} - \text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas input}} \times 100 \%$$

Jadi :

$$\eta_{ts} = \frac{\text{Total panas input} - \text{Panas yang hilang}}{\text{Total panas input}} \times 100 \%$$

$$= \frac{59.899.409,04 - 3.519.125,43}{59.899.409,04} \times 100 \%$$

$$= \frac{56.380.283,61}{59.899.409,04} \times 100 \%$$

$$= 94,12 \%$$

3.2.6. Efisiensi Termal Reaksi Dari Cooler (η_{tr})

Untuk menghitung efisiensi termal reaksi dari *Cooler* (η_{tr}) dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{tr} = \frac{Q_{KI} - (Q_{VA} + Q_{KO} + Q_R)}{Q_{KI}} \times 100 \%$$

Dengan :

$$Q_{KI} = 59.507.437,50 \text{ kkal}$$

$$Q_{VA} = 5.628.479,56 \text{ kkal}$$

$$Q_{KO} = 2.371.792,50 \text{ kkal}$$

$$Q_R = 3.519.125,43 \text{ kkal}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \eta_{tr} &= \frac{Q_{KI} - (Q_{VA} + Q_{KO} + Q_R)}{Q_{KI}} \times 100 \\ &= \frac{47.988.040,01}{59.507.437,50} \times 100 \% \\ &= 80,64 \% \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan di PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. dan perhitungan neraca massa dan neraca panas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya panas yang hilang sebesar 5,87 %
2. Besarnya efisiensi termal sistem dari *Cooler* sebesar 94,12 %
3. Besarnya efisiensi termal reaksi dari *Cooler* sebesar 80,64 %

Maka dengan nilai efisiensi termal seperti memberikan kesimpulan bahwa kerja *Clinker Cooler* masih sangat baik dan benar-benar layak untuk digunakan di dalam proses produksi semen.

4.2. Saran

Setelah melaksanakan serangkaian kegiatan kerja praktek dan melakukan pengamatan, Penulis mempunyai beberapa saran yang ingin disampaikan diantaranya :

1. Agar tetap menjaga nilai efisiensi termal tersebut agar kerja alat baik dan menghasilkan produk yang bagus dan baik juga.
2. Keselamatan kerja pada wilayah pabrik sangat perlu diperhatikan, terutama pada bagian atau area kerja yang tampak visualnya mengalami korosi, sehingga masih perlu peningkatan kedisiplinan mengenai keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Haryanto, "Kendali Proses *Grate Cooler* Plant 8 *Grate* 1," *J. Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 51–70, 2017.
- [2] K. Anwar, "Analisis Perpindahan Panas Pada *Grate Cooler* Industri

Semen," *Mektek*.

- [3] P. Setyo and S. Sugiharto, "Pemodelan Perpindahan Panas Proses Pendinginan Terak Semen Dalam *Grate Cooler*," *Mesin*, vol. XIX, no. 1, pp. 31–36.
- [4] J. O. Maloney, D. Ph, and C. Engineering, *Perry's Chemical Engineers Handbook Seventh Edition*.
- [5] M. Miftah, F. Makmur, and A. T. Wibisono, "Analisis Kegagalan Komponen Driver Plate dalam *Cooler Clinker* Pada Unit Tuban I PT . Semen Indonesia Tbk .," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. F387–F391, 2017.
- [6] W. M. Rohsenow and J. R. Hartnett, *Handbook Of Heat Transfer*.
- [7] M. Pratiwi And Safaruddin, "Efisiensi *Clinker Cooler* Di Pt Semen Baturaja (Persero) Tbk," *J. Pengetah. Ilmu Terap.*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [8] Phillip A. Alsop, *Cement Plant Operations Handbook Third Edition (Pdfdrive).pdf*. 2001.
- [9] A. M. KESUMA and Safaruddin, "Analisa Kinerja Alat Vertical *Raw Mill* Pabrik Ii Pt Semen Baturaja Tbk. Ditinjau Dari Efisiensi Termalnya," *J. Terap. Internsh. multidisiplin*, vol. 1, no. 10, 2022.
- [10] S. Uddin, "Menghitung Nilai Efisiensi Termal Pada Alat *Grate Cooler* Di PT . Semen Baturaja (Persero) Tbk .," *Jiran*, vol. 2, no. December, p. 1, 2021.
- [11] B. Setiyana, "Analisis Unjuk Kerja *Grate Clinker Cooler* Pada Proses Produksi Semen," *Rotasi*, vol. 9, no. 3, pp. 19–26, 2007.
- [12] M. P. Niko, P. Fahrhan, and B. Umbara, "Analisis Efisiensi Kinerja Alat Separator Pada Proses *Raw Mill* Pabrik Ii Pt . Semen Baturaja (Persero) Tbk . Dampak Perkembangan dan Proses Pembuatan Semen pada ... Dalam era industri semen di Indonesia yang

- modern , dunia industri produk-produk diindust,” *jurmal Multidisipliner BHARASUMBA*, vol. 1, no. 3, pp. 422–429, 2022.
- [13] B. Hartono *et al.*, “Analisa Kerusakan Bearing Suspention Preheater *Fan* Berbasis Data Temperatur Dan Vibras,” Pp. 84–86.
- [14] M. Syawal, R. S. Mulyono, and E. Anugrah, “Meningkatkan Performa Gas Analyzer *Kiln* Inlet Pada Industri Semen,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin*, pp. 1053–1059, 2019.
- [15] W. S. Dewi and Safaruddin, “Menghitung Efisiensi Alat Vertical Cement Mill Motor Di Pabrik II PT . Semen Menghitung Efisiensi Alat Vertical Cement Mill Motor Di Pabrik II PT . Semen Baturaja (Persero) Tbk Ditinjau Dari Laju Alir Dan Daya,” *JIMPIT*, vol. 3, no. 1, 2021.