

ANALISIS PERHITUNGAN HEAT LOSS ALIRAN PIPA 471 FN03 PADA KELUARAN PREHEATER MENUJU COAL MILL PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG

Nuzulul Ardan Akbari¹, Cintiya Septa Hasannah²

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
1910631230036@student.unsika.ac.id; cintiya.septa@ft.unsika.ac.id

Abstrak

PT Semen Gresik Pabrik Rembang merupakan salah satu perusahaan manufaktur semen terbesar di Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Perusahaan ini memiliki kapasitas terpasang sebesar 3.000.000 ton/tahun. Proses utama yang terjadi dalam pembuatan semen yaitu pembakaran yang terjadi di preheater dan kiln pada temperatur tinggi hingga mencapai 1450°C sehingga menghasilkan udara panas yang akan digunakan sebagai media pengeringan salah satunya pada alat coal mill. Akan tetapi terdapat sebuah permasalahan, yaitu suhu udara panas yang masuk menuju coal mill mengalami penurunan selama distribusi pada aliran pipa 471 FN03 yang berasal dari keluaran preheater. Hal ini diyakini akan mempengaruhi proses pengeringan batu bara yang membuat jalannya proses tersebut menjadi lebih lambat. Diperlukan analisis perhitungan heat loss pada aliran pipa 471 FN03 untuk mengetahui kerugian yang terjadi akibat hilangnya energi. Hasil perhitungan yang dilakukan menjelaskan perpindahan panas yang terjadi sebesar 30,88 kW dengan total hambatan panas sebesar 0,011 k/W. Isolasi pipa yang digunakan mempunyai nilai jari-jari kritis 6,52 m atau lebih besar dari jari-jari lapisan isolasi 1,12 m menandakan pemilihan isolasi pipa cukup baik dalam menangani hambatan panas tapi tidak dengan perpindahan panas.

Kata kunci: heat loss, perpindahan panas, analisis perhitungan, hambatan panas

Abstract

PT Semen Gresik Rembang Factory is one of Indonesia's largest cement manufacturing companies, located in Rembang Regency, Central Java. The company has an installed capacity of 3,000,000 tons/year. The main process that occurs in the manufacture of cement is combustion which occurs in a preheater and kiln at high temperatures up to 1450°C to produce hot air which will be used as a drying medium, one of which is in the tool coal mill. However, there is a problem, namely the temperature of the hot air that the inlet coal mill experienced a decrease during distribution in the 471 FN03 pipe flow originating from the preheater output. This is believed to affect the coal drying process which makes the process slower. Calculation analysis is required for heat loss on the flow of pipe 471 FN03 to find out the losses that occur due to energy loss. The results of the calculations carried out explain that the heat transfer that occurs is 30.88 kW with a total heat resistance of 0.011 k/W. The pipe insulation used has a critical radius value of 6.52 m or greater than the radius of the insulation layer of 1.12 m indicating that the selection of pipe insulation is good enough to handle heat resistance but not heat transfer.

Keywords: heat loss, heat transfer, calculation analysis, heat resistance

1. PENDAHULUAN

PT Semen Gresik Pabrik Rembang merupakan salah satu perusahaan manufaktur semen terbesar di Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Perusahaan ini memiliki kapasitas terpasang sebesar 3.000.000 ton/tahun dengan menggunakan teknologi ramah lingkungan. Pabrik ini dibangun pada tahun 2014 dan selesai pada tahun 2017. Dalam proses pembangunan pabrik, perusahaan mengadopsi pendekatan berkelanjutan yang menggabungkan inovasi teknologi dengan perlindungan lingkungan. Teknologi yang digunakan dalam memproduksi semen juga menggunakan teknologi yang modern, seperti

reduksi emisi gas rumah kaca dengan mengadopsi sistem pemulihan panas untuk meningkatkan efisiensi energi. Limbah yang dihasilkan selama proses produksi juga akan melewati proses tertentu sebelum dilepas ke lingkungan atau dikonversi menjadi bahan baku baru, seperti penggunaan *fly ash* atau abu terbang sebagai substitusi parsial semen.

Proses pembakaran bahan baku menjadi clinker adalah proses utama pada industri semen, rangkaian proses ini dimulai dari pembakaran awal pada *preheater* dan pembakaran utama pada *kiln*. Dimana proses pembakaran ini terjadi pada temperatur tinggi mencapai 1450°C dan menghasilkan udara panas akibat dari proses pembakaran. Udara panas ini lah yang akan digunakan sebagai media pengeringan pada alat *raw mill*, *finish mill*, dan *coal mill*. Udara panas baik yang dihasilkan oleh *preheater* maupun *kiln* tercatat pada bagian CCR (*Center Control Room*) sehingga diketahui suhu dan tekanan dari aliran udara tersebut. Udara panas yang berasal dari outlet *preheater* akan dialirkan menuju inlet *coal mill* untuk dimanfaatkan sebagai media pengeringan. Permasalahan yang terjadi yaitu temperatur udara yang akan masuk sebagai media pendingin pada alat *coal mill* lebih rendah dari temperatur udara dari outlet *preheater*, sehingga dapat diketahui telah terjadi kehilangan panas pada aliran tersebut. Hal ini diyakini akan mempengaruhi proses pengeringan batu bara yang membuat jalannya proses tersebut menjadi lebih lambat. Oleh karena itu, dengan dilakukan analisis *heat loss* pada aliran udara panas dari outlet *preheater* menuju inlet *coal mill* dapat memberikan informasi penanganan perpindahan panas yang terjadi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Pengambilan Data

Data yang diperoleh dalam menyelesaikan tugas persoalan pada tugas khusus ini berasal dari data lapangan, CCR (*Central Control Room*), dan data literatur pendukung seperti buku. Data yang berasal dari lapangan dan CCR merupakan data yang diperoleh selama melaksanakan kerja praktek melalui observasi langsung atau diskusi dengan pembimbing lapangan dan operator, data ini secara umum meliputi spesifikasi pipa aliran 471 FN03 dan data distribusi gas panas keluaran dari *preheater* yang akan didistribusikan menuju *coal mill*. Sedangkan data literatur digunakan sebagai data pendukung yang diperoleh dari buku dan internet mengenai persamaan, ketetapan, konstanta, dan nilai variabel yang diperlukan untuk menyelesaikan perhitungan dan analisis data.

b. Penyelesaian Masalah

Operator CCR yang bertugas untuk memonitor gas panas keluaran dari *preheater* dari proses pembakaran awal yang akan dijadikan sebagai media pengeringan pada alat *coal mill*. Adanya penurunan suhu di dalam pipa distribusi akan mengakibatkan proses pengeringan menjadi lebih lama sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui panas yang hilang selama proses distribusi gas panas dan kerugian energi panas yang diakibatkan. Selain spesifikasi pipa, kinerja dari isolasi pipa juga cukup penting dalam menahan panas supaya tidak hilang. Data desain pipa dan isolasi pipa yang digunakan PT Semen Gresik Pabrik Rembang dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini:

Tabel 2. 1 Spesifikasi pipa 471 FN03

Pipa	
Nama aliran	471 FN03
Material pipa	<i>Carbon steel</i>
Panjang pipa	186 m
Diameter luar (OD)	2240 mm
Diameter dalam (ID)	2232 mm
Jari-jari dalam	1116 mm

Ketebalan	8 mm
<i>Thermal conductivities</i>	43 W/m k

Tabel 2. 2 Spesifikasi lapisan pipa

Lapisan	keterangan	k (W/m k)	t (mm)
1	<i>Carbon steel</i>	43	8
2	<i>Rockwool</i>	0,0415	50
3	Aluminium	237	1

Tabel 2. 3 Jari – jari tiap lapisan

Jari-jari	mm	m
r1	1116	1,116
r2	1124	1,124
r3	1174	1,174
r4	1175	1,175

Data spesifikasi pipa dan spesifikasi tiap lapisan yang diperoleh dari perusahaan seperti material pipa, panjang pipa, diameter pipa, dan ketebalan pipa, sedangkan konduktivitas termal suatu material dapat diketahui pada Appendix 2 tabel 10 di buku *Principle Heat Transfer*. (Kaviany & Kanury, 2002)

Perhitungan heat loss juga membutuhkan data aktual yang terjadi di lapangan, dimana data yang diperlukan adalah data pengamatan distribusi gas panas outlet preheater dan inlet coal mill yang diambil pada tanggal 1 Juli 2023 selama 24 jam.

Perhitungan *heat loss* juga membutuhkan data aktual yang terjadi di lapangan, dimana data yang diperlukan adalah data pengamatan distribusi gas panas outlet *preheater* dan inlet *coal mill* yang diambil pada tanggal 1 Juli 2023 selama 24 jam, di mana temperatur udara panas yang keluar dari *preheater* rata-rata sebesar 387,9°C sedangkan temperatur udara panas yang masuk menuju *coal mill* dihari tersebut rata-rata sebesar 351,6°C.

Tabel 2. 4 Thermophysical properties of air atau udara

Notasi	$T_{f1} : 482 \text{ K}$		$T_{f2} : 464 \text{ K}$	
	Nilai	Satuan	Notasi	Nilai
ρ	0,7243	Kg/m ³	0,7522	Kg/m ³
C_p	1,0267	kJ/kg.K	1,0207	kJ/kg.K
ν	$36,486 \times 10^{-6}$	m ² /s	$34,18 \times 10^{-6}$	m ² /s
α	$53,28 \times 10^{-6}$	m ² /s	$49,86 \times 10^{-6}$	m ² /s
k	$39,476 \times 10^{-3}$	W/m.K	$38,252 \times 10^{-3}$	W/m.K
Pr	0,684	-	0,685	-

Data properti udara didapatkan dari interpolasi data yang terdapat pada Appendix A Table A.4 buku *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seven Edition* halaman 995. Nilai temperatur film (T_{f1}) pada 482 K untuk outlet preheater, sedangkan T_{f2} pada 464 K untuk inlet coal mill. (Theodore, Andrienne, Frank, & David, 2011)

Analisis Heat Loss

Heat loss merupakan perpindahan energi yang terjadi dari satu objek ke objek lainnya karena adanya perbedaan temperatur. Jika pada sebuah sistem terdapat gradien temperatur maka akan terjadi perpindahan energi dalam bentuk kalor atau panas (*heat*). Hal tersebut terjadi dikarenakan kecenderungan sistem alam semesta ini menuju ke arah yang setimbang. Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga metode yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Metode konduksi terjadi karena perpindahan panas melalui sentuhan langsung dua buah objek yang memiliki perbedaan temperatur. Metode konveksi merupakan perpindahan panas

melalui aliran fluida seperti zat cair atau gas. Metode radiasi dapat terjadi melalui gelombang elektromagnetik tanpa melibatkan partikel. (Holman, 2010)

Metode perpindahan yang terjadi pada permasalahan tugas khusus ini terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada lapisan dinding pipa, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi pada aliran fluida di dalam dan di luar pipa terhadap dinding dalam dan luar pipa.

Perhitungan untuk mencari perpindahan panas yang terjadi pada aliran pipa 471 FN03 dapat didefinisikan melalui persamaan berikut (Theodore, Andrienne, Frank, & David, 2011):

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{T_0 - T_\infty}{R_{total}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan, ΔT = perbedaan suhu sistem dan R_{total} adalah resistansi/hambatan kalor yang didapatkan dari penjumlahan Resistansi konduksi ditambah konveksi.

$$R_{total} = R_{konduksi} + R_{konveksi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Besarnya $R_{konduksi}$ dan $R_{konveksi}$ dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini (Theodore, Andrienne, Frank, & David, 2011) (Cengel, 2002):

$$R_{konduksi} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi k_3 L} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$R_{konveksi} = \frac{1}{(2\pi r_1 L)h_1} + \frac{1}{(2\pi r_1 L)h_2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Persamaan (2.3) dan (2.4) memerlukan nilai konduktivitas termal untuk konduksi dan koefisien konveksi udara yang terjadi secara konveksi. Nilai konduktivitas termal untuk masing-masing material besarnya relatif konstan terhadap perubahan temperatur, sedangkan nilai koefisien konveksi besarnya berubah terhadap perubahan temperatur sehingga perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu.

Nilai konduktivitas termal (k) dan koefisien konveksi (h) memiliki hubungan yang dapat dilihat pada persamaan dibawah ini (Theodore, Andrienne, Frank, & David, 2011):

$$h = \frac{Nu_D k}{D} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan, Nu = Nusselt number dan D = diameter pipa.

Nilai Nu_D yang digunakan untuk kasus perpindahan panas yang terjadi pada pipa dapat melihat persamaan yang direkomendasikan oleh Churchill sebagai berikut (Churchill & Chu, 1975):

$$Nu_D = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0,559/Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 Ra_D \lesssim 10^{12} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan, Ra = rayleigh number dan Pr = prandtl number. Besarnya nilai Ra dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut (Theodore, Andrienne, Frank, & David, 2011):

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty) D^3}{\alpha\nu} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan,

g (m^2/s) : Percepatan gravitasi

β (K^{-1}) : $1/T_f$

- T_s (K) : Temperatur sistem
- T_∞ (K) : Temperatur lingkungan
- D (m) : Diameter pipa
- α : Difusivitas termal
(m^2/s)
- ν (m^2/s) : Difusivitas momentum

Nilai T_f (temperatur film) digunakan untuk mencari data-data propertis dari udara yang keluar dari *preheater* dan udara yang akan masuk ke *coal mill*. T_f dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$T_f(K) = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Setelah semua nilai sudah diketahui selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menjumlahkan resistansi atau hambatan panas, baru setelah itu gunakan persamaan (2.1) untuk menemukan total *heat loss* atau perpindahan panasnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *heat loss* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja termal pipa yang digunakan sebagai tempat pendistribusian gas panas. Gas panas yang dihasilkan dari *preheater* akan dimanfaatkan sebagai media pengeringan pada proses yang terjadi di *coal mill*, dengan demikian gas panas harus dikondisikan supaya energi panas tidak hilang selama perjalanan. Data hasil perhitungan yang didapatkan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. 1 Hasil perhitungan pipa aliran 471 FN03

Notasi	Keterangan	Nilai	Satuan
$R_{konduksi}$	Hambatan konduksi	$0,8975 \times 10^{-3}$	K/W
T_{f1}	Temperatur film outlet preheater	482	$^{\circ}K$
Ra_1	Rayleigh Number	$41,628 \times 10^9$	-
Nu_1	Nusselt Number	374,63	-
h_1	Koefisien konveksi udara outlet preheater	6,626	$W/m^2 K$
T_{f2}	Temperatur film inlet coal mill	464	$^{\circ}K$
Ra_2	Rayleigh Number	$44,343 \times 10^9$	-
Nu_2	Nusselt Number	382,485	-
h_2	Koefisien konveksi udara inlet coal mill	6,555	$W/m^2 K$
$R_{konveksi}$	Hambatan konveksi	$10,1062 \times 10^{-3}$	K/W
R_{total}	Hambatan total	$11,0037 \times 10^{-3}$	K/W
q	Heat loss	30,88	kW
R_c	Critical insulation thickness	6,525	m

Maka, selama perjalanan gas panas yang keluar dari *preheater* menuju *coal mill* mengalami kehilangan panas (*heat loss*) sebesar 30,88 kW atau 30,88 kJ.

Pembahasan

Gas panas dari hasil pembakaran yang terjadi di *preheater* mengalami penurunan suhu yang dapat dilihat pada data pengamatan yang terjadi pada tanggal 1 Juli 2023. Panas yang hilang tersebut dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti kehilangan longitudinal yang disebabkan oleh gesekan antara pipa dengan fluida dan kehilangan lokal yang disebabkan oleh belokan dan naik turunnya aliran fluida.

Panas yang hilang dapat diminimalisir dengan cara menambahkan lapisan isolasi pada pipa. Isolasi merupakan material yang membungkus pipa dengan tujuan untuk mengurangi laju perpindahan panas dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi. Sehingga tujuan dari lapisan isolasi ini diharapkan dapat menurunkan resistensi termal dan perpindahan panas yang terjadi. Untuk mengetahuinya dapat dilihat dari perhitungan jari-jari kritis, hasil perhitungan

mendapatkan nilai jari-jari kritis sebesar 6,525 m atau 6.252 mm, sedangkan jari-jari luar pipa sebesar 1124 mm atau lebih kecil dari nilai jari-jari kritisnya. Hal ini mengartikan bahwa penambahan tebal isolasi akan menurunkan resistensi termal tetapi tidak dengan perpindahan panas. Adapun selama pengoperasian *thermal resistance* yang terjadi di dalam pipa sebesar $11,0037 \times 10^{-3}$ k/W dan *heat loss* sebesar 30,88 kW.

Kehilangan panas merupakan fenomena umum yang dapat terjadi pada suatu sistem perpipaan. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkontribusi hingga terjadi kehilangan panas. Jika terjadi perpindahan panas pada suatu aliran pipa, beberapa hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi atau mengoptimalkan fenomena tersebut seperti, melakukan identifikasi sumber masalah. Sumber masalah ini dapat berasal dari isolasi yang buruk karena hal ini akan menyebabkan panas yang seharusnya dialirkan melalui pipa namun ke lingkungan sekitar dan mengakibatkan kerugian. Lalu, pastikan pipa terbebas dari kotoran, kerak, atau endapan yang dapat menghalangi jalannya aliran fluida. Periksa juga apakah ada kebocoran pada pipa, jika ada segera perbaiki atau ganti bagian tersebut karena selain menyebabkan kehilangan energi juga dapat membahayakan keselamatan lingkungan dan para pekerja. Setelah langkah-langkah tersebut sudah dilakukan, pantau secara berkala kinerja dari pipa, isolasi, dan tingkat perpindahan panasnya dan jika diperlukan lakukan perbaikan dari hasil evaluasi yang terjadi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kasus yang terjadi di PT Semen Gresik Pabrik Rembang dari hasil perhitungan dan pembahasan mengenai perhitungan *heat loss* yang terjadi pada aliran 471 FN03, memiliki beberapa kesimpulan yaitu, diketahui perpindahan panas yang terjadi pada aliran 471 FN03 sebesar 30879,73 W atau 30,88 kW. Dan total hambatan panas yang terjadi sebesar 0,011 k/W. Pemilihan isolasi pipa cukup baik dalam menangani hambatan termal tapi tidak dengan perpindahan panas karena besar nilai jari-jari kritis (R_c) lebih besar dari jari-jari luar (r_2). Dimana nilai r_2 sebesar 1124 mm dan nilai R_c sebesar 6525 mm

5. DAFTAR PUSTAKA

- M. Kaviany and A. Kanuary. *Correlation Equations for Laminar and Tubulent Free Convection From a Horizontal Cylinder*1975*International Journal of Heat and Mass Transfer*
- L. B. Theodore, S. L. Andrienne, P. I. Frank and P. D. David. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*2011*United States of America*John Wiley & Sons
- Y. A. Cengel. *Heat Transfer : A Practical Approach*2002*Journal of Chemical Information and Modeling*
- J. P. Holman. *Heat Transfer*, 10th Edition2010
- S. W. Churchill and H. S. Chu. *Principles of Heat Transfer*2002*Applied Mechanics Reviews*