



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**ANALISIS TERMAL PADA KILN DI  
PT KERAMIK DIAMOND INDUSTRIES BAMBE  
DRIYOREJO**

**HAYU RARA FEBBY HAPSARI  
NRP 2113 105 017**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E.**

**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER  
SURABAYA  
2015**



**FINAL PROJECT- TM 141585**

**ANALYSIS THERMAL FOR KILN IN THE  
PT KERAMIK DIAMOND INDUSTRIES  
BAMBE DRIYOREJO  
HAYU RARA FEBBY HAPSARI  
NRP 2113 105 017**

**Supervisor  
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E.**

**Mechanical Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2015**

# **ANALISIS TERMAL PADA KILN DI PT. KERAMIK DIAMOND INDUSTRIES**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Konversi Energi

Program Studi Lintas Jalur S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HAYU RARA FEBBY HAPSARI**

NRP. 2113 105 017

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.T. .... (Pembimbing)  
(NIP. 195312191981031001)
2. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsan, M.Eng ..... (Penguji I)  
(NIP. 195310191979031002)
3. Ary Bachtiar K.P, ST. MT. Ph.D ..... (Penguji II)  
(NIP. 197105241997021001)
4. Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT ..... (Penguji III)  
(NIP. 197301161997021001)

**SURABAYA**  
**Desember, 2015**

# **ANALISIS TERMAL PADA KILN DI PT KERAMIK DIAMOND INDUSTRIES**

**Nama**

: Hayu rara febby hapsari

**NRP**

: 2113105017

**Jurusan**

: Teknik Mesin FTI-ITS

**Dosen Pembimbing**

: Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo,  
M.E.

## **Abstrak**

*Seiring dengan kemajuan teknologi keramik dan banyaknya permintaan konsumen maka banyak didirikan pabrik-pabrik yang memproduksi keramik seperti PT. Keramik Diamond Industries. Penggunaan energi pada mesin kiln ini meliputi energi untuk proses pembakaran. Biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi pada sebuah pabrik keramik berkisar 30 % dari total biaya produksi keramik (Erlin Tanoyo, Sekjen ASAKI). Jika biaya untuk konsumsi ini dapat ditekan maka keuntungan perusahaan dapat ditingkatkan. Oleh karena itu diperlukan analisis termal untuk mengetahui berapa besar beban termal yang terjadi pada mesin kiln tersebut, banyaknya konsumsi LNG yang digunakan dan berapa besar efisiensi yang dapat diperoleh.*

*Dari data operasi PT. Keramik Diamond Industries diperoleh laju alir massa keramik 5463,82 kg/jam, massa alir LNG 52,856 kg/jam, speedy cooling air 505,566 kg/jam dan massa alir final cooling air 1013,389 kg/jam. Untuk mengetahui pengaruh massa alir keramik dan LNG terhadap heat losses yang terjadi dan efisiensi kiln, dilakukan analisis pada saat massa alir keramik 5124,133 kg/jam, 5224,933kg/jam, 5160 kg/jam, 5494,933 kg/jam dan 5463,82 kg/jam. Analisis dilakukan dengan konservasi massa dan energi pada Kiln. Untuk analisis perpindahan panas kiln dibagi menjadi 5 zona yaitu zona prekiln, preheating, firing, speedy cooling dan final cooling dengan panjang kiln 84 m.*

*Analisis termodinamika pada kiln di PT. Keramik Diamond Industries menghasilkan efisiensi termal 39,33%*

*dengan heat losses berupa gas buang sebesar 506,469 kW dan heat losses ke lingkungan sebesar 65,09 kW. Analisis perpindahan panas untuk menaksir heat losses yang terjadi yaitu sebesar 62 kW, heat losses tertinggi berada pada zona firing yaitu sebesar 34,64 kW.*

**Kata kunci:** Industri Keramik, Kiln, Konservasi energi, Heat Losses

# **ANALYSIS THERMAL FOR KILN IN THE PT KERAMIK DIAMOND INDUSTRIES**

**Name**

**: Hayu rara febby hapsari**

**NRP**

**: 2113105017**

**Supervisor**

**: Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E.**

## **Abstract**

*Along with advances in ceramic technology and customer demand increased so that many factories which produced ceramic established like as PT. Keramik Diamond Industries. Energy used for kiln machine including energy for combustion process. Cost of the energy consumption for ceramic factory was about 30 percent of ceramics production total cost (Erlin Tanoyo, general secretary of ASAKI). If the cost of energy consumption for ceramic production can be decreased, it will be made profit for company increased. Because of that, needed to know how much thermal load which happen in the kiln machine, how much LNG consumption, and how much efficiency that we can get.*

*According on operation data of PT. Keramik Diamond Industries, can be obtained mass flow rate of ceramic was 5463,82 kg/h, mass flow LNG was 52,86 kg/h, speedy cooling air 505,566 kg/h and mass flow final cooling air was 1013,389 kg/h. To determine the influence of the ceramic mass flow and LNG for heat losses and kiln efficiency, analysis at the time of the ceramic mass flow was 5124,133 kg/h, 5224,933 kg/h, 5160 kg/h, 5494,933 kg/h, and 5463,82 kg/h. Analysis conducted by mass conservation and energy on the kiln. For kiln analysis devided into 5 zones there was prekiln zone, preheating zone, firing zone, speedy cooling zone, and final cooling zone which has 84 m long.*

*Analysis of thermodynamic for kiln in the PT. Keramik Diamond Industries obtained 39,33% efficiency thermal with heat losses in the form of flue gas was 506,469 kW and heat losses to the surrounding was 65,09 kW. Heat transfer analysis to*

*determined heat losses which happened was 62 kW, highest heat losses was located in firing zone was 34,64 kW.*

**Keywords: Industry Ceramic, Kiln, Energy Conversation, Heat Losses**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini adalah salah satu syarat untuk dapat mendapatkan gelar Strata 1 (S1) di program studi Teknik Mesin FTI ITS. Adapun pembahasan dalam tugas akhir ini adalah berkaitan mata kuliah perpindahan panas dan termodinamika dengan judul Analisis Termal pada *Kiln* di PT Keramik Diamond Industries.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E selaku dosen pembimbing, yang bersedia meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan serta masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Yunarko Triwinarno. selaku dosen wali yang memberikan saya arahan selama menjadi mahasiswa Teknik Mesin FTI – ITS.
3. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsan, M. Eng, Bapak Ary Bachtiar K.P, S.T, MT. Ph. D. dan Bapak Bambang Sudarmanta selaku dosen penguji yang memberikan saran guna membantu memperbaiki tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan civitas akademika program studi Teknik Mesin FTI ITS yang telah mengajari penulis selama perkuliahan dan urusan administrasi.
5. Orangtua penulis tersayang, ayahanda M. Slamet dan Ibunda Uripah yang senantiasa memberikan semangat do'a, nasehat dan dorongan serta materi hingga tugas akhir ini selesai.

6. Adik – adikku tersayang Adik Dimas dan Adik Dewa terimakasih buat dukungannya dalam tugas akhir ini.
7. Richard Wachju Wijaya yang selalu menemani dan membantu tugas akhir ini.
8. Teman – teman lintas jalur seperjuangan angkatan 2013, yang telah banyak memberikan semangat dan membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir ini.
9. Teman-teman lab perpan, Dian, Bobby, Nia, Nazilah, Sekar, Mas Ari, Mas maho akhirnya kita mampu melewati tugas akhir ini. Buat raymond dan mbeng cepet lulus semester depan yaa....
10. Teman – teman D3MITS 2010 yang memberikan dukungan untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan banyak masukan untuk penyempurnaan tugas ini. Dan atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis,

( Hayu Rara Febby Hapsari)

2113 105 017

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Analisis .....	3
1.4 Manfaat Analisis.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 Sistem Produksi.....	5
2.1.1 Material Produksi .....	5
2.1.2 Proses Produksi .....	6
2.2 <i>Kiln</i> .....	8
2.2.1 Zona Dalam <i>Kiln</i> .....	8
2.2.1.1 <i>Prekiln</i> .....	8
2.2.1.2 <i>Preheating</i> .....	9
2.2.1.3 <i>Firing</i> .....	9
2.2.1.4 <i>Rapid Cooling/ Speedy Cooling</i> .....	10
2.2.1.5 <i>Slow Cooling/ Final Cooling</i> .....	10
2.3 LNG.....	11
2.4 <i>Burner</i> .....	11
2.5 Perpindahan Panas .....	11
2.6 Kesetimbangan Massa dalam <i>Kiln</i> .....	13
2.6.1 Massa material yang memasuki <i>Kiln</i> .....	14
2.6.1.1 Massa Keramik .....	14
2.6.1.2 LNG.....	15
2.6.1.3 Udara .....	15
2.6.2 Massa material yang keluar <i>Kiln</i> .....	15
2.6.2.1 Massa Keramik .....	15

2.6.2.2 Massa Gas Buang .....	15
2.7 Konservasi Energi pada <i>Kiln</i> .....	16
2.7.1 Reaksi Pembakaran LNG .....	19
2.7.2 Energi Reaksi Kimia dalam <i>Kiln</i> .....	19
2.8 Heat Losses pada <i>Kiln</i> .....	19
2.8.1 Radiasi .....	20
2.8.2 Konveksi .....	25
2.9 Perpindahan Panas Dalam <i>Kiln</i> .....	28
2.10 Penelitian Terdahulu .....	29
BAB III METODOLOGI .....	33
3.1 Sistematika .....	33
3.2 Penjelasan Sistematika Analisis .....	34
3.2.1 Studi Pustaka .....	34
3.2.2 Studi Lapangan .....	34
3.2.2.1.1 Spesifikasi <i>Kiln</i> .....	34
3.2.2.1.2 Zona <i>Prekiln</i> .....	35
3.2.2.1.3 Zona <i>Preheating</i> .....	35
3.2.2.1.4 Zona <i>Firing</i> .....	35
3.2.2.1.5 Zona <i>Cooling</i> .....	37
3.2.3 Pengambilan Data pada Proses Produksi di <i>Kiln</i> .....	37
3.2.3.1 Temperatur Keramik pada Tiap-tiap Zona .....	38
3.2.3.2 Motor <i>Fan</i> .....	39
3.3 Diagram Alir Perhitungan .....	40
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	51
4.1 Data Operasi .....	51
4.2 Analisis Berdasarkan Termodinamika .....	57
4.2.1 Kesetimbangan Massa Dalam <i>Kiln</i> .....	57
4.2.2 <i>Heat losses</i> dan Efisiensi <i>Kiln</i> .....	59
4.3 Analisis Berdasarkan Perpindahan Panas .....	67
4.3.1 Pembagian Zona pada <i>Kiln</i> .....	67
4.3.2 Analisis Pada Keramik .....	67
4.3.3 Analisis Udara Dalam <i>Kiln</i> dengan Dinding Dalam <i>Kiln</i> .....	72
4.3.4 Analisis Dinding Luar <i>Kiln</i> dengan Udara Luar .....	73
4.3.5 <i>Heat Losses</i> .....	75

4.4 Pembahasan .....	80
4.4.1 Grafik Fungsi Temperatur Ruang <i>Kiln</i> Terhadap Zona <i>Kiln</i> .....	80
4.4.2 Grafik Fungsi Q yang Diterima Keramik Sepanjang <i>Kiln</i> .....	81
4.4.3 Grafik Fungsi Q yang Diterima Keramik Sepanjang <i>Kiln</i> .....	82
4.4.4 Grafik Fungsi Efisiensi Termal Terhadap Variasi Keramik .....	84
4.4.5 Grafik Fungsi <i>Heat Losses</i> terhadap Variasi Keramik ..	85
BAB V PENUTUP .....	87
5.1 Kesimpulan .....	87
5.2 Saran .....	87
DAFTAR PUSTAKA .....	89
LAMPIRAN.....	91
BIOGRAFI .....	125

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Flow Diagram Proses Pembakaran <i>Single Firing</i> .....	7
Gambar 2.2 Flow Diagram Proses Pembakaran Double Firing....	7
Gambar 2.3 <i>Kiln</i> .....	8
Gambar 2.4 Zona <i>Prekiln</i> dan <i>Smoke Fan</i> .....	8
Gambar 2.5 Zona <i>Preheating</i> .....	9
Gambar 2.6 Zona <i>Firing</i> .....	9
Gambar 2.7 Pipa Kapiler yang terdapat pada Zona <i>Rapid Cooling</i> dan Sekat yang membatasi antara Zona <i>Firing</i> dengan Zona <i>Cooling</i> .....	10
Gambar 2.8 Zona <i>Slow Cooling</i> .....	10
Gambar 2.9 Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi dan Radiasi .....	12
Gambar 2.10 Kesetimbangan Massa dalam <i>Kiln</i> .....	14
Gambar 2.11 Kesetimbangan Energi dalam <i>Kiln</i> .....	16
Gambar 2.12 Perpindahan Panas Secara Konveksi dan Radiasi ke Lingkungan .....	19
Gambar 2.13 <i>Emissivity Of Water Vapor In A Mixture With</i> <i>Nonradiating Gases At 1-Atm Total Pressure And Of</i> <i>Hemispherical Shape</i> .....	21
Gambar 2.14 <i>Correction Factor For Obtaining Water Vapor</i> <i>Emissivities At Pressures Other Than (W,P 1atm</i> <i>CwW,P1atm)</i> .....	22
Gambar 2.15 <i>Emissivity Of Carbon Dioxide In A Mixture With</i> <i>Nonradiating Gases At 1-Atm Total Pressure And</i> <i>Of Hemispherical Shape</i> .....	23

Gambar 2.16 <i>Correction Factor For Obtaining Carbon Dioxide Emissivities At Pressures Other Than 1 Atm</i> <i>(C<sub>1</sub>atmC<sub>c</sub>C<sub>2</sub>atm)</i> .....	24
Gambar 2.17 <i>Correction Factor Associated With Mixtures Of Water Vapor And Carbon Dioxide</i> .....	31
Gambar 2.18 a) bagian atas plat dingin b) bagian bawah plat dingin c)bagian atas plat panas d) bagian bawah plat panas.....	27
Gambar 2.19 Tahanan Termal Dalam Zona <i>Prekiln</i> .....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis.....	33
Gambar 3.2 <i>Kiln</i> di PT Keramik Diamond Industries .....	34
Gambar 3.3 Desain Zona <i>Prekiln</i> .....	35
Gambar 3.4 Desain Zona <i>Preheating</i> .....	36
Gambar 3.5 Desain Zona <i>Firing</i> .....	36
Gambar 3.6 Desain Zona <i>Cooling</i> .....	37
Gambar 3.7 Skema <i>Kiln</i> .....	37
Gambar 3.8 Diagram Alir Perhitungan .....	49
Gambar 4.1 Skema Distribusi Temperatur Gas dalam <i>Kiln</i> .....	52
Gambar 4.2 Kesetimbangan Massa Alir Dalam <i>Kiln</i> .....	57
Gambar 4.3 <i>Burner</i> Pada Keramik <i>Kiln</i> .....	59
Gambar 4.4 <i>Smoke Fan</i> .....	60
Gambar 4.5 <i>Speedy Cooling Air Fan</i> .....	60
Gambar 4.6 <i>Final Cooling</i> .....	61
Gambar 4.7 <i>Hot Air Fan</i> .....	62
Gambar 4.8 Kesetimbangan Energi pada <i>Kiln</i> .....	66
Gambar 4.9 Jumlah Keramik Dalam Satu Zona .....	68
Gambar 4.10 <i>Control Volume</i> pada Analisis Keramik .....	69
Gambar 4.11 <i>Control Volume</i> pada <i>Kiln</i> .....	72
Gambar 4.12 Perpindahan Panas Didalam Zona <i>Prekiln</i> .....	75

Gambar 4.13 Rangkaian Tahanan Termal Pada Zona <i>Prekiln</i> ....	75
Gambar 4.14 Rangkaian Tahanan Termal Pada Zona <i>Preheating</i> .....	77
Gambar 4.15 Grafik Temperatur Ruang Dalam <i>Kiln</i> .....	80
Gambar 4.16 Grafik Q yang diterima Keramik Dalam <i>Kiln</i> .....	81
Gambar 4.17 Grafik <i>Heat Losses</i> Pada <i>Kiln</i> .....	82
Gambar 4.18 Efisiensi Termal Keramik .....	84
Gambar 4.19 <i>Heat Losses</i> Untuk Tiap VariasiKeramik.....	86

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi <i>Keramik</i> yang masuk ke <i>Kiln</i> .....	14
Tabel 2.2 Komposisi LNG .....	15
Tabel 2.3 Komponen Gas Buang .....	16
Tabel 2.4 Mean Beam Lengths Le for Various Gas Geometries .....	25
Tabel 2.5 Nusselt Numbers And Friction Factors For Fully Developed Laminar Flow In Tubes Of Differing Crosss Section.....	26
Tabel 2.6 Hasil Perhitungan Energi <i>Balance</i> Secara Numerik dan Eksperimental .....	30
Tabel 2.7 Variabel Tetap .....	31
Tabel 2.8 <i>Properties</i> Perpindahan Panas .....	31
Tabel 2.9 Hasil Kesetimbangan Energi Dari Eksperimen dan Numerik .....	32
Tabel 3.1 Spesifikasi Kiln .....	35
Tabel 3.2 Data Temperatur Keramik Pada Tiap-Tiap Zona	38
Tabel 3.3 Data Putaran Dari Motor Plant IV Glost Kiln I	39
Tabel 4.1 Data Produksi Keramik .....	51
Tabel 4.2 Data Temperatur Keramik Tiap Zona .....	51
Tabel 4.3 Data Pendukung .....	51
Tabel 4.4 Komponen <i>Greentile</i> yang Masuk dalam <i>Kiln</i> ..	52
Tabel 4.5 Data Temperatur Ruang <i>Kiln</i> Tiap Zona.....	53
Tabel 4.6 Data <i>Kiln Shell</i> , Keramik, <i>Brick</i> dan <i>Fiber Kiln</i>	56
Tabel 4.7 Kesetimbangan Massa dalam <i>Kiln</i> .....	58
Tabel 4.8 Distribusi Temperatur Ruang <i>Kiln</i> .....	67

Tabel 4.9 Distribusi Temperatur Permukaan Luar <i>Kiln</i> ....	67
Tabel 4.10 $Q_{\text{konveksi}}$ dan $Q_{\text{radiasi}}$ Keramik tiap Zona.....	70
Tabel 4.11 Temperatur Ruang Dalam <i>Kiln</i> .....	80
Tabel 4.12 $Q$ yang Diterima Oleh Keramik Sepanjang <i>Kiln</i> .....	82
Tabel 4.13 <i>Heat Losses</i> Tiap Zona .....	83
Tabel 4.14 Efisiensi <i>Kiln</i> Terhadap Jumlah Massa <i>Greentile</i> dan Massa LNG dan Udara .....	85
Tabel 4.15 <i>Heat Losses Kiln</i> Terhadap Jumlah Massa <i>Greentile</i> dan Massa LNG dan Udara .....	86

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Keramik pada awalnya berasal dari bahasa Yunani keramikos yang artinya suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran. Kamus dan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin, dan sebagainya. Tetapi saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Definisi pengertian keramik terbaru mencakup semua bahan bukan logam dan anorganik yang berbentuk padat. (Yusuf, 1998:2).

Laju pertumbuhan produksi ubin keramik (*floor tile*) di dunia meningkat pesat dibandingkan dengan produk keramik yang lain. Produksi ubin keramik di Indonesia juga mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan domestik akan pembangunan sarana fasilitas dalam rangka meningkatkan kualitas hidup masyarakat seiring dengan meningkatnya pembangunan nasional. Disamping itu peningkatan produksi ubin keramik nasional juga disebabkan oleh adanya kenaikan pertumbuhan kebutuhan ekspor ke luar negeri. Pada tahun 2013, industri keramik Indonesia memiliki kapasitas 1,4 juta m<sup>2</sup>/hari dan produksi 1,32 juta m<sup>2</sup>/hari. Hasil produksi 85% diserap pasar lokal dan 15% diekspor. Nilai penjualan industri keramik mencapai Rp. 30 trilyun dan diproyeksikan pada tahun 2014 mencapai Rp. 34 trilyun. (Menteri Perindustrian Mohamad S Hidayat).

Seiring dengan kemajuan teknologi keramik dan banyaknya permintaan konsumen maka banyak didirikan pabrik-pabrik yang memproduksi keramik seperti PT Keramik Diamond Industries. PT Keramik Diamond Industries menggunakan dua jenis material dalam pembuatan keramik yaitu material keras dan lunak. Material keras terdiri dari *dolomite* / kaulin alam, batu

Malang, FPRB (*Feldspar Prambon*), dan *chamotte*, sedangkan material lunak berupa CSU (*Clay Sumber Ungu*). Material keras di hancurkan dengan mesin *crusher*. Setelah dihancurkan material dibawa oleh konveyor untuk menuju ke silo MTC (*Milling Time Continue*) kemudian dimasukkan ke tabung MTC bersama material lunak. *Clay* yang diproduksi dari MTD (*Milling Time Discontinue*) dimasukkan ke tangki penampungan dengan berbagai proses penyaringan dan kemudian dipompa ke *spray drier*. Pada proses pembuatan *powder*, *slurry* disemprotkan oleh *spray drier* melalui *nozzle* dengan tekanan tinggi kearah atas. Kemudian dari atas udara panas turun ke bawah dan keluar dari *spray drier* berupa *powder*. Setelah keluar dari *spray drier*, *powder* ditampung dalam *ballmill* dan di *press*. *Greentile* dari mesin *press* diberi *glazee* dan motif kemudian disalurkan ke mesin *loading* yang selanjutnya akan melalui proses pembakaran dalam mesin *kiln*. Mesin *kiln* adalah mesin yang digunakan untuk proses pembakaran *greentile* menjadi keramik. Mesin *kiln* ini terdiri dari 5 zona yaitu zona *prekiln*, *preheating*, *firing*, *speedy cooling* dan *final cooling*. Pada zona *prekiln* tidak ada burner, sedangkan pada zona *preheating* burner hanya ada dibawah. Pada zona *firing* burner terletak diatas dan dibawah. Sedang untuk zona *speedy cooling* adalah zona pendinginan cepat. Zona *final cooling* adalah zona pendinginan lambat dan zona terakhir dalam *kiln*. Pembakaran terjadi pada zona *firing*. Mesin *kiln* merupakan penentu apakah kualitas *tile* tersebut bagus atau tidak. Karena dalam proses pembakaran planalitas ditentukan oleh temperatur pembakaran didalam *kiln*. Temperatur dalam *kiln* harus diatur sedemikian agar hasil *tile* sesuai dengan standart.

Bahan bakar yang digunakan untuk proses pembakaran adalah LNG. LNG adalah gas alam cair dengan kandungan unsur utama adalah 60% metana (CH<sub>4</sub>) dan 40% etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>). Pada umumnya gas alam ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk perumahan dan industri. Penggunaan energi pada mesin *kiln* ini meliputi energi untuk proses pembakaran. Biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi pada sebuah pabrik keramik

berkisar 30 % dari total biaya produksi keramik (Erlin Tanoyo, Sekjen ASAHI). Jika biaya untuk konsumsi ini dapat ditekan maka keuntungan perusahaan dapat ditingkatkan. Oleh karena itu diperlukan analisis termal untuk mengetahui berapa besar beban termal yang terjadi pada mesin *kiln* tersebut, banyaknya konsumsi LNG yang digunakan serta berapa besar efisiensi yang dapat diperoleh. Analisis ini menggunakan dua pendekatan yaitu analisis termodinamika dan perpindahan panas. Analisis termodinamika digunakan untuk menganalisis kesetimbangan massa yang masuk dan keluar, *heatlosses* dan efisiensi termal. Sedangkan analisis perpindahan panas digunakan untuk mengetahui hambatan termal yang terjadi dari dalam *kiln* ke lingkungan sekitar *kiln*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada analisis ini adalah

1. Bagaimana mengetahui distribusi temperatur ruang di dalam *kiln*?
2. Bagaimana cara menganalisis *heatlosses kiln* di setiap zona?
3. Bagaimana cara mengetahui pengaruh *heatlosses kiln* dengan variasi keramik?
4. Bagaimana mengetahui efisiensi termal dari *Kiln* ?

## 1.3. Tujuan Analisis

Tujuan dari analisis ini adalah

1. Mengetahui distribusi temperatur *klin* di tiap zona.
2. Menganalisis *heatlosses kiln* disetiap zona.
3. Mengetahui pengaruh *heatlosses kiln* dengan variasi keramik.
4. Mengetahui efisiensi termal dari *kiln*.

## 1.4. Manfaat Analisis

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari analisis termal ini sebagai berikut:

1. Memperkaya dan memperdalam wacana dalam bidang ilmu termodinamika dan perpindahan panas khususnya proses pembakaran dalam pembuatan keramik.
2. Mengetahui fenomena fisik pembakaran *kiln*.
3. Sebagai referensi dalam upaya mengoptimalkan kerja pada *kiln*.

### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pengamatan dilakukan di PT.Keramik Diamond Industries daerah Bambe.
2. Analisis dilakukan hanya pada proses produksi.
3. Analisis termal yang akan dibahas yaitu konservasi energi dalam *kiln* dan *heatlosses* dinding *kiln* ke lingkungan.
4. Kondisi sistem dalam keadaan tunak sehingga kapasitas keramik dan LNG tidak berubah.
5. Proses pembakaran LNG dianggap sempurna.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Sistem Produksi

##### 2.1.1. Material Produksi

Material yang digunakan dalam proses produksi keramik antara lain:

###### 1. *Feldspar*

*Feldspar* berfungsi sebagai pengeras dan masih mengalami penyusutan saat dibakar sekitar 3-4 %.

###### 2. *Dolomite* ( $\text{CaCO}_3$ )

*Dolomite* adalah bahan kapur yang digunakan untuk memperkuat ikatan dalam komposisi keramik.

###### 3. *Phyropilite* Batu Malang

*Phyropilite* merupakan batuan dasar yang sifatnya hampir sama dengan *feldspar*, merupakan batuan keras dan memiliki sifat pengeras pada komposisi keramik.

###### 4. *Chamotte*

*Chamotte* adalah bahan baku yang berasal dari keramik yang mengalami *reject* dan dihancurkan kembali. Bahan ini hanya digunakan sebagai tambahan bahan baku lainnya.

###### 5. *Clay*

*Clay* terbentuk dari batuan sedimen dengan ukuran butir < 1/256 mm. *Ball clay* digunakan pada keramik karena memiliki plastisitas tinggi dengan tegangan patah tinggi.

###### 6. Lumpur (*Slug*)

Lumpur adalah bahan yang digunakan sebagai tambahan yang berasal dari lumpur yang diendapkan/dikeringkan.

###### 7. *Affal*

*Affal* merupakan bahan tambahan yang berasal dari *greentile* atau keramik mentah sebelum dibakar yang dihancurkan kembali setelah mengalami *reject*.

### 8. *Scrap Glaze*

*Scrap glaze* adalah bahan yang berasal dari sisa/limbah *glaze* yang terbuang.

### 9. Aditif

Aditif merupakan deflokulan atau bahan yang memberikan efek tidak mengendap pada suatu larutan.

#### 2.1.2. Proses Produksi

Proses produksi keramik terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut:

##### 1. *Precrusher*

Proses penghancuran material keras diantaranya *Feldspar*, *Diamond Industries* (FDI), *PBM*, *Chamotte* oleh mesin *crusher*.

##### 2. *Milling*

*Milling* adalah proses penggilingan komposisi yang sudah ditakar dan dihaluskan oleh *crusher*.

##### 3. *Spray Drying*

*Spray drying* adalah suatu cara untuk memproduksi *powder* kering dari cairan/*slury* dengan cara pengeringan cepat oleh udara panas.

##### 4. *Pressing*

*Pressing* adalah proses untuk membentuk keramik dari *powder* sehingga membentuk *tile* (*body* keramik).

##### 5. *Glazing*

*Glazing* adalah proses pembentukan warna dan motif dari sebuah keramik.

##### 6. *Firing*

Area *kiln* adalah area dimana proses pembakaran *biskuit/greentile* menjadi keramik dengan perubahan karakteristik fisik dari pembentuk reaksi kimia.

Ada dua macam bentuk proses pembakaran yang digunakan di PT KDI, yaitu:

### 1. Single firing

*Single firing* adalah suatu proses pembakaran tunggal, untuk hasil tile yang sudah melalui proses pembakaran ini biasa disebut *greentile*.



**Gambar 2.1** Flow Diagram Proses Pembakaran *Single Firing*

Kelebihan *single firing*:

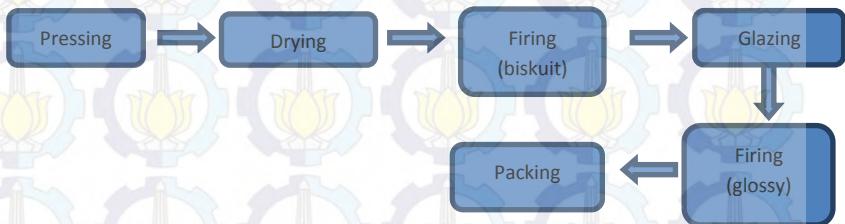
- ✓ Hemat energi (LNG dan Electricity)
- ✓ Tidak banyak membutuhkan operator
- ✓ Mesin yang dibutuhkan lebih sedikit
- ✓ Mudah dalam perawatan mesin
- ✓ Proses produksi membutuhkan waktu yang singkat

Kelemahan *single firing*:

- ✓ Pengendalian kapasitas dan kualitas yang lebih rumit

### 2. Double firing

*Double firing* adalah suatu proses pembakaran ganda, untuk hasil tile yang sudah melalui proses pembakaran ini biasa disebut *biscuit*.



**Gambar 2.2** Flow Diagram Proses Pembakaran *Double Firing*

Kelebihan *double firing*:

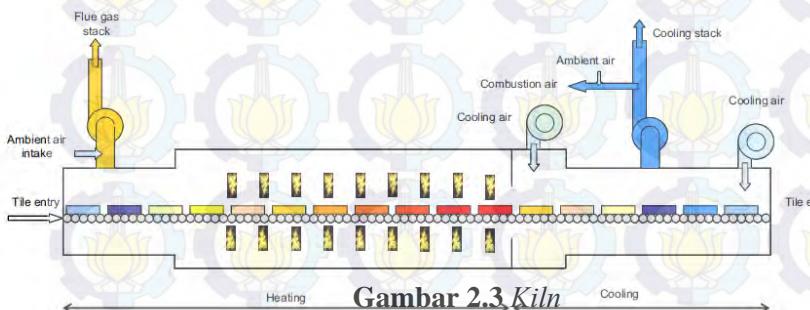
- ✓ Kapasitas produksi tile yang terjaga
- ✓ Kualitas produksi yang cukup tinggi

Kelemahan *double firing*:

- ✓ Boros energi

## 2.2 Kiln

*Kiln* adalah mesin yang digunakan untuk proses pembakaran *greentile* maupun *biscuit*. Ada beberapa zona pada *kiln* ini yang digunakan untuk proses pembakaran keramik.



Gambar 2.3 Kiln

### 2.2.1 Zona Dalam Kiln

#### 2.2.1.1 Prekiln

*Prekiln* merupakan zona awal dari bagian *kiln* yang mempunyai temperatur berkisar 50 – 200 °C dimana panas yang diberikan pada *tile* merupakan kerja dari *smoke fan* yang menarik udara panas dari bagian tengah *kiln* dan berfungsi untuk menurunkan kadar air sebelum zona *preheating*.



Gambar 2.4 Zona Prekiln dan Smoke Fan

### 2.2.1.2 *Preheating*

*Preheating* adalah pembakaran pertama didalam *kiln* dengan kisaran temperatur 500 – 1000°C. Terjadinya proses kalsinasi dimana gas CO yang ada pada *tile* keluar dari *bodytile*. Pada zona ini mulai terlihat adanya *burner* pada *kiln* dengan jumlah sedikit.



Gambar 2.5 Zona Preheating

### 2.2.1.3 *Firing*

*Firing* adalah zona proses pembakaran pada *kiln* dengan temperatur 1000-1200°C, terjadinya ekspansi pada *tile* dan pemadatan volume seiring dengan bertambahnya temperatur komposisi *body* mengalami difusi. Pada zona *firing* memiliki penyekat agar panas pada zona ini tidak banyak kesamping.



Gambar 2.6 Zona Firing

#### 2.2.1.4 *Rapid Cooling/ Speedy Cooling*

Pada proses ini terjadi pendinginan secara langsung dengan mengalirkan udara melalui pipa yang mempunyai lubang kapiler dibagian dalam *kiln* agar udara tersebut dapat langsung mengenai *tile*. Temperatur pada zona ini berkisaran 550-600 °C.



**Gambar 2.7** Pipa Kapiler yang terdapat pada Zona *Rapid Cooling* dan Sekat bawah yang membatasi antara Zona *Firing* dengan Zona *Cooling*

#### 2.2.1.5 *Slow Cooling/ Final Cooling*

Temperatur pada zona ini berkisar antara 450 – 550 °C, proses pendinginan dilakukan secara perlahan agar tidak terjadi *defect cracking*.



**Gambar 2.8** Zona *Slow Cooling*

*Final cooling* adalah tempat dimana proses pendinginan dengan temperatur  $\pm 600^{\circ}\text{C}$  dengan dua sistem pendingin yaitu:

- *Cold air fan*

Sistem pemberian udara melalui udara sekitar yang difilter dan *di-blowing* untuk mendinginkan keramik yang sudah melalui proses pembakaran.

- *Hot air fan*

Sistem pembuangan udara panas yang diambil dari area *final cooling* sehingga suhu dapat stabil dan mensirkulasikan udara yang masuk maupun keluar.

### 2.3 LNG

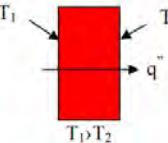
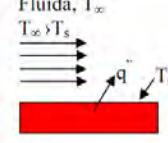
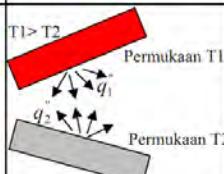
LNG adalah gas alam cair dengan kandungan unsur utama adalah 60% metana ( $\text{CH}_4$ ) dan 40% etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Pada umumnya gas alam ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk perumahan dan industri.

### 2.4 Burner

Berfungsi untuk memantik api dalam proses pembakaran di *kiln*. Sensor berupa *ascon* akan membaca data input dari *thermocouple* berupa tegangan yang dikonversikan menjadi suhu. Jika suhu *actual* dalam *kiln* belum mencapai suhu *setting* maka *ascon* mengumpulkan data ke panel untuk menggerakkan *valve* dengan servo agar laju LNG bisa dikontrol sesuai dengan suhu *setting* pada *ascon*.

### 2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Jadi berdasarkan definisi tersebut jika ada perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas akan terjadi. Gambar 2.10 memperlihatkan perbedaan cara perpindahan panas yang disebut *modes of heat transfer*.

Konduksi melalui dinding padat atau cairan diam	Konveksi dari permukaan padat ke aliran fluida	Pertukaran radiasi neto antara dua permukaan
		

**Gambar 2.9 Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi dan Radiasi**

Konduksi adalah perpindahan panas tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat perantaranya, dimana energi panas dipindahkan dari satu molekul ke molekul lain dari benda tersebut. *Heat flux* pada perpindahan panas konduksi yaitu

$$q'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

dengan:

$$k = \text{konduktifitas termal} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

*Heat rate* konduksi pada *plane wall* dengan luasan *A* adalah  $q = q'' \cdot A$  (Watt).

Konveksi merupakan bentuk perpindahan panas dimana molekul-molekul benda membawa energi panas dari satu titik ke titik lainnya. Umumnya terjadi pada benda cair dan gas. Perpindahan panas konveksi dibagi menjadi dua :

- *Forced Convection*

*Force convection* adalah perpindahan panas karena adanya faktor kerja dari luar terhadap fluida perantara, misalnya konveksi dengan adanya bantuan *fan*, *blower*, *air conditioning*, dsb.

- *Free Convection*

*Free Convection* adalah perpindahan panas tanpa ada faktor luar melainkan karena *bouyancy force*.

Secara umum, besarnya laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan :

$$\begin{aligned} q'' &= h(T_s - T_\infty), \quad T_s > T_\infty \\ q'' &= h(T_\infty - T_s), \quad T_\infty > T_s \end{aligned} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi  $(W/m^2 K)$

$q''$  = convection heat flux  $(W/m^2)$

Sehingga Heat rate konveksi pada *plane wall* dengan luasan  $A$  dirumuskan dengan

$$q = q'' \cdot A$$

dengan :

$q$  = heat rate konveksi ( Watt )

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnet yang dapat merambat sampai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Perpindahan panas secara radiasi dirumuskan sebagai berikut :

$$q = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_\infty^4) \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan :

$\varepsilon$  = emissivitas dari permukaan actual

$\sigma$  = konstanta Stefan boltzman  $(5,67 \times 10^{-8})$  (Watt/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)

$A$  = luas permukaan dari sistem (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = temperatur permukaan (K)

$T_\infty$  = temperatur lingkungan (K)

## 2.6 Kesetimbangan Massa dalam *Kiln*

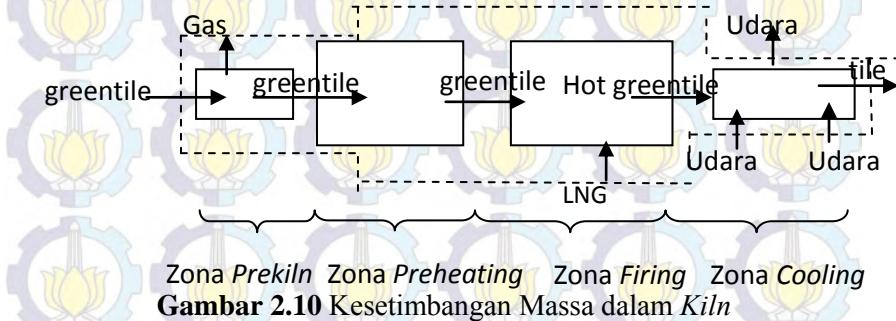
Pada sistem volume atur dimana massa dapat melewati batas sistem berlaku prinsip yaitu jumlah massa masuk sama dengan jumlah massa keluar yang dinyatakan dalam persamaan :

$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \dots \dots \dots (2.4)$$

Kesetimbangan massa dalam *kiln* dapat dilihat pada gambar 2.10. Jika dinyatakan dengan persamaan kesetimbangan massa akan menjadi :

$$\Sigma_{in} \dot{m} = \dot{m}_{keramik} + \dot{m}_{flue gas} + \dot{m}_{udara 1} + \dot{m}_{udara 2} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\Sigma_{out} \dot{m} = \dot{m}_{gas buang} + \dot{m}_{keramik} + \dot{m}_{udara 3} \dots \dots \dots (2.6)$$



Gambar 2.10 Kesetimbangan Massa dalam *Kiln*

## 2.6.1 Massa material yang memasuki *Kiln*

### 2.6.1.1 Massa Keramik

Material keramik yang sudah di *glazur* akan mengalami proses pembakaran di *kiln*. Komposisi keramik diberikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Komposisi Keramik yang masuk ke *Kiln*

Komponen
Feldspar
Phyropelite Batu Malang
Chamotte
CaCO <sub>3</sub> (Dolomite)
Clay
Lumpur
Affal

### **2.6.1.2 LNG**

LNG adalah sumber energi terbesar untuk pembakaran di dalam *kiln*, jumlah massa LNG yang masuk ke *kiln* dapat dilihat pada *daily report* di PT. Keramik Diamond Industries. Komposisi LNG dapat diberikan pada tabel berikut ini :

**Tabel 2.2** Komposisi LNG

Komposisi  
0,6 CH<sub>4</sub>  
0,4 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

### 2.6.1.3 Udara

Massa udara ditentukan dengan mengetahui kapasitas udara yang dibutuhkan untuk pembakaran yaitu :

dengan :

$\rho$  = densitas udara ( kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  = kapasitas udara ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Udara yang digunakan untuk pembakaran LNG di dalam *burner* yang didapatkan dari udara lingkungan.

### **2.6.2 Massa material yang keluar Kiln**

#### 2.6.2.1 Massa keramik

Hasil pembakaran *greentile* di *Kiln* yaitu berupa keramik. Temperatur keramik yang keluar dari *kiln* berkisar 150°C.

### 2.6.2.2 Massa Gas Buang

Gas buang hasil sisa pembakaran akan dialirkan menuju lingkungan. Gas hasil sisa pembakaran ini mengandung komponen sebagai berikut :

**Tabel 2.3 Komponen Gas Buang**

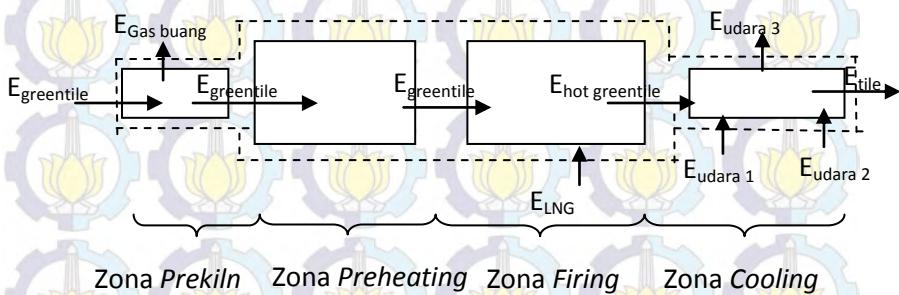
Komponen

CO<sub>2</sub>

N<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O

## 2.7 Konservasi Energi pada Kiln



**Gambar 2.11** Kesetimbangan Energi dalam *Kiln*

Sebagian besar persoalan keteknikan akan melibatkan aliran massa masuk dan keluar sistem, oleh karena itu kondisi yang demikian sering dimodelkan sebagai *control volume*. Saat sistem bekerja maka akan ada energi yang masuk maupun keluar sistem tersebut. Dalam pembahasan mengenai *kiln* ini, analisis termal yang akan dilakukan juga menggunakan konservasi energi sebagai dasar perhitungan. Berikut merupakan persamaan konservasi energi secara umum dalam perpindahan panas:

dengan :

$\dot{E}_{st}$  = energi mekanikal dan termal yang tersimpan (Watt)

$\dot{E}_g$  = energi bangkitan (Watt)

$\dot{E}_{in}$  = energi mekanikal dan termal aliran masuk sistem (Watt)

$\dot{E}_{out}$  = energi mekanikal dan termal aliran keluar sistem (Watt)

Untuk kondisi tunak (*steady state*) maka perubahan energi yang tersimpan selama proses adalah nol ( $\frac{dE_{st}}{dt} = 0$ ) sehingga jumlah energi yang memasuki sebuah volume atau dalam berbagai bentuk (panas, kerja, transfer massa) harus sama dengan energi yang keluar. Persamaan menjadi:

Energi total dari sebuah sistem sederhana fluida kompresibel terdiri dari tiga bagian : energi dalam ( $u$ ), energi kinetik ( $E_k$ ) dan energi potensial ( $E_p$ ). Fluida yang memasuki dan keluar volume atur memiliki bentuk energi tambahan, yaitu kerja kompresi ( $pV$ ). Dalam kombinasi  $pV+u$  biasa didefinisikan sebagai *enthalpy*, sehingga persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} & \left[ \dot{m}_{LNG} \left( h_{LNG} + \frac{V_{LNG}^2}{2} \right) + \dot{m}_{greentile} \left( h_{greentile} + \frac{V_{greentile}^2}{2} \right) + \right. \\ & \dot{m}_{udara\ 1} \left( h_{udara\ 1} + \frac{V_{udara\ 1}^2}{2} \right) + \dot{m}_{udara\ 2} \left( h_{udara\ 2} + \right. \\ & \left. \left. \frac{V_{udara\ 2}^2}{2} \right) \right] + \dot{E}_g = \left[ \dot{m}_{keramik} \left( h_{keramik} + \frac{V_{keramik}^2}{2} \right) \right] + \\ & \left[ \dot{m}_{exh\ 1} \left( h_{exh\ 1} + \frac{V_{exh\ 1}^2}{2} \right) \right] + \left[ \dot{m}_{udara} \left( h_{udara} + \frac{V_{udara}^2}{2} \right) \right] + \\ & \dot{Q}_{loss} \dots \dots \dots \quad (2.10) \end{aligned}$$

karena  $h = Cp \cdot T$ , maka persamaan menjadi :

$$\left[ \dot{m}_{LNG} \left( Cp_{LNG} \cdot T_{LNG} + \frac{V_{LNG}^2}{2} \right) \right] + \\ \left[ \dot{m}_{greentile} \left( Cp_{greentile} \cdot T_{greentile} + \frac{V_{greentile}^2}{2} \right) \right] + \\ \left[ \dot{m}_{udara\ 1} \left( Cp_{udara\ 1} \cdot T_{udara\ 1} + \frac{V_{udara\ 1}^2}{2} \right) \right] +$$

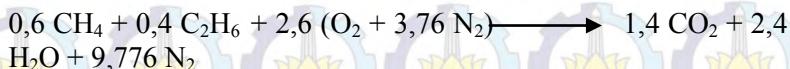
$$\begin{aligned} & \left[ \dot{m}_{udara\ 2} \left( Cp_{udara\ 2} \cdot T_{udara\ 2} + \frac{V_{udara\ 2}^2}{2} \right) \right] + \dot{E}_g = \\ & \left[ \dot{m}_{keramik} \left( Cp_{keramik} \cdot T_{keramik} + \frac{V_{keramik}^2}{2} \right) \right] + \\ & \left[ \dot{m}_{exh} \left( Cp_{exh} \cdot T_{exh} + \frac{V_{exh}^2}{2} \right) \right] + \left[ \dot{m}_{udara} \left( Cp_{udara} \cdot T_{udara} + \frac{V_{udara}^2}{2} \right) \right] + \\ & \dot{Q}_{loss} \end{aligned} \quad (2.11)$$

dengan :

$\dot{m}_{LNG}$	= laju aliran massa <i>LNG</i> (kg/s)
$\dot{m}_{greentile}$	= laju aliran massa <i>greentile</i> (kg/s)
$\dot{m}_{keramik}$	= laju aliran massa keramik (kg/s)
$\dot{m}_{exh}$	= laju aliran massa gas buang (kg/s)
$\dot{m}_{udara}$	= laju aliran massa udara (kg/s)
$Cp_{LNG}$	= kapasitas kalor <i>LNG</i> (kJ/kg.K)
$Cp_{greentile}$	= kapasitas kalor <i>greentile</i> (kJ/kg.K)
$Cp_{keramik}$	= kapasitas kalor keramik (kJ/kg.K)
$Cp_{cxh}$	= kapasitas kalor gas buang (kJ/kg.K)
$Cp_{udara}$	= kapasitas kalor udara (kJ/kg.K)
$T_{LNG}$	= temperatur <i>LNG</i> (K)
$T_{greentile}$	= temperatur <i>greentile</i> (K)
$T_{keramik}$	= temperatur keramik (K)
$T_{exh}$	= temperatur gas buang (K)
$T_{udara}$	= temperatur udara (K)
$V_{LNG}$	= kecepatan aliran <i>LNG</i> (m/s)
$V_{greentile}$	= kecepatan aliran <i>greentile</i> (m/s)
$V_{keramik}$	= kecepatan aliran keramik(m/s)
$V_{exh}$	= kecepatan aliran gas buang(m/s)
$V_{udara}$	= kecepatan aliran udara (m/s)
$\dot{E}_g$	= energi bangkitan (watt)
$\dot{Q}_{loss}$	= Laju aliran panas terbuang (watt)

### 2.7.1 Reaksi Pembakaran LNG

Bahan bakar yang digunakan dalam proses *firing* ini berupa LNG. LNG dan udara akan bereaksi sehingga akan terjadi proses pembakaran. Reaksi tersebut dapat dituliskan dengan persamaan kimia sebagai berikut:



### 2.7.2 Energi Reaksi Kimia dalam *Kiln*

Dalam proses pembakaran keramik terdapat reaksi kimia berupa kalsinasi. Proses kalsinasi ini terjadi pada temperatur antara 800°C - 950°C. Energi kimia didalam *kiln* dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{E}_{\text{kimia}} = (\dot{m}_{\text{LNG}} \cdot h_c) - (\dot{m}_{\text{CaCO}_3} \cdot h_{\text{CaCO}_3}) - (\dot{m}_{\text{MgCO}_3} \cdot h_{\text{MgCO}_3}) \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

dengan :

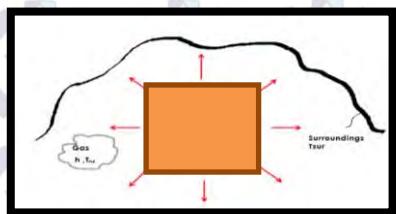
$h_c$  = nilai kalor LNG (kJ/kg)

$h_{\text{CaCO}_3}$  = entalpi kalsinasi  $\text{CaCO}_3$  (kJ/kg)

$h_{\text{MgCO}_3}$  = entalpi kalsinasi  $\text{MgCO}_3$  (kJ/kg)

Setiap persamaan kimia memiliki nilai *enthalpy* sendiri, sehingga *enthalpy* kalsinasi didapat dengan menjumlahkan nilai enthalpy pada masing – masing reaksi kimia.

## 2.8 Heat Losses pada *Kiln*



**Gambar 2.12** Perpindahan Panas Secara Konveksi dan Radiasi ke Lingkungan

Karena proses pembakaran di dalam *kiln*, maka terjadi kerugian panas sebagai panas yang terbuang keluar *kiln* berupa perpindahan panas secara radiasi dan konveksi. *Heat losses* yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

### 2.8.1 Radiasi

*Heat losses* yang terjadi secara radiasi melalui gas dari panas dari *burner* ke permukaan dinding *kiln* yaitu :

$$q_{net} = \sigma A_s (\varepsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_s^4) \dots\dots\dots (2.13)$$

Emisivitas dan absorpsivitas gas karbondioksida dan uap air dalam proses radiasi dapat didekati dengan persamaan:

$$\alpha_w = C_w \left( \frac{T_g}{T_s} \right)^{0,45} \times \varepsilon_w \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\alpha_c = C_c \left( \frac{T_g}{T_s} \right)^{0,65} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\alpha_g = \alpha_w + \alpha_c - \Delta\alpha \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\varepsilon_g = \varepsilon_w + \varepsilon_c - \Delta\varepsilon \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan :

$A_s$  = luas permukaan dinding dalam *kiln* ( $m^2$ )

$\sigma$  = konstanta Stefan Boltzman =  $5,67 \times 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ )

$\alpha_g$  = absorpsivitas gabungan gas

$\alpha_w$  = absorpsivitas  $H_2O$

$\alpha_c$  = absorpsivitas  $CO_2$

$\Delta\alpha$  = faktor koreksi gabungan

$\varepsilon_g$  = emisivitas gabungan gas

$\varepsilon_w$  = emisivitas  $H_2O$

$\varepsilon_c$  = emisivitas  $CO_2$

$\Delta\varepsilon$  = faktor koreksi gabungan

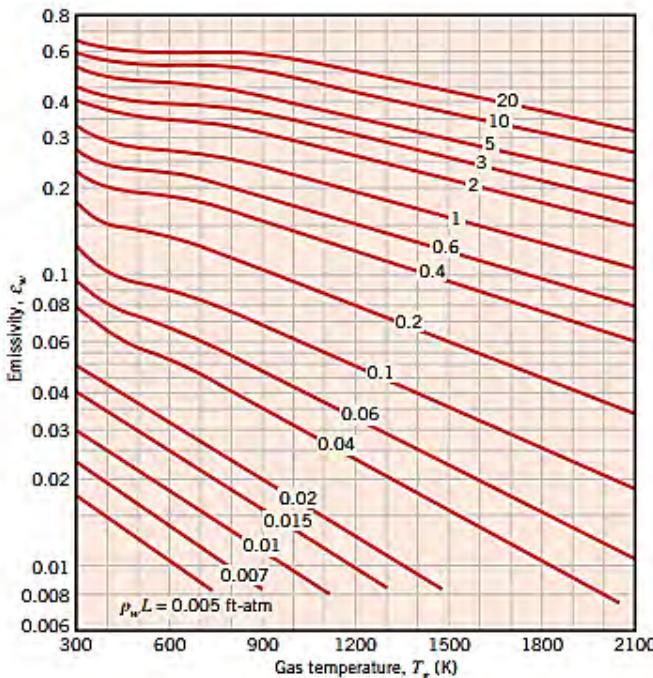
$C_w$  = faktor koreksi  $H_2O$

$C_c$  = faktor koreksi  $CO_2$

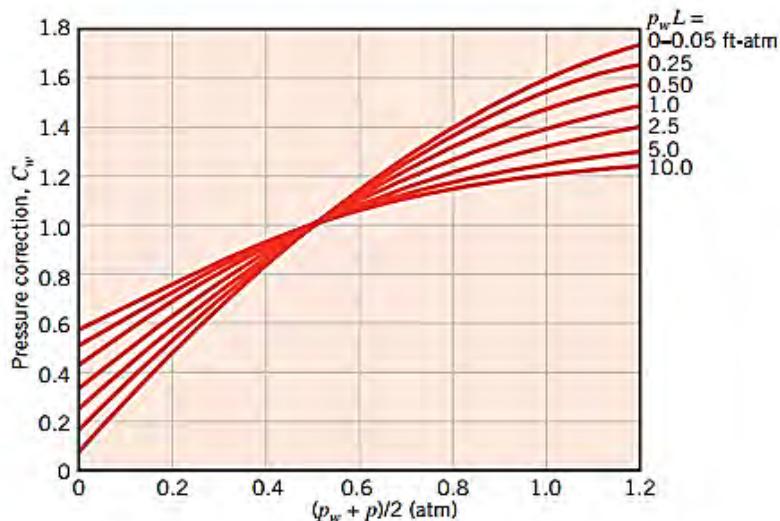
$T_s$  = temperatur pemukaan *kiln* (K)

$T_g$  = temperatur gas di dalam *kiln* (K)

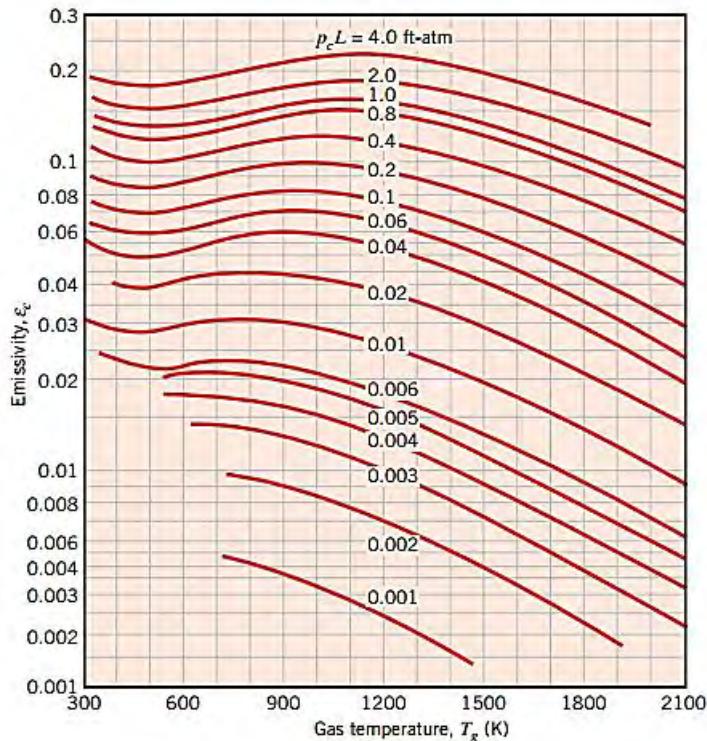
Dimana



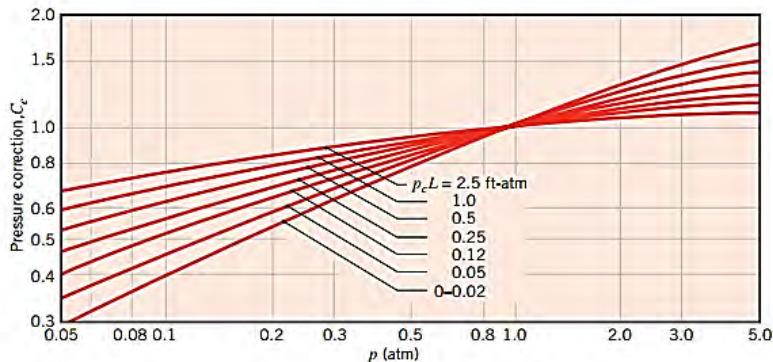
**Gambar 2.13** Emissivity Of Water Vapor In A Mixture With Nonradiating Gases At 1-Atm Total Pressure And Of Hemispherical Shape [13]. Used With Permission.



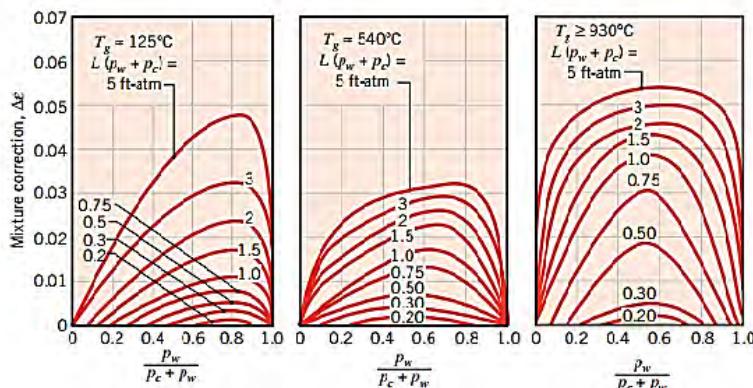
**Gambar 2.14** Correction Factor For Obtaining Water Vapor Emissivities At Pressures Other Than ( $W,P \text{ 1atm}$   $C_w W,P \text{ 1atm}$ ) [13]. Used With Permission.



**Gambar 2.15** Emissivity Of Carbon Dioxide In A Mixture With Nonradiating Gases At 1-Atm Total Pressure And Of Hemispherical Shape [13]. Used With Permission.



**Gambar 2.16** Correction Factor For Obtaining Carbon Dioxide Emissivities At Pressures Other Than 1 Atm ( $C_p P_1 \text{ atm} C_c C_p P$   $\text{atm}$ ) [13]. Used With Permission.



**Gambar 2.17** Correction Factor Associated With Mixtures Of Water Vapor And Carbon Dioxide [13]. Used With Permission.

Tabel 2.4 Mean Beam Lengths  $L_e$  for Various Gas Geometries

Geometry	Characteristic Length	$L_e$
Sphere (radiation to surface)	Diameter ( $D$ )	$0.65D$
Infinite circular cylinder (radiation to curved surface)	Diameter ( $D$ )	$0.95D$
Semi-infinite circular cylinder (radiation to base)	Diameter ( $D$ )	$0.65D$
Circular cylinder of equal height and diameter (radiation to entire surface)	Diameter ( $D$ )	$0.60D$
Infinite parallel planes (radiation to planes)	Spacing between planes ( $L$ )	$1.80L$
Cube (radiation to any surface)	Side ( $L$ )	$0.66L$
Arbitrary shape of volume $V$ (radiation to surface of area $A$ )	Volume to area ratio ( $V/A$ )	$3.6V/A$

## 2.8.2 Konveksi

Perpindahan panas juga terjadi secara konveksi yaitu :

$$q_c = \bar{h} A_{kiln} (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots \quad (2.18)$$

dengan :

$\bar{h}$  = koefisien konveksi pada udara sekitar permukaan (W/m<sup>2</sup>.K)

Sehingga nilai *heat losses* pada *kiln* yaitu :

$$q = q_c = \bar{h} A (T_s - T_\infty) + \sigma A_s (\varepsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_s^4) \dots \dots \dots \quad (2.19)$$

Koefisien konveksi dari persamaan 2.18 didapatkan dengan persamaan :

$$\bar{h} = \frac{k}{x} \overline{Nu}_x \dots \dots \dots \quad (2.20)$$

dengan :

$\overline{Nu}_x$  = Bilangan Nusselt

$k$  = konduktifitas termal (W/m.K)

Bilangan Nusselt ini nilainya bergantung pada proses konveksi yang terjadi. Konveksi yang terjadi pada perpindahan ini termasuk konveksi paksa karena gerakan fluida disebabkan oleh gaya luar.

Jika proses tersebut merupakan konveksi *internal flow* maka bilangan Nusselt direkomendasikan oleh Churchill dan Chu yaitu :

$$\overline{Nu}_D \equiv \frac{h D_h}{k} \dots \dots \dots \quad (2.21)$$

dimana  $D_h \equiv \frac{4 A_c}{P}$

Tabel 2.5 *Nusselt Numbers And Friction Factors For Fully Developed Laminar Flow In Tubes Of Differing Crosss Section*

Cross Section	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$		
		(Uniform $g_i''$ )	(Uniform $T_s$ )	$Re_{D_h}$
	—	4.36	3.66	64
	1.0	3.61	2.98	57
	1.43	3.73	3.08	59
	2.0	4.12	3.39	62
	3.0	4.79	3.96	69
	4.0	5.33	4.44	73
	8.0	6.49	5.60	82
<hr/> <hr/>	$\infty$	8.23	7.54	96
<u>Heated</u>	$\infty$	5.39	4.86	96
<u>Insulated</u>	—	3.11	2.49	53
	—			

Used with permission from W. M. Kays and M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1993.

Bilangan *Reynolds* akan didapat dengan persamaan:

$$Re_{Dh} = \frac{\rho \cdot V \cdot Dh}{\mu} \quad \dots \quad (2.22)$$

dimana:

$Re_l$  = bilangan reynolds

$\rho$  = densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = kecepatan fluida (m/s)

*Dh = diameter hidrolik (m)*

*Rayleigh Number* untuk *free convection* antara dinding luar dan udara *ambient* dapat menggunakan persamaan:

$$Ra_l = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\beta = T_f^{-1} \equiv \left[ \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana:

Ra = *rayleigh number*

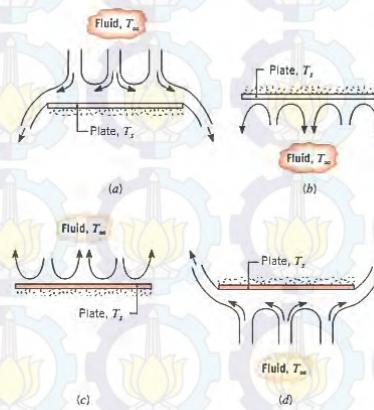
g = konstanta gravitasi

$\beta$  = koefisien ekspansi termal ( $K^{-1}$ )

L = panjang karakteristik (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $\frac{m^2}{s}$ )

$\alpha$  = difusitas termal ( $\frac{m^2}{s}$ )



Gambar 2.18 a) bagian atas plat dingin b) bagian bawah plat dingin c) bagian atas plat panas d) bagian bawah plat panas

Untuk plat horizontal (segiempat, bujur sangkar, dan lingkaran) didefinisikan panjang karakteristik yaitu:

Dimana:  $A_s$  = luas permukaan plat dan  $P$  = keliling plat

Bilangan nusselt dihitung dengan persamaan:

Bagian atas plat panas atau bagian bawah plat dingin

$$\overline{Nu_l} = 0,15 Ra_l^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_l \leq 10^{11}, \text{all } 0,7) \dots \quad (2.27)$$

Bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin:

$$\overline{Nu_l} = 0,52 Ra_l^{1/5} \quad (10^4 \leq Ra_l \leq 10^9, Pr \geq 0,7) \quad (2.28)$$

## 2.9 Perpindahan Panas Dalam Kiln

Perpindahan panas dalam *kiln* terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada lapisan batu tahan api dan *kiln shell*, yaitu dari dalam *kiln* menuju permukaan luar. Berikut merupakan gambar distribusi temperatur dan penampang *kiln*.



**Gambar 2.19** Tahanan Termal Dalam Zona Prekiln

Perpindahan panas yang terjadi dinyatakan dengan persamaan:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\sum R_{th}} \dots\dots\dots(2.29)$$

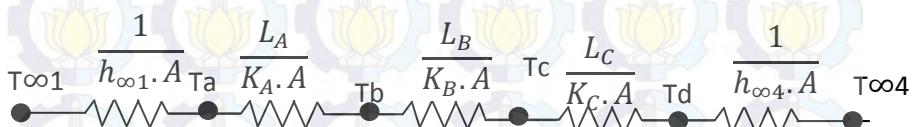
dimana:

$T_{\infty 1}$  = temperatur dalam kiln (K)

$T_{\infty 4}$  = temperatur luar kiln (K)

$\sum R_{th}$  = tahanan termal pada kiln (K/ Watt)

Rangkaian tahanan termal pada zona *prekiln* ditunjukkan pada gambar dibawah



Dari persamaan 2.29 maka nilai dari jumlah tahanan termal pada kiln yaitu:

$$\sum R_{th} = \frac{1}{h_{\infty 1} \cdot A} + \frac{L_A}{K_A \cdot A} + \frac{L_B}{K_B \cdot A} + \frac{L_C}{K_C \cdot A} + \frac{1}{h_{\infty 4} \cdot A} \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana:

$h_{\infty 1}$  = koefisien perpindahan panas konveksi udara dalam kiln (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{\infty 4}$  = koefisien perpindahan panas konveksi udara luar kiln (W/m<sup>2</sup>.K)

$K_A$  = konduktifitas termal pada material A (W/m.K)

$K_B$  = konduktifitas termal pada material B (W/m.K)

$K_C$  = konduktifitas termal pada material C (W/m.K)

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian dilakukan oleh T.S. Possamai\*, R. Oba, V.P. Nicolau tentang *Numerical and experimental thermal analysis of an industrial kiln used for frit production* (tahun 2012) membahas

tentang metodologi pembelajaran dan pemodelan energi termal dalam pembakaran *ceramic frit* dalam *kiln* dengan *software CFD*. Pemodelan CFD yang digunakan berupa *software Ansys CFX 11.0* yang mana menggunakan metode *finite volumes*. CFD menggabungkan tiga dimensi panas konduksi dinding kiln untuk menentukan distribusi temperatur dinding luar *kiln*. Masalah termal ditinjau dari pembakaran natural gas dengan oksigen, aliran dalam *turbulent* untuk *exhaust gases*, energi *losses* karena konveksi dan radiasi dari dinding ke lingkungan. Pengumpulan data selama kiln beroperasi digunakan untuk verifikasi penyelesaian secara numerik. Adapun hasil perhitungan berupa didapatkan seperti tabel 2.6.

Tabel 2.6 Hasil Perhitungan Energi *Balance* Secara Numerik dan Eksperimental

*Energy balance – experimental and numerical results.*

	Experimental energy		Numerical energy		Difference [%]
	[kW]	[%]	[kW]	[%]	
Energy input	1050	100	1000	100	–
Flue gas – chimney	346	32.9	251	25.1	7.8
Fusion product	428	40.8	388	38.7	2.1
Wall losses	314	29.9	363	36.2	-6.3
Energy output		103.6		100	
Frit production [kg/s]	0.240		0.237		-1.25

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan hasil analisis antara metodologi secara numerik dan eksperimental.

Penelitian sama yang dilakukan oleh R. Oba, T.S. Possamai, V.P. Nicolau ini tentang *Thermal Analysis Of A Tunnel Kiln Used To Produce Roof Tiles* (tahun 2013) membahas analisis termal kiln yang digunakan untuk memproduksi genteng dengan bahan bakar kayu dan minyak. Analisis ini menggunakan metode *finite volume* dengan model numerik 3 dimensi. Hasil numerik dan eksperimen dari pengukuran operasi *kiln* akan dibandingkan

dan diamati. Profil suhu dan *fluks* panas untuk dinding dan beban diberikan sebagai berikut.

Tabel 2.7 Variabel Tetap

Variable	Mass flux [kg/s]	Temperature [K]
Lorry inlet	$3.39 \pm 5\%$	$298 \pm 2$
Raw roof tiles	$1.15 \pm 5\%$	$298 \pm 2$
Roof tile outlet	$1.07 \pm 5\%$	$343 \pm 5$
Lorry outlet	$3.39 \pm 5\%$	$343 \pm 5$
Shale oil	$0.05 \pm 1\%$	$298 \pm 2$
Shale oil combustion air	$1.02 \pm 2\%$	$298 \pm 2$
Firewood	$0.14 \pm 5\%$	$298 \pm 2$
Firewood combustion air	$0.72 \pm 2\%$	$298 \pm 2$
Cooling air inlet (fast cooling)	$0.33 \pm 10\%$	$298 \pm 2$
Flue gas extractor	$9.79 \pm 2\%$	$408 \pm 5$
Cooling air extractor	$5.75 \pm 2\%$	$425 \pm 5$

Tabel 2.8 Properties Perpindahan Panas

	Thermal conductivity [W/mK]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific heat [J/kg K]	Emissivity
Load	1.0	1920	1000	0.8
Kiln walls and roof	1.0	1920	835	0.8
Furniture	0.5	190	1000	0.8
Air	—	1.24	1200	—
Flue gas	—	—	1200	—

Dari data diatas, R. Oba, T.S. Possamai, V.P. Nicolau menganalisis termal berupa konveksi dan radiasi pada kiln. Persamaan yang digunakan dalam analisis ini adalah

$$\frac{\partial(\rho CpUiT)}{\partial X_i} + \frac{\partial(Q''_{conv})}{\partial X_i} + \frac{\partial(-\frac{k\partial T}{\partial X_i})}{\partial X_i} + \frac{Q_{rad}}{V} = 0$$

Dimana  $Q''_{conv} = h(T_s - T_f)$  dan harga Nu didapat dari persamaan

$$\overline{Nu} = \frac{hl}{k} = (0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{(1+(0,492/Pr)^{9/16})^{8/27}})^2$$

$$\text{Dan } Q_{Rad} = \frac{\sigma A_j (T_k^4 - T_j^4)}{\frac{1}{\epsilon_k} + \frac{1}{\epsilon_j} - 1}$$

Hasil perhitungan didapatkan berupa perbandingan dari kesetimbangan energi dari hasil perhitungan eksperimen dan numerik sebagai berikut

Tabel 2.9 Hasil Kesetimbangan Energi Dari Eksperimen dan Numerik

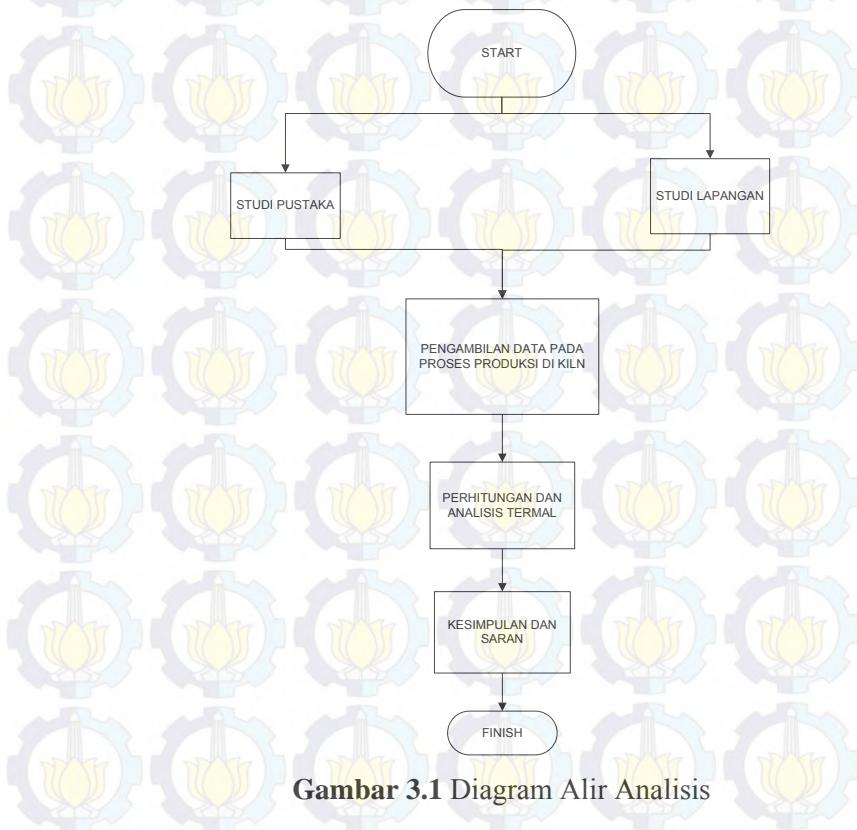
	Experimental		Numerical		Difference
	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[%]
Firewood combustion	1477	48	1477	48	0
Shale oil combustion	1613	52	1613	52	0
Total energy input	3090	100	3090	100	0
Lateral wall losses	502	16	428	14	15
Roof losses	575	19	557	18	3
Flue gas outlet	1145	37	1027	33	10
Cooling air outlet	774	25	667	22	14
Load and lorry losses	453	15	411	13	9
Total energy output	3449	112	3090	100	12
Difference (in-out)	-374	-12	0.456	0.015	

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Sistematika

Sistematika analisis dalam subbab ini menjelaskan tahap-tahap yang akan dilakukan. Berikut ini merupakan gambaran umum sistematika analisis.



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis

### 3.2 Penjelasan Sistematika Analisis

#### 3.2.1. Studi Pustaka

Melakukan studi literatur untuk mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan proses produksi keramik dan analisis termal pada *kiln*. Literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku / *text book*, diktat yang mengacu pada referensi, jurnal ilmiah, tugas akhir yang berkaitan dan media internet.

#### 3.2.2. Studi Lapangan

Setelah membaca studi literatur, melakukan pengamatan ke lapangan secara langsung tentang produksi keramik pada PT Keramik Diamond Industries.

##### 3.2.2.1 Subjek Penelitian

###### 3.2.2.1.1 Spesifikasi Kiln

Subjek penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu *Kiln* di PT Keramik Diamond Industries.



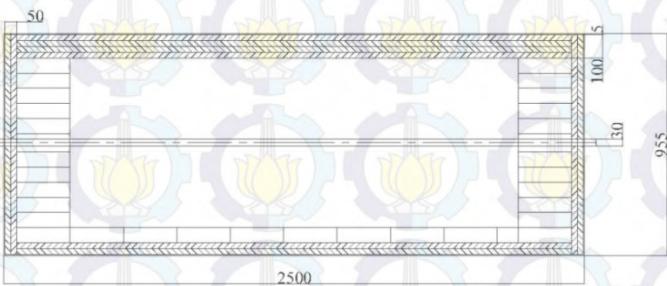
Gambar 3.2 *Kiln* di PT Keramik Diamond Industries

Spesifikasi dari *kiln* sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Kiln*

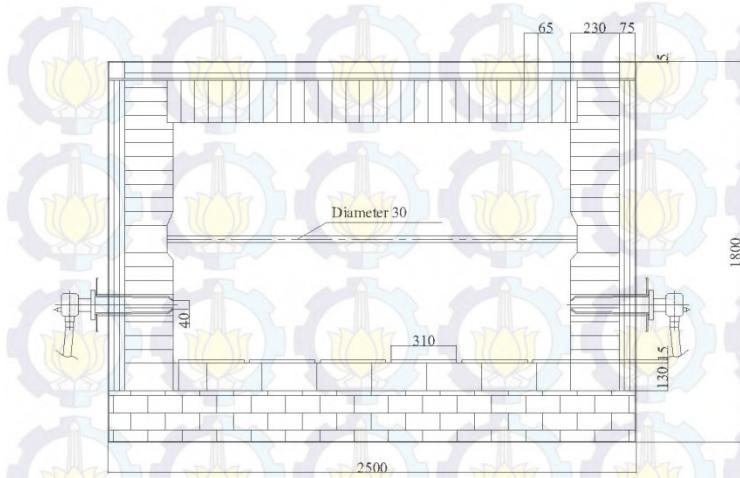
<i>Machine type</i>	FMS 250/84
<i>Serial number</i>	109334
<i>Construction year</i>	2002
<i>Fuel type</i>	<i>Natural gas</i>
<i>LHV</i>	8300 kkal/kg
<i>Fuel pressure</i>	1 bar
<i>Max heating</i>	4200 KW
<i>Operating temp.</i>	1120°C
<i>Max temp.</i>	1250°C
<i>Type of material to fire</i>	<i>Firing of ceramic product</i>
<i>Max output</i>	5350 kg/h
<i>Atmosfer in the firing channel</i>	<i>Oxidizing</i>
<i>Min number of pre purging cycles</i>	3
<i>Max press in the channel</i>	0,02 mbar

### 3.2.2.1.2 Zona Prekiln



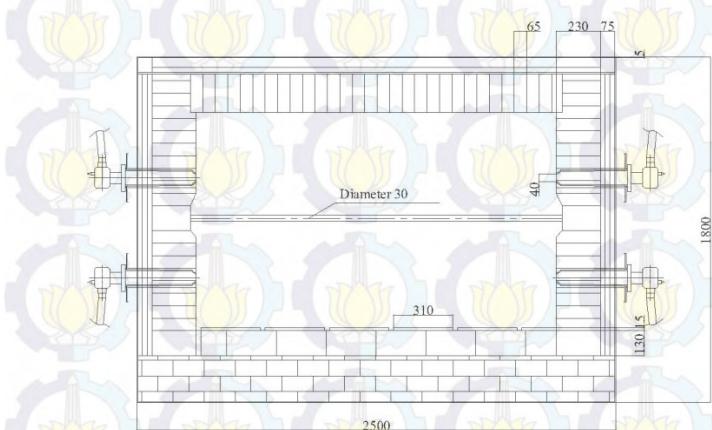
Gambar 3.3 Desain Zona Prekiln

### 3.2.2.1.3 Zona Preheating



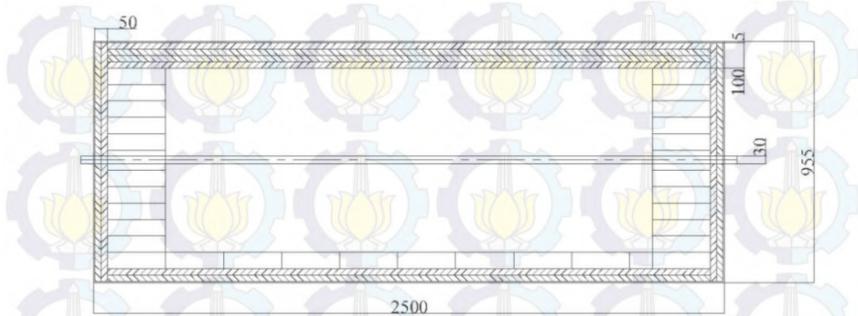
Gambar 3.4 Desain Zona Preheating

### 3.2.2.1.4 Zona Firing



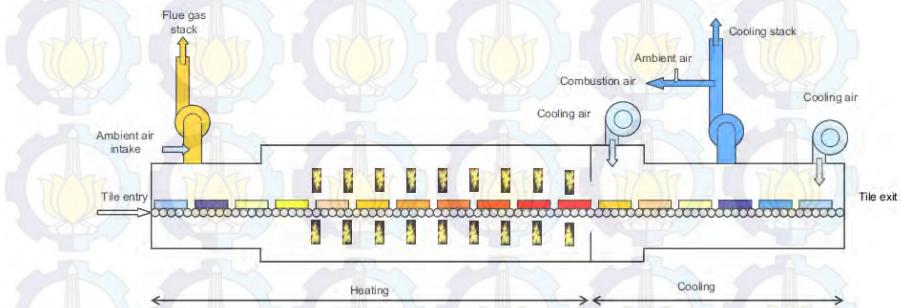
Gambar 3.5 Desain Zona Firing

### 3.2.2.1.5 Zona Cooling



**Gambar 3.6 Desain Zona Cooling**

### 3.2.3.Pengambilan Data pada Proses Produksi di Kiln



**Gambar 3.7 Skema Kiln**

Data yang dapat diperoleh dari pengamatan langsung ke lapangan berupa:

### 3.2.3.1 Temperatur Keramik pada Tiap-tiap Zona

Tabel 3.2 Data Temperatur Keramik Pada Tiap-Tiap Zona

Tik (°C)	Tip (°C)	Tif (°C)	Tic1 (°C)	Tic2 (°C)	Tsf (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	Tca (°C)
50	500	1000	500	120	532	751	110	67,4

Sumber: *daily report PT KDI*, 25 Januari 2015

dimana:

Tik = temperatur keramik pada saat masuk *prekiln*

Tip = temperatur keramik pada saat masuk *preheating*

Tif = temperatur keramik pada saat masuk *firing*

Tic1 = temperatur keramik pada saat masuk *speed cooling*

Tic2 = temperatur keramik pada saat masuk *final cooling*

Tsf = temperatur udara pada *smoke fan*

Tc1 = temperatur udara pada *speed cooling air*

Tca = temperatur udara pada *combustion air*

Tc2 = temperatur udara pada *final cooling air*

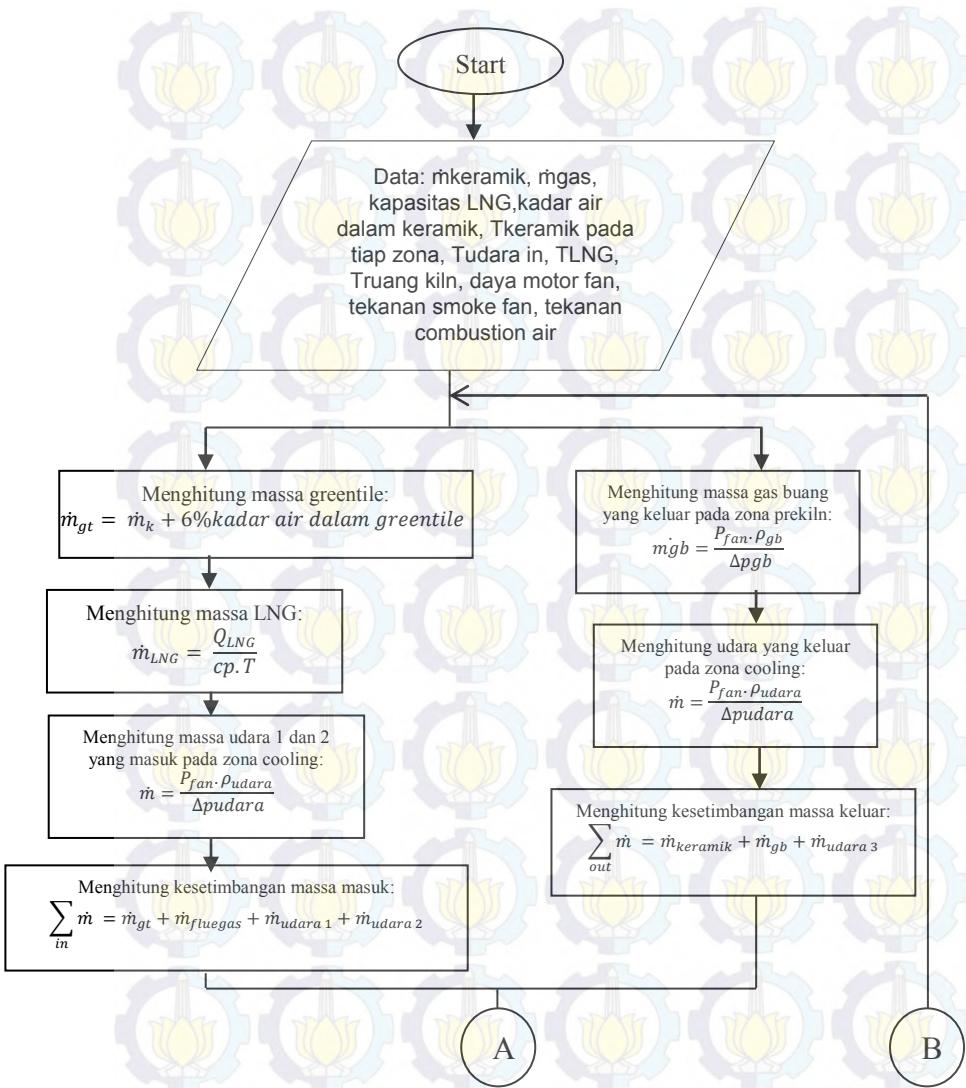
### 3.2.3.2 Motor Fan

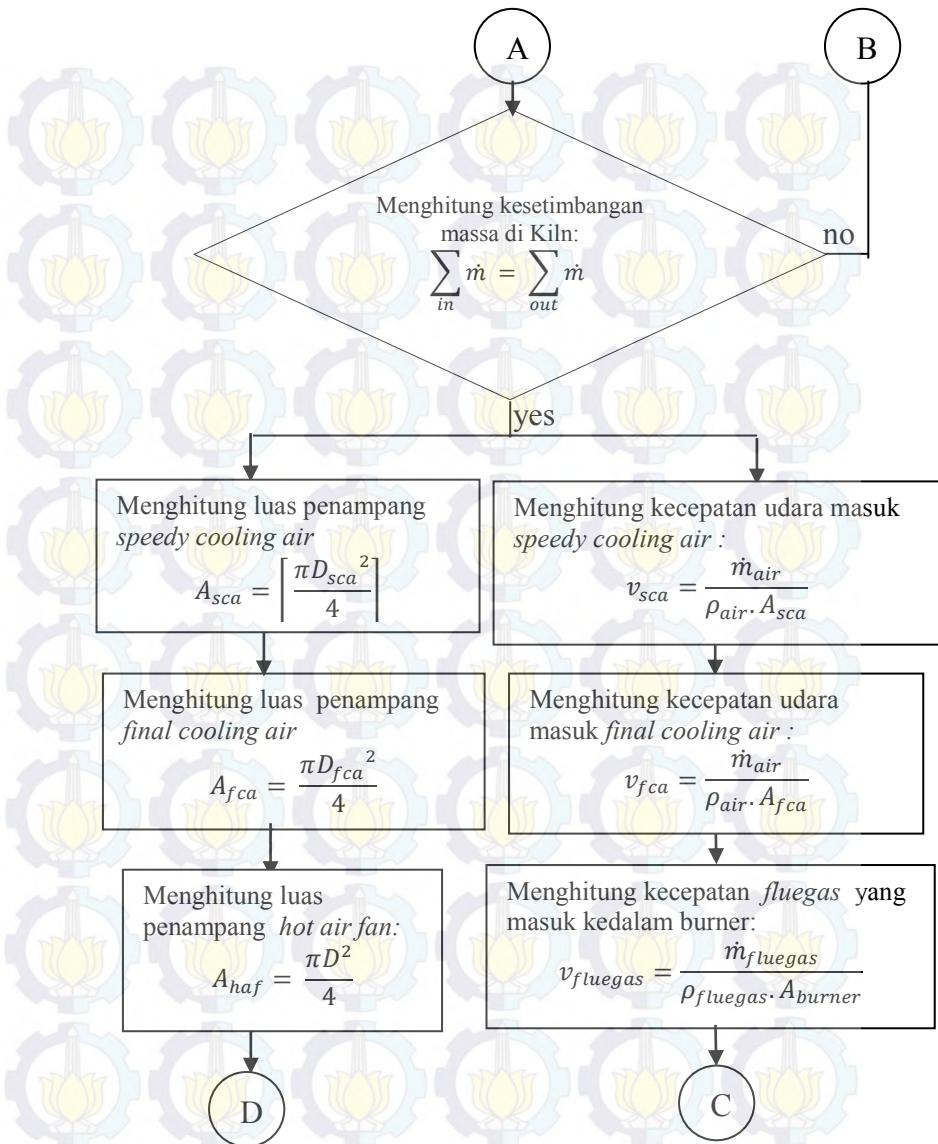
Tabel 3.3 Data Putaran Dari Motor *Plant IV Glost Kiln I*

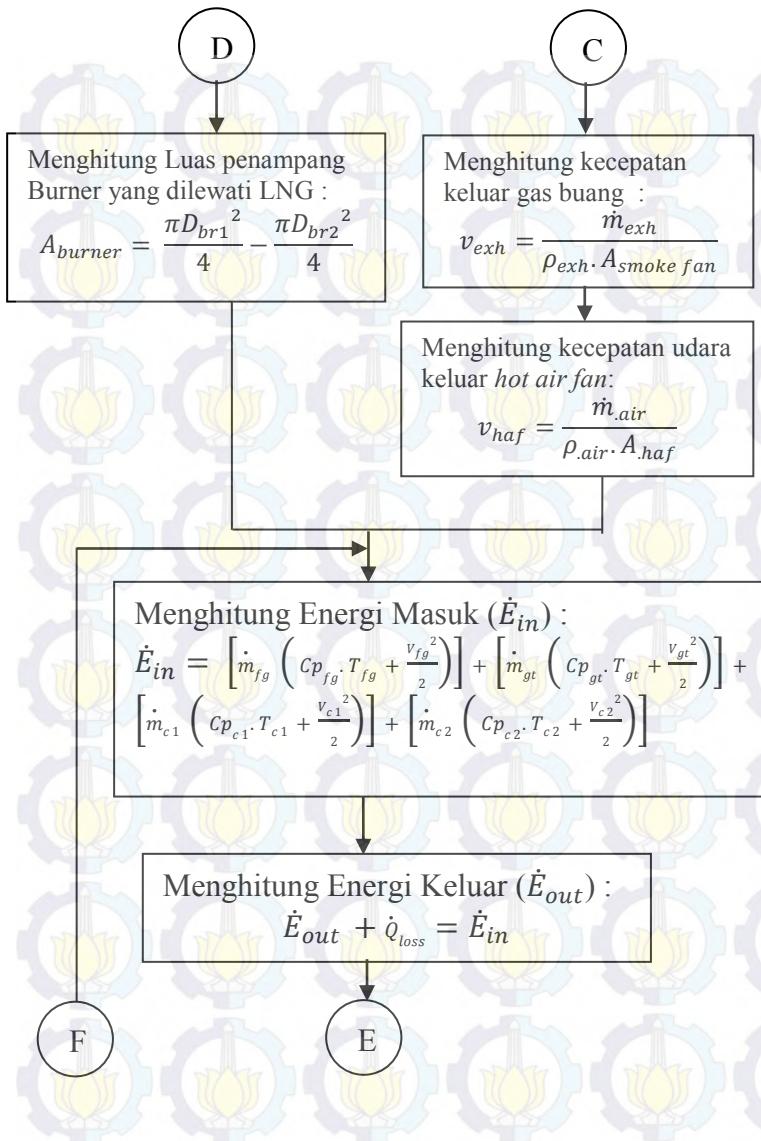
Spesifikasi	Daya motor (KW)	Putaran (rpm)
1. <i>Smoke fan/fumes suction fan</i>	33	1500
2. <i>Combustion air fan</i>	22	1500
3. <i>Rapid/speedy cooling fan</i>	15	1500
4. <i>Hot air suction fan</i>	30	1500
5. <i>Final cooling fan</i>	30	1500
6. <i>Row hot air suction fan</i>	7,5	1500

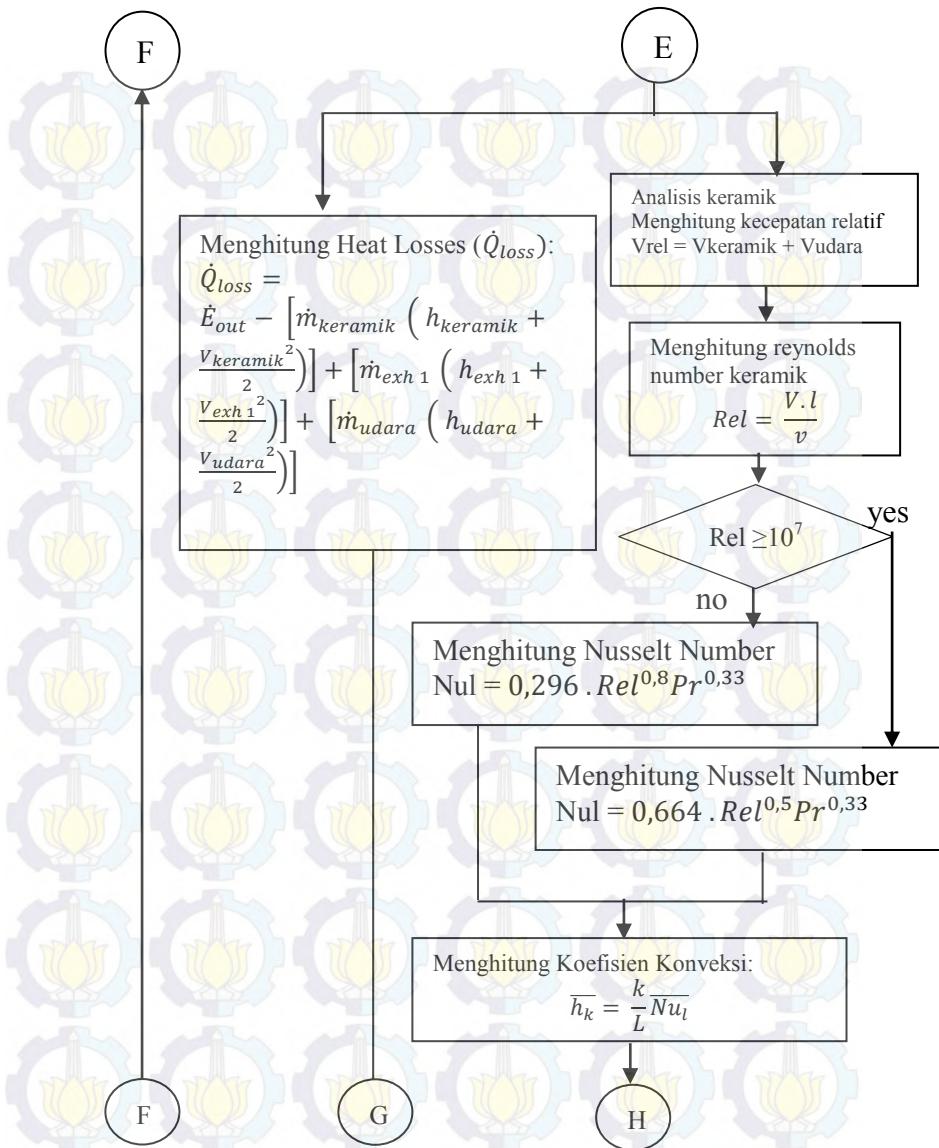
(Sumber: *daily report PT KDI, 11 Februari 2015*)

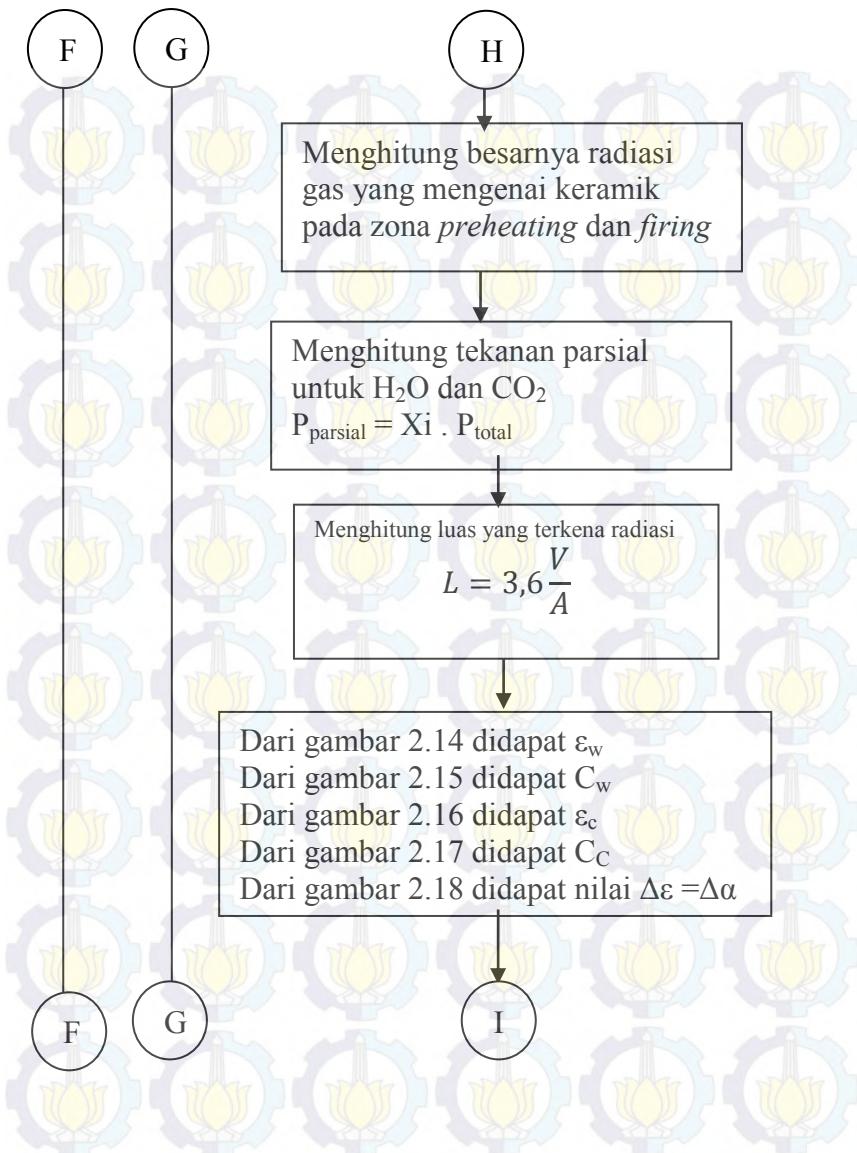
### 3.3 Diagram Alir Perhitungan

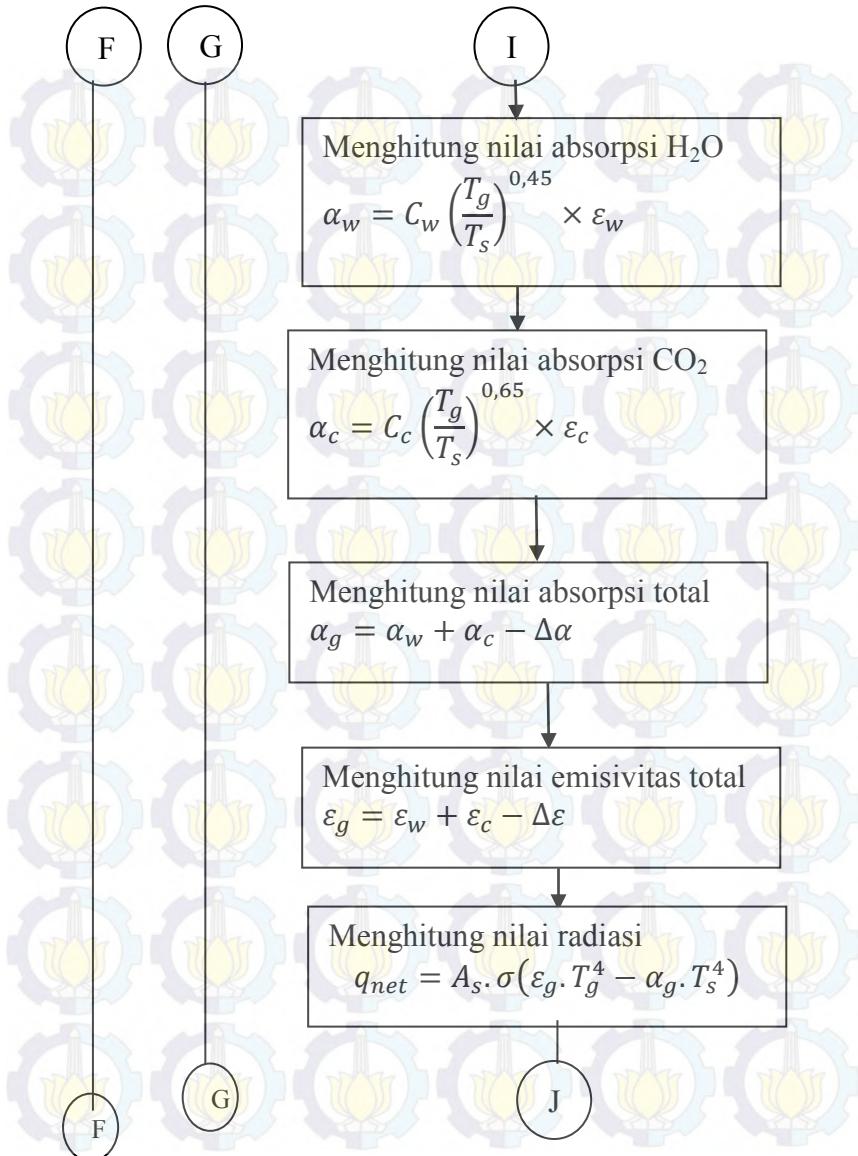


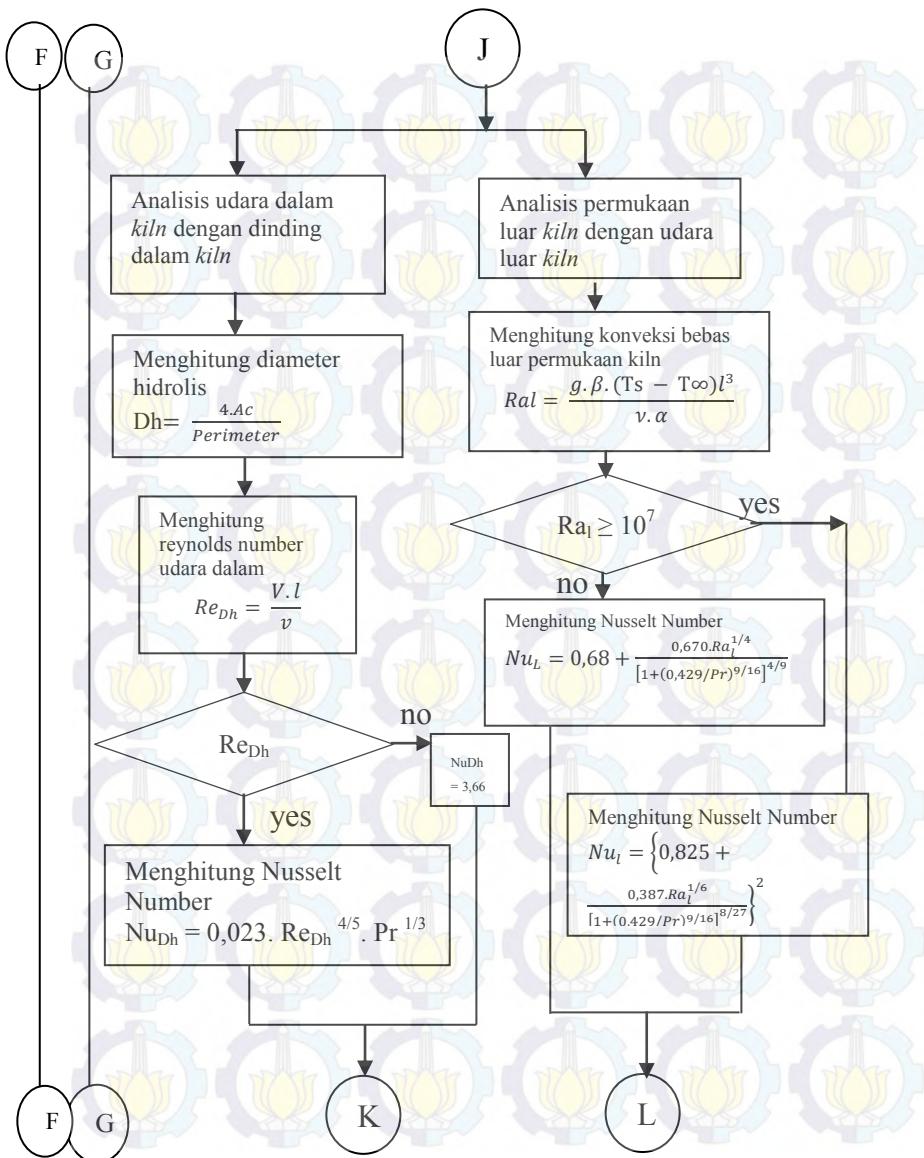


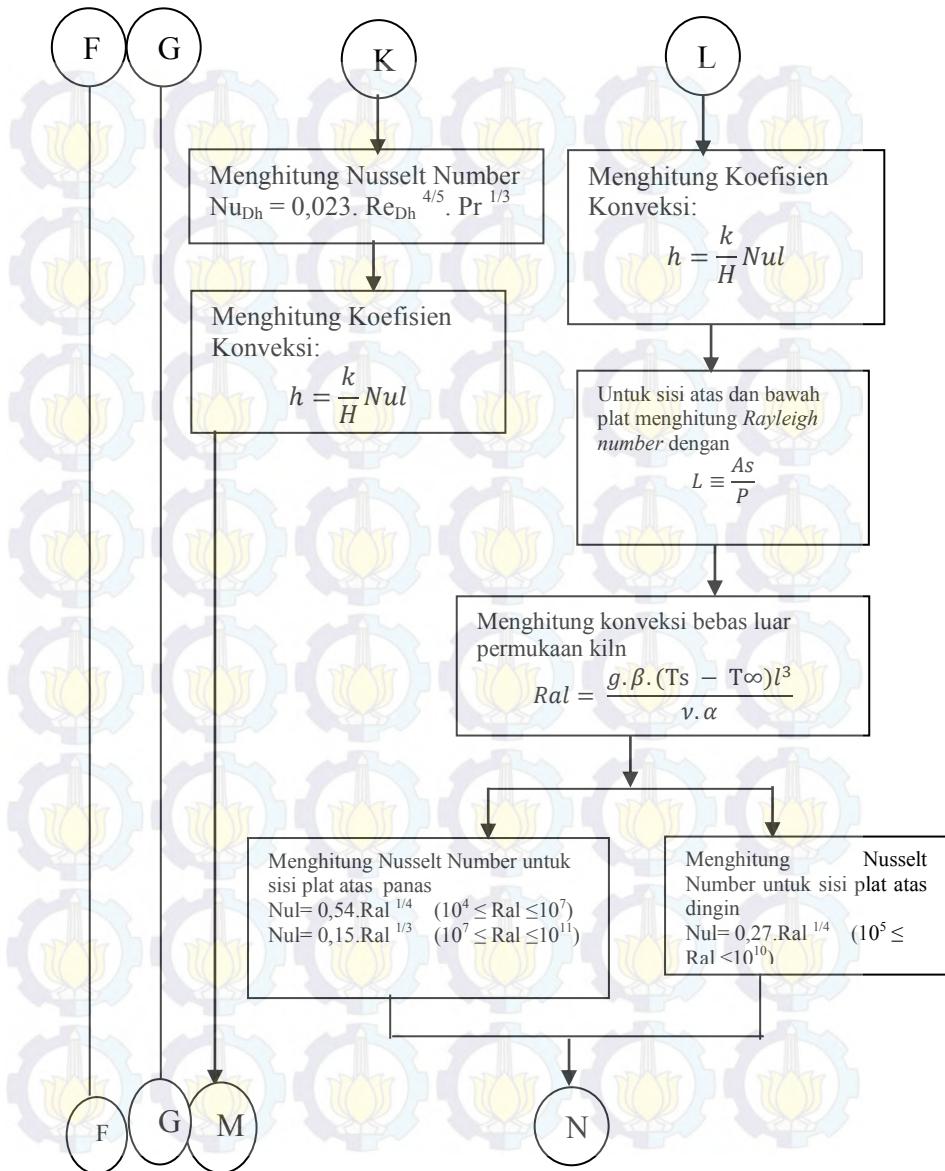


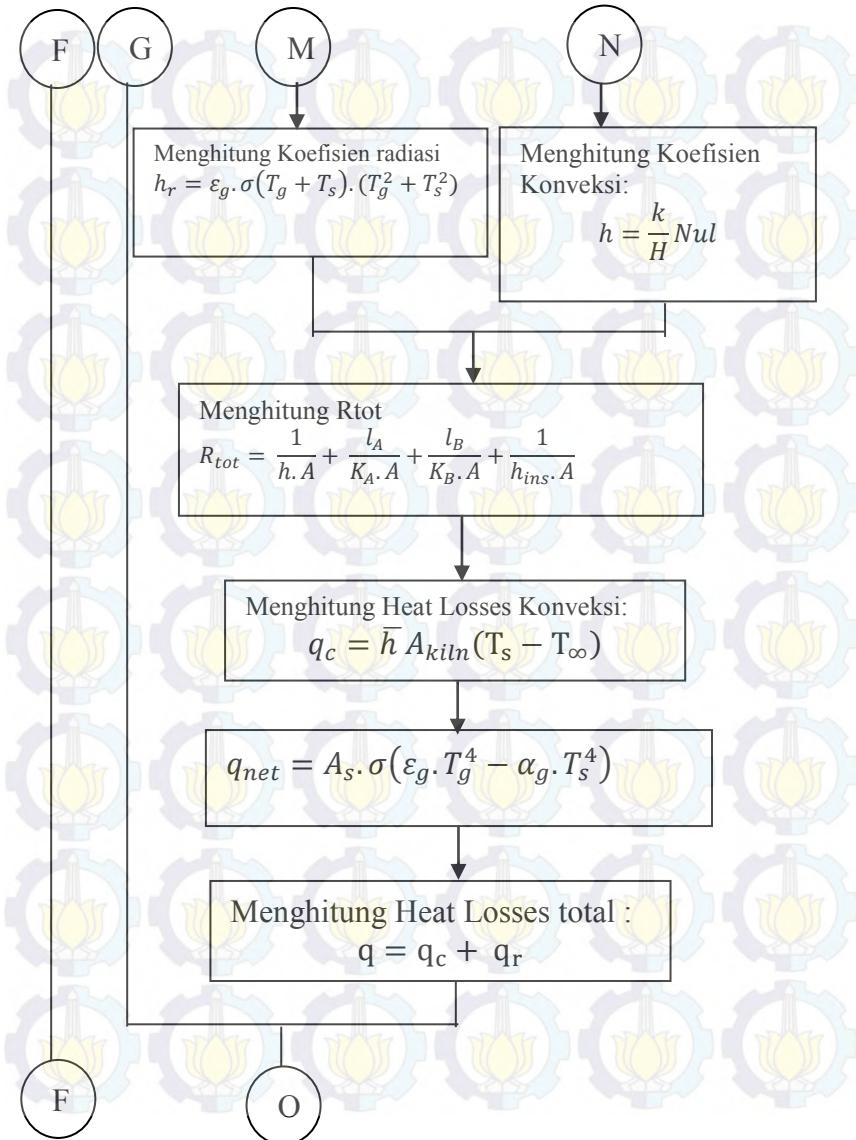


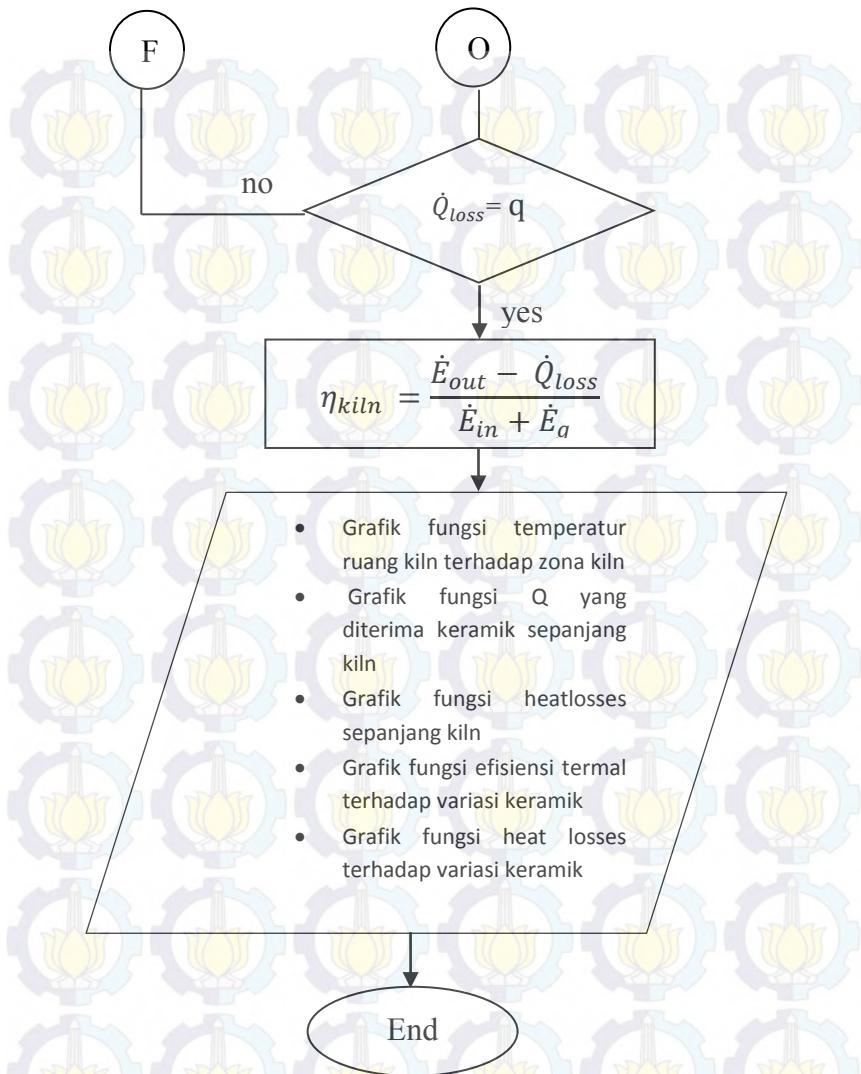












**Gambar 3.8** Diagram Alir Perhitungan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Operasi

Analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini berdasarkan data yang diperoleh dari *daily report kiln* PT Keramik Diamond Industries (KDI). Berikut merupakan data operasi *kiln*:

Tabel 4.1 Data Produksi Keramik

Shift	Gas (Nm <sup>3</sup> )	Produk (m <sup>2</sup> )	Produk (kg)	Specific consumption (kkal/kg)
1	2148	2347	41072	454
2	2139	2355	41212	451
3	2104	2347	41072	445
total	6391	7049	123356	450

(sumber: *daily report* PT KDI tanggal 25 Januari 2015)

Tabel 4.2 Data Temperatur Keramik Tiap Zona

Prekiln (°C)	Preheating (°C)	Firing (°C)	Rapid Cooling (°C)	Final Cooling (°C)
50	500	1000	700	120

(sumber: *Ceramica* vol. 2)

Tabel 4.3 Data Pendukung

Data pendukung	Nilai
Temperatur udara luar	30°C
Percepatan gravitasi	9,81 m <sup>2</sup> /s
Diameter <i>burner</i> 1	40 mm
Diameter <i>burner</i> 2	72,84 mm
Diameter <i>smokefan</i>	300 mm
Diameter <i>speedy cooling air</i>	100 mm
Diameter <i>finalcoolingair</i>	200 mm
Diameter <i>hotairfan</i>	300 mm

Kadar air dalam <i>greentile</i>	6%
----------------------------------	----

(sumber:*daily report* PT KDI tanggal 25 Januari 2015)

*Greentile* yang masuk ke dalam *kiln* terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

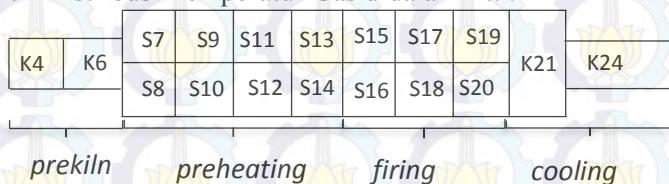
Tabel 4.4 Komponen *Greentile* yang Masuk dalam *Kiln*

Komponen	Massa (kg)	Percentase (%)
SiO <sub>2</sub>	0,7722	48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61132	38
P.F.	0,1930	12
K <sub>2</sub> O	6,435 x 10 <sup>-3</sup>	0,4
Na <sub>2</sub> O	4,8262 x 10 <sup>-3</sup>	0,3
TiO <sub>2</sub>	3,2175 x 10 <sup>-3</sup>	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,435 x 10 <sup>-3</sup>	0,4
CaCO <sub>3</sub>	6,435 x 10 <sup>-3</sup>	0,4
MgO <sub>3</sub>	4,8262 x 10 <sup>-3</sup>	0,3
Total	1,608762	100

(sumber:*daily report* PT KDI tanggal 25 Januari 2015)

Data yang digunakan untuk menghitung perpindahan panas pada *kiln* yaitu:

### 1. Distribusi Temperatur Gas didalam *Kiln*



Gambar 4.1 Skema Distribusi Temperatur Gas dalam *Kiln*

Tabel 4.5 Data Temperatur Ruang Kiln Tiap Zona

Jam	Tipe	Gas Flow (atm)	Prekiln ( $^{\circ}\text{C}$ )		Preheating ( $^{\circ}\text{C}$ )				Firing ( $^{\circ}\text{C}$ )			Cooling ( $^{\circ}\text{C}$ )	
			k4	k6	s7	s9	s11	s13	s15	s17	k19	k21	k24
08,00	n. white	3	775	820	797	820	900	969	1060	1100	1035	560	540
					860	890	960	1020	1130	1143	900		
9,30	TVD	3	770	820	780	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1141	900		
11,00	n. white	3	770	820	788	820	900	969	1060	1100	1035	560	538
					860	890	960	1020	1130	1141	900		
12,30	TVD	3	770	820	780	820	900	969	1060	1100	1055	560	540

					860	890	960	1020	1130	1141	900		
14,00	<i>brown</i>	3	768	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	555	538
					860	890	960	1020	1130	1141	900		
15,30	TVD	3	770	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1142	900		
17,00	TVD	3	770	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1142	900		
18,30	TVD	3	766	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1142	900		
20,00	TVD	3	769	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1142	900		

23,00	TVD	3	770	820	800	820	900	969	1060	1100	1055	560	540
					860	890	960	1020	1130	1142	900		
00,30	TVD	3	772	820	803	821	894	969	1060	1028	1000	568	540
					860	891	960	1020	1130	1141	900		
02,00	<i>n. white</i>	3	770	820	810	820	894	969	1060	1028	1040	569	540
					806	890	960	1020	1130	1140	900		
03,30	<i>n. white</i>	3	769	820	800	821	900	969	1060	1100	1040	561	547
					860	891	960	1020	1130	1143	900		
05,00	<i>n. white</i>	3	770	820	800	820	900	969	1060	1100	1040	563	543
					859	890	959	1020	1130	1143	900		
06,30	TVD	3	770	820	800	825	901	969	1060	1103	1070	548	534

				849	889	960	1020	1130	1142	900	
--	--	--	--	-----	-----	-----	------	------	------	-----	--

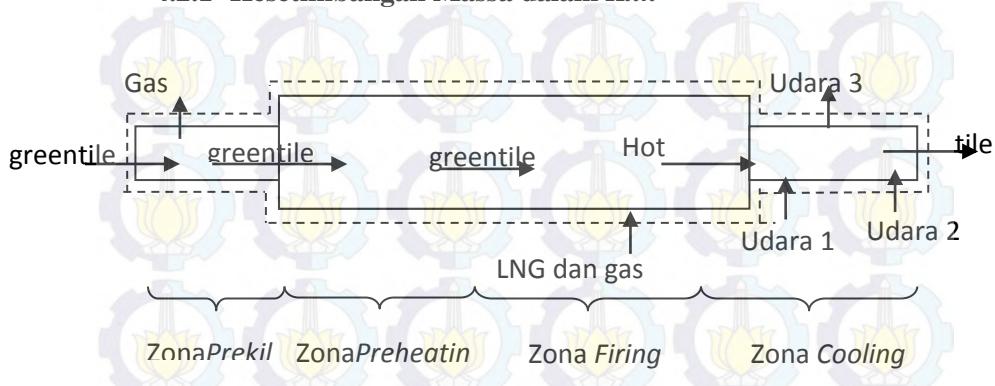
(sumber:*daily report* PT KDI tanggal 25 Januari 2015)

Tabel 4.6 Data *Kiln Shell*, Keramik, *Brick* dan *Fiber Kiln*

Properties	Nilai
Konstanta boltzman	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
$K_{shell}$	32,1 W/mK
$K_{brick}$	1,8 W/mK
$K_{fiber}$	0,038 W/mK
$K$ keramik	1,5996 W/mK
Tebal <i>brick</i>	65 mm
Tebal <i>fiber</i>	25 mm
Tebal <i>kilnshell</i>	5 mm
Tebal keramik	80 mm

## 4.2 Analisis Berdasarkan Termodinamika

### 4.2.1 Kesetimbangan Massa dalam Kiln



**Gambar 4. 2 Kesetimbangan Massa Alir dalam Kiln**

Data laju alir massa keramik maupun LNG pada *kiln* didapat berdasarkan *daily report* pada tanggal 25 Januari 2015 pukul 08.00 sampai pukul 06.30 WIB. Data laju alir LNG didapat berdasarkan kebutuhan energi pembakaran keramik, sehingga besarnya berubah setiap jam. Untuk hasil perhitungan kesetimbangan massa tersebut diambil nilai rata-rata data yang ada pada tanggal 25 Januari 2015. Sedangkan untuk massa lain yang masuk dalam *kiln* diperoleh dari perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung Massa yang Masuk dalam *Kiln*
  - Massa *greentile*
$$\dot{m}_{gt} = \dot{m}_{keramik} + 6\% \text{ kadar air dalam keramik}$$

$$\dot{m}_{gt} = 5463,82 + 327,8292 = 5791,54 \text{ kg/j}$$
  - Massa *speedycooling air*
$$\dot{m}_{sca} = \frac{P_{fan} \cdot \rho_{udara}}{\Delta P_{udara}} = \frac{15000 \frac{Nm}{s} \times 0,90187 \frac{kg}{m^3}}{(101325 - 5000)Pa} = 0,1404 \frac{kg}{s} = 505,566 \text{ kg/jam}$$

➤ Massa *finalcooling air*

$$\dot{m}_{fca} = \frac{P_{fan} \cdot \rho_{udara}}{\Delta P_{udara}} = \frac{30000 \frac{Nm}{s} \times 0,913226 kg/m^3}{(101325 - 4000)Pa} \\ = 0,28149 \frac{kg}{s} = 1013,364 kg/jam$$

2. Menghitung Massa yang Keluar dari *Kiln*

➤ Massa *hot air fan*

$$\dot{m}_{haf} = \frac{P_{fan} \cdot \rho_{udara}}{\Delta P_{udara}} = \frac{33000 \frac{Nm}{s} \times 0,3367 kg/m^3}{(101325 - 63000)Pa} \\ = 0,33902 \frac{kg}{s} = 1220,472 kg/jam$$

Dari data yang didapat pada *dailyreport* PT. KDI dan perhitungan dapat dibuat kesetimbangan massa berbentuk tabel yang menunjukkan secara jelas aliran massa masuk dan keluar dari sebuah sistem *kiln*.

Tabel 4.7 Kesetimbangan Massa dalam *Kiln*

Massa masuk	Nilai (kg/jam)	Massa keluar	Nilai (kg/jam)
<i>Greentile</i>	5791,5432	keramik	5463,82
<i>LNG</i>	52,8564	<i>Hot fluegas</i>	1540,8
<i>Speedy cooling air</i>	505,566		
<i>Final cooling air</i>	1013,364		
Total	7363,3296	Total	7004,62

Dari persamaan kesetimbangan massa, maka massa *hot air* yang keluar dihitung sebagai

$$\dot{m}_{gb} = \sum_{in} \dot{m} - (\dot{m}_{keramik} + \dot{m}_{hf})$$

$$\dot{m}_{gb} = 7363,3296 \text{ kg/jam} - 7004,62 \text{ kg /jam}$$

$$\dot{m}_{gb} = 358,7096 \text{ kg/jam}$$

#### 4.2.2 Heat Losses dan Efisiensi Kiln

Analisis *heat losses* dan efisiensi *kiln* dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

##### 1. Menghitung Luas Masing-Masing Penampang

- Luas penampang *burner* yang dilewati bahan bakar

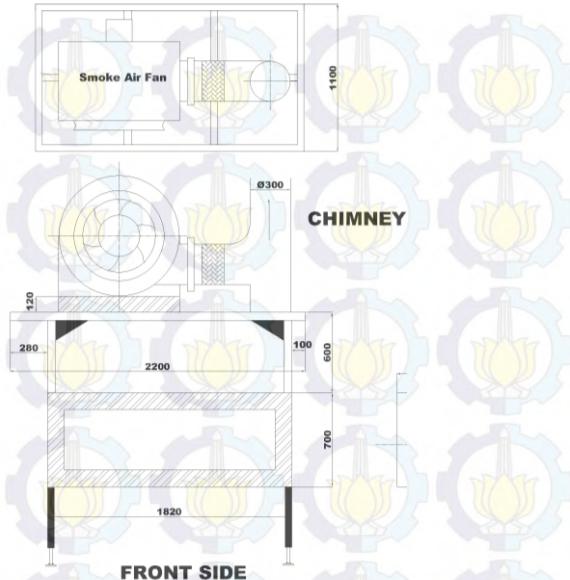


Gambar. 4.3 Burner Pada Kiln Keramik

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,007284^2 - \frac{\pi}{4} \cdot 0,004^2 = 2,9104 \times 10^{-3} m^2$$

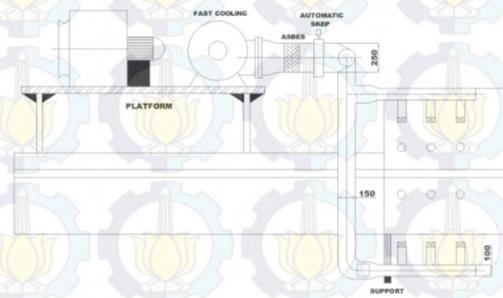
- Luas penampang *smoke fan* yang dilewati gas buang



**Gambar 4.4** Smoke Fan

$$A \text{ smoke fan} = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,3^2 = 0,0706 \text{ m}^2$$

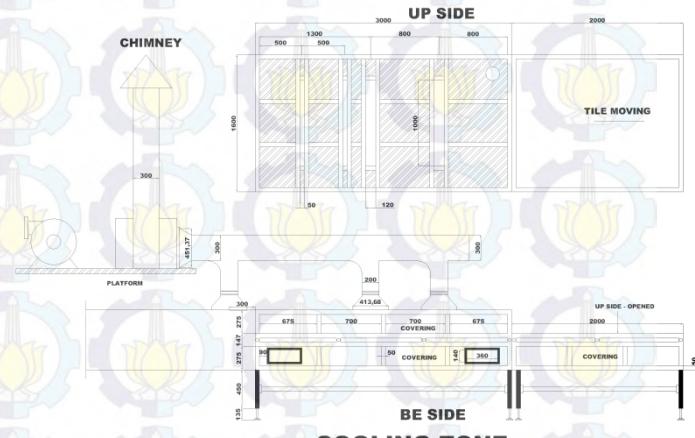
- Luas penampang *speedy cooling* yang dilewati udara masuk kedalam zona *speedy cooling*



**Gambar 4.5** Speedy Cooling Air Fan

$$A \text{ speedy cooling} = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1^2 = 0,00785 \text{ m}^2$$

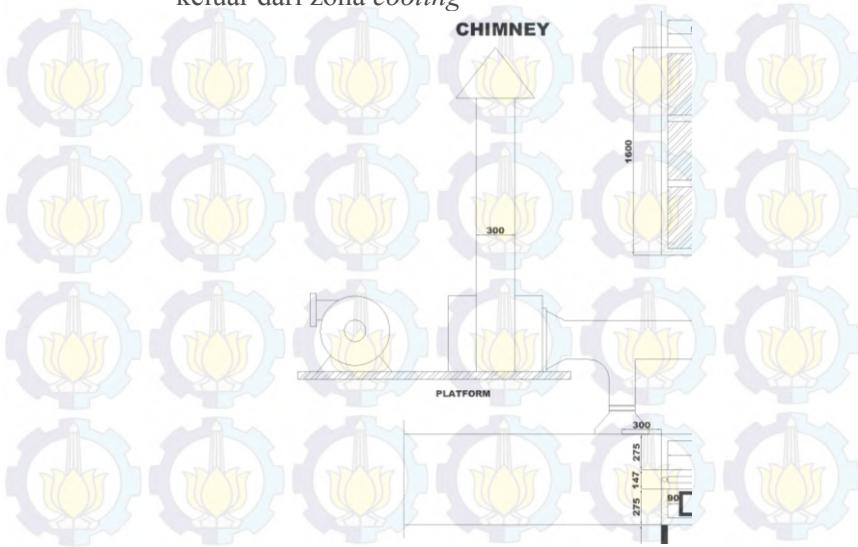
- Luas penampang *final cooling* yang dilewati udara masuk kedalam zona *final cooling*



**Gambar 4.6 Final Cooling**

$$A \text{ final cooling} = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,414^2 = 0,1343 \text{ m}^2$$

- Luas penampang *hot air fan* yang dilewati udara keluar dari zona *cooling*



Gambar 4.7 Hot Air Fan

$$A \text{ hot air fan} = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,3^2 = 0,0706 \text{ m}^2$$

## 2. Menghitung Kecepatan Masuk Masing-Masing Komponen

Asumsi:

1. Banyaknya *burner* pada zona *preheating* dan zona *firing* 28 buah
2. Banyaknya pipa *speedy cooling air* pada zona *cooling* 20 buah
3. Banyaknya pipa *final cooling air* pada zona *final cooling* 36 buah

- Kecepatan masuk *greentile* = kecepatan keluar keramik

$$v_k = \frac{\text{panjang kiln}}{\text{waktu}} = \frac{84 \text{ m}}{34 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ sec}} = 0,041176 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Kecepatan *speedy cooling air*

$$v_{udara} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\rho_{udara} \cdot A_{sca}} = \frac{0,14043 \frac{kg}{s}}{\frac{0,91827 \frac{kg}{m^3}}{0,91827 \frac{kg}{m^3}} \times 20 \times 0,00785 m^2} = 0,99186 \frac{m}{s}$$

- Kecepatan *final cooling air*

$$v_{udara} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\rho_{udara} \cdot A_{fca}} = \frac{0,28149 \frac{kg}{s}}{\frac{0,913226 \frac{kg}{m^3}}{0,913226 \frac{kg}{m^3}} \times 36 \times 0,1343 m^2} = 0,06373 \frac{m}{s}$$

- Kecepatan *smoke air fan*

$$v_{gb} = \frac{\dot{m}_{gb}}{\rho_{gb} \cdot A_{saf}} = \frac{0,27485 \frac{kg}{s}}{\frac{0,3367 \frac{kg}{m^3}}{0,3367 \frac{kg}{m^3}} \times 0,0706 m^2} = 11,5545 \frac{m}{s}$$

- Kecepatan *hot air fan*

$$v_{udara} = \frac{\dot{m}_{ha}}{\rho_{udara} \cdot A_{saf}} = \frac{0,42845 \frac{kg}{s}}{\frac{0,4331 \frac{kg}{m^3}}{0,4331 \frac{kg}{m^3}} \times 0,0706 m^2} = 14,0025 \frac{m}{s}$$

### 3. Energi Masuk

Energi masuk kiln terdiri dari energi *thermal* dan energi kinetik dari LNG, *greentile*, *primary air*, dan *secondary air* yaitu :

$$\dot{E}_{in} = \left[ \dot{m}_{gt} \left( Cp_{gt} \cdot T_{gt} + \frac{V_{gt}^2}{2} \right) \right] + [\dot{E}_{LNG}] + \left[ \dot{m}_{sca} \left( Cp_{sca} \cdot T_{sca} + \frac{V_{sca}^2}{2} \right) \right] + \left[ \dot{m}_{fca} \left( Cp_{fca} \cdot T_{fca} + \frac{V_{fca}^2}{2} \right) \right]$$

$$\dot{E}_{in} = \left[ 1,608762 \frac{kg}{s} \left( 424 \frac{J}{kg.K} \times 323 K \right) + \frac{(0,04117 \frac{m}{s})^2}{2} \right] + \\ [512,0309 kW] + \left[ 0,140435 \frac{kg}{s} \left( \left( 1012,8 \frac{J}{kg.K} \times 387,6 K \right) + \frac{(1,8615 \frac{m}{s})^2}{2} \right) \right] + \left[ 0,28149 \frac{kg}{s} \left( \left( 1012,3 \frac{J}{kg.K} \times 383 K \right) + \frac{(0,12086 \frac{m}{s})^2}{2} \right) \right]$$

$$\dot{E}_{in} = 220,323 kW + 512,0309 kW + 55,129 kW + 109,139 kW$$

$$\dot{E}_{in} = 896,6219 kW$$

#### 4. Energi Bangkitan

Energi bangkitan ditimbulkan karena proses pembakaran dan kalsinasi yaitu :

$$\dot{E}_g = (\dot{E}_{LNG}) - (\dot{m}_{CaCO_3} \cdot h_{CaCO_3}) - (\dot{m}_{MgCO_3} \cdot h_{MgCO_3})$$

Nilai kalor untuk LNG dan entalphy proses kalsinasi  $CaCO_3$  dan  $MgCO_3$  didapat dari referensi.

$$\dot{E}_g = (512,0309 kW) - \left( 6,435 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \cdot 8346 \frac{kJ}{kg} \right) - \\ \left( 4,8262 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \cdot 10878,26 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$\dot{E}_g = 512,0309 \frac{kJ}{s} - 53,7065 \frac{kJ}{s} - 52,5006 \frac{kJ}{s} = 406,4238 kW$$

Jadi energi bangkitan yang diperoleh dari proses pembakaran dan kalsinasi yaitu 406,4238 kW.

#### 5. Energi yang Termanfaatkan

Energi yang termanfaatkan dianalisis berdasarkan massa keramik yang dihasilkan oleh *kiln*.

$$\dot{E}_{used} = \left[ \dot{m}_{tile} \left( C_p_{tile} \cdot T_{tile} + \frac{V_{tile}^2}{2} \right) \right] + (\dot{m}_{CaCO_3} \cdot h_{CaCO_3}) + \\ (\dot{m}_{MgCO_3} \cdot h_{MgCO_3})$$

$$\dot{E}_{used} = \left[ 1,5177 \frac{kg}{s} \left( 424 \frac{j}{kg.K} \cdot 383 K + \frac{(0,04117 \frac{m}{s})^2}{2} \right) \right] + \\ 53706,5 \frac{j}{s} + 52500,6 \frac{j}{s}$$

$$\dot{E}_{used} = 352669,4397 W = 352,669 KW$$

## 6. Menghitung *Heat Losses*

Dari total energi masuk di *kiln* berturut-turut sebanyak 896,6219 kW dipergunakan untuk menghasilkan keramik. Energi lain yang belum dimanfaatkan yaitu *heat losses* pada *kiln* berupa gas buang dari *smoke fan* dan *hot air fan* serta perpindahan panas dari dalam *kiln* ke luar secara radiasi dan konveksi. Perhitungan *heat losses* yaitu :

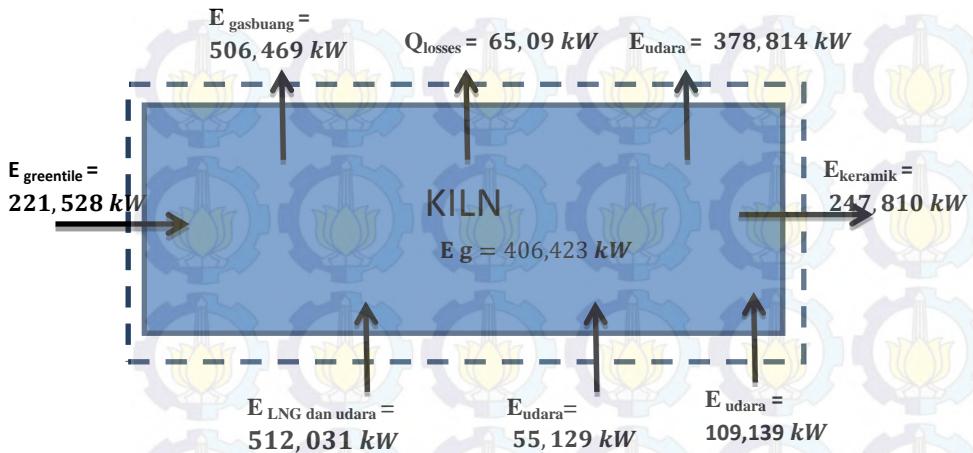
$$\dot{Q}_{loss} = \dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{keramik}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 896,6219 kW + 406,4238 kW - 247,810 kW$$

$$\dot{Q}_{loss} = 950,3767 kW$$

Jadi energi termal yang merupakan rugi-rugi panas pada *kiln* di PT. Keramik *Diamond Industries* sebanyak 950,3767 kW.

## 7. Menghitung Efisiensi Kiln



Gambar 4.8 Kesetimbangan Energi pada Kiln

Gambar 4.8 menjelaskan bahwa energi input paling besar berasal dari energi LNG yaitu sebesar 512,031 kW. Sedangkan energi yang paling banyak digunakan adalah untuk pembakaran keramik yaitu sebesar 247,810 kW.

Efisiensi termal kiln diperoleh dari perbandingan jumlah energi yang dimanfaatkan dengan energi masuk dan energi proses pembakaran LNG sehingga didapat persamaan :

$$\eta_{kiln} = \frac{\dot{E}_{used}}{\dot{E}_{in}} = \frac{\dot{E}_{keramik} + \dot{E}_{kalsinasi}}{\dot{E}_{in} + \dot{E}_{pembakaran}} \dots\dots (4.4)$$

Sehingga efisiensi kiln di PT.Keramik DiamondIndustries pada saat laju alir massa LNG dan udara pembakaran 52,856 kg/jam dan laju alir massa *greentile* sebesar 5791,5432 kg/jam :

$$\eta_{kiln} = \frac{352,669 \text{ kW}}{896,6219 \text{ kW}}$$

$$\eta_{kiln} = 0,3933 = 39,33 \%$$

### 4.3 Analisis Berdasarkan Perpindahan Panas

#### 4.3.1 Pembagian Zona pada Kiln

Analisis *heatlosses* ke lingkungan berdasarkan pendekatan perpindahan panas dilakukan dengan membagi *kiln* menjadi 5 zona. Zona tersebut dibagi berdasarkan besarnya distribusi temperatur *kiln* pada tabel dibawah.

Tabel 4.8 Distribusi Temperatur Ruang *Kiln*

Zona	Temperatur permukaan (K)
<i>Pre-kiln</i>	1068,4
<i>Pre-heating</i>	1177,42
<i>Firing</i>	1332,236
<i>Cooling 1</i>	835,6
<i>Cooling 2</i>	814,6

Tabel 4.9 Distribusi Temperatur Permukaan Luar *Kiln*

Zona	Temperatur permukaan (K)
<i>Pre-kiln</i>	318
<i>Pre-heating</i>	333
<i>Firing</i>	343
<i>Cooling 1</i>	323
<i>Cooling 2</i>	313

#### 4.3.2 Analisis Pada Keramik

Analisis perhitungan pada keramik ini digunakan untuk menghitung berapa besar energi yang diterima oleh keramik. Variasi keramik yang dianalisis ada tiga jenis yaitu jenis *natural white*, *titan verde* dan *verde*. Adapun jumlah keramik yang dianalisis dalam satu zona terdiri dari 5 buah keramik pada setiap baris dengan ukuran 40 x 40 cm dan celah 2 cm pada tiap barisnya, sedangkan panjang dari keramik sesuai dengan panjang dari tiap zona yang dilewati. Adapun contoh perhitungan diambil dari jenis keramik *natural white* dengan data sebagai berikut

1.  $T_{keramik} = 323 \text{ K}$
2.  $T_{ruang} = 1068,4 \text{ K}$

$$3. \quad T_f = 695,7 \text{ K}$$

Dari data diatas dicari dan hitung *propertiesnya* berupa

$$\Pr = 0,6945$$

$$K = 0,05216 \text{ W/m.K}$$

$$v = 67,42 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rho = 0,5007 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{keramik}} = 0,04117 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{udara}} = 0,01579 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{relatif}} = 0,05696 \text{ m/s}$$

Luas permukaan untuk satu keramik

$$P = 0,4 \text{ m}, L = 0,4 \text{ m}, t = 0,0088 \text{ m}$$

$$As = 2 pl + 2 pt + 2 lt$$

$$As = (2 \times 0,4 \times 0,4) + (2 \times 0,4 \times 0,0088) + (2 \times 0,4 \times 0,0088) = \\ 0,33408 \text{ m}^2$$

Jumlah keramik dalam zona *prekiln*



**Gambar 4.9**Jumlah Keramik Dalam Satu Zona

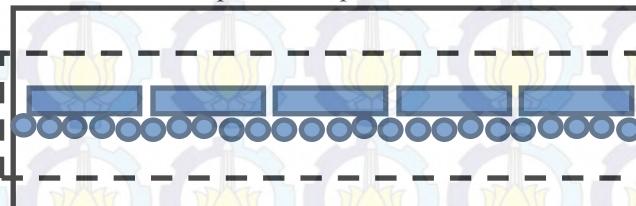
Panjang dari satu keramik 40 cm, jarak antara keramik satu dengan keramik lain sebesar 2 cm dan panjang dari zona *kiln* 406 cm sehingga

$$406 = 40 Nl + 2 ( Nl + 1 )$$

$$Nl = 9,6 \approx 9$$

$$N_t = 5$$

Jumlah keramik pada zona *prekiln*  $N_t \times N_l = 45$  buah



Gambar 4.10 Control Volume Pada Analisis Keramik

Dari data diatas kemudian dilakukan analisis terhadap keramik

- Panjang keramik pada zona *prekiln*

$$l = 0,4 \text{ m} \times 9 = 3,6 \text{ m}$$

- Menghitung bilangan *Reynolds*

$$Re = \frac{V_{relatif} \times l}{\nu} = \frac{0,05696 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 3,6 \text{ m}}{6,742 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 3041,4714$$

- Menghitung *NuL*

$$NuL = 0,664 Re_l^{0,5} Pr^{0,33}$$

$$NuL = 0,664 \times 3041,4714^{0,5} \times 0,6945^{0,33} = 32,4684$$

- Menghitung nilai koefisien perpindahan panas

$$h = \frac{NuL \times k}{l} = \frac{32,4684 \times 0,05216 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{3,6 \text{ m}} \\ = 0,4704 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Luas permukaan keramik dalam *prekiln*

$A_s$  = luas permukaan keramik x jumlah keramik

$$A_s = 0,33408 \text{ m}^2 \times 45 = 15,0336 \text{ m}^2$$

- Menghitung *Q konveksi*

$$Q = h \cdot A_s \cdot \Delta T = 0,4704 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 15,0336 \times 745,4 \text{ K} \\ = 5271,68255 \text{ W}$$

Besarnya  $Q_{konveksi}$  dan  $Q_{radiasi}$  pada tiap zona dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.10 Q<sub>konveksi</sub> dan Q<sub>radiasi</sub> Keramik Tiap Zona

Zona	Q <sub>konveksi</sub>	Q <sub>radiasi</sub>
Prekiln	5271.682545	
Preheating	4015.266764	238279.2362
Firing	1055.974413	1421379.936
Cooling 1	1241.775971	
Cooling 2	12145.68095	

Q<sub>radiasi</sub> dari gas hanya terjadi pada zona *preheating* dan zona *firing* karena pada zona ini terdapat *burner*. Pada zona *preheating* hanya sisi bagian bawah sedang pada zona *firing* terjadi pada dua sisi keramik. Besarnya Q radiasi pada zona *preheating* dan *firing* didapat dari persamaan

$$Q_{radiasi} = \sigma \cdot A \cdot (\varepsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_s^4)$$

Untuk memperoleh nilai emisivitas ( $\varepsilon$ ) dan absorbsivitas ( $\alpha$ ) maka menghitung *pressure partial* dari H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>.



$$Xi_{CO_2} = \frac{1,4}{13,576} = 0,1031$$

$$Xi_{H_2O} = \frac{2,4}{13,576} = 0,1767$$

$$P_{parsial} = Xi \cdot P_{total}$$

$$P_{CO_2} = 0,1031 \times 0,04 \text{ atm} = 4,124 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$P_{H_2O} = 0,1767 \times 0,04 \text{ atm} = 7,0713 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

Pada zona *preheating*

$$L = 3,6 \frac{V}{A} = 3,6 \frac{(8,012 \times 2,5 \times 1,8) m^3}{34,4516 m^2} = 3,7674 m = 12,3602 ft$$

➤ Dari gambar 2.14 dengan P<sub>w</sub> . L = 7,0713 x 10<sup>-3</sup> atm x 12,3602 ft = 0,0874 ft.atm dan pada T = 1177 K didapat ε<sub>w</sub> = 0,05

➤ Dari gambar 2.15 didapat C<sub>w</sub> = 0,13

- Dari gambar 2.16 dengan  $P_c \cdot L = 4,124 \times 10^{-3} \text{ atm} \times 12,3602 \text{ ft} = 0,05097 \text{ ft.atm}$  dan pada  $T = 1177 \text{ K}$  didapat  $\varepsilon_c = 0,07$
- Dari gambar 2.17 didapat  $C_c = 0,35$

Dengan

$$\frac{P_w}{P_w + P_c} = \frac{7,0713 \times 10^{-3} \text{ atm}}{7,0713 \times 10^{-3} \text{ atm} + 4,124 \times 10^{-3} \text{ atm}} = 0,6316 \text{ atm}$$

$$L(P_w + P_c) = 12,3602 \text{ ft} \quad (7,0713 \times 10^{-3} \text{ atm} + 4,124 \times 10^{-3} \text{ atm}) = 0,13837 \text{ ft.atm}$$

Sehingga dari gambar 2.18 didapatkan nilai  $\Delta\varepsilon = \Delta\alpha = 0,00416$   
Berdasarkan persamaan:

$$\alpha_w = C_w \left( \frac{T_g}{T_s} \right)^{0,45} \times \varepsilon_w$$

$$\alpha_w = 0,13 \left( \frac{1177}{773} \right)^{0,45} \times 0,05 = 7,8538 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_c = C_c \left( \frac{T_g}{T_s} \right)^{0,65} \times \varepsilon_c$$

$$\alpha_c = 0,35 \left( \frac{1177}{773} \right)^{0,65} \times 0,07 = 0,03219$$

$$\alpha_g = \alpha_w + \alpha_c - \Delta\alpha$$

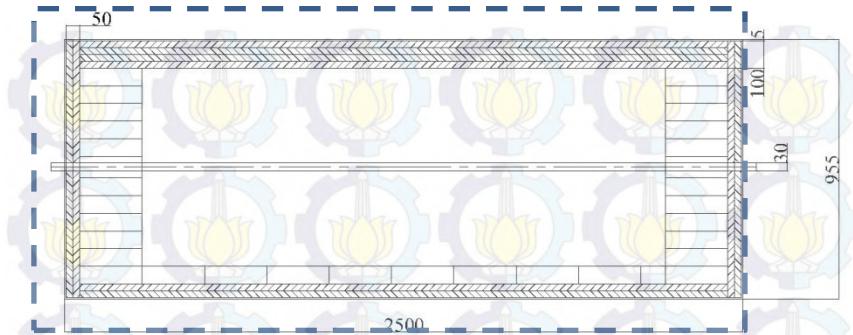
$$\alpha_g = 7,8538 \times 10^{-3} + 0,03219 - 0,00416 = 0,03587$$

$$q_{net} = A_s \cdot \sigma (\varepsilon_g \cdot T_g^4 - \alpha_g \cdot T_s^4)$$

$$q_{net} = 20,03 \text{ m}^2 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \times (0,11584 \times 1177,4^4 \text{ K}^4 - 0,03587 \times 773^4 \text{ K}^4)$$

$$q_{net} = 238279,2362 \text{ W} = 238,279 \text{ kW}$$

### 4.3.3 Analisis Udara Dalam Kiln dengan Dinding Dalam Kiln



**Gambar 4.11 Control Volume pada Kiln**

- ✓ Internal Flow Convection

Dari gambar *control volume* kiln diatas dapat dihitung

- Perimeter
$$P = 2(a+b)$$

$$P = 2(1,93 + 0,73) \text{ m} = 5,32 \text{ m}$$
- Diameter hidrolik

$$D_h = \frac{4 \cdot A_c}{P}$$

$$D_h = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2(a+b)}$$

$$D_h = \frac{4 \times (1,93 \times 0,73) \text{ m}^2}{2(1,93+0,73) \text{ m}} = 1,0593 \text{ m}$$

- Menghitung Reynolds Number

$$Re_{D_h} = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re_{D_h} = \frac{0,3265 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,01579 \text{ m/s} \times 1,0593 \text{ m}}{4,412 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2} = 123,7749 \text{ (laminar)}$$

Karena termasuk aliran laminar maka nilai  $Nu_{D_h} = 3,66$

$$h = \frac{Nu_{D_h} \times k}{D_h} = \frac{3,66 \times 0,06998 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{1,0593 \text{ m}} = 0,24178 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

✓ Radiasi Gas

Dari perhitungan radiasi gas untuk zona *preheating* dalam *kiln* didapat  $\varepsilon_g = 0,11384$  dengan temperatur ruang = 1177,4 K dan temperatur batu tahan api = 1000 K maka didapatkan

$$h_r = \varepsilon_g \cdot \sigma (T_g + T_s) \cdot (T_g^2 + T_s^2)$$

$$h_r = 0,11584 \times 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} (1177,4 + 1000)K \cdot (1177,4^2 + 1000^2)K^2$$

$$h_r = 34,1271 \frac{W}{m^2 K}$$

#### 4.3.4 Analisis Dinding Luar *Kiln* dengan Udara Luar

Untuk analisis dinding luar *kiln* dengan udara luar *kiln* dibagi menjadi 4 bagian yaitu bagian atas, bawah, samping kanan dan samping kiri.

$$T_{plat} = 318 \text{ K}$$

$$T_{udara} = 303 \text{ K}$$

$$T_f = 310,5 \text{ K}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$c_p = 1007,4$$

$$\beta = 3,2206 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\rho = 1,1264 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 189,55 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$$

$$Pr = 0,705$$

$$\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- a. Plat bagian atas

$$L = \frac{As}{P} = \frac{2 \times 2,5 \times 4,06}{2(2,5+4,06)} = 1,5472 \text{ m}$$

- Menghitung *Rayleigh Number*

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\alpha \cdot v} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3,2206 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \times 15 \text{ K} \times 1,5472^3 \text{ m}^3}{24 \times 10^{-6} \times 16,95 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 4,315 \times 10^9$$

- Menghitung *Nusselt Number*

Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas dengan persamaan 2.25

$$Nu_l = 0,15 Ra_l^{1/3} = 0,15 (4,314 \times 10^9)^{1/3} = \\ 244,189$$

- Menghitung koefisien konveksi

$$h = \frac{k}{l} Nu_l = \frac{27,07 \times 10^{-3} \frac{W}{m.K} \times 43,9545}{1,5472 m} = 0,7690 W/m^2 K$$

- b. Plat bagian bawah

- Menghitung *Nusselt Number*

Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah  $Ra_L = 4,315 \times 10^9$  dengan persamaan  $2.26 Nul = 0,52 Ra_l^{1/2} = 0,52 (4,314 \times 10^9)^{1/2} = 43,9545$

- Menghitung koefisien konveksi

$$h = \frac{k}{l} Nu_l = \frac{27,07 \times 10^{-3} \frac{W}{m.K} \times 43,9545}{1,5472 m} = 4,2722 W/m^2 K$$

- c. Plat bagian samping

Untuk bagian samping L merupakan tinggi dari *kiln*. Sehingga  $L = 0,955$  m

- Menghitung *Rayleigh Number*

$$Ra_L = \frac{g.\beta.\Delta T.L^3}{\alpha.v} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \times 3,2206 \times 10^{-3} K^{-1} \times 15 K \times 0,955^3 m^3}{24 \times 10^{-6} m^2/s \times 16,95 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Ra_L = 1,0146 \times 10^9$$

- Menghitung *Nusselt Number*

$$Nu_l = 0,68 + \frac{0,670 Ra_l^{1/4}}{\left[1+(0,492/Pr)^{9/16}\right]^{4/9}} = 0,68 + \\ \frac{0,670 (1,0146 \times 10^9)^{1/4}}{\left[1+(0,492/0,705)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

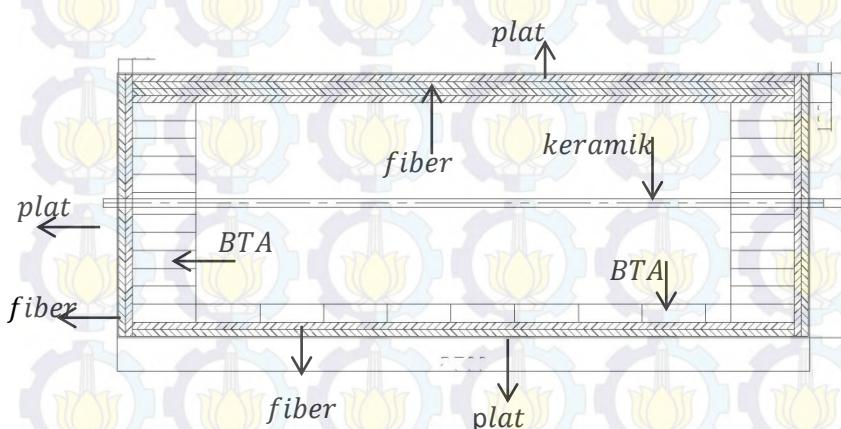
$$Nu_l = 92,4123$$

- Menghitung koefisien konveksi

$$h = \frac{k}{l} Nu_l = \frac{27,07 \times 10^{-3} \frac{W}{m.K} \times 92,4123}{0,955 m} = 2,6195 W/m^2 K$$

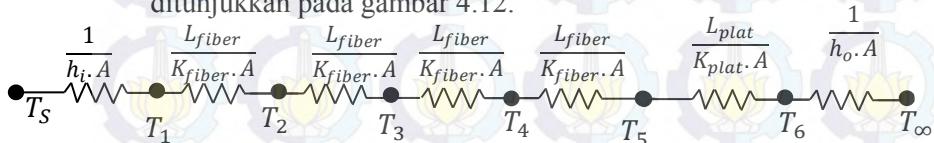
### 4.3.5 Heat Losses

Perpindahan panas yang terjadi pada *kiln* yaitu perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Analisis yang dilakukan perpindahan panas dari bagian dalam ke bagian luar *kiln* tiap zona. Zona ini ditetapkan berdasarkan distribusi temperatur permukaan *kiln*. Zona tersebut terdiri dari zona *prekiln*, zona *preheating*, zona *firing*, zona *rapid cooling* dan zona *slow cooling*. Untuk mengetahui besarnya perpindahan panas yang terjadi di satu zona, maka digambarkan sebuah distribusi temperatur dan *equivalent thermal circuit* dari perpindahan panas tersebut.



**Gambar 4.12** Perpindahan Panas Didalam Zona *Prekiln*

Rangkaian tahanan termal pada zona *prekiln* untuk dinding atas ditunjukkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4.13** Rangkaian Tahanan Termal Pada Zona *Prekiln*

- Untuk plat atas

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}.A} + \frac{1}{h_o.A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{1}{h_o} \right]$$

$$R_{tot} = \frac{1}{10,15m^2} \left[ \frac{1}{0,2417W/m^2K} + \frac{1}{0,025\text{ m}} + \frac{1}{0,038W/mK} + \frac{1}{0,025\text{ m}} + \frac{1}{0,038W/mK} + \frac{1}{0,025\text{ m}} + \frac{1}{0,038W/mK} + \frac{1}{32,1W/mK} + \frac{1}{0,769W/m^2K} \right]$$

$$R_{tot} = 0,7948 K/W$$

$$Q_{plat\ atas} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{0,7948} \times (1068,4 - 303)K = 962,91 W$$

- Untuk plat samping kanan

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i.A} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}.A} + \frac{1}{h_o.A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{1}{h_o} \right]$$

$$R_{tot} = \frac{1}{3,8773m^2} \left[ \frac{1}{0,2417W/m^2K} + \frac{0,23\text{ m}}{1,8W/mK} + \frac{0,025\text{ m}}{0,038W/mK} + \frac{0,025\text{ m}}{0,038W/mK} + \frac{0,005\text{ m}}{32,1W/mK} + \frac{1}{2,619W/m^2K} \right]$$

$$R_{tot} = 1,5375 K/W$$

$$Q_{plat\ samping} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{1,5375} \times (1068,4 - 303)K = 497,81592 W$$

- Untuk plat bawah

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i.A} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}.A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}.A} + \frac{1}{h_o.A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}.A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{1}{h_o} \right]$$

$$R_{tot} = \frac{1}{10,15m^2} \left[ \frac{1}{0,2417W/m^2K} + \frac{0,23\text{ m}}{1,8W/mK} + \frac{0,025\text{ m}}{0,038W/mK} + \frac{0,025\text{ m}}{0,038W/mK} + \frac{0,005\text{ m}}{32,1W/mK} + \frac{1}{4,272W/m^2K} \right]$$

$$R_{tot} = 0,5637 \text{ K/W}$$

$$Q_{plat\ bawah} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{0,5637} \times (1068,4 - 303) \text{ K} = 1357,6946 \text{ W}$$

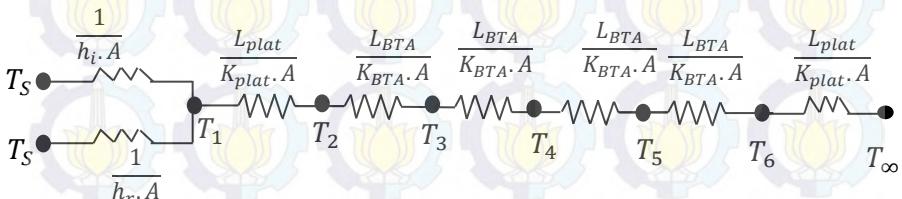
Sehingga  $Q_{total}$  untuk zona *prekiln*

$$Q_{total} = Q_{plat\ atas} + Q_{plat\ samping} + Q_{plat\ samping} + Q_{plat\ bawah}$$

$$Q_{total} = 962,91095 \text{ W} + 497,81592 \text{ W} + 497,81592 \text{ W} + 1357,6946 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 3316,2374 \text{ W}$$

Rangkaian tahanan termal pada zona *preheating* untuk dinding bawah ditunjukkan pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Rangkaian Tahanan Termal Pada Zona *Preheating*

- Untuk plat atas

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber} \cdot A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat} \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{1}{h_o} \right]$$

$$R_{tot} = \frac{1}{20,03m^2} \left[ \frac{1}{0,1944W/m^2K} + \frac{0,23\ m}{1,8\ W/mK} + \frac{0,01\ m}{0,038\ W/mK} + \frac{0,025\ m}{0,038\ W/mK} + \frac{0,025\ m}{0,038\ W/mK} + \frac{0,005\ m}{0,038\ W/mK} + \frac{1}{32,1\ W/mK} + \frac{1}{5,3099\ W/m^2K} \right]$$

$$R_{tot} = 0,38416 \text{ K/W}$$

$$Q_{plat\ atas} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{0,38416\ K/W} \times (1177,42 - 303)K = 2276,16995\ W$$

- Untuk plat samping kanan

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{1}{h_r \cdot A/2} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber} \cdot A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat} \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA} \cdot A} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{1}{h_o} \right] + \frac{1}{h_r \cdot A/2}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{14,4216\ m^2}{0,025\ m}} \left[ \frac{1}{0,1944\ W/m^2K} + \frac{0,23\ m}{1,8W/mK} + \frac{1}{0,025\ m} + \frac{0,038W/mK}{0,038W/mK} + \frac{1}{0,038W/mK} + \frac{0,005\ m}{0,038W/mK} + \frac{1}{2,6307\ W/m^2K} \right] + \frac{1}{31,1271\frac{W}{m^2K} \times 7,2108\ m^2}$$

$$R_{tot} = 0,53267\ K/W$$

$$Q_{plat\ samping} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{0,53267\frac{K}{W}} \times (1177,42 - 303)K$$

$$Q_{plat\ samping} = 1641,56449\ W$$

- Untuk plat bawah

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{1}{h_r \cdot A} + \frac{L_{plat}}{K_{plat} \cdot A} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA} \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_r} + \frac{L_{plat}}{K_{plat}} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{L_{BTA}}{K_{BTA}} + \frac{1}{h_o} \right]$$

$$R_{tot} = \frac{1}{20,03 \text{ m}^2} \left[ \frac{1}{0,1944 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{1}{34,1271 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + \frac{0,015 \text{ m}}{32,1 \text{ W/mK}} + \right.$$

$$\frac{0,13 \text{ m}}{1,8 \text{ W/mK}} + \frac{0,065 \text{ m}}{1,8 \text{ W/mK}} + \frac{0,065 \text{ m}}{1,8 \text{ W/mK}} + \frac{0,065 \text{ m}}{1,8 \text{ W/mK}} +$$

$$\left. \frac{0,005 \text{ m}}{32,1 \text{ W/mK}} + \frac{1}{0,80916 \text{ W/m}^2\text{K}} \right]$$

$$R_{tot} = 0,2766 \text{ K/W}$$

$$Q_{plat bawah} = \frac{1}{R_{tot}} \times \Delta T = \frac{1}{0,328 \frac{\text{K}}{\text{W}}} \times (1177,42 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{plat bawah} = 2658,564 \text{ W}$$

Sehingga  $Q_{total}$  untuk zona *preheating*

$$Q_{total} = Q_{plat atas} + Q_{plat samping} + Q_{plat samping} + Q_{plat bawah}$$

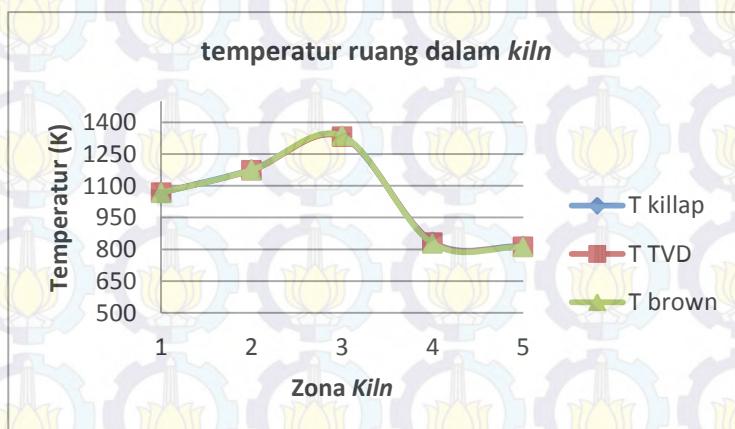
$$Q_{total} = 2276,16995 \text{ W} + 1641,56449 \text{ W} +$$

$$1641,56449 \text{ W} + 2658,564 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 8217,8637 \text{ W}$$

#### 4.4 Pembahasan

##### 4.4.1 Grafik Fungsi Temperatur Ruang Kiln Terhadap Zona Kiln



Gambar 4.15 Grafik Temperatur Ruang Dalam Kiln

Tabel 4.11 Temperatur Ruang Dalam Kiln

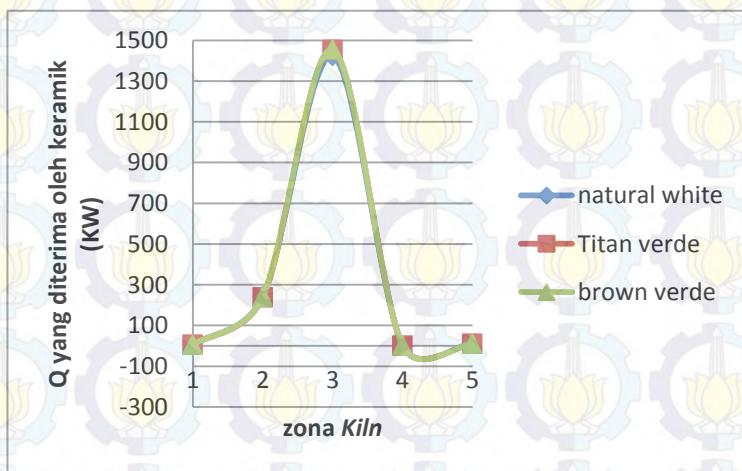
Zona Kiln	Natural white (K)	TVD (K)	Verde brown (K)
Prekiln	1068.4	1067.77	1067
Preheating	1177.42	1173.638	1175.375
Firing	1332.236	1333.5	1337.333
Cooling 1	835.6	832.5	828
Cooling 2	814.6	812.33	811

Temperatur ruang *kiln* didapat dari *daily report* PT KDI pada tanggal 25 Januari 2015. Pada zona *prekiln* dan *preheating* temperatur untuk jenis keramik *natural white* lebih tinggi

daripada jenis keramik TVD dan *verde brown*. Sedangkan pada zona *firing* temperatur keramik *verde brown* lebih tinggi daripada *natural white* dan TVD. Pada zona *cooling* temperatur keramik *natural white* lebih tinggi daripada *verde brown* dan TVD. Hal ini dapat dilihat dalam tabel 4.12.

#### 4.4.2 Grafik Fungsi Q yang Diterima Keramik Sepanjang Kiln

Pada analisis menggunakan pendekatan perpindahan panas untuk mengetahui besarnya panas yang diterima oleh keramik pada tiap zona. Panas yang diterima keramik ini terdiri dari panas konveksi dan radiasi. Adapun gabungan dari panas konveksi dan radiasi ini hanya terjadi pada zona *preheating* dan *firing*. Pada zona ini terdapat *burner* yang menyebabkan keramik menerima panas secara radiasi. Besarnya panas yang diterima oleh keramik dalam *kiln* dapat dilihat pada grafik 4.16.



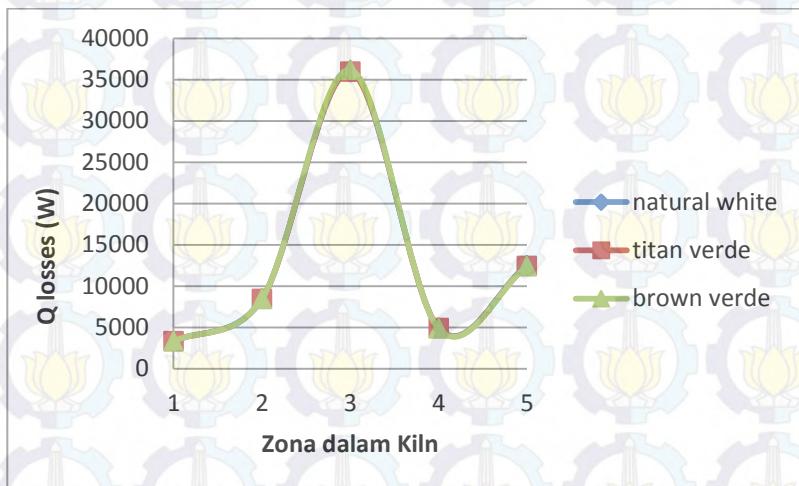
**Gambar 4.16** Grafik Q yang diterima Keramik Dalam Kiln

Tabel 4.12 Q yang Diterima Oleh Keramik Sepanjang Kiln

Zona Kiln	White (kW)	tvd(kW)	brown(kW)
<i>Prekiln</i>	5.271	5.2669191	5.2600215
<i>Preheating</i>	242.294	238.33201	241.7064
<i>Firing</i>	1422.4349	1452.5382	1454.1281
<i>Cooling 1</i>	1.24177	1.1867122	1.0881135
<i>Cooling 2</i>	12.14568	10.688308	10.653123

Pada grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa panas yang diterima oleh keramik terbesar pada zona *firing*. Hal ini dikarenakan pada zona inilah proses pembakaran terjadi. Pada zona ini pula planalitas dan kualitas keramik ditentukan.

#### 4.4.3 Grafik Fungsi *Heat Losses* Terhadap Zona Kiln

Gambar 4.17 Grafik *Heat Losses* Pada Kiln

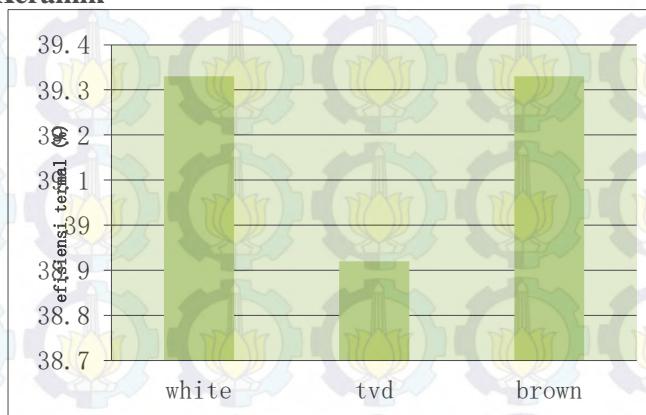
Tabel 4.13 *HeatLosses* Tiap Zona

Kiln	Qloss (Watt)
prekiln	3249.616043
preheating	8217.863685
firing	34638.64757
cooling 1	3667.653373
cooling 2	12237.9063
<b>total</b>	<b>62011.68697</b>

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa besar perpindahan panas pada zona *prekiln*, *preheating*, *firing*, *speedy cooling* dan *final cooling* di *Kiln*. Zona ini dibagi berdasarkan distribusi temperatur ruang *kiln*. Perpindahan panas tertinggi terjadi pada zona *firing*, hal ini disebabkan karena temperatur dalam *Kiln* pada zona *firing* paling tinggi yaitu sebesar 1333 K.

Merujuk persamaan(2.29) maka semakin tinggi perbedaan temperatur gas dalam *Kiln* dan temperatur udara luar *Kiln* maka perpindahan panas yang terjadi semakin tinggi. Perpindahan panas ini merupakan *heat losses Kiln* ke lingkungan. *Heat losses Kiln* secara keseluruhan merupakan penjumlahan besarnya panas di semua zona. Besarnya *heat losses* pada analisis perpindahan panas ini yaitu 62 kW.

#### 4.4.4 Grafik Fungsi Efisiensi Termal Terhadap Variasi Keramik



**Gambar 4.18** Efisiensi Termal *Kiln*

Efisiensi termal merupakan salah satu indikator untuk mengetahui kinerja dari suatu sistem. Pada keadaan operasi, efisiensi yang dihasilkan sebesar 39,33 %. Efisiensi ini dihitung berdasarkan perbandingan jumlah energi yang dimanfaatkan untuk menghasilkan keramik ditambah energi untuk proses kalsinasi dengan energi total masuk ditambah energi bangkitan sistem *Kiln*. Massa *greentile* yang masuk juga menentukan besarnya efisiensi *Kiln*.

Dengan massa alir LNG dan udara pembakaran tertentu, akan dianalisis pengaruh variasi massa *greentile* yang masuk ke *Kiln* terhadap efisiensi *Kiln*. Dari data PT. Keramik Diamond Industries massa alir rata-rata LNG yang digunakan sebanyak 52,8568 kg/jam. Massa alir rata-rata *greentile* yang dioperasikan di PT. Keramik Diamond Industries yaitu sebanyak 5463.82 kg/jam. Analisis yang dilakukan dalam perhitungan yaitu mengetahui efisiensi dengan massa alir *greentile* yang bervariasi. Hasil perhitungan efisiensi untuk masing – masing massa alir *greentile* akan ditampilkan dalam Tabel 4.15. Hasil tersebut

dipresentasikan sehingga mendapatkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Tabel 4.14 Efisiensi *Kiln* Terhadap Jumlah Massa *Greentile* dan Massa LNG dan Udara

	massa greentile (kg/jam)	massa LNG dan udara (kg/jam)	efisiensi (%)
<b>white</b>	5791.5432	52.8568	39.33
<b>tvd</b>	5823	54	38.92
<b>brown</b>	5791.5432	52.8568	39.33

#### 4.4.5 Grafik Fungsi *Heat Losses* Terhadap Variasi Keramik

Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi dan *heat losses* dalam keadaan operasi. *Heat losses* yang terjadi sebesar 65 kW. *Greentile* mengalami pemanasan awal di *prekiln*, kemudian masuk ke *preheating* untuk mengalami proses kalsinasi 100%. Proses pembakaran *greentile* menjadi keramik membutuhkan LNG sebagai bahan bakar. Jika dalam suatu pembakaran kekurangan bahan bakar, maka sebagian *greentile* tidak matang menjadi keramik karena tidak mengalami kalsinasi. *Heat losses* pada *Kiln* berupa gas buang dan perpindahan panas dari *kiln shell* secara radiasi dan konveksi. Dari data PT. Keramik Diamond Industries massa alir rata-rata LNG yang digunakan sebanyak 52,8568 kg/jam. Massa alir rata-rata *greentile* yang dioperasikan di PT. Keramik Diamond Industries yaitu sebanyak 5791,5432. Analisis yang dilakukan dalam perhitungan yaitu mengetahui nilai *heat losses* dengan massa alir *greentile*. Hasil perhitungan *heat losses* untuk masing – masing massa alir *greentile* akan ditampilkan dalam Tabel 4.15. Hasil tersebut diplotkan sehingga mendapatkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



**Gambar 4.19 HeatLosses Untuk Tiap Variasi Keramik**

Tabel 4.15 *HeatLosses Kiln* Terhadap Jumlah Massa *Greentile* dan Massa LNG dan Udara

	massa greentile (kg/jam)	massa LNG dan udara (kg/jam)	heat losses (kW)
white	5791.5432	52.8568	62,011
tvd	5823	54	61,941
brown	5791.5432	52.8568	62,12

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan *daily report kiln* PT. Keramik Diamond Industries dengan massa alir keramik rata-rata 5463,82 kg/jam dan massa LNG 52,86 kg/jam dilakukan analisis termodinamika pada *kiln* dan menghasilkan efisiensi termal 39,33 % dengan besar *heat losses* 65,09 kW
2. Temperatur ruang pada zona *firing* merupakan temperatur tertinggi dalam *kiln* yaitu sebesar 1332 K.
3. Besarnya Q yang diterima oleh keramik berupa Q konveksi dan Q radiasi. Q radiasi hanya diterima oleh keramik di zona *preheating* dan *firing*. Q tertinggi berada pada zona *firing* yaitu sebesar 1422,43 kW.
4. Analisis pendekatan perpindahan panas ke lingkungan menghasilkan panas sebesar 62 kW. *Heat losses* tertinggi berada pada zona *firing* sebesar 34,64 kW.

#### 5.2 Saran

Saran yang diberikan oleh penulis dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Perlu adanya penelitian selanjutnya untuk pemanfaatan *heat losses*.
2. Perlu adanya data tambahan untuk menganalisis *kiln* di PT. Keramik Diamond Industries misalnya data distribusi temperatur keramik di dalam *kiln*, data distribusi temperatur permukaan *kiln* bagian dalam. Sehingga hasil analisis lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ana Mezquita, Juan Boix, Eliseo Monfort, Gustavo Mallol, 2013. "Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery". Instituto de Tecnología Cerámica (ITC), Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE), Universitat Jaume I, Castellón 12006, Spain
- [2] Barsoum, M. W. 1997:" Fundamental of Ceramic", Int. Ed., McGraw-Hill Co. Inc, New York.
- [3] Biro Perencanaan KEMENPERIN, 2012. Perencanaan Kebutuhan Energi Sektor Industri Dalam Rangka Akselerasi Industrialisasi. Kajian Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- [4] Direktorat Jenderal Industri Agro Dan Kimia. 2009. "Roadmap Industri Keramik". Departemen Perindustrian. Jakarta.
- [5] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P. 1981. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition". John Wiley & Sons. Inc.
- [6] Maulana ,NovemAgus, 2012. "Laporan Management Trainee In Industri PT Keramik Diamond Industries. Gresik.
- [7] Moran, M.J and Howard N, Shapiro.2000. "Fundamental Engineering Thermodynamics". John Wiley & Sons Inc. Chichester.
- [8] R. Oba, T.S. Possamai, and V.P. Nicolau, 2013. "Thermal analysis of a tunnel kiln used to produce roof tiles". Department of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, Brazil.
- [9] SACMI IMOLA, 2002. "Applied Ceramic Technology Vol 1 dan Vol 2". Italy
- [10] T.S. Possamai, R. Oba, and V.P. Nicolau. 2011. "Numerical and experimental thermal analysis of an

industrial kiln used for frit production. Department of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis 88.040 900, SC, Brazil

## LAMPIRAN

### 1. Tabel A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure (Incropora,1981)

Appendix A - Thermophysical Properties of Matter

995

**TABLE A.4** Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure<sup>a</sup>

T (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^6$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$r \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$F_r$
Air, $\mu = 28.97 \text{ kg/kmol}$							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.796
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6984	1.030	270.1	38.70	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	65.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5355	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.3	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.3	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	520	213	91	303	0.705
1500	0.2323	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1399	1.665	818	589	222	960	0.613
2600	0.1355	1.775	845	631	250	1059	0.596
Ammonia ( $\text{NH}_3$ ), $\mu = 17.03 \text{ kg/kmol}$							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.5	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6099	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

## 2. Properties Dari Fiber dan Batu Tahan Api

TABLE A.3 *Continued*

*Insulating Materials and Systems*

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal Conductivity, $k$ (W/m·K)	Specific Heat, $c_p$ (J/kg·K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic;	—	0.100	—

**TABLE A.3** *Continued****Other Materials***

Description/ Composition	Temperature (K)	Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal Conductivity, $k$ (W/m · K)	Specific Heat, $c_p$ (J/kg · K)
Asphalt	300	2115	0.062	920
Bakelite	300	1300	1.4	1465
Brick, refractory				
Carborundum	872	—	18.5	—
1672		—	11.0	—
Chrome brick	473	3010	2.3	835
823			2.5	
1173			2.0	
Diatomaceous	478	—	0.25	—
silica, fired	1145	—	0.30	—
Fireclay, burnt 1600 K	773	2050	1.0	960
1073		—	1.1	
1373		—	1.1	
Fireclay, burnt 1725 K	773	2325	1.3	960
1073			1.4	
1373			1.4	
Fireclay brick	478	2645	1.0	960
922			1.5	
1478			1.8	
Magnesite	478	—	3.8	1130
922		—	2.8	
1478			1.9	
Clay	300	1460	1.3	880
Coal, anthracite	300	1350	0.26	1260
Concrete (stone mix)	300	2300	1.4	880

### 3. Perhitungan Udara Pembakaran

Dari daily report PT Keramik Diamond Industries diketahui bahwa LNG yang dibutuhkan dalam proses pembakaran sebesar 416,3 Nmc dengan tekanan 3 bar dan temperatur 30 °C.

$$Nmc = m^3 \times \frac{(1013 + P)}{1013} \times \frac{273}{(273 + T)}$$

Dengan:

P = tekanan LNG (mbar)

T = temperatur LNG (°C)

$$Nmc = m^3 \times \frac{(1013 + P)}{1013} \times \frac{273}{(273 + T)}$$

$$416,3 = m^3 \times \frac{(1013 + 3000)}{1013} \times \frac{273}{(273 + 30)}$$

$$m^3 = 152,831$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{LNG} &= m^3 \times \rho = 152,831 \text{ } m^3 \times 1,1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= \frac{177,57 \text{ kg}}{90 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}}\end{aligned}$$

$$\dot{m}_{LNG} = 3,2883 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

#### *4. Heat Capacity Ceramics*

Name	Form	Density kg/m <sup>3</sup>	Thermal conductivity W/(mK)	Specific Heat MJ/m <sup>3</sup> K	Image
Ceramic Frit Glass	Glass	2520	0.6882	0.7859	
Ceramic Tile - Bathroom	Tile	2549	0.8018	1.6168	
Ceramic Tile	Tile	2700	1.5996	1.1438	
Chile Wood	Wood	362	0.1422	0.4102	

## 5. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Keramik *Natural White*

x	Temp. Permukaan (Ts)	Temp. Ruang	Tf	$\beta$
Prekiln	323	1068.4	695.7	0.001437401
Preheating	773	1177.42	975.21	0.00102542
Firing	1273	1332.236	1302.618	0.000767685
Cooling 1	773	835.6	804.3	0.001243317
Cooling 2	393	814.6	603.8	0.001656178

L	Pr	k	v	$\rho$
3.6	0.6945	0.05216	0.00006742	0.5007
7.6	0.724	0.06551	0.00011709	0.3573
24.8	0.7185	0.08223	0.0001858	0.2673
1.6	0.7096	0.05749	0.00008511	0.4331
24.8	0.6853	0.05326	0.00005326	0.5769

V	Rel	Nul	h	q konv	As keramik
0.04117	3041.471373	32.46846735	0.470432016	5271.682545	15.0336
0.04117	3697.121872	36.29223294	0.312829497	4015.266764	31.7376
0.04117	7602.841765	51.91309122	0.172129576	1055.974413	103.5648
0.04117	19419.01069	82.62588421	2.968851302	1241.775971	6.6816
0.04117	48831.69358	129.5267934	0.278169235	12145.68095	103.5648

jumlah keramik	delta T	q radiasi	Vrelatif
45	745.4		0.05696
95	404.42	238279	0.05696
310	59.236	1421379.936	0.05696
20	62.6		1.03297
310	421.6		0.10487

## 6. Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Natural White

internal flow

antara gas dengan dinding dalam

x	Temperatur ruang	$\rho_{in}$	$\mu_{in}$	Pr	v
Prekiln	1068.4	0.3265	4.41226E-05	0.7273	0.000135512
Preheating	1177.42	0.2961	0.000046758	0.728	0.000158136
Firing	1332.236	0.2617	0.000050696	0.7138	0.00019409
Cooling 1	835.6	0.4171	3.80124E-05	0.7139	0.000091245
Cooling 2	814.6	0.4278	3.74034E-05	0.711	0.00008752

$\alpha$	k	V	cp	P	Ac
0.0001864	0.06998	0.01579	1.153	5.32	1.4089
0.00021745	0.075216	0.01579	1.1713	6.03	2.1338
0.00025895	0.084901	0.01579	1.1948	6.03	2.1338
0.000127832	0.0589376	0.9918	1.1068	6.03	2.1338
0.000123212	0.05797	0.0637	1.1022	5.32	1.4089

Dh	Red	Nud	h	As	q
1.059323308	123.7749466	3.66	0.241783408	21.5992	5579.535442
1.415456053	141.5340717	3.66	0.194488949	48.31236	11063.29749
1.415456053	115.374159	3.66	0.219531832	159.1317	46540.96334
1.415456053	15404.06679	46.03598064	1.91687351	12.2409	19606.7331
1.059323308	771.7873554	3.66	0.200288428	140.3948	22906.10704

## 7. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Natural White

external flow

antara dinding luar dengan udara luar

x	Temperatur plat	temperatur udara luar	tf	g	cp
Prekiln	318	303	310.5	9.81	1007.4
Preheating	333	303	318	9.81	1007.6
Firing	343	303	323	9.81	1007.9
Cooling 1	323	303	313	9.81	1007.5
Cooling 2	313	303	308	9.81	1007.32

$\beta$	$\rho_{in}$	$\mu_{in}$	Pr	$\alpha$	k	v	delta T
0.003220612	1.1264	0.000018955	0.705	0.000024	0.02707	0.00001695	15
0.003144654	1.1115	0.000019168	0.7049	0.0000247	0.02741	0.00001739	30
0.003095975	1.0848	0.000019546	0.7037	0.0000259	0.028	0.0000182	40
0.003194888	1.1181	0.000019074	0.7052	0.0000244	0.02726	0.00001719	20
0.003246753	1.1347	0.000018836	0.7058	0.0000237	0.02689	0.00001669	10

prekiln

	Ral	nul	h	q
atas	4315233755	244.1896493	4.272217002	99.1532071
samping	1014677038	92.41239862	2.619480241	37.52405446
samping	1014677038	92.41239862	2.619480241	37.52405446
bawah	4315233755	43.95458752	0.769006945	17.84776026

preheating

	Ral	nul	h	q
atas	15048082736	370.2977367	5.309927262	304.4958289
samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874

samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874
bawah	15048082736	56.42863927	0.809165005	46.40127007

firing

	Ral	nul	h	q
atas	30693816716	469.612809	5.757926388	525.966346
samping	15030479639	180.6060196	2.809426972	202.278742
samping	15030479639	180.6060196	2.809426972	202.278742
bawah	30693816716	65.074902	0.797883891	72.88389024

cooling 1

	Ral	nul	h	q
atas	2101369847	192.1148854	4.674649172	104.741036
samping	8715784382	157.7275777	2.388696538	85.9930754
samping	8715784382	157.7275777	2.388696538	85.9930754
bawah	2101369847	38.06307256	0.926172432	20.7519872

cooling 2

	Ral	nul	h	q
atas	9589791819	318.6601181	3.752205865	85.68770577
samping	701332110	84.33213249	2.374545594	22.67691043

samping	701332110	84.33213249	2.374545594	22.67691043
bawah	9589791819	51.56620603	0.607189321	13.8661528

## 8. Hasil Perhitungan Hambatan Termal Perpindahan Panas Untuk *Natural White*

Prekiln	Rtot	delta T	q	preheating	Rtot	delta T	q
atas	0.689826435	765.4	1109.554464	atas	0.384162879	874.42	2276.16995
samping	1.537516114	765.4	497.8159206	samping	0.532674777	874.42	1641.564494
samping	1.537516114	765.4	497.8159206	samping	0.532674777	874.42	1641.564494
bawah	0.668804711	765.4	1144.429738	bawah	0.328906791	874.42	2658.564747

firing	Rtot	delta T	q	cooling 1	Rtot	delta T	q
atas	0.108156594	1029.236	9516.165056	atas	0.610911975	532.6	871.8113601
samping	0.148511446	1029.236	6930.348003	samping	0.832495605	532.6	639.7631369
samping	0.148511446	1029.236	6930.348003	samping	0.832495605	532.6	639.7631369

bawah	0.091391894	1029.236	11261.7865	bawah	0.351246107	532.6	1516.315739
-------	-------------	----------	------------	-------	-------------	-------	-------------

cooling 2	Rtot	delta T	q
atas	0.119833626	511.6	4269.25243
samping	0.272619268	511.6	1876.60983
samping	0.272619268	511.6	1876.60983
bawah	0.121363536	511.6	4215.43421

## 9. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Untuk Keramik Titan Verde

antara keramik dan gas

x	Temp. Permukaan (Ts)	Temp. Ruang	Tf	$\beta$	L	Pr
Prekiln	323	1067.77	695.385	0.00143805	3.6	0.694
Preheating	773	1173.638	973.319	0.00102741	7.6	0.725
Firing	1273	1333.5	1303.25	0.00076731	24.8	0.718

Cooling 1	773	832.5	802.75	0.00124572	1.6	0.7094
Cooling 1	393	812.33	602.665	0.0016593	24.8	0.6852

k	v	p	V	Rel	Nul
0.05215	0.00006737	0.501	0.04117	3043.728663	32.47279506
0.06606	0.00011931	0.3531	0.04117	3628.329562	35.96938274
0.08229	0.000186	0.2672	0.04117	7594.666667	51.8732555
0.05771	0.00008482	0.4339	0.04117	19485.40439	82.75931393
0.04705	0.00005309	0.578	0.04117	48988.05801	129.7277596

h	q konv	A	delta T	q radiasi	Vrelatif	jumlah keramik
0.470404517	5266.919116	15.0336	744.77		0.05696	45
0.312649661	3975.430668	31.7376	400.638	234356.58	0.05696	95
0.172122992	1078.465934	103.5648	60.5	1451459.73	0.05696	310
2.985025004	1186.712213	6.6816	59.5		1.03297	20
0.246116576	10688.30824	103.5648	419.33		0.10487	310

## 10. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Titan Verde

internal flow

antara gas dengan dinding dalam

x	Temperatur ruang	$\rho_{in}$	$\mu_{in}$	Pr	v	$\alpha$
Prekiln	1067.77	0.3267	0.000044107	0.727	0.00013538	0.00018629
Preheating	1173.638	0.2971	0.000046667	0.728	0.000157338	0.00021635
Firing	1333.5	0.2615	0.000050739	0.7136	0.00019444	0.00025977
Cooling 1	832.5	0.4186	3.79225E-05	0.713	0.00009069	0.00012715
Cooling 2	812.33	0.42906	3.73376E-05	0.711	0.000087117	0.00012271

k	v	cp	P	Ac
0.06995	0.01579	1.153	5.32	1.4089
0.07503	0.01579	1.1707	6.03	2.1338
0.085	0.01579	1.195	6.03	2.1338
0.058795	0.9918	1.106	6.03	2.1338
0.057867	-0.0637	1.10615	5.32	1.4089

Dh	Red	Nud	h	As	q
1.059323308	123.8945701	3.66	0.241679757	21.5992	5573.854872
1.415456053	142.2889874	3.66	0.194008001	24.4818	5574.387437
1.415456053	115.1882843	3.66	0.21978782	24.4818	7175.298731
1.415456053	15496.1124	46.23648981	1.920564339	24.4818	39143.21096
1.059323308	775.4252506	3.66	0.199932559	21.5992	3507.952332

## 11. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Titan Verde

external flow

antara dinding luar dengan udara luar

x	Temperatur plat	temperatur udara luar	tf	g	cp	$\beta$	$\rho_{in}$
Prekiln	318	303	310.5	9.81	1007.4	0.003220612	1.1264
Preheating	333	303	318	9.81	1007.6	0.003144654	1.1115
Firing	343	303	323	9.81	1007.9	0.003095975	1.0848
Cooling 1	323	303	313	9.81	1007.5	0.003194888	1.1181
Cooling 2	313	303	308	9.81	1007.32	0.003246753	1.1347

$\mu_{in}$	Pr	$\alpha$	k	v	delta T
0.000018955	0.705	0.000024	0.02707	0.00001695	15
0.000019168	0.7049	0.0000247	0.02741	0.00001739	30
0.000019546	0.7037	0.0000259	0.028	0.0000182	40
0.000019074	0.7052	0.0000244	0.02726	0.00001719	20
0.000018836	0.7058	0.0000237	0.02689	0.00001669	10

## 12. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Titan Verde

prekiln

	Ral	nul	h	q
atas	4315233755	244.1896493	4.272217002	99.1532071
samping	1147590541	95.27921476	2.700741721	38.6881252
samping	1147590541	95.27921476	2.700741721	38.6881252
bawah	4315233755	43.95458752	0.769006945	17.8477603

preheating

	Ral	nul	h	q
atas	15048082736	370.2977367	5.309927262	304.4958289
samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874
samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874
bawah	15048082736	56.42863927	0.809165005	46.40127007

firing

	Ral	nul	h	q
atas	30693816716	469.612809	5.757926388	525.966346
samping	15030479639	180.6060196	2.809426972	202.278742
samping	15030479639	180.6060196	2.809426972	202.278742
bawah	30693816716	65.074902	0.797883891	72.88389024

cooling 1

	Ral	nul	h	q
atas	2101369847	192.1148854	4.67464917	104.7410355
samping	8715784382	157.7275777	2.38869654	85.99307536
samping	8715784382	157.7275777	2.38869654	85.99307536
bawah	2101369847	38.06307256	0.92617243	20.75198716

cooling 2

	Ral	nul	h	q
atas	9589791819	318.6601181	3.752205865	85.68770577
samping	701332109.5	84.33213249	2.374545594	22.67691043
samping	701332109.5	84.33213249	2.374545594	22.67691043
bawah	9589791819	51.56620603	0.607189321	13.8661528

### 13. Hasil Perhitungan Hambatan Termal Untuk *Titan Verde*

Prekiln	Rtot	delta T	q	preheating	Rtot	delta T	q
atas	0.69000	764.7	1108.3604	atas	0.3847	870.638	2262.57724
samping	1.5350	764.7	498.21789	samping	0.5336	870.638	1631.46969
samping	1.53501	764.7	498.217892	samping	0.5336	870.638	1631.46969
bawah	0.6689794	764.7	1143.18904	bawah	0.3295	870.638	2641.68330

firing	Rtot	delta T	q	cooling 1	Rtot	delta T	q
atas	0.108074948	1030.5	9535.049722	atas	0.61071443	529.5	867.0173384
samping	0.148398048	1030.5	6944.161425	samping	0.832221238	529.5	636.2490837
samping	0.148398048	1030.5	6944.161425	samping	0.832221238	529.5	636.2490837
bawah	0.091310248	1030.5	11285.69929	bawah	0.351048562	529.5	1508.338325

cooling 2	Rtot	delta T	q
atas	0.119968583	509.33	4245.528177
samping	0.272972558	509.33	1865.865211
samping	0.272972558	509.33	1865.865211
bawah	0.121498492	509.33	4192.068477

#### 14. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Untuk Keramik Brown

antara keramik dan gas										
x	Temp. Permukaan (Ts)	Temp. Ruang	Tf	B	L	Pr	k	v	p	v
Prekiln	323	1067	695	0.0014388	3.6	0.6945	0.0521	0.00006731	0.5013	0.04117
Preheating	773	1175.375	974.1875	0.0010265	7.6	0.724	0.06546	0.00011689	0.3577	0.04117
Firing	1273	1337.333	1305.1665	0.0007662	24.8	0.718	0.08247	0.0001865	0.2669	0.04117
Cooling 1	773	828	800.5	0.0012492	1.6	0.7091	0.05732	0.00008502	0.4351	0.04117
Cooling 2	393	811	602	0.0016611	24.8	0.6852	0.047	0.00005299	0.5786	0.04117
Rel	Nul	h	q konv	A	delta T	q radiasi	Vrelatif	jumlah keramik		
3046.441836	32.494987	0.470274673	5260.02146	15.0336	744		0.05696		45	
3703.447686	36.3232679	0.312858041	3995.32759	31.7376	402.375	237711.0744	0.05696		95	
7574.30563	51.8036736	0.172268103	1147.75937	103.5648	64.333	1452980.339	0.05696		310	
19439.56716	82.6503781	2.960949797	1088.11352	6.6816	55		1.03297		20	
49080.50576	129.85011	0.246086901	10653.1232	103.5648	418		0.10487		310	

## 15. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Keramik Brown

internal flow

antara gas dengan dinding dalam

x	Temperatur ruang	pin	$\mu_{in}$	Pr	v	$\alpha$	k	V	cp
Prekiln	1067	0.327	4.408E-05	0.727	0.0001352	0.00018609	0.0699	0.01579	1.153
Preheating	1175.375	0.2967	4.671E-05	0.728	0.0001577	0.00021685	0.0751	0.01579	1.171
Firing	1337.333	0.2607	5.087E-05	0.713	0.00019545	0.00027417	0.08536	0.01579	1.195
Cooling 1	828	0.421	3.779E-05	0.713	0.00008989	0.00012616	0.05858	0.9918	1.105
Cooling 2	811	0.4297	3.729E-05	0.71	0.00008688	0.0001224	0.0578	0.0637	1.101

P	Ac	Dh	Red	Nud	h	As	q
5.32	1.4089	1.05932331	124.0842971	3.66	0.24150701	21.5992	5565.854106
6.03	2.1338	1.41545605	141.9666058	3.66	0.194189	48.31236	11027.04976
6.03	2.1338	1.41545605	114.5424191	3.66	0.22071869	159.1317	46971.60127
6.03	2.1338	1.41545605	15639.60204	46.5786833	1.92770327	12.2409	19538.16946
5.32	1.4089	1.05932331	777.5725682	3.66	0.19970107	140.3948	22738.00054

## 16. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Keramik Brown

external flow antara dinding kiln dengan udara luar							
x	Temperatur plat	temperatur udara luar	tf	g	cp	$\beta$	
Prekiln	318	303	310.5	9.81	1007.4	0.003220612	
Preheating	333	303	318	9.81	1007.6	0.003144654	
Firing	343	303	323	9.81	1007.9	0.003095975	
Cooling 1	323	303	313	9.81	1007.5	0.003194888	
Cooling 2	313	303	308	9.81	1007.32	0.003246753	
pin	$\mu_{in}$	Pr	$\alpha$	k	v	delta T	
1.1264	0.000018955	0.705	0.000024	0.02707	0.00001695	15	
1.1115	0.000019168	0.7049	0.0000247	0.02741	0.00001739	30	
1.0848	0.000019546	0.7037	0.0000259	0.028	0.0000182	40	
1.1181	0.000019074	0.7052	0.0000244	0.02726	0.00001719	20	
1.1347	0.000018836	0.7058	0.0000237	0.02689	0.00001669	10	

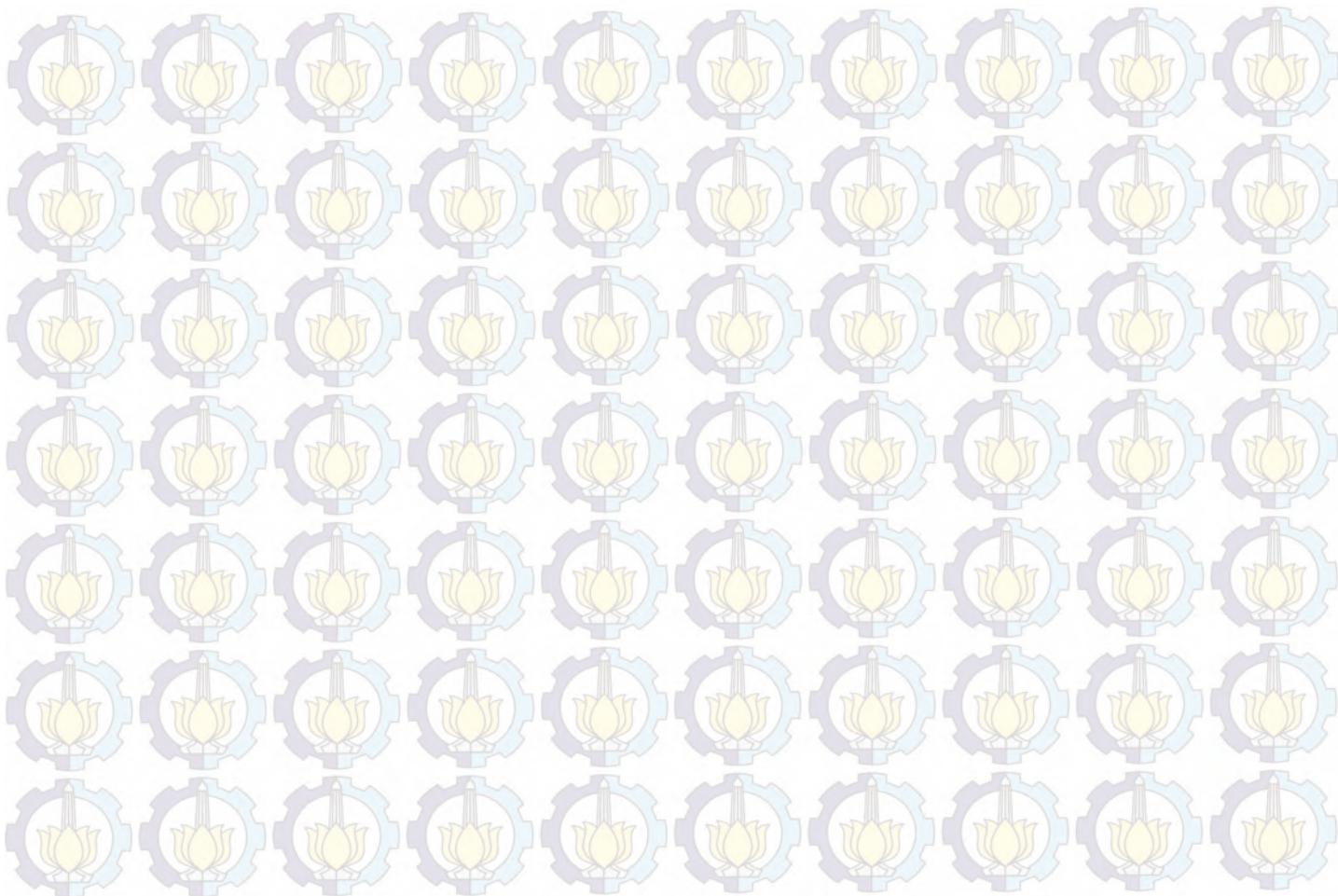
## 17. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Kiln Untuk Keramik Brown

prekiln					preheating				
	Ral	nul	h	q		Ral	nul	h	q
atas	4315233755	43.95458752	0.7690069	17.84776	atas	15048082736	56.42863927	0.809165005	46.40127007
samping	1147590541	95.27921476	2.7007417	38.688125	samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874
samping	1147590541	95.27921476	2.7007417	38.688125	samping	12565625792	172.7598047	2.630747915	142.0603874
bawah	4315233755	244.2059022	4.2725014	99.159807	bawah	15048082736	370.2977367	5.309927262	304.4958289

		cooling 1						
	Rai	nul	h	q	Rai	nul	h	q
0693816716	65.074902	0.79783891	72.8838902	atas	2101369847	38.06307256	0.9261724	2075198716
5030479639	180.60602	2.809426972	202.278742	samping	8715784382	157.7775777	2.33886565	85.993807536
5030479639	180.60602	2.809426972	202.278742	samping	8715784382	157.7775777	2.33886565	85.993807536
0693816716	469.612809	5.75796388	55.9566346	bawah	2101369847	192.1148554	4.6746492	104.7410355
	Rai	nul	h	q	Rai	nul	h	q
	9.59E+09	51.5662	0.607189321		13.8661528			
1g	701332110	84.3321	2.374545594		22.67691043			
1g	701332110	84.3321	2.374545594		22.67691043			
1	9.59E+09	318.66	3.752205865		85.68770577			

## **18. Hasil Perhitungan Hambatan Termal Untuk Keramik *Brown***

In	Riot	delta T	q	Increasing	Riot	delta T	q	firing	Riot	delta T	q
285	0.795347756	764	960.5861	atas	0.486556701	872.375	199.936592	atas	0.124175702	1034.333	8329.592514
pling	1.595774458	764	497.46888	samping	0.53371314	872.375	163.83357	samping	0.147938374	1034.333	6689.765993
pling	1.595774458	764	497.46888	samping	0.53371314	872.375	163.83357	samping	0.147938374	1034.333	6689.765993
bawah	0.56421573	764	1354.9061	bawah	0.2177022471	872.375	314.912166	bawah	0.074620567	1034.333	13661.312503
In	Riot	delta T	q	Increasing	Riot	delta T	q	firing	Riot	delta T	q
Doling 1	Riot	delta T	q	Increasing	Riot	delta T	q	firing	Riot	delta T	q
atas	0.780934036	525	672.271889	atas	0.141019771	508		3602.331773			
samping	0.831693527	525	631.242138	samping	0.273203044	508		1859.422913			
samping	0.831693527	525	631.242138	samping	0.273203044	508		1859.422913			
bawah	0.180069053	525	2915.54919	bawah	0.100623396	508		5048.571672			





## BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Gresik, 29 Februari 1992, dari pasangan Bapak M. Slamet dan Ibu Uripah. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Dharma Wanita II Bambe-Gresik (1996-1998), MI Miftahul Ulum Warugunung Karangpilang - Surabaya (1998-2004), SMPN 24 Surabaya (2004-2007), SMA WACHID HASYIM 2 Sidoarjo (2007-2010), D3 Teknik Mesin ITS (2010-2013). Pada tahun 2013 penulis melanjutkan ke jenjang lintas jalur S1 Teknik Mesin ITS dengan NRP 2110030017. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengeraaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah bergabung dalam laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas. Untuk mengetahui semua yang berkaitan dengan tugas akhir dapat menghubungi penulis melalui email [hayurara017@gmail.com](mailto:hayurara017@gmail.com)