

## ANALISIS EFISIENSI PANAS *TUNNEL KILN* PADA PT XYZ DENGAN NERACA MASSA DAN ENERGI

Tri Ngudi Wiyatno<sup>1</sup>, Putri Rizki Amalia<sup>2</sup>, Devi Haryanti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa, Bekasi

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : tringudiw@gmail.com<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Salah satu proses yang tidak dapat dilewatkan untuk membuat genteng keramik adalah proses pembakaran. Proses pembakaran genteng keramik di PT XYZ menggunakan *tunnel kiln* dengan bahan bakar LNG. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi panas atau energi pada *tunnel kiln* dengan terlebih dahulu menghitung neraca massa masuk dan keluar serta menghitung neraca energi masuk dan keluar. Panas masuk meliputi panas hasil pembakaran bahan bakar LNG, panas sensibel bahan bakar LNG, panas kereta masuk, panas sensibel *greentile*. Sedangkan untuk panas keluar meliputi panas yang terbawa oleh panas sensibel genteng keramik, panas sensibel kereta *kiln*, panas penguapan air dan air kristal, panas hilang akibat udara pendingin, panas hasil reaksi pembakaran, panas akibat perpindahan panas, panas keluar untuk *dryer* dan panas keluar *chimney tunnel kiln*. Metode yang digunakan adalah pengumpulan data-data pendukung diantaranya adalah volume gas LNG yang digunakan, komposisi material genteng, komposisi bagian dari *tunnel kiln* seperti kereta *kiln*, dan kapasitas panas untuk masing-masing komponen tersebut. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukandiperoleh nilai yang seimbang antara panas masuk dan panas keluar yaitu 14.174.025 kkal/hari. Efisiensi bahan bakar LNG dihitung dengan perbandingan antara panas yang dihasilkan dari bahan bakar dengan kebutuhan panas yang digunakan untuk satu hari proses pembakaran genteng keramik. Berdasarkan perhitungan didapat efisiensi panas *tunnel kiln* sebesar 98,92%.

**Kata Kunci** : Efisiensi, Genteng Keramik, Neraca Massa, Neraca Panas, Pembakaran.

### ABSTRACT

One of the process that can't be missed to make a ceramic tile is burning. PT XYZ using *tunnel kiln* with LNG fuel for burning process. The purpose of this research is to know how much heat efficiency of *tunnel kiln* with firstly calculated mass balance and heat balance at burning ceramics tile. Data for incoming heat are obtain from calculated of heat burning fuel, sensible heat of LNG, incoming heat from *kiln car* and sensible heat green tile. Data for outgoing heat are obtain from calculated of sensible heat ceramic tile, sensible heat *kiln car*, evaporation heat of water and water crystal, heat loss because cooling air, heat of burning, heat for *dryer*, heat for *chimney fan*, and heat loss because heat transfer. The method that we used for this research are Consumption of Volume LNG, composition material tile, composition part of *tunnel kiln* like *kiln car* and heat capacity for each component. Based on the data we can obtained heat balance in and out *kiln* amount 14.174.025 kkal/day. And the LNG fuel efficiency is calculated by comparison between the heat generated from the fuel and the heat requirement used for one day ceramic tile burning process. After the calculation we can obtained the efficiency is 98,92%.

**Keywords**: Efficiency, Ceramic Tile, Mass Balance, Heat Balance, Burning.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Penyerapan energi pada industri keramik cukup besar, hal itu dikarenakan industri keramik bersifat energi intensif. Besarnya penyerapan energi berpengaruh pada besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk konsumsi energi. Semakin besar biaya yang dikeluarkan akan memperkecil margin keuntungan perusahaan. Jika biaya untuk konsumsi energi dapat ditekan, dengan demikian keuntungan perusahaan dapat ditingkatkan. Salah satu cara untuk menekan biaya penggunaan energi adalah dengan memperbesar efisiensi tungku pembakaran (*kiln*). Efisiensi dapat diperbesar dengan memperhatikan jenis tungku pembakaran (*kiln*), sistem isolasi dan jenis bahan bakar yang digunakan. Ada beberapa jenis tungku pembakaran (*kiln*) yang biasa digunakan pada industri keramik.

Pada PT XYZ, *kiln* yang digunakan adalah jenis *Tunnel Kiln Single Layer* yang terdiri dari 6 zona pembakaran yaitu *sub dryer, pre heating, firing, rapid cooling dan cooling*, dengan isolasi asbes dan menggunakan LNG (*Liquid Natural Gas*) sebagai bahan bakar. Bahan bakar akan menghasilkan energi panas untuk proses pembakaran genteng keramik. Panas yang telah digunakan pada bagian firing tidak semuanya dibuang. Sebagian besar akan dimanfaatkan kembali untuk dialirkan pada *dryer* dan *sub dryer*. Tetapi ada juga sebagian energy panas yang memang dibuang karena mengandung karbon yang dapat mempengaruhi hasil produk genteng. LNG menawarkan kepadatan energi yang sebanding dengan bahan bakar petrol dan diesel. LNG juga menghasilkan polusi yang lebih sedikit, tetapi biaya produksi yang relatif tinggi dan kebutuhan penyimpanannya yang

menggunakan tangki *cryogenic* yang mahal. Oleh karena itu penggunaan LNG sangat dibatasi oleh pemerintah.

Guna meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada *tunnel kiln*, hal yang harus diketahui adalah neraca panas pada *tunnel kiln* yang memuat data seberapa besar penggunaan energi dalam satu kali pembakaran dan berapa besar energi yang hilang pada saat pembakaran. Oleh karena itu diperlukan penelitian efisiensi mengenai kinerja *kiln*.

### Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang hendak dicapai adalah:

- Mengetahui nilai neraca massa dan neraca panas pada *tunnel kiln* PT XYZ.
- Mengetahui nilai panas hilang pada *tunnel kiln* PT XYZ.
- Mengetahui besarnya efisiensi *tunnel kiln* pada PT XYZ.

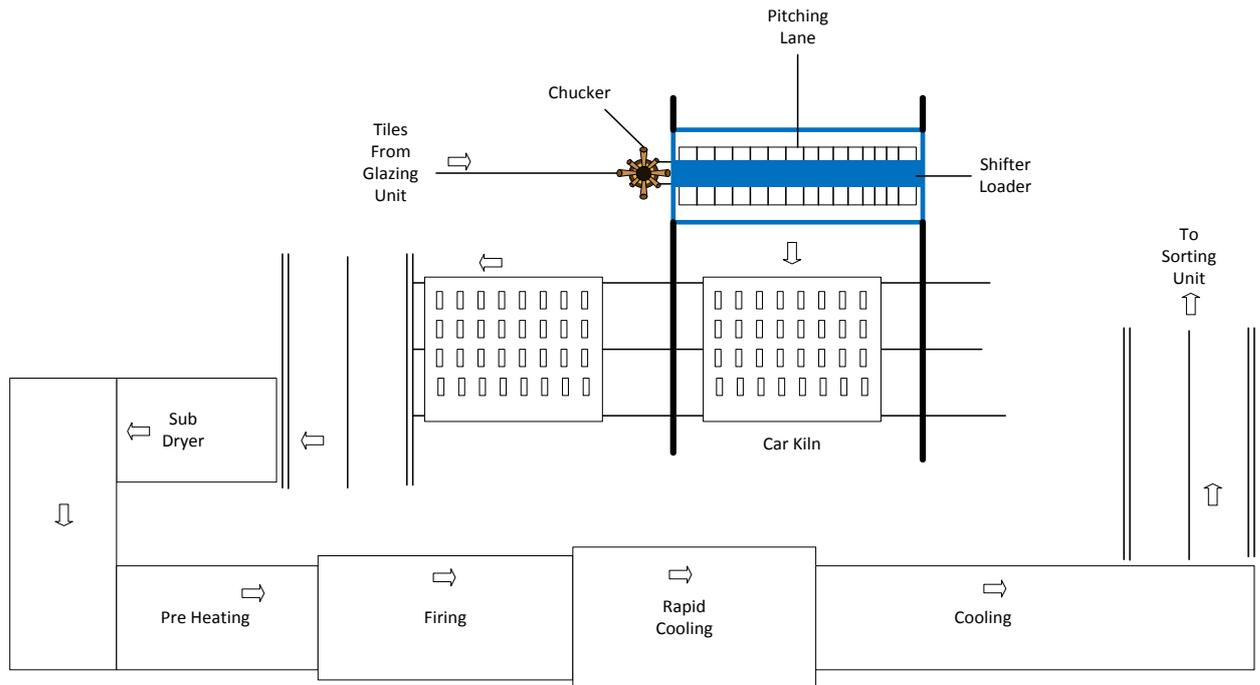
Manfaat penelitian ini diharapkan akan menjadi sumbangan pemikiran dalam rangka penghematan energi di PT XYZ.

### Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan adalah untuk mendapatkan data yang lengkap mengenai penggunaan energi di *tunnel kiln* PT XYZ dengan melakukan perhitungan neraca massa dan energi.

### Struktur Tunnel Kiln

*Kiln* yang digunakan di PT XYZ adalah tipe *Tunnel Kiln* dengan jenis konstruksi *Single Layer Tunnel Kiln 1 x 9 Rows*. Dengan panjang keseluruhan mencapai 130 meter. *Tunnel kiln* tersusun dalam 5 zona pembakaran dengan suhu yang berbeda pada masing-masing zona. 5 zona pembakaran tersebut meliputi: zona *sub dryer*, zona *pre heating*, zona *firing*, zona *rapid cooling* dan zona *cooling*.



Keterangan: Gambar tampak atas

Gambar 1. Struktur *Tunnel Kiln*

Zona *sub dryer* memiliki suhu (68-70)°C tujuan dari proses pemanasan pada zona *sub dryer* ini adalah untuk mencegah terjadinya *thermal shock* pada proses selanjutnya. Zona *preheating* memiliki suhu (160-600)°C. Pada zona ini biscuit genteng akan mulai dipanaskan perlahan pada suhu tersebut dan akan terjadi pembakaran zat-zat organik serta penguapan air terikat. Zona *firing* memiliki suhu (700-1.100)°C. Disini terjadi suhu puncak pembakaran dan pada zona ini terdapat 40 buah burner yang terdiri dari 34 burner bawah dan 6 burner atas yang disusun secara zig zag dan berfungsi untuk membakar biscuit genteng hingga matang sempurna dan didapat genteng yang sesuai dengan dimensi yang diinginkan, pada zona ini juga terjadi proses vitrifikasi. Zona *rapid cooling* memiliki suhu (1.000-600)°C pada zona ini terjadi pendinginan secara drastis dari genteng yang sudah di bakar di bagian *firing*. Zona *cooling* memiliki suhu (500-300)°C pada zona ini proses pendinginan dibiarkan secara lambat dengan dibantu beberapa buah *propeller fan* yang berfungsi mengalirkan udara panas di dalam *kiln* menuju keluar. Sisa panas dari zona *Rapid cooling* dan *cooling*

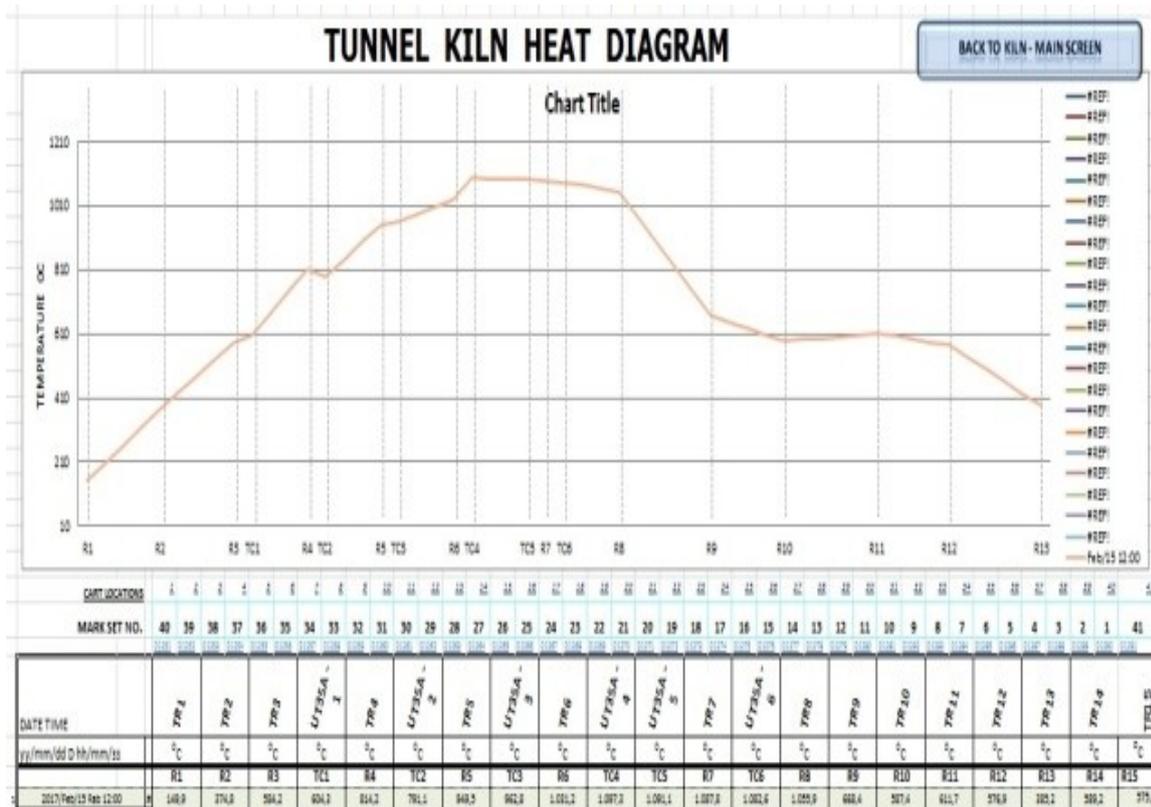
dimanfaatkan kembali untuk menyuplai panas ke dalam *sub-dryer* dan menuju *dryer*.

*Tunnel kiln* juga memiliki 3 lapisan penyusun yang terdiri dari : sisi bagian paling luar adalah lapisan asbes dan bagian tengah dipasang *fiber glass woll* sebagai isolator dan bagian dalam yang bersinggungan langsung dengan panas burner dipasang batu tahan api.

*Tunnel kiln* juga memiliki cerobong-cerobong berukuran besar yang terhubung ke dalam system *dryer* yang berfungsi untuk mengalirkan panas yang di hasilkan oleh setiap zona dan cerobong yang terhubung ke *chomney fan* yang berfungsi untuk mengalirkan limbah panas yang megandung logam berbahaya untuk dibuang.

### Aliran Energi Pada *Tunnel Kiln*

Sewaktu *tunnel kiln* beroperasi, panas akan masuk melalui burner pada zona *firing* yang dilengkapi dengan 40 burner. Api di burner dapat dikontrol melalui katup yang terdapat di dinding luar *kiln* dan besarnya api tergantung pada udara primer, sekunder dan juga bahan bakar.



Gambar 2. Besar Aliran Panas di Setiap Zona Tunnel Kiln

Pada zona *Sub dryer* mendapatkan pasokan panas dari kelebihan panas pada proses *cooling* yang dialirkan melalui pipa dan dihembuskan dengan *blower* kedalam *sub dryer* yang bersuhu di kisaran 68-70°C. Panas dari *sub dryer* lalu akan kembali mengalir melalui pipa-pipa dan akan dihisap oleh *sub dryer exhaust* serta *chimney fan*, udara panas yang mengandung racun akan disaring dan dikeluarkan melalui cerobong sedangkan pada sisanya akan masuk ke dalam bagian *preheating* dengan suhu kisaran 160-550°C. Setelah proses *pre heating* maka kereta akan masuk kebagian *firing*, di bagian ini lah proses pembakaran *green tile* menjadi genteng keramik. Pada bagian *firing* dilengkapi dengan 40 *burner* yang terdiri dari 34 *burner* bawah dan 6 *burner* atas, *burner* disusun secara tidak simetris yang bertujuan agar pembakaran dalam *firing* terjadi secara merata. Pada bagian ini suhu puncak pembakaran terjadi di kisaran 1.070-1.200°C. Udara panas pada bagian *firing* akan mengalir menuju ke bagian selanjutnya yakni *rapid cooling*.

Pada bagian *rapid cooling* banyak panas yang dapat dimanfaatkan kembali karena udara panas dari dalam akan dihisap besar-besaran untuk mencapai penurunan suhu yang cepat. Pendinginan

dibagian ini dibantu oleh *under car cooling fan* dan juga *cartop cooling fan* yang akan menghembuskan udara dingin dari luar di bagian bawah dan atas kereta *tunnel kiln* juga udara panas akan mengalir keluar melalui pipa-pipa yang terhubung di atas bagian *rapid cooling* yang dimanfaatkan kembali untuk memanaskan *dryer* dan juga *sub dryer*. Pada *rapid cooling* panas akan turun secara cepat dan drastis dari kisaran suhu 1.200°C hingga ke suhu di kisaran 600°C. Bagian terakhir adalah *cooling zone*, proses pendinginan disini berjalan lambat dan akan mendinginkan genteng keramik dari suhu kisaran 600°C hingga berada pada kisaran 300°C. Pada proses pendinginan di bagian ini masih dibantu oleh *under car cooling fan* dan juga 4 buah *propeller fan* yang diletakkan di atas *cooling zone*. Udara panas yang berasal dari bagian ini juga akan dihisap oleh *waste heat blower* dan mengalir melalui pipa-pipa menuju ke *dryer* dan sebagian ke *sub dryer*.

Pada ujung *kiln* terdapat dua buah *waste heat blower* yang akan menghisap panas dari bagian *rapid cooling* dan *cooling zone*, sebagian akan mengalir ke *sub dryer* dan lain nya akan dipasok untuk kebutuhan panas di *dryer*. Apabila panas di *dryer* tidak tercukup, maka akan

mengandalkan udara panas dari *kiln* maka ada *Hot air generator* yang akan mensuplai panas tambahan untuk mencukupi kebutuhan panas di *dryer*. Pada unit *dryer* juga dilengkapi dengan pipa-pipa penyaluran udara panas dan juga 2 buah *blower* untuk menghisap dan menyalurkan panas ke dalam *dryer*. Udara panas yang berasal dari proses pembakaran di *zona firing* akan mengalir ke *zona cooling*. Saat berada di *zona cooling* udara panas tersebut akan dihisap oleh *blower* dan kembali dialirkan menuju ke *zona sub dryer* dan *dryer* untuk memanaskan keramik-keramik yang ada di *zona* tersebut.

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan adalah perhitungan dan pengumpulan dari data lapangan dan data pustaka.

### Pemilihan Sistem Alur Penulisan

Sistem tunnel *kiln* yang akan dianalisis merupakan sistem *tunnel kiln single layer*, karena adanya aliran massa dan energi yang keluar dan masuk sistem. Komponen dari sistem *kiln* yang dianalisis dipilih berdasarkan keterkaitan antara material dalam proses, penggunaan energi yang dominan serta ketersediaan data di lapangan. Pada sistem *tunnel kiln*, mencakup seluruh proses pembakaran *greentile* dan LNG, proses ini merupakan proses yang paling utama serta sebagian besar energi digunakan pada proses ini.

### Pengambilan Data Lapangan

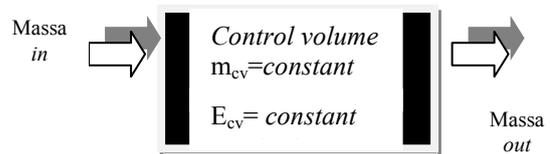
Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur yang berkaitan dengan Neraca Panas dan Efisiensi *Tunnel Kiln*. Beberapa sumber yang kita gunakan diantaranya adalah Handbook dan Manual perhitungan dari PT XYZ. Berdasarkan teori yang telah dipelajari selanjutnya dilakukan proses inventaris data-data pendukung yang dibutuhkan seperti Massa LNG, Temperatur LNG, Massa Produk, Massa Kereta *Kiln*, Data Kadar Air, Data Hilang Pijar, Kecepatan Motor Cooling Fan, Temperatur dan Kapasitas Panas masing-masing komponen.

## Keseimbangan Massa Dan Energi

Hukum kekekalan massa atau dikenal juga sebagai hukum Lomonosoy-Lavoisier adalah suatu hukum yang menyatakan massa dari suatu sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai macam proses didalam sistem tersebut. Pernyataan yang umum digunakan untuk menyatakan hukum kekekalan massa adalah massa dapat berubah bentuk tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Pada volume kontrol sistem (sistem volume atur) dimana massa bisa melewati batas sistem juga berlaku prinsip yaitu jumlah massa masuk sama dengan jumlah massa keluar.

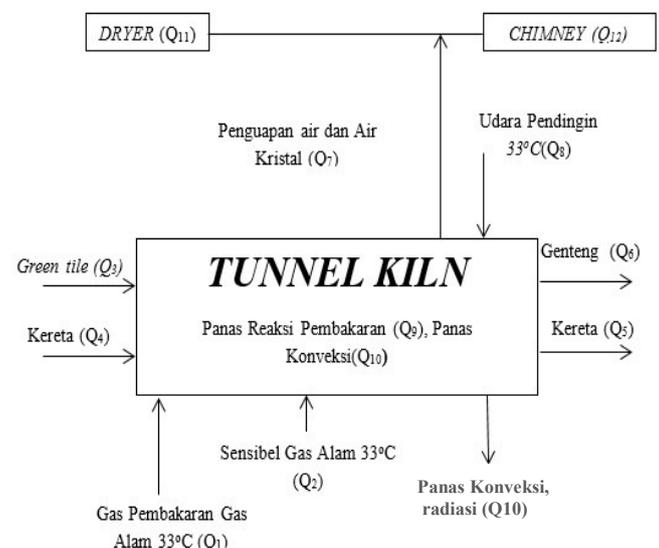
$$\sum_{in} m_{in} = \sum_{out} m_{out} \quad (\text{kg/hari}) \dots (1)$$

Hal tersebut jika massa yang mengalir adalah steady flow (aliran tunak) yaitu jika tidak terjadi perubahan sifat fluida terhadap fungsi waktu saat mengalir.



Gambar 3. Aliran Massa Dan Energi

## Perhitungan Neraca Energi



Gambar 4. Komponen Panas masuk dan Panas keluar

Perhitungan neraca energi dilakukan berdasarkan hukum pertama termodinamika atau biasa disebut hukum kekekalan energi atau hukum konversi energi. Hukum I termodinamika menyatakan bahwa “Jumlah kalor pada suatu sistem adalah sama dengan perubahan energi di dalam sistem tersebut ditambah dengan usaha yang dilakukan oleh sistem”. Dengan mengabaikan kerja (W) serta energi kinetik dan energi potensial material yang masuk dan keluar sistem, maka persamaan Hukum Termodinamika 1 menjadi :

$$Q = \sum m \int_{T_{ref}}^T C_p dt \quad \dots(2)$$

Sumber: **Smith, & Abbott.** (2001). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (6th ed.). USA: Mc-Graw- Hill.

Nilai panas spesifik (Cp) untuk masing-masing komponen penyusun gas dan genteng di dapat dari buku Perry (1991). Perhitungan panas yang masuk dan keluar sistem dilakukan pada temperature referensi 35°C.

Panas yang masuk ke dalam *tunnel kiln* terbagi atas panas *sensibel* umpan masuk dan gas alam serta panas pembakaran dari gas alam (CH<sub>4</sub>). Panas yang keluar dari *tunnel kiln* terbuang ke lingkungan melalui aliran material dan melalui perpindahan panas pada permukaan *kiln*. Perpindahan panas pada permukaan berupa konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konveksi pada *tunnel kiln* menggunakan Pers (3), yaitu :

$$Q = hxA\Delta T \quad \dots(3)$$

Sumber: **Kern.** (1965). *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw- Hill Book Company.

Dimana A adalah luas permukaan *kiln*, k adalah konduktifitas *termal* bahan isolasi *tunnel kiln* bahan isolasi yang dipakai adalah asbes dan T adalah temperatur. Umumnya, kecepatan perpindahan panas di dalam *kiln* lebih besar daripada di dinding *tunnel kiln*, maka dari itu

temperatur di permukaan dalam dinding *tunnel kiln* bisa di anggap sama dengan temperatur pembakaran di *kiln*. Perpindahan panas radiasi pada permukaan *kiln* dihitung dengan Pers (4), yaitu :

$$Q = \epsilon \sigma A T^4 \quad \dots(4)$$

Sumber: **Kern.** (1965). *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw- Hill Book Company.

Dimana ε adalah emisifitas bahan isolasi *kiln*, σ adalah konstanta Stefan-Boltzman yaitu 5,67x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup> °K, A adalah luas permukaan *kiln* dan T adalah temperatur.

Perhitungan efisiensi panas *tunnel kiln* dilakukan berdasarkan hukum kedua termodinamika. Hukum II termodinamika menyatakan bahwa “kalor mengalir secara alami dari benda yang panas ke benda yang dingin, kalor tidak akan mengalir secara spontan dari benda dingin ke benda panas”. Hukum II termodinamika memiliki batasan-batasan terhadap perubahan energi yang mungkin terjadi. Menurut kelvin planck salah satu batasan itu adalah “tidak mungkin membuat mesin yang bekerja dalam satu siklus menerima kalor dari sebuah *reservoir* dan mengubah seluruhnya menjadi energi atau usaha luas”. Dengan kata lain, tidak semua kalor dapat diubah menjadi kerja, pasti ada kebocoran dan kerugian yang disebut dengan efisiensi (η). Efisiensi menyatakan nilai perbandingan dari usaha mekanik yang diperoleh dengan energi panas yang diserap dari sumber suatu energi. Semakin besar efisiensi panas, semakin baik perpindahan dan untuk kerja alat.

$$\eta_{kiln} = \frac{\text{Energi yang dimanfaatkan}}{\text{total energi masuk}}$$

$$\% \text{ Efisiensi Panas } (\eta) = \frac{\text{Panas Masuk} - \text{Panas Hilang}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

Sumber: **Smith.** (2001). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (6th ed.). USA: Mc-Graw- Hill.

### Komposisi Komponen *Green Tile* Masuk dan Genteng Keluar

Terdiri dari senyawa-senyawa oksida yang diketahui nilai kualitatif dan kuantitatif dengan analisa menggunakan instrument x-ray yang ada di laboratorium R&D di PT XYZ.

**Tabel 1. Komposisi Kimia Green TileMasuk PT XYZ**

Komponen	% b/b
SiO <sub>2</sub>	67,450
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,350
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,166
CaCO <sub>3</sub>	0,310
MgCO <sub>3</sub>	1,024
K <sub>2</sub> O	1,284
Na <sub>2</sub> O	0,000
LOI	6,087
H <sub>2</sub> O	0,600

**Table 2. Komposisi Kimia Genteng Keluar PT XYZ**

Komponen	(% b/b)
SiO <sub>2</sub>	67,450
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,350
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,166
CaO	0,554
MgO	2,150
K <sub>2</sub> O	1,284
Na <sub>2</sub> O	0,000
LOI	-

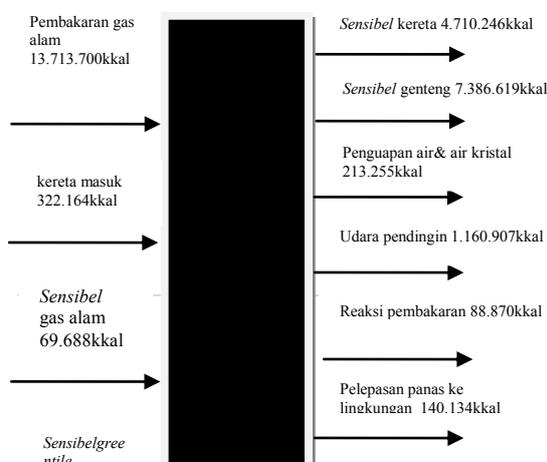
Gambar 5. Blok Kesetimbangan Panas Di Tunnel Kiln.

Neraca panas dari unit *tunnel kiln* di dapat dengan menghitung total panas masuk dan panas keluar sehingga didapat nilai yang *balance*. Panas yang masuk ke dalam *tunnel kiln* terbagi atas panas umpan masuk, kereta, gas alam dan panas pembakaran dari gas alam. Sedangkan panas yang keluar dari *tunnel kiln* adalah panas sensible kereta, sensible genteng, penguapan air dan air kristal, akibat udara pendingin, hasil reaksi pembakaran dan panas yang diberikan ke dryer.

Adapun panas yang terbuang kelingkungan melalui aliran material, *chimney* dan perpindahan panas pada *tunnel kiln*. Perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konveksi dan radiasi. Dari analisa dan perhitungan data-data yang ada didapat hasil bahwa efisiensi panas *kiln* sebesar 98,92% dimana total panas yang dibutuhkan dalam sistem sebesar 14.174.025 kkal/hari. Energi panas yang termanfaatkan pada sebuah sistem *tunnel kiln* masih ada. Dari total 14.174.025 kkal energi panas yang masuk ke *tunnel kiln*, sebesar 14.020.349 kkal yang dapat termanfaatkan. Selebihnya energi hilang karena perpindahan panas dan keluar *chimney*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berdasarkan data yang diperoleh dari laporan harian PT XYZ dan data yang didapatkan langsung ke lapangan melalui pengukuran langsung.

Data yang digunakan dalam perhitungan adalah data-data *greentile* hasil keluaran *dryer*. Pemanasan *greentile* pada *subdryer* sebelum masuk ke *tunnel kiln* bertujuan agar pembakaran *greentile* di dalam *tunnel kiln* lebih mudah karena pada *dryer greentile* juga telah mengalami pemanasan awal. Besarnya LNG yang

## HASIL DAN PEMBAHASAN



diumpangkan pada *tunnel kiln* tergantung pada jumlah umpan kiln yang masuk pada *tunnel kiln* maka LNG yang diumpangkan juga banyak. Begitu juga dengan jumlah massa udara pembakaran yang masuk ke tunnel kiln tergantung pada jumlah LNG yang diumpangkan, semakin banyak LNG yang diumpangkan ke dalam *tunnel kiln* maka jumlah massa udara yang masuk ke dalam *tunnel kiln* juga bertambah banyak. Penggunaan energi pada *tunnel kiln* disesuaikan dengan jumlah kereta yang berisi produk genteng keramik. Semuanya berasal dari *forming* and *glazing* yang diumpangkan ke dryer dan *subdryer* maka akan semakin banyak pula *greentile* yang masuk ke *tunnel kiln* dan energi yang dibutuhkan untuk pembakaran *greentile* akan bertambah banyak.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- Analisis energi yang dilakukan pada tunnel kiln didapatkan efisiensi sebesar 98,92%.
- Total massa yang masuk pada *tunnel kiln* adalah 117.136 kg/hari.
- Total energi yang masuk pada *tunnel kiln* adalah 14.174.025 kkal atau 8.592Nm<sup>3</sup> atau 58,66 GJ, 52% dari total energi yang masuk dipergunakan untuk pembentukan genteng keramik.
- Panas yang terbuang kelingkuangan dari tunnel kiln terdiri atas panas keluar chimney dan perpindahan panas *tunnel kiln* sebesar 153.676 kkal/hari atau 0.64298 GJ atau 1.084% dari total panas yang masuk ke tunnel kiln.

### Saran

Analisis energi di *system tunnel kiln* di PT XYZ dilakukan terhadap semua komponen di *system tunnel kiln* sehingga didapatkan hasil pemeriksaan energi yang lebih lengkap. Namun pada basis-basis yang digunakan masih kurang sempurna seperti penggunaan bahan asbes sebagai *shell tunnel kiln* dan juga perpindahan

panas konduksi yang belum dihitung untuk dapat ditindak lanjuti oleh peneliti lainya.

### Daftar Pustaka

- Kyotani, K. 1983. *Agroindustrial Project Analysis: Critical Design Factors*. EDI Series in Economic Development. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Ediputra, K, (2010). *Studi Campuran aspal Dengan Ban Bekas (Tire Rubber) Sebagai Bahan Baku Genteng Polimer Menggunakan Bahan Perikat Isosianat*. Tesis Program Pasca Sarjanah Ilmu Kimia FMIPA. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Fitriyah, Nurul Hidayati dan Lisa Nazifah. (2013). *Bahan Ajar Mata Kuliah Pengetahuan Bahan mentah Silikat*. Jakarta: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Kyotani, Kimio. (1983). *Ceramic Kiln*. Manila: Ceramic Research & Development Center.
- Mutiara, F. R., & Hadiyanto., (2013). *Evaluasi Efisiensi Panas Dan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Rotary Kiln Pabrik Semen*.
- Radar Gresik. (2015). *Mengenal Jenis Genteng Atap Bangunan*. <http://Gresik.com/griya/eksterior/mengenal-jenis-genteng-atap-bangunan>, upload 6 Maret 2015. diakses jam 11:30 WIB, 11/05/2017.
- Perray, R., & Green, D. (1991). *Perray's Chemical Engineer's Handbook* (Vol. 7th ed). New York: Mc Graw-hill Book Company.
- Purnawan, I., (2010). *Teknologi Keramik II*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sacmi. (2007). *From Technology Throught Machinery to Kilns for SACMI Tile-Working 2*. Bologna: Sacmi Imola.

- Smith, J., Van, N. H., & Abbott, M. (2001).  
Introduction to Chemical  
Engineering Thermodynamics (6th  
ed.). USA: Mc-Graw- Hill.
- Underwood A.L & Day J.R, R.A. (2002).  
Analisis Kimia Kualitatif dan  
Kuantitatif (ed. 6). Jakarta:  
Erlangga.
- The Energy Conservation Center. (1994).  
Out Of a Seminar On Energy  
Conservation In Ceramic Industy.  
Dhaka: The Energy Conservation  
Canter.

