

PROSIDING SEMINAR NASIONAL AVoER VII 2015



Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Gedung MM Universitas Sriwijaya
21-22 Oktober 2015

SPONSORED BY

:



PERTAMINA
GEOTHERMAL ENERGY



PT KALTIM PRIMA COAL



Hak Cipta 2015

**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL AVoER VII 2015**

**Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Hak Terbit Pada Unsri Press

Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139

Telpon 0711- 360969 Fax. 0711- 360969

Email : unsri.press@yahoo.com

Palembang : Unsri Press 2015

Setting & Lay Out Isi : A. Febri Eka Putra, A.Md

Cetakan Pertama, Oktober 2015

xiv +230 halaman :21 x 16 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN : 979-587-559-0

REVIEWER

1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S. (Ketua)
2. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S (Waka)
3. Dr. Ir. Dinar Putranto
4. Prof. Dr. Ir. Edy Sutriyono, M.Sc.
5. Prof. Dr. Ir. Hj. Erika Bochori, M.S.
6. Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc.
7. Dr. Ir. Hj. Susila Arita
8. Dr. Ir. Nukman, M.T.
9. Dr. Hj. Tuti Emilia, M.T.
10. Dr. Ir. Endang Wiwik DH. M.Sc.
11. Dr. Yohannes Adiyanto, M.S.
12. Dr. Faisal, DEA
13. Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA.
14. Dr. Ir. Ari Siswanto
15. Dr. Heni Fitria

DAFTAR ISI

PRAKATA	vi
KEPANITIAAN	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	xi
DAFTAR ISI	xii
ANALISIS DAMPAK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI ENIM DI DESA TANJUNG TIGA Y. Andriani, T.Y.M. Zaqlael, R.H. Kosetoer	1
ANALISIS ENERGI PADA SISTEM ROTARY KILN DI PT. SEMEN BATURAJA (PERSERO) H. Basri, G. Sitorus	2
APLIKASI TEKNOLOGI GASIFIKASI BATUBARA BA59 PT BUKIT ASAM (PERSERO), TBK INDUSTRI BATUBARA MERAH Irwin Bizzy ¹⁾ , Epina Cornely ²⁾ , Sri Maryani ³⁾ , Achmad Ubaidillah ⁴⁾ , Chandra Permadi ⁵⁾ ..	11
APLIKASI TEKNOLOGI GASIFIKASI BATUBARA BAWAH TANAH DAN PERKEMBANGANNYA DI INDONESIA Zulfahmi	18
EFEKTIVITAS PENGGUNAAN KOMBINASI DOLOMIT, MANGAN ZEOLIT DAN KARBON AKTIF DALAM PENGOLAHAN LIMBAH AIR ASAM TAMBANG Rr. Harminuke Eko Handayani, Efran Candra	31
STUDI LIMBAH KULIT KAYU GELAM DENGAN PEMANASAN DAN TANPA PEMANASAN SEBAGAI KOAGULAN LATEKS Farida Ali ¹⁾ , Karina, Mardanila Apriani	38
PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI DI PULAU PAPUA Ririn Aprillia, Ahmad Fajrin K. Wijaya	51
PEMANFAATAN TEKNOLOGI QUADCOPTER UNTUK MONITORING LOKASI KEBAKARAN HUTAN I. Bayusari, R. Thayeb dan D. Yuniarti C	60
DETERJEN DARI BUAH MENGGUDU (<i>MORINDA CITRIFOLIA</i>) S. Haryati, A.M. Afandi, A. Tiofami, R.W. Putri	66
PEMBUATAN PLASTIK BIODEGRDABLE DARI TEPUNG NASIAKING Sclpiana, Jeo Fitra Riansya, Kevin Yordan	71

ANALISIS ENERGI PADA SISTEM *ROTARY KILN* DI PT. SEMEN BATURAJA (PERSERO)

H. Basri^{1*}, G. Sitorus²

¹ Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

² Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author: hasanbas1960@gmail.com

ABSTRAK

PT. Semen Baturaja (PERSERO) adalah salah satu industri pembuatan semen yang banyak menggunakan energi pada setiap prosesnya. Salah satu peralatan pada pabrik tersebut yang banyak menggunakan energi adalah *rotary kiln*. Pada penelitian ini analisis energi yang diterapkan pada *rotary kiln* adalah data realistis dari aliran massa *preheater* dan *rotary kiln*. Tujuannya agar kita dapat menentukan besarnya kuantitas dan kualitas kerja (energi) secara akurat, serta dapat mengetahui dengan tepat berapa besar energi terpakai dan terbuang dalam mengetahui efisiensi energi pada *rotary kiln*. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, energi panas terpakai adalah sebesar 77,51 Gcal/h yang masuk *rotary kiln* dan 64,21 Gcal/h energi panas yang dapat dimanfaatkan, selebihnya energi tersebut berpindah secara radiasi dan konveksi. Secara teoritis untuk memproduksi satu ton klinker diperlukan minimal 0,42 Gcal. Pada penelitian ini didapatkan bahwa energi panas yang dibutuhkan untuk memproduksi satu ton klinker diperlukan 0,53 Gcal.

Kata Kunci: analisis energi, kesetimbangan massa, efisiensi.

PENDAHULUAN

Energi merupakan hal penting dalam kehidupan kita sehari-hari. Segala sesuatunya di dunia ini pasti membutuhkan energi. Industri semen merupakan subsektor padat energi dari sektor industri. Penggunaan semen sangat luas dalam kehidupan sehari-hari baik dalam pembangunan rumah, gedung bertingkat, bendungan, dan lain-lain. Salah satu alat yang digunakan pada pabrik semen adalah *rotary kiln*. *Rotary kiln* adalah suatu alat pembakar campuran produk semen (*clinker*) pada suatu jumlah tertentu pada setiap jamnya dengan suatu proses dan suhu yang ditentukan besarnya. Campuran utama produk semen adalah batu kapur, tanah liat, pasir silika, pasir besi dan *gypsum*. Campuran ini dibakar dengan menggunakan pembakar yang

terdapat didalam *rotary kiln* dengan bahan bakar batubara yang telah dihaluskan.

Semen Baturaja (Persero) berdiri pada tahun 1980, dimana industri ini merupakan salah satu industri yang banyak menggunakan energi dalam proses produksinya. Salah satu peralatan tersebut yang banyak menggunakan energi adalah *rotary kiln*. Efisiensi peralatan ini akan menurun sesuai umur yang bertambah, karena hal ini dapat mempengaruhi kualitas dari pada komponen *rotary kiln*. Efisiensi dapat dihitung dengan mengetahui besar energi yang terpakai dan energi yang terbuang. Jika efisiensi pembakaran bisa ditingkatkan, hal ini dapat menurunkan konsumsi energi yang pada akhirnya dapat menurunkan biaya produksi sehingga meningkatkan laba perusahaan.

Proses pembakaran yang terjadi pada unit ini menggunakan energi yang cukup besar. Biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi pada sebuah pabrik semen berkisar 20 – 30% dari total biaya produksi semen. Pada penelitian yang dilakukan terhadap beberapa pabrik semen di jepang tahun 1992 menunjukkan penggunaan energi untuk proses pembakaran klinker mencapai 91.90 % dari total penggunaan energi pada sebuah pabrik semen, selebihnya energi tersebut digunakan untuk tenaga listrik 7.6%, pengeringan bahan bakar batubara, serta proses lainnya 0.5 % (UNIDO, 1994).

Menurut data dari (*cement data book*) energi yang diperlukan untuk memproduksi satu ton klinker adalah minimal 1.8 GJ. Kenyataan yang didapat dari lapangan, telah dilakukan penelitian pada beberapa pabrik semen dengan menggunakan proses produksi semen tipe kering (*dry process*), diperlukan rata-rata konsumsi energi sebesar 3.5 GJ untuk menghasilkan satu ton klinker dengan efisiensi sistem *kiln* sebesar 50 % dan efisiensi *rotary kiln* 96 % (Engin, 2002).

KESETIMBANGAN MASSA DAN ENERGI

Kesetimbangan Massa

Perhitungan neraca massa dilakukan dengan menggunakan persamaan termodinamika, perpindahan panas serta reaksi kimia yang berlangsung dalam sistem. Perhitungan neraca massa merupakan tahapan awal yang harus dilakukan. Data hasil perhitungan neraca massa selanjutnya digunakan untuk perhitungan neraca energi.

Perhitungan neraca massa didasarkan atas hukum kekekalan massa yang melewati *rotary kiln* seperti persamaan di bawah ini :

$$\sum m_{in} = \sum m_{out} \quad (1)$$

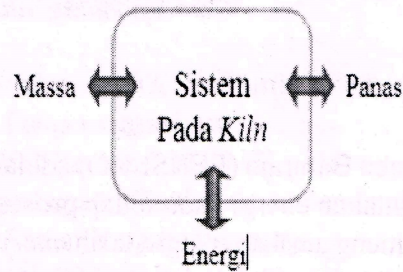
Dimana :

$$\sum m_{in} = m_{coal} + m_{kiln\ feed} + m_{udara} + m_{debu\ cyclone}$$

$$\sum m_{out} = m_{clinker} + m_{debu} + m_{gas\ buana}$$

Kesetimbangan Energi

Perhitungan neraca energi dilakukan berdasarkan hukum pertama termodinamika atau biasa disebut dengan hukum kekekalan energi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran energi.

Bentuk umum dari hukum termodinamika aliran *steady* ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$Q - W = \sum m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e) - \sum m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i) \quad (2)$$

Penggunaan energi listrik (W) di sistem *kiln* tidak termasuk dalam analisis, hal ini dikarenakan konsumsi energi listrik untuk sistem *kiln* sangat kecil. Penggunaan energi listrik di pabrik semen sebesar 7.6 % dari total energi yang dibutuhkan dan hanya 27.6% energi listrik tersebut digunakan di sistem *kiln*. Dengan mengabaikan kerja listrik (W), serta energi kinetik dan energi potensial material yang masuk dan keluar sistem, maka persamaan energi dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$Q = m \int_{T_{ref}}^T Cp(T) dT \quad (3)$$

Untuk panas spesifik (Cp) aliran material batubara, *kiln feed*, dan klinker digunakan grafik dari gambar (*cement data book*). Perhitungan panas yang masuk dan keluar sistem dilakukan pada temperature referensi 0°C.

Kerugian-Kerugian Rotary Kiln

Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam *rotary kiln* bukanlah seluruhnya dipergunakan untuk membentuk klinker, karena sebahagian dari panas tersebut ada yang hilang, dimana panas yang hilang ini disebut kerugian-kerugian kalor. Besar energi panas lainnya terbuang kelingkungan melalui aliran material dan melalui perpindahan panas pada permukaan *kiln*. Perpindahan panas berupa radiasi dan konveksi alam. Perpindahan panas radiasi pada permukaan dinding *kiln* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_r = \sigma \epsilon A_{pk} (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (4)$$

Perpindahan panas konveksi alam pada *kiln shell* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_r = h_{ncon} A_{pk} (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Proses pada Sistem Rotary Kiln

Sistem *rotary kiln* harus didesain untuk memenuhi proses kimia yang diperlukan selama *rawmix* yang diumpankan ke *kiln* dirubah menjadi klinker. Proses yang terjadi merupakan proses endotermis dan terjadi pada suhu maksimum material mencapai 1450 °C. Energi panas diterima dari gas panas dengan suhu mencapai 2000 °C yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk pembakaran. Proses pada sistem *kiln* menghasilkan reaksi kimia dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jenis reaksi pada *rotary kiln*

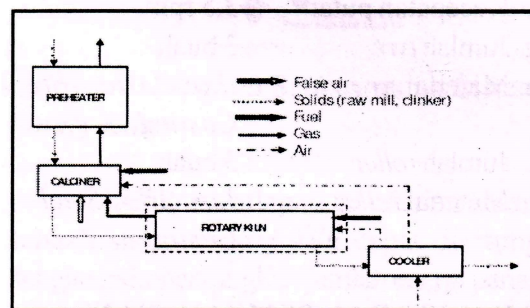
No.	Suhu (°C)	Jenis Reaksi
1	20 – 100	Penguapan H ₂ O bebas.
2	100 – 300	Penghilangan air yang terserap secara fisis.
3	400 – 900	Penghilangan struktur H ₂ O dari mineral tanah.
4	> 500	Perubahan struktural di dalam mineral silikat
5	600 – 900	Disosiasi Karbonat.
6	> 800	Pembentukan <i>belite</i> , produk setengah jadi, alumiat, <i>ferrite</i> .

7	> 1250	Pembentukan fase liquid (lelehan alumiat dan ferrite).
8	< 1450	Penyempurnaan reaksi dan rekristalisasi alite dan <i>belite</i> .
9	1300 – 1450	Pendinginan, kristalisasi fasa cair menjadi alumiat dan <i>ferrite</i> .

METODE PENELITIAN

Sistem Produksi Klinker yang dianalisis

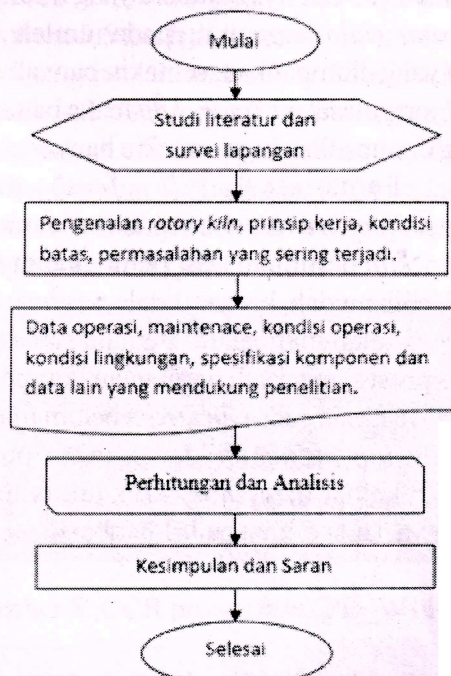
Adapun sistem *rotary kiln* yang akan dianalisis dapat ditunjukkan pada skema Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Sistem Rotary Kiln

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Spesifikasi *Rotary Kiln* PT. Semen Baturaja (Persero)

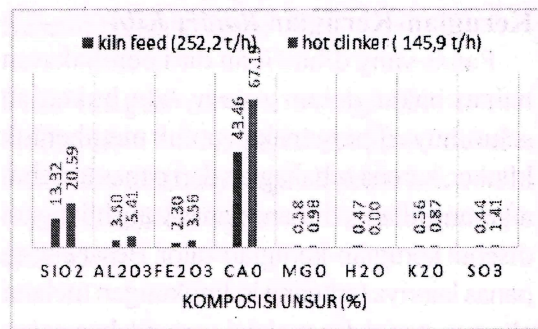
Data spesifikasi *rotary kiln* yang digunakan oleh PT. Semen Baturaja adalah sebagai berikut :

- a. Material *kiln shell* : ASTM A36
- b. Posisi *kiln* : horizontal
- c. Kemiringan : 3.5°
- d. Diameter : 4.5 m
- e. Panjang : 75 m (28° C)
- f. Kecepatan putar : 3.5 rpm
- g. Jumlah *tyre* : 3 buah
- h. Material *tyre* : Low Alloy Steel Casting
- i. Jumlah *roller* : 3 buah
- j. Material *roller* : Low Alloy Steel Casting

ANALISA DAN PEMBAHASAN

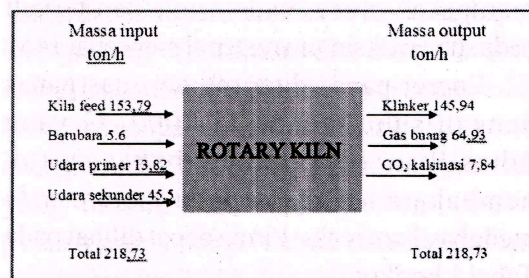
Hasil yang didapat dari penelitian ini berdasarkan data yang diperoleh dari *daily report kiln* di PT. Semen Baturaja dan data yang didapat dari lapangan melalui pengukuran langsung. Data yang digunakan adalah data *kiln feed* yang diumpankan ke *suspension preheater*. Besarnya batubara yang diumpankan ke *rotary kiln* tergantung pada jumlah *kiln feed* yang diumpankan, semakin banyak *kiln feed* yang masuk ke *rotary kiln* maka batubara yang diumpankan juga semakin banyak.

Pemanasan *kiln feed* pada *suspension preheater* sebelum masuk ke *rotary kiln* bertujuan agar pembakaran *kiln feed* lebih mudah, karena didalam *rotary kiln rawmix* telah mengalami pemanasan awal. Pada proses ini terjadi perubahan komposisi senyawa kimia pada *kiln feed* sebelum masuk *suspension preheater* dan klinker panas setelah keluar dari *rotary kiln*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram komposisi senyawa *kiln feed* dan klinker panas

Penggunaan energi pada *rotary kiln* disesuaikan dengan jumlah produk semen yang dihasilkan. Semuanya berasal dari jumlah *kiln feed* yang diumpankan ke dalam *suspension preheater*, semakin banyak *kiln feed* yang diumpankan ke *suspension preheater* maka semakin banyak *kiln feed* yang masuk ke *rotary kiln* dan energi yang dibutuhkan untuk pembakaran *kiln feed* juga akan bertambah banyak. Dari data yang didapat di CCR dan Pengambilan langsung di lapangan dapat dibuat neraca massa dalam bentuk blok diagram yang menunjukkan secara jelas massa masuk dan keluar dari sebuah sistem *rotary kiln* dapat dilihat pada Gambar 5.

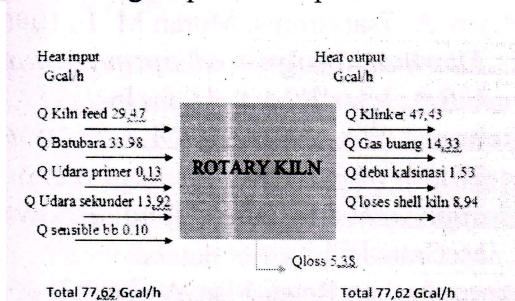


Gambar 5. Blok diagram kesetimbangan massa di *rotary kiln*

Pada Gambar 5 dapat dilihat kesetimbangan massa *rotary kiln* dimana massa yang masuk ke sistem sama dengan yang keluar dari sistem, Massa *kiln feed* yang masuk ke *rotary kiln* 153,79 ton/h dimana setelah mengalami proses kalsinasi lanjutan total klinker yang terbentuk adalah 145,94 ton/

h, Pada *rotary kiln* massa *kiln feed* yang masuk mengalami proses pembakaran sehingga terjadi reaksi pembentukan klinker, Dari 100 % *kiln feed* yang masuk ke *rotary kiln* sebanyak 90% akan menjadi klinker sedangkan 10% lagi adalah hilang di dalam *rotary kiln*.

Hasil perhitungan neraca massa pada Gambar 5. kemudian digunakan untuk perhitungan neraca energi. Hasil perhitungan neraca energi dapat dilihat pada Gambar 6.

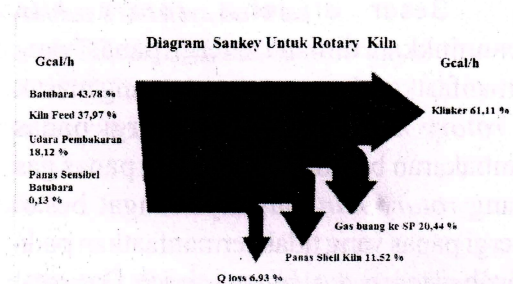


Gambar 6. Blok diagram kesetimbangan panas di *rotary kiln*

Pada Gambar 6 dapat dilihat energi total input yang masuk ke *rotary kiln* adalah 77,62 Gcal/h, dimana dari total energi input yang masuk dipergunakan sebanyak 47,43 Gcal/h untuk pembentukan klinker. Sehingga dapat dikatakan bahwa energi pembentukan klinker paling banyak digunakan pada sistem *rotary kiln*, sementara energi yang lain adalah energi gas buang sebesar 14,33 Gcal/h dan debu ke *cyclone* sebesar 1,53 Gcal/h yang mengalir bersama gas buang dimanfaatkan oleh *suspention preheater* sebagai energi input pemanasan *kiln feed*, Masih ada panas sebesar 8,94 Gcal/h yang hilang keluar bersama panas ke *kiln shell* dan energi yang tidak terhitung sebanyak 5,38 Gcal/h.

Untuk melihat kesetimbangan dalam penggunaan energi pada sistem *rotary kiln*, di bawah ini akan dibuat diagram Sankey yang menggambarkan data penggunaan energi lengkap pada sistem *rotary kiln*, dimana energi input paling besar berasal dari energi pembakaran batubara sebanyak 43,84 % dari

total energi input yang masuk sementara energi yang paling banyak digunakan adalah energi pembentukan klinker yaitu sebanyak 61,11 % dari total energi input ke *rotary kiln*.

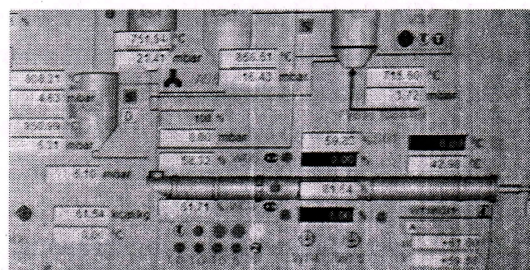


Gambar 7. Diagram Sankey untuk Sistem *Rotary Kiln*

Untuk mendapatkan efisiensi dari sebuah sistem *rotary kiln* dapat dihitung dengan membandingkan jumlah energi panas yang dimanfaatkan dengan energi panas total masuk ke *rotary kiln*.

$$\eta_{kiln} = \frac{\text{Energi yang termamfaatkan}}{\text{total energi input}} = \frac{63,30 \text{ Gcal}}{77,51 \text{ Gcal}} = 81,55 \%$$

Jadi efisiensi *rotary kiln* adalah sebesar 81,55 % pada saat laju aliran batubara 5,6 ton/h dan laju aliran massa *kiln feed* yang masuk *rotary kiln* 153,79 ton/h. Untuk melihat sejauh mana ketepatan perhitungan efisiensi yang dihitung, dapat dilihat Gambar 8. Hasil foto CCR pada PT. Semen Baturaja sesuai dengan waktu pengambilan data yang dihitung.



Gambar 8. CCR proses *kiln* (PB_W1107)

Dari Gambar 8 dijelaskan bahwa efisiensi *rotary kiln* adalah sebesar 81,64 %

dan dari perhitungan sebesar 81,55 % dimana validasi antara efisiensi yang didapat dari PT. Semen Baturaja dan yang dihitung berdasarkan data yang ada nilainya tidak berbeda jauh hanya sebesar 0,09%.

Besar efisiensi *rotary kiln* menunjukkan dimana energi panas yang dimanfaatkan dari energi panas yang masuk ke *rotary kiln* dan berupa energi panas pembakaran batubara dan energi panas gas buang *rotary kiln* harganya sangat besar. Energi panas yang tidak dimanfaatkan pada sebuah sistem *rotary kiln* masih ada. Dari total 77,62 Gcal/h energi panas yang masuk *rotary kiln*, sebesar 63,3 Gcal/h yang dapat dimanfaatkan selebihnya energi tersebut berpindah secara radiasi dan konveksi. Secara teoritis untuk memproduksi satu ton klinker diperlukan minimal 0,42 Gcal. Pada penelitian ini didapat energi panas yang dibutuhkan untuk satu ton klinker diperlukan sebanyak 0,53 Gcal panas.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari analisis ini adalah sebagai berikut :

1. Energi total yang masuk ke *rotary kiln* adalah 77,62 Gcal/h dimana sebagian besar energi masuk tersebut sekitar 61,11% dipergunakan untuk proses pembentukan klinker di dalam *rotary kiln*, selebihnya terbuang ke *suspension preheater* berupa gas buang hasil pembakaran 20,44 %, perpindahan panas pada *kiln shell* 11,55 % dan panas yang hilang 6,93 %.
2. Panas gas buang sebesar 19,56 % yang terbuang ke *suspension preheater* dimanfaatkan untuk pemanasan awal *kiln feed*.
3. Perpindahan panas pada *kiln shell* sebesar 11,55 % merupakan panas yang terbuang ke lingkungan, hal ini terjadi karena tingginya suhu pembakaran pada *rotary kiln*.
4. Energi panas yang dibutuhkan untuk satu ton klinker diperlukan sebanyak 0,53 Gcal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsop P, 1998, *Cement Plant Operations Handbook for Dry Process Plants*, Tradeship Publication Ltd, Houston.
- Atmaca A, Yumrutas R, 2013, *Decreasing The Specific Energy Consumption And Emissions in A Rotary Kiln In Cement Industry*, University of Ganziatop: Prancis.
- Boating A.A, 2008, *Rotary Kilns Transport Phenomena and Transport Processes*, Elsevier: USA.
- Bejan, A. Tsatsaronis, Moran M. J., 1996. *Thermal design and optimization*. U.S.A: John Wiley and Sons Inc.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2006. *Thermodynamics: an engineering approach*, 5th ed., Dubuque, Iowa: McGraw-Hill.
- Dincer, Ibrahim, Rosen, Marc. A., 2007. *Exergy, Energy Environment and Sustainable Development*. U.K: Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.
- Engin, Tahsin dan Vedat Ari, 2002, *Energy Auditing and Recovery for Dry Type Cement Rotary Kiln System—A Case Study*, University of Sakarya, Turkey.
- Mulyono, David Kurnia. 2009. *Analisis tingkat intensitas energi sektor industri pada sub _ sektor industri semen dan industri tekstil*. Jakarta.
- Moran M.J, Shapiro H.N, 1988, *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley, New York.
- Peray KE, 1979, *Cement Manufacturer's handbook*, New York, NY: Chemical Publishing Co.inc.
- Topfer K, 2011, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*, Unep: Paris.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 1994, *output of a seminar on energy conservation in cement industri*, Japan.
- Walter, H duda, 1985, *Cement Data Book*, Macdonald & Even, London.
- PT. Semen Baturaja (Persero), Departemen Penelitian Dan Pengembangan, 28 Juli 2014.