

PERHITUNGAN NERACA MASSA, NERACA PANAS DAN EFISIENSI PADA *ROTARY KILN* UNIT KERJA RKC 3 PT SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.

Amiruz Zahidin, Luchis Rubianto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Malang Indonesia
zahidin.amir0973@gmail.com, [luchis.rubianto@polinema.ac.id]

ABSTRAK

PT. Semen Indonesia Tbk. (Persero) merupakan salah satu pabrik yang menghasilkan semen sebagai bahan baku pembangunan atau konstruksi dari skala kecil sampai proyek yang skala besar, yang mana bahan utama 80% batu kapur, 15% tanah liat dan 5% campuran lainnya. Dimana terdapat beberapa proses yang terjadi meliputi proses *crusher*, *raw mill*, *kiln*, *finish mill* dan *packing*. Proses kiln adalah salah satu proses bagian dari proses pembentukan semen setengah jadi. Kiln yang digunakan jenis *rotary kiln* untuk proses kering dengan sistem *continue*. Evaluasi *rotary kiln* dilakukan untuk mengetahui kinerja proses kalsinasi pada alat *rotary kiln* yang mana akan mempengaruhi dalam hal pembentukan klinker dalam hal waktu proses hingga beban pada biaya proses. Dari hasil perhitungan akan diperoleh efisiensi alat *rotary kiln*. Dengan metode perhitungan neraca massa, neraca panas dan efisiensi alat, dengan suhu oprasi 900°C – 1450°C dan massa bahan 526.625 kg.

Kata kunci : *kiln, neraca massa, neraca panas, efisiensi*

ABSTRACT

PT. Semen Indonesia Tbk. (Persero) is one of the factories that produce cement as raw material for construction or construction from small scale to large scale projects, where the main ingredients are 80% limestone, 15% clay and 5% other mixtures. Where there are several processes that occur include the process of crusher, raw mill, kiln, finish mill and packing. The kiln process is one part of the process of forming semi-finished cement. The kiln used is a type of rotary kiln for the dry process with a continue system. The rotary kiln evaluation is carried out to determine the performance of the calcination process on the rotary kiln which will influence in terms of clinker formation in terms of processing time to load on process costs. From the calculation results we will get the efficiency of the rotary kiln. With the method of calculating the mass balance, heat balance and tool efficiency, with an operating temperature of 900°C - 1450°C and a material mass of 526,625 kg.

Keywords: *kiln, mass balance, heat balance, efficiency*

1. PENDAHULUAN

PT. Semen Indonesia merupakan pabrik semen pertama dibangun di Indonesia dengan kapasitas 250.000 ton/tahun. BIN dengan dibantu Bank Exim (USA) menjalankan proyek semen ini. Pada Maret 1957 langkah awal pabrik dalam melakukan uji coba operasi dan terbukti bahwa pabrik tersebut mampu beroperasi dengan baik dan sesuai dengan rencana kebutuhan. Pada tanggal 17 April 1961 Semen Gresik dilakukan perluasan dengan menambah sebuah tanur pembatasan (proses basah) beserta beberapa unit lain yang berkapasitas 125.000 ton/tahun, sehingga kapasitas pabrik bertambah menjadi 375.000 ton/tahun.

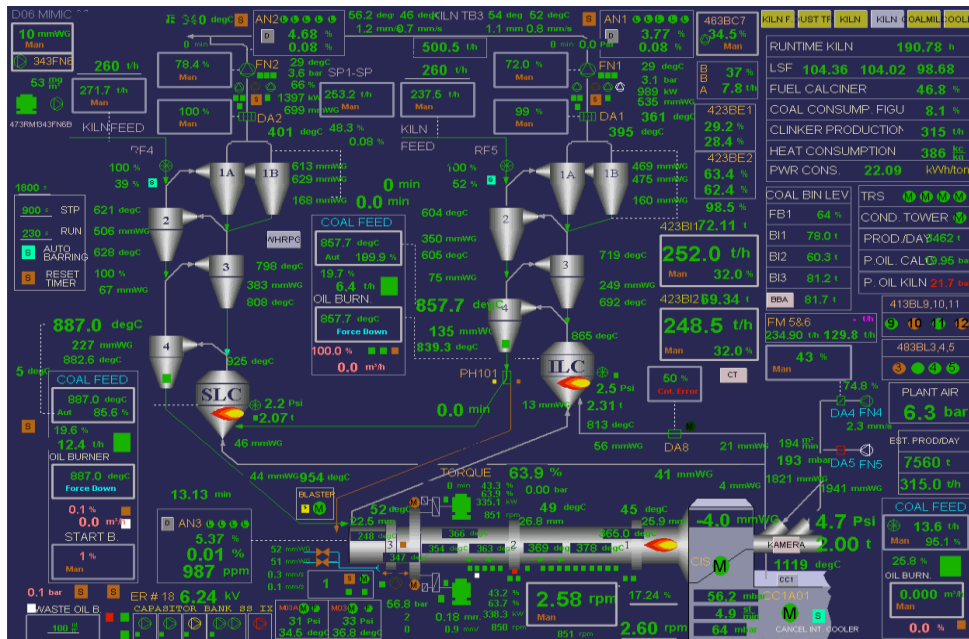
Tahun 1969 merupakan tahun dimana PT Semen Gresik menjadi perusahaan BUMN dan berubah menjadi PT (Perseroan). Perluasan yang kedua dilakukan pada bulan Desember 1970 yang bertujuan untuk menambah kapasitas produksi menjadi 500.000 ton/tahun dengan melakukan penambahan tanur pembakaran beserta perangkat lainnya. Awal 1976 dilakukan perluasan ketiga pabrik dengan membangun unit baru yang menggunakan proses kering. Penambahan yang dilakukan adalah dua buah tanur pembakaran lengkap dengan perangkatnya. Tiap tanur pembakaran baru memiliki kapasitas sebanyak 500.000 ton/tahun sehingga total kapasitas produksi Pabrik Semen Gresik menjadi 1.875.000 ton/tahun.

Pada tanggal 26 September 1994 pengembangan PT. Semen Gresik dengan membangun pabrik Tuban 1 dengan kapasitas 2,3 juta ton/tahun. Kapasitas total produksi yang dihasilkan menjadi 4,175 juta ton/tahun. Perluasan terus dilakukan dan dimulai pada awal tahun 1995 dengan membangun pabrik semen Tuban 2 yang berkapasitas 2,3 juta ton/tahun. Pabrik Tuban 2 meningkatkan kapasitas menjadi 6,475 juta ton/tahun. Proyek pabrik Tuban 2 diselesaikan tahun 1996 bersamaan dengan penyelesaian pabrik Tuban 3 pada tahun 1998. Kapasitas semen yang dihasilkan meningkat menjadi 8,75 juta ton/tahun. Keberhasilan yang diperoleh Semen Gresik adalah konsolidasi yang tercapai dengan Semen Padang dan Semen Tonasa.

Salah satu proses pada PT. Semen Indonesia (Persero) adalah proses pembakaran akhir yang terjadi di dalam *rotary kiln* melibatkan banyak energi atau panas yang digunakan untuk memproduksi terak (*clinker*) sebagai produk setengah jadi pada proses pembuatan semen. *Rotary kiln* merupakan alat yang menjadi jantung proses dalam pembuatan semen sehingga untuk menjadikan kualitas dari sebuah *clinker* maka harus mengatur kondisi operasi yang optimum terutama parameter suhu. Mengenai seberapa besar panas yang digunakan dalam proses pembakaran untuk produksi *clinker* dalam *rotary kiln* dan efisiensi panas pada alat *rotary kiln*. Oleh sebab itu perlu dilakukan adanya evaluasi terhadap kinerja *rotary kiln* seperti, perhitungan neraca massa, neraca panas dan efisiensi ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk evaluasi proses pada *rotary kiln*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Rotary Kiln adalah Tungku yang dibuat seperti ruangan, tempat membakar material yang memerlukan suhu tinggi. Material yang keluar dari *cyclone* lewat *riser duct* diumpankan ke dalam *kiln* dengan temperatur masuk $\pm 890^{\circ}\text{C}$. Material akan mengalami proses pembakaran menjadi klinker. Karena kalsinasi 91% sudah terjadi pada sebelumnya, maka umpan di dalam Kiln akan mengalami kalsinasi lebih lanjut hingga 100% pada calcining zone dengan temperatur $900 - 1000^{\circ}\text{C}$, kemudian diteruskan melewati transition zone dengan suhu sekitar $1000 - 1260^{\circ}\text{C}$. Di daerah ini terjadi perubahan material ke fasa cair. Setelah itu material melewati burning zone dengan suhu $1260 - 1510^{\circ}\text{C}$, sehingga terjadi reaksi dalam fasa cair menghasilkan senyawa klinker (C_2S , C_3S , C_4AF , C_3A) [7]. Dinding bagian luar Kiln di daerah burning zone dilengkapi dengan 12 Fan yang berfungsi untuk mencegah kerusakan dinding Kiln akibat adanya pembakaran Kiln yang mempunyai temperatur sangat tinggi yaitu 1450°C .



Gambar 1. Flowsheet Kiln CCR (Sumber: PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.)

Sistem pembakaran *rotary kiln* yang digunakan adalah *indirect firing*, yaitu batu bara hasil penggilingan di *coal mill* dan menggunakan gas panas dari *preheater*. Batu bara yang digunakan mempunyai diameter 20 mikron dan kebutuhan batu bara yang digunakan untuk pembakaran terak di *kiln* sebesar 15,47 ton/jam, sedangkan suplai udara primer sebagai pembakar di *rotary kiln* berasal dari *primary air fan* (udara sekunder berasal dari gas buang *cooler compartment*). *Rotary kiln* mempunyai ketebalan 1 inci (2,5 cm) dan dilapisi batu tahan api (*brick*) dengan ketebalan 22,5 cm sehingga mempunyai ketebalan 25 cm dari dinding luar *rotary kiln* [3]. Bila batu tahan api tersebut lepas atau pecah, ini menyebabkan *cell* pada *rotary kiln* berlubang karena klinker yang bersuhu tinggi dan akan menjadikan kalsinasi tidak berlangsung sempurna (kurang dari 96%). Temperatur yang sangat tinggi pada *kiln* dapat menyebabkan terbentuknya *coating* (pelapisan), dengan adanya *coating* ini proses pemanasan pada *kiln* akan lebih sempurna dan stabil. Pergerakan material di dalam *kiln* menuju *clinker cooler* disebabkan karena adanya kemiringan 4° dan mempunyai putaran 2,48 rpm[1]. Bila secara tiba-tiba *kiln* tidak dijalankan karena putusnya aliran listrik ke *kiln*, untuk menghindari bengkoknya hingga berlubangnya dinding *kiln* akibat temperatur klinker yang tinggi, maka *kiln* dilengkapi *help motor* yang berfungsi untuk memutar *rotary kiln* dengan menggunakan tenaga listrik dari mesin diesel [6].

Setelah keluar dari *burning zone*, klinker atau terak dengan *moisture* < 1% berubah menjadi bentuk kristal karena mengalami proses pendinginan yang terjadi di 2 tempat yaitu pertama terjadi di dalam *kiln* yaitu di daerah *cooling zone* dan selanjutnya diteruskan di luar *kiln* yaitu di dalam *clinker cooler* [1]. Pendinginan di dalam *kiln* disebabkan adanya udara sekunder yang berasal dari *clinker cooler* dengan suhu sekitar 1200 – 1250 °C akan mengalami pendinginan lebih lanjut di dalam *clinker cooler* [2]. Sebagai media pendingin digunakan udara luar yang dihembuskan oleh 18 buah *fan*.

Pada *rotary kiln* dibagi menjadi empat zona, yaitu:

- a) Zona kalsinasi (suhu 900 – 1000°C)

Merupakan zona kalsinasi CaCO_3 yang tersisa setelah melewati *preheater* dan sebagian CaO yang sudah terurai dari proses kalsinasi di dalam *preheater*, mulai membentuk campuran C_{12}A_7 dan sebagian CaO dan oksida silika terbentuk yaitu C_2S [3]. Dindingnya dilapisi batu tahan api.

- Pada zona ini temperatur proses kalsinasi sekitar $600 - 800^\circ\text{C}$ dan reaksi yang terjadi:

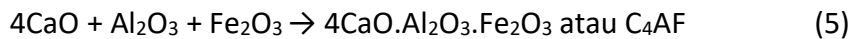
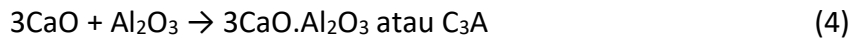
$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \quad T = 800 - 850^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 \quad T = 700 - 750^\circ\text{C} \quad (2)$$
- Proses pembentukan kalsium silikat (C_2S) pada temperatur $800 - 900^\circ\text{C}$, tetapi sebagian kecil telah terjadi sebelum temperatur 800°C . Reaksi yang terjadi:

$$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \text{ atau } \text{C}_2\text{S} \quad (3)$$

b) Zona transisi (suhu $1000 - 1250^\circ\text{C}$)

Pada zona ini proporsi CaO akan semakin besar, sebaliknya proporsi CaCO_3 semakin kecil dan sempurna habis pada temperatur bahan sekitar 900°C , pada temperatur tersebut proporsi C_2S semakin meningkat sampai temperatur bahan sekitar 1200°C , sedang oksida besi mulai mengikat campuran oksida kalsium dan oksida alumina membentuk campuran $\text{C}_2(\text{A},\text{F})$, dengan meningkatnya temperatur maka oksida kalsium (CaO) bergabung dengan kalsium alumina dan $\text{C}_2(\text{A},\text{F})$ masing-masing membentuk C_3A dan C_4AF [5]. Pembentukan C_3A dan C_4AF terjadi pada temperatur $\pm 1000 - 1200^\circ\text{C}$, reaksi tersebut adalah:



c) Zona pembakaran (*burning*) (suhu $1250 - 1450^\circ\text{C}$)

Di daerah ini terjadi pelelehan pada temperatur tinggi ($\pm 1200 - 1350^\circ\text{C}$) di mana campuran kalsium alumina ferit mengalami fase cair. Bagian CaO yang tidak bereaksi dengan oksida-oksida alumina besi dan silika biasanya dalam bentuk CaO bebas atau *free lime*, banyaknya persentase dibatasi dibawah 1% [5]. Pada temperatur tinggi ini sisa unsur CaO mengikat C_2S untuk membuat campuran C_3S . Reaksi yang terjadi:



d) Zona pendinginan (*cooling*) (suhu $1450 - 1300^\circ\text{C}$)

Di daerah ini campuran kalsium alumina ferit yang berbentuk cairan bentuk fisiknya berubah mengkristal setelah terjadi pendinginan di dalam *cooler*. Temperatur dalam zona ini sekitar $1350 - 800^\circ\text{C}$, sehingga material keluar *Kiln* mempunyai suhu $\pm 800^\circ\text{C}$. Dinding zona ini dilapisi dengan batu tahan api.

2.1 Metode Perhitungan

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi atau perhitungan yang bertujuan untuk mengetahui apakah alat tersebut yang masih layak digunakan. Evaluasi yang akan dilakukan meliputi :

2.1.1 Neraca Massa

$$\text{Massa Masuk} = \text{Massa keluar} + \text{Akumulasi} \quad (7)$$

2.1.2 Neraca Panas

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (8)$$

2.1.3 Effisien alat

$$\text{Efisiensi panas rotary kiln} = \frac{\text{panas yang termanfaatkan}}{\text{panas input}} \times 100\% \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini di ambil data – data untuk mendukung perhitungan dalam menentukan massa yang masuk sama dengan massa yang keluar dan panas yang masuk sama dengan panas yang keluar.

Tabel 1 Komposisi material masuk Kiln

| Komponen | Massa (kg) | % Massa |
|--------------------------------|----------------|------------|
| SiO ₂ | 69.409,28 | 13,18 |
| Al ₂ O ₃ | 19.327,16 | 3,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 11.901,74 | 2,26 |
| CaCO ₃ sisa | 38.700 | 7,35 |
| MgCO ₃ sisa | 1.259,49 | 0,24 |
| CaO | 229.450,86 | 43,57 |
| MgO | 6.372,17 | 1,21 |
| SO ₃ | 473,96 | 0,09 |
| Na ₂ O | 579,28 | 0,11 |
| K ₂ O | 1.685,20 | 0,32 |
| Cl | 273,84 | 0,052 |
| CO ₂ | 147.191,91 | 27,95 |
| Total | 526.625 | 100 |

Tabel 2 Komposisi material keluar Kiln (Clinker)

| Komponen | Massa (kg) | % Massa |
|--------------------------------|----------------|------------|
| SiO ₂ | 94.810,35 | 21,33 |
| Al ₂ O ₃ | 24.891,60 | 5,6 |
| Fe ₂ O ₃ | 15.432,90 | 3,47 |
| CaCO ₃ sisa | 0 | 0 |
| MgCO ₃ sisa | 0 | 0 |
| CaO | 296.387,93 | 66,68 |
| MgO | 7.956,42 | 1,79 |
| SO ₃ | 2.578,05 | 0,58 |
| Na ₂ O | 2.089,11 | 0,47 |
| K ₂ O | 355,59 | 0,08 |
| Total | 444.493 | 100 |

Semen dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila proses pembentukan klinker yang dihasilkan pada *Rotary Kiln* berjalan dengan baik. *Rotary Kiln* (tanur putar) adalah alat yang paling utama pada proses pembuatan semen. Fungsi utamanya yaitu sebagai tempat terjadinya proses klinkerasi sehingga terbentuk senyawa-senyawa penyusun semen antara lain C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF. *Rotary kiln* ini berbentuk silinder yang terbuat dari baja yang dipasang secara horizontal dengan kemiringan 4°, berdiameter 4,5 m, panjang 75-90 m, dan kecepatan putar 2,8-3 rpm bergantung dengan torsi yang digunakan untuk pembakaran.

Keberhasilan suatu pabrik semen tergantung pada operasi *rotary kiln* sehingga dalam perencanaan awal pembuatan pabrik semen yang menjadi dasar perhitungannya adalah kapasitas dari rotary kiln dengan menghitung aliran massa dan energi pada rotary kiln. Pada laporan ini perhitungan neraca massa dan neraca energi pada unit *kiln* Tuban 3, perhitungan didasarkan hukum kekekalan massa dan energi yaitu :

1. Massa masuk sistem = Massa keluar sistem
2. Energi masuk sistem = Energi keluar sistem

Perhitungan neraca massa dan energi pada *rotary kiln* menggunakan basis 1 jam operasi. Neraca massa bagian input terdiri dari aliran umpan kiln, batubara, udara primer, udara sekunder. Aliran umpan kiln berasal dari keluaran SP (*suspension preheater*) mempunyai massa sebesar 526.625 kg, untuk aliran batubara yang digunakan pembakaran memiliki massa sebesar 18.900 kg, aliran udara primer yang berasal dari *primary air fan* memiliki massa 15.480 kg, aliran udara sekunder memiliki massa sebesar 68.035 kg. Total untuk neraca massa bagian input yaitu sebesar 629.040 kg.

Neraca massa bagian output terdiri dari aliran massa klinker, gas hasil pembakaran, ash batubara dan *dust loss*. Untuk aliran massa *clinker* yaitu sebesar 444.493 kg, untuk aliran gas hasil pembakaran yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara mempunyai massa sebesar 157.361 kg, untuk ash batubara sebesar 854,8 untuk aliran *dust loss* berasal dari produk *clinker* yang hilang sebagai pelapis pada dinding batu tahan api *rotary kiln* memiliki massa sebesar 26.331 kg. Total untuk neraca massa bagian output sebesar 629.040 kg.

Perhitungan untuk neraca energi pada *rotary kiln* menggunakan basis 1 jam operasi. Neraca energi input terdiri dari panas umpan kiln, panas sensibel batubara, panas laten batubara, panas sensibel udara primer, panas sensibel udara sekunder, panas H₂O dalam batubara dan panas disosiasi. Panas sensibel umpan kiln sebesar 94.463.359,38 kcal, untuk panas sensibel dari batubara sebesar 132.772,5 kcal, panas laten batubara didasarkan pada *Net Heating Value* batubara sehingga total panas laten yaitu sebesar 77.490.000 kcal, kemudian untuk panas sensibel dari udara primer dan sekunder sebesar 90.945 kcal dan 20.145.164 kcal, sedangkan untuk panas H₂O dalam batubara dan panas disosiasi sebesar 46.716,335 kcal dan 1.417.535,654 kcal. Jumlah Panas yang dihasilkan pada input yaitu sebesar 193.786.492,4 kcal.

Neraca energi bagian output terdiri dari aliran panas sensibel klinker, panas sensibel gas hasil pembakaran, panas sensibel CO₂ kalsinasi, panas sensibel dan laten H₂O, panas N₂ dalam batubara, panas O₂ sisa pembakaran dan panas yang hilang dari system[4]. Panas sensibel klinker didapatkan sebesar 132.858.957,7 kcal yang digunakan untuk membentuk senyawa C₂S, C₄AF, C₃A, dan C₃S, panas sensibel gas hasil pembakaran didapatkan sebesar 37.347.346,17 kcal, untuk panas sensibel CO₂ kalsinasi sebesar 3.796.319,636 kcal yang diperoleh dari hasil kalsinasi CaCO₃ dan MgCO₃ untuk menghasilkan senyawa CaO dan MgO, panas sensibel dan laten H₂O yang dihasilkan sebesar 1.631.100,126 kcal, panas N₂ dalam batubara sebesar 29.884,66675 kcal, panas O₂ sisa pembakaran sebesar 480.626,1553 kcal, dan panas yang hilang dari sistem sebesar 17642257 kcal, panas tersebut merupakan panas yang tidak dapat dianalisis dari sebuah sistem *rotary kiln* dimana panas yang hilang ini dapat disebabkan karena adanya panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Efisiensi panas dari *rotary kiln* dari hasil perhitungan yaitu sebesar 90,89 % dimana efisiensi panas tersebut banyak dimanfaatkan untuk proses pembakaran *feed kiln* menjadi produk *clinker* dan sebagian panas tersebut juga dimanfaatkan kembali untuk pemanasan pada *preheater*, *raw mill*, dan *coal mill*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan kinerja alat *rotary kiln* pada proses pembentukan klinker, dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

Perhitungan neraca massa dilakukan berdasarkan hukum kekekalan massa yaitu massa yang masuk sistem sama dengan massa yang keluar sistem dan neraca panas adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara panas masuk dengan panas keluar

suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi. Berdasarkan hasil perhitungan bahwa efisiensi dari *rotary kiln* sebesar 90,89%.

4.2 Saran

Setelah dianalisa dari perhitungan serta permasalahan yang terjadi pada alat *rotary kiln* pada proses pembentukan klinker yaitu perlu adanya peningkatan perawatan sel dan *brick* sehingga panas yang di hasilkan pada proses pembakaran keluar ke lingkungan melalui cela – cela sel dan *brick*, sehingga tidak menurunkan *effisiensi* pada alat *rotary kiln*.

REFERENSI

- [1] Ayu, R., 2016, *Audit Energi pada Dry Process Rotary Kiln System di Pabrik Semen*, Skripsi, Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Basri, H., dan Gomgom, S., 2015, *Analisis Energi pada Sistem Rotary Kiln di PT Semen Baturaja (Persero)*, Prosiding Seminar Nasional, Palembang: PT Semen Baturaja (Persero).
- [3] Deolalkar S P., 2009, *Handbook for Designing Cement Plants*, United States of America: BS Publication.
- [4] Mutiara, F. R., dan Hadiyanto, H., 2013, *Evaluasi Efisiensi Panas dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Rotary Kiln Pabrik Semen*, Jurnal TEKNIK, Vol. 4, No. 1, 9-13.
- [5] Parkway Lane, Suite, 1980, Nutrient Source Specifics (Gypsum), *International Plant Nutrition Institute*. No. 16.
- [6] Duda, W.H., 1985, *Cement Data Book*, 3rd Edition, International Process Engineering in The Cement Industry, London.
- [7] Zamrudy, W., 2012, *Modul Teknologi Semen*, Malang: Politeknik Negeri Malang.