



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

Pada dasarnya teknologi pembuatan semen dibagi menjadi 4 macam proses, yaitu :

a. *Proses basah (Wet process)*

Pada proses ini bahan baku dihancurkan dalam raw mill kemudian digiling dengan ditambah air dalam jumlah tertentu. Hasilnya berupa *slurry*/buburan, kemudian dikeringkan dalam rotary dryer sehingga terbentuk umpan tanur berupa *slurry* dengan kadar air 25-40%. Pada umumnya menggunakan “*Long Rotary Kiln*” untuk menghasilkan terak. Terak tersebut kemudian didinginkan dan dicampur dengan gypsum untuk selanjutnya digiling dalam finish mill hingga terbentuk semen. Proses ini boros, karena menggunakan panas sekitar 1500-1900 kcal/kg terak, dan biasanya mempunyai suhu exit gas 150-250 °C.

Keuntungan :

- Pencampuran dari komposisi *slurry* lebih mudah karena berupa luluhan.
- Kadar alkalis tidak menimbulkan gangguan penyempitan dalam saluran *preheater* atau pipa.
- Debu yang dihasilkan relative sedikit.

Kerugian :

- Pemakaian bahan bakar lebih banyak, karena kebutuhan panas selama pembakaran tinggi 1500-1900 kcal/kg.
- Tanur putar yang digunakan ukurannya lebih panjang dibandingkan tanur putar pada proses kering.
- Memerlukan air proses dalam jumlah banyak.
- Deposit yang tidak homogeny tidak berpengaruh karena mudah mencampur dan mengoreksinya.



b. Proses Semi Basah

Pada proses semi basah, bahan baku (batu kapur, pasir besi, pasir silika) dipecah, kemudian pada unit homogenisasi ditambahkan air dalam jumlah tertentu serta dicampur dengan luluhan tanah liat, sehingga terbentuk bubur halus dengan kadar air 15-25% (*slurry*) disini umpan tanur disaring terlebih dahulu dengan *filter press*. *Filter cake* yang terbentuk pellet kemudian mengalami kalsinasi dalam tungku putar panjang (*long rotary kiln*). Dengan perpindahan panas awal terjadi pada rantai (*chain section*). Sehingga terbentuk *klinker* sebagai hasil proses kalsinasi. Konsumsi panas pada proses ini 1000-1200 kcal/kg terak.

Keuntungan :

- a. Umpan lebih homogen
- b. Debu relatif lebih sedikit

Kerugian :

- a. Tanur yang digunakan lebih panjang
- b. Membutuhkan filter

c. Proses Semi Kering (Semi Dry Process)

Proses semi kering dikenal sebagai grate proses, dimana merupakan transisi dari proses basah dan proses kering dalam pembuatan semen. Umpan kiln pada proses ini berupa tepung baku kering, dengan alat granulator (*pelletizzer*) umpan disemprot dengan air untuk dibentuk menjadi granular dengan kadar air 10-12% dan ukuran 10-12 mm seragam. Kemudian kiln feed dikalsinasi menggunakan tungku tegak (*shaft kiln*) atau long rotary kiln. Sehingga terbentuk *klinker* sebagai hasil akhir proses kalsinasi.

Keuntungan :

- a. Tanur yang digunakan lebih pendek dari proses basah
- b. Pemakaian bahan bakar lebih sedikit

Kerugian :

- a. Menghasilkan debu





- b. Campuran tepung baku kurang homogeny karena pada saat penggilingan bahan dalam keadaan kering

d. Proses Kering (Dry Process)

Pada proses ini bahan baku dipecah dan digiling sampai kadar air 1% dan tepung baku yang telah homogen ini diumpankan dalam keadaan kering untuk mendapatkan terak. Selanjutnya, tepung baku yang telah homogen ini diumpankan kedalam suspension preheater sebagai pemanasan awal, disini terjadi perpindahan panas melalui kontak langsung antara gas panas dengan material dengan arah berlawanan (*counter current*). Adanya system suspension preheater akan menghilangkan kadar air dan mengurangi beban panas pada kiln.

Material yang telah keluar dari *suspension preheater* siap menjadi umpan kiln dan diproses untuk mendapatkan terak. Terak selanjutnya didinginkan secara mendadak agar terbentuk Kristal yang bentuknya tidak beraturan (amorf) agar mudah digiling. Selanjutnya dilakukan penggilingan didalam *finish mill* dan dicampur dengan gypsum dengan perbandingan 96:4 sehingga menjadi semen.

Keuntungan :

- a. *Rotary kiln* yang digunakan relative pendek
- b. *Heat consumption* rendah yaitu sekitar 800-1000 kcal/kg terak sehingga bahan bakar yang digunakan lebih sedikit.
- c. Kapasitas produksi besar
- d. Biaya operasi rendah

Kerugian :

- a. Kadar air mengganggu operasi karena material lengket pada *inlet chute*
- b. Impuritas alkali menyebabkan penyempitan pada saluran
- c. Campuran kurang homogeny
- d. Banyak debu yang dihasilkan sehingga dibutuhkan alat pelengkap debu



Sekarang proses yang digunakan di PT. Semen Gresik Pabrik Tuban adalah proses kering karena mempunyai keuntungan yaitu biaya operasi yang rendah dan kapasitas produksi yang besar sehingga sangat menguntungkan pabrik. Alasan dihentikannya proses basah adalah penggunaan bahan bakar yang terlalu banyak dan biaya operasional yang terlalu tinggi.

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Judul Tugas khusus

Judul Tugas Khusus yang kami ambil adalah : Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas alat Cooler seksi operasi RKC 1 PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban 1

II.2.2 Latar Belakang Masalah

Kapasitas total produksi PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, pabrik Tuban saat ini mencapai 9.000.000 ton/tahun, dimana proses produksi dibagi menjadi 4 plant meliputi Tuban I, Tuban II, Tuban III, dan Tuban IV. Produk yang dihasilkan antara lain Pozzolan Portland Cement (PPC), Ordinary Portland Cement (OPC) dan Special Blended Cement (SBC) dengan bahan baku yang digunakan berupa batu kapur, tanah liat, dengan bahan korektif berupa copper slag, pasir silika, dan limestone (high grade) dan bahan tambahan berupa gypsum, trass, dan fly ash.

Dalam proses produksinya, kelancaran proses produksi PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. didukung oleh beberapa seksi salah satunya yaitu Seksi Operasi RKC. Seksi ini bisa dikatakan memiliki tanggung jawab yang cukup luas, karena bertugas menjalankan proses penggilingan awal di Raw Mill, kemudian menjalankan proses pembakaran awal di Pre Heater , lalu menjalankan proses pembakaran di Kiln. Selain itu, seksi ini juga menjalankan proses penggilingan batu bara sebagai bahan bakar di calciner dan burner Kiln. Ditambah lagi dengan menjalankan proses pendinginan terak (klinker) menggunakan pendingin udara.

Dalam perkembangan Industri saat ini, setiap pabrik harus memperhitungkan efisiensi pengeluaran pabrik, baik itu terkait bahan baku ataupun energi yang



digunakan. Efisiensi energi dalam industri dapat mencakup penggunaan bahan bakar atau panas dalam suatu alat. Oleh karena itu kami tertarik mendalami seksi Operasi RKC 1 ini untuk menghitung neraca massa serta neraca panas pada alat cooler karena pada setiap alat produksi semen tentunya mengandung coating khususnya pada alat pembakaran dan pendinginan, oleh karena itu kami menghitung Neraca Massa dan Neraca Panas untuk mengetahui efisiensi dari alat cooler dan mengandung beban coating seberapa banyak. Neraca massa dan panas merupakan suatu cabang ilmu yang mempelajari proses dalam industri yang merupakan perhitungan kuantitatif dari semua bahan dan energy/panas yang masuk, keluar, terakumulasi maupun yang terbuang dalam sistem. Perhitungan neraca juga digunakan untuk mencari variable proses yang belum diketahui berdasarkan data yang telah diketahui. Dengan adanya perhitungan neraca massa dan neraca panas nantinya akan menjadi referensi untuk melakukan evaluasi proses yang ada di seksi operasi RKC. Dengan mengetahui efisiensi dari alat-alat tersebut maka dapat diambil suatu tindakan yang tepat agar efisiensi yang ada tidak menurun dan panas yang disediakan untuk jumlah produk yang sama bisa lebih sedikit.

II.2.3 Tujuan

Adapun tujuan dari pelaksanaan tugas khusus ini adalah untuk mengetahui kinerja proses dari unit kerja RKC 1 dengan menghitung neraca massa serta neraca panas alat cooler.

II.2.4 Manfaat

Adapun manfaat dari pelaksanaan tugas khusus ini adalah dapat mengetahui aliran massa alat cooler selama proses produksi. Selain itu dapat mengetahui panas yang dibutuhkan untuk alat cooler pada unit produksi, sehingga nantinya dapat digunakan sebagai bahan evaluasi produksi.

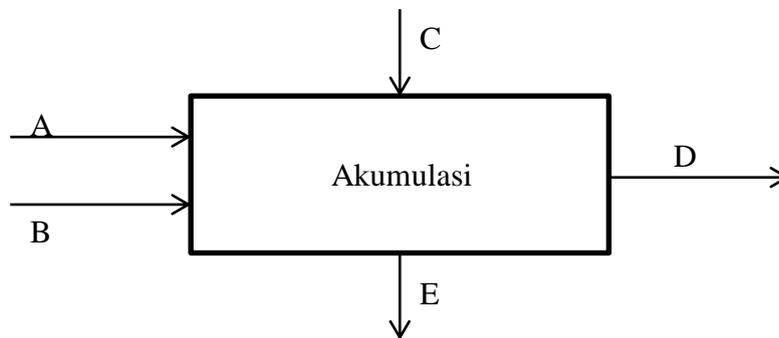
II.2.5 Tinjauan Pustaka

A. Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa



yakni: massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui. Persamaan neraca massa menurut Geiger, Gordon 2011 (Handbook on material and energy balance calculation in material processing, 3rd edition) adalah :



Persamaan Neraca Massa

$$\begin{aligned} \text{Massa Masuk} &= \text{Massa Keluar} + \text{Massa yang terakumulasi} \\ M_A + M_B + M_C &= M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}} \end{aligned}$$

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, maka persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Massa masuk} &= \text{massa yang keluar} \\ M_A + M_B + M_C &= M_D + M_E \end{aligned}$$

B. Neraca Panas

Neraca panas dibuat pada peralatan yang berkaitan atau yang mengalami interaksi panas. Ada beberapa macam tujuan dalam perhitungan neraca panas antara lain untuk merancang : spesifikasi alat pemroses, jumlah bahan utilitas yang diperlukan pada suatu alat proses dan total bahan utilitas yangdiperhitungkan pada suatu pabrik. Neraca panas didasarkan pada panas yang masuk dan keluar dari suatu peralatan proses.



$$\begin{aligned} & [\text{Energi masuk}] - [\text{energy keluar}] + [\text{Energi yang terbangkitkan system}] \\ & - [\text{energy yang dikonsumsi system}] \\ & = [\text{Energi terakumulasi dalam system}] \end{aligned}$$

Reaksi kimia yang bersifat eksotermis (menghasilkan panas), maka energy yang dihasilkan disebut sebagai energy yang terbangkitkan system.

Reaksi kimia yang bersifat endotermis (membutuhkan panas), maka energy yang dihasilkan disebut sebagai energy yang dikonsumsi oleh system.

Untuk system dengan proses steady state, maka energy yang terakumulasi = 0

Neraca energy adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energy masuk dan energy keluar suatu system yang berdasarkan pada satuan waktu operasi.

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{masuk} \\ \text{ke system} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{yang timbul} \\ \text{dalam system} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Akumulasi} \\ \text{energi} \\ \text{dalam system} \end{array} \right) + \\ & \left(\begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{keluar} \\ \text{dari system} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{yang dipakai} \\ \text{dalam system} \end{array} \right) \end{aligned}$$

$$E_1 + Q = \Delta E + E_2 + W$$

Ada dua macam proses dalam perhitungan neraca energy:

1. Proses alir yaitu bahan masuk dan keluar system secara kontinyu
2. Proses batch yaitu bahan masuk dan keluar pada waktu tertentu

Energi dapat berada dalam beberapa bentuk, yakni sebagai berikut:

1. Energi dalam (U), persatuan massa
(mU), untuk massa m

Energi dalam ini tidak ada instrument yang dapat mengukurnya, sehingga energy dalam harus dinyatakan dalam variable lain, seperti: tekanan, volume, suhu atau komposisi.

2. Energi berupa kerja

Untuk memasukkan bahan ke dalam system, kerja tersebut dinyatakan dalam:



$$m_2 (P_2V_2) = m_1(P_1V_1)$$

Dimana;

P = tekanan sistem

V= volume persatuan massa

3. Energi Potensial

$$E_p = m \times gL/gC \times h$$

Dimana:

h = beda tinggi terhadap reference, m

gL = gravitasi ditempat ketinggian L, m/s^2

gc = konstanta gravitasi, m/s^2

4. Energi Kinetic

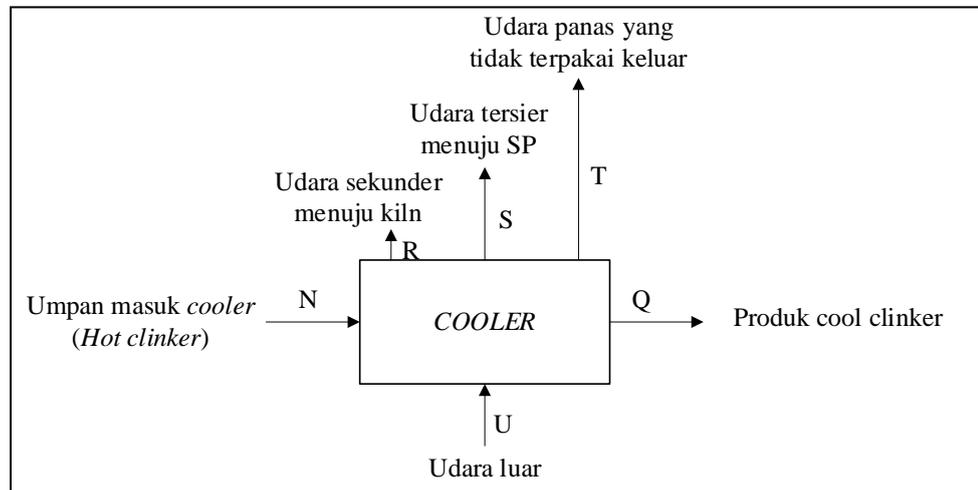
Energi dari bahan yang masuk dan keluar system dinyatakan dengan

$$E_k = 0,5 \times m \times v^2$$



II.2.6 Perhitungan neraca massa dan neraca panas

1. Perhitungan Neraca Massa di Klinker Cooler



(Sumber : Tugas Khusus, 'Cooler', 2022)

Gambar II.1. Neraca Massa Klinker Cooler

- Umpan Panas

Udara masuk cooler (data dari pabrik, 25 februari 2022) = 343,760 kg

- Aliran Udara luar

Ratio udara masuk Cooler = 2,14

(Data dari Pabrik, 25 Februari 2022)

Udara Masuk Cooler = Ratio udara masuk cooler x Klinker Panas

$$= 2,14 \quad \times 343,760 \text{ kg}$$

$$= 735,646.40 \text{ kg}$$

- Udara Panas Tersier

$$\text{Udara panas tersier} = 0,58 \text{ kg/kg.clk} \times 343760 \text{ kg} = 199,380.80 \text{ k}$$

- Udara Panas Sekunder = 0,19 kg/kg clk x 343760 kg = 65,314.40 kg

- Udara Panas Keluar (EP)

$$= \text{Udara Masuk Cooler} - (\text{Udara Tersier ke SP} + \text{Udara Sekunder ke Kiln})$$

$$= 735,646.40 \text{ kg} - (199,380.80 + 65,314.40) \text{ kg}$$

$$= 470,951.20 \text{ kg}$$



- Produk Cool Klinker

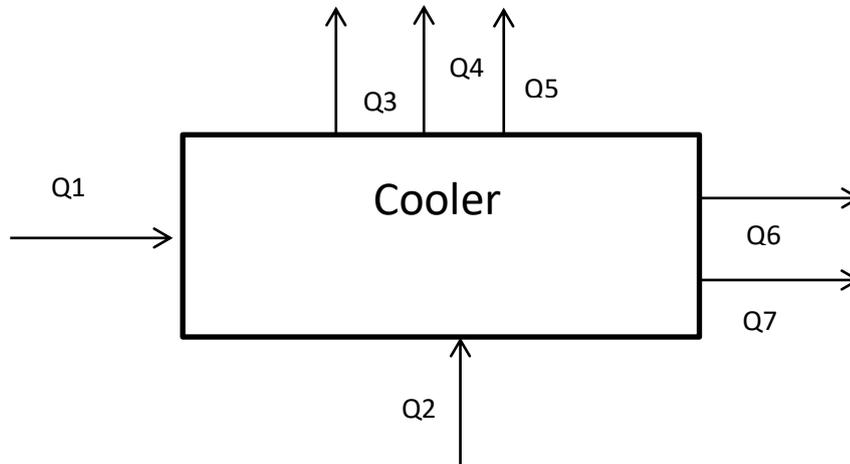
Karena material yang terikut udara panas keluar stack konsentrasinya sangat kecil maka dianggap bahwa tidak ada material yang hilang, sehingga:

Produk = 343,760 kg

- Neraca Massa Cooler

Komponen		Input (kg)	Output (kg)
N	Umpan masuk cooler (Hot Clinker)	343,760	
U	Udara luar	735,646.40	
R	Udara panas yang tidak terpakai keluar		470,951.20
S	Udara tersier menuju Preheater		199,380.80
T	Udara sekunder menuju kiln		65,314.40
Q	Klinker dingin		343,760
Total		1,079,406.40	1,079,406.40

2. Perhitungan Neraca Panas di Cooler



(Sumber : Tugas Khusus, 'Cooler',2022)

Gambar II.2. Neraca Panas Cooler

Keterangan :

Panas masuk :

Q1 = Panas yang dibawa klinker panas

Q2 = Panas dari udara pendingin

Panas keluar :

Q3 = Panas udara sekunder

Q4 = Panas udara tersier

Q5 = Panas udara buang

Q6 = Panas klinker dingin yang keluar dari cooler

Q7 = Panas yang hilang

Suhu reff = 25°C

A. Panas Masuk

- **Panas yang dibawa klinker panas (Clinker In)**

$$Q1 = 126,795,876.00 \text{ kcal}$$

- **Panas yang dibawa udara pendingin (Cooling Air)**

$$\text{Massa udara pendingin} = 811,273.60 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara pendingin} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$



$$C_p \text{ (Welty, Appendix A-3)} = 0,235 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \times c \times \Delta t \\ &= 953,246.48 \text{ kcal} \end{aligned}$$

B. Panas Keluar

- **Panas Udara Sekunder (Panas keluar dari udara sekunder masuk kiln)**

$$\text{Massa udara sekunder} = 65,314.40 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara sekunder} = 2534 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ (Perry : fig 13.03)} = 0.2832 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_3 &= m \times c \times \Delta t \\ &= 46,169,390.82 \text{ kcal} \end{aligned}$$

- **Panas Udara Tersier (Panas yang dibawa udara tersier masuk SP)**

$$\text{Massa udara tersier} = 199,380.80 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara tersier} = 648.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ (Welty, Appendix A-3)} = 0.2823 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= m \times c \times \Delta t \\ &= 34,789,882.02 \text{ kcal} \end{aligned}$$

- **Panas yang Dibawa Debu Keluar Cooler (Panas udara buang)**

$$\text{Massa udara panas} = 470,951 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara tersier} = 310.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ (Welty, Appendix A-3)} = 0.17 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_5 &= m \times c \times \Delta t \\ &= 22,881,625.29 \text{ kcal} \end{aligned}$$

- **Panas klinker dingin (Clinker out)**

$$\text{Massa klinker dingin} = 343,760 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara tersier} = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ (Perry : fig 13.01)} = 0.155 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_6 &= m \times c \times \Delta t \\ &= 5,594,694 \text{ kcal} \end{aligned}$$



- **Panas yang hilang**

$$\begin{aligned} Q7 &= Q \text{ input} - Q \text{ output} \\ &= (Q1 + Q2) - (Q3 + Q4 + Q5 + Q6) \\ &= 18,313,530.35 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Keterangan	Input (kcal)	Output (kcal)
(Q1) Panas yang dibawa klinker panas	126,795,876	
(Q2) Panas yang dibawa udara pendingin	953,246.48	
(Q3) Panas udara sekunder		46,169,390.82
(Q4) Panas udara tersier		34,789,882.02
(Q5) Panas yang dibawa debu keluar cooler		22,881,625.29
(Q6) Panas klinker dingin		5,594,694
(Q7) Panas yang hilang		18,313,530.35
Total	127,749,122.5	127,749,122.5