



---

## BAB IX

### URAIAN TUGAS KHUSUS

Pada kegiatan Praktik Kerja Lapangan di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Pabrik Cilacap, dilakukan tugas khusus berupa evaluasi neraca massa dan neraca panas di *raw mill*. Tujuan dari tugas khusus ini adalah untuk mengetahui tingkat keseimbangan massa serta efisiensi pemanfaatan energi panas pada sistem *raw mill* sebagai salah satu unit utama dalam proses produksi semen. Evaluasi neraca massa dan neraca panas juga menjadi dasar pengambilan keputusan teknis dalam upaya peningkatan efisiensi proses produksi semen secara keseluruhan. Melalui analisis ini, dapat diketahui besarnya kehilangan panas (*heat loss*) serta titik-titik potensial terjadinya ketidakseimbangan massa, yang kemudian dijadikan acuan untuk melakukan perbaikan operasional, penghematan energi, dan meningkatkan stabilitas kualitas *raw meal* yang dihasilkan.

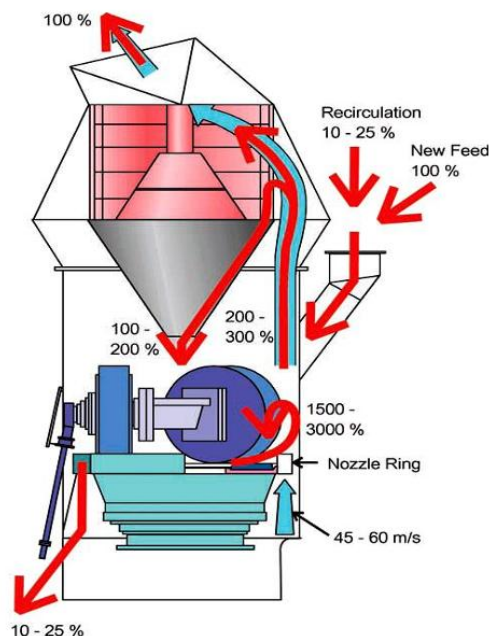
#### IX.1 *Raw Mill*

Alat yang digunakan untuk mencampur, menggiling, dan mengeringkan bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi semen adalah *Raw Mill*. Untuk membuat material lebih halus, material yang melebihi 10 cm akan diturunkan lagi ukurannya hingga  $\pm 90$  mikron. Material yang masuk ke dalam *Raw Mill* akan diletakkan di atas meja yang berputar dan akan dihantam dan ditekan oleh empat roller mill yang dipasang di samping dinding *Raw Mill*. Udara panas dengan suhu 300–350°C dari *Kiln* mengalir ke bagian bawah *Raw Mill* untuk menurunkan kadar air material. Produksi semen akan dipengaruhi oleh kerusakan pada *roller raw*. Artinya, ketika proses produksi di penggilingan bahan mentah terhambat, proses selanjutnya juga akan terhambat secara otomatis (Ramadhanti, 2019).

#### IX.2 Prinsip Kerja *Raw Mill*

Prinsip kerja *Raw Mill* dimulai dari roller dengan bentuk khusus yang mampu menghasilkan tingkat kehalusan tinggi. Pada bagian atas terdapat separator

berbentuk kerucut dengan baling-baling berputar yang berfungsi sebagai pengklasifikasi. Material yang diangkut melalui *belt conveyor* tertutup akan masuk ke ruang tengah mill. Saat table berputar, gaya sentrifugal mendorong material ke arah *roller* untuk digiling, sekaligus dikeringkan, lalu terbawa oleh aliran gas panas dari *nozzle* di sekitar table menuju separator. Di dalam separator, partikel kasar dipisahkan dari yang halus. Partikel halus ikut terbawa gas ke sistem penangkap debu (*Electrostatic Precipitator*), sedangkan partikel kasar jatuh ke dinding kerucut bagian dalam dan kembali ke table untuk digiling ulang. Material kasar yang tidak ikut terangkat oleh aliran gas juga dikeluarkan dari mill, kemudian dimasukkan kembali untuk digiling bersama material lainnya, termasuk partikel besi. *Roller* berputar dan menekan material akibat putaran table, sehingga proses penggilingan berlangsung terus-menerus. Setiap *roller* dilengkapi bantalan dengan sistem pelumasan oli bertekanan untuk menjaga kinerja. Sumber tenaga utama berasal dari motor listrik yang memutar table, lalu meneruskan gaya tekan ke roller melalui material yang digiling (Setiyana, 2017).



Gambar IX. 1 Sketsa Prinsip Kerja Vertical Raw Mill

(Afrina, 2018)



### IX.3 Jenis-Jenis *Raw Mill*

Peralatan utama dalam proses penggilingan sekaligus pengeringan bahan baku semen terdiri atas dua jenis *mill*, yaitu *tube mill* (*horizontal Raw mill*) dan *vertical Raw mill* (Afrina, 2018).

#### 1. *Horizontal Raw Mill*

Proses penggilingan sekaligus pengeringan bahan baku pada *horizontal mill* dilakukan dengan cara memasukkan material bersama aliran udara panas yang berasal dari suspension preheater dan disedot oleh *mill fan*. Dengan demikian, di dalam *tube mill* berlangsung dua proses sekaligus, yaitu penggilingan dan pengeringan. *Raw mill* tipe *tube mill* ini terdiri atas tiga bagian utama, yaitu *drying chamber*, *chamber I*, dan *chamber II*. Pada *drying chamber* dipasang lifter yang berfungsi mengangkat serta menghamburkan material sehingga permukaan kontak dengan gas panas semakin luas, membuat proses pengeringan lebih efektif. Semakin tinggi suhu udara dalam *drying chamber*, semakin baik kualitas pengeringan material, dan semakin optimal pula proses penggilingan di *chamber I*, sehingga kinerja *horizontal raw mill* dapat lebih efisien.

#### 2. *Vertical Raw Mill*

Bahan baku utama berupa batu kapur dan tanah liat diambil dari *stockpile* menggunakan *reclaimer*, kemudian dicampur dengan bahan koreksi seperti pasir silika dan pasir besi melalui belt conveyor sebelum masuk ke *vertical mill*. Di dalam *vertical mill*, campuran keempat bahan tersebut digiling sekaligus dikeringkan. Material halus hasil proses ini kemudian dihisap oleh fan. Agar diperoleh *raw meal* dengan tingkat kehalusan sesuai standar, material tersebut harus melewati separator terlebih dahulu sebelum akhirnya dipisahkan dari gas panas menggunakan *cyclone*. *Vertical Raw mill* sendiri dilengkapi dengan empat roller yang berfungsi untuk menggiling klinker, *gypsum*, dan

bahan aditif lainnya (Riskiah, 2022). Selama proses pengoperasian, *vertical cement mill* juga menerima aliran panas yang berasal dari *kiln*.

#### IX.4 Komponen *Vertikal Raw Mill*

Secara umum, *raw mill* terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu *shell*, rangka utama, *stand*, *table*, lengan *roller*, *gear reducer*, unit penekan *roller*, serta separator. Rincian masing-masing bagian dari *Raw Grinding Mill* dijelaskan sebagai berikut, (Setiyana, 2017).

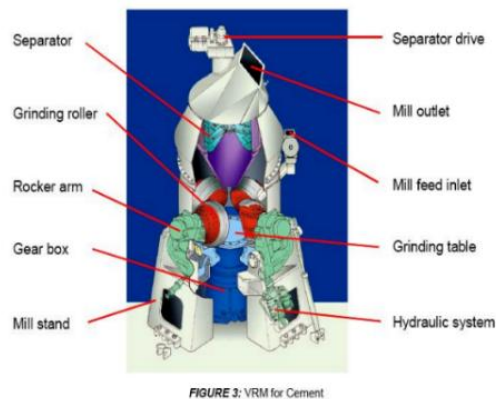


FIGURE 3: VRM for Cement

Gambar IX. 2 Bagian-bagian Vertical Raw Mill

(Afrina, 2018)

##### A. *Shell* dan Bagian-bagiannya

###### 1. *Shell* (Cangkang)

Cangkang terbagi menjadi tiga bagian yang saling terhubung dengan baut. Bagian atasnya menyatu dengan separator, sedangkan bagian bawah dilas pada dudukan dan balok penghubung. Penutup *roller* dipasang dengan baut pada mill shell, dan dapat dibuka saat kondisi swing out, yaitu ketika roller ditegakkan.

###### 2. *Wind Box* (Kotak Udara)

*Wind box* dibuat dari pelat baja dan dipasang mengelilingi *table*, lalu dilas pada stand serta balok penghubung. Di dalamnya terdapat dua saluran masuk udara panas serta dua saluran pembuangan untuk material yang jatuh.



3. *Nozzle* dan *Armour Ring*

*Nozzle* dibuat dari pelat baja dengan lingkaran terbagi menjadi 12 bagian, yang kemudian dipasang menggunakan baut bersama enam bagian keliling lainnya.

B. Kerangka Utama / *Stand*

1. Kerangka Utama

Struktur utama dibuat dari baja dan pelat baja dengan sistem las. Bagian bawah dipasang ke pondasi menggunakan baut dan dicor dengan semen. *Gear reducer* dipasang permanen pada kerangka dengan tiga *stand* yang terletak di sekelilingnya. Sisi luar *stand* juga dilengkapi tiga dudukan untuk *swing-out cylinder*.

2. Stand dan Balok Penghubung

Bagian atas stand menggunakan baja cor, sedangkan bagian bawah terbuat dari baja yang disambungkan dengan balok penghubung. Pada permukaan atasnya terdapat arm bearing yang dipasang permanen, serta dudukan silinder hidrolik yang dihubungkan dengan pin pada bagian bawah stand. Komponen ini dilengkapi *stopper* untuk mencegah kontak langsung antara *roller* dan *table*.

3. *Motor Base*

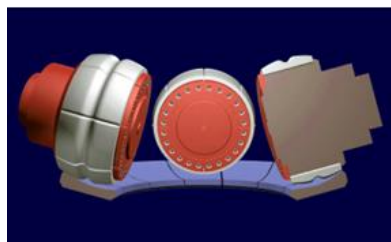
Motor base berupa struktur las dari profil baja H dan pelat baja, dipasang ke kerangka utama dengan baut pondasi, kemudian diperkuat dengan pengecoran semen.

C. *Table*

*Table* terbuat dari baja cor dan dihubungkan ke *gear reducer* dengan pin serta baut. Permukaan atasnya menggunakan baja kromium berkekuatan tinggi yang tahan aus. *Table liner* tersusun dari 16 segmen dengan permukaan atas berbentuk cekung pada jalur penggilingan. Di bagian bawah terdapat *scraper* untuk mengeluarkan material yang jatuh, sedangkan di bagian atas terdapat *scraper* lain untuk menjaga ketebalan lapisan bubuk tetap merata.

D. *Roller*

*Roller* dibuat dari baja tuang kromium tinggi yang tahan gesekan. Komponen ini dipasang menggunakan silinder *roller* yang ditahan dengan *tapered ring* dari baja cor, lalu terhubung ke poros *roller* melalui bantalan *tapered roller*. *Roller* berfungsi menjepit dan menggiling material di antara table dan permukaan *roller*. Sistem pelumasan *roller* menggunakan oli bertekanan dari unit pelumas khusus. Oli dipompa dari tangki melalui filter, kemudian didinginkan oleh *oil cooler* agar suhunya terkendali sebelum masuk ke *roller*. Jalur pipa pelumasan dilengkapi perangkat pengaman seperti *flowmeter* di setiap pipa, *thermocouple* pada aliran balik, serta level switch pada tangki oli. Tangki ini juga dilengkapi pemanas agar dapat beroperasi di musim dingin. Oli pelumas dipompa dari tangki setelah melalui saringan, kemudian didinginkan dengan *oil cooler* agar suhu tetap terkontrol sebelum dialirkan ke dalam *roller*. Sistem pipa pelumasan dilengkapi berbagai perangkat pengaman, seperti *flowmeter* pada setiap jalur sebelum oli masuk ke *roller*, *thermocouple* pada aliran balik menuju pompa, serta *level switch* pada tangki oli. Selain itu, tangki oli juga dilengkapi pemanas sehingga sistem tetap dapat beroperasi pada kondisi musim dingin.



Gambar IX. 3 *Roller*

(Afrina, 2018)

E. *Arm (Lengan)*

Poros *roller* terhubung dengan *roller arm* yang terbuat dari baja cor. *Roller arm* dipasangkan dengan *cylinder arm* melalui pin pada bagian atas, sedangkan bagian bawahnya dihubungkan dengan silinder hidrolik yang berfungsi memberikan gaya tekan pada *roller*. Pada pangkal *roller arm*



terdapat pin seat yang memungkinkan pengangkatan *roller arm* dengan bantuan silinder hidrolik *swing out*.

F. *Mill Reducer*

*Gear reducer* dipasang pada kerangka utama dengan fungsi menurunkan putaran motor hingga mencapai kecepatan yang dibutuhkan. Putaran tersebut kemudian diteruskan ke table sekaligus menopang gaya tekan roller. *Reducer* terdiri dari *level gear* dan *planetary gear*, dengan arah input horizontal dan output vertikal.

G. *Roller-Pressing System* (Sistem Tekanan Roller)

Sistem tekanan roller terdiri atas unit hidrolik, akumulator, silinder hidrolik penekan roller, dan silinder hidrolik *swing out*. Unit hidrolik ini mencakup tangki oli, pompa hidrolik, serta berbagai katup yang berfungsi mengalirkan tekanan ke silinder agar menghasilkan gaya tekan. Tekanan tersebut diteruskan ke *roller* melalui *cylinder arm* dan *roller arm* sehingga material dapat digiling di antara *roller* dan *table*. Besarnya gaya tekan dapat disesuaikan dengan kondisi penggilingan melalui pengaturan gas N<sub>2</sub> pada akumulator yang dipasang di setiap silinder hidrolik.

H. Sistem Penyemprotan (*Water-Spraying System*)

Apabila material terlalu kering, proses penggilingan menjadi sulit dan dapat menimbulkan getaran abnormal pada *mill*. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan penyemprotan air ke dalam *mill tube*. Air dipompa dari tangki menuju saluran pipa yang dilengkapi katup bermotor, *flowmeter*, katup solenoid, *check valve*, serta alat ukur tekanan.

## IX.5 Evaluasi Neraca Massa dan Neraca Panas *Raw Mill*

### IX.5.1 Perhitungan Neraca Massa

Perhitungan neraca massa dilakukan untuk menentukan keseimbangan antara massa material yang masuk dan keluar dari *Raw Mill*. Perhitungan ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh material yang diproses dapat terhitung dengan baik, sehingga tidak terjadi selisih yang signifikan antara input dan output.



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



Selain itu, neraca massa juga digunakan sebagai dasar dalam evaluasi efisiensi proses penggilingan, pengendalian kualitas bahan baku, serta sebagai acuan dalam mengidentifikasi potensi kehilangan material atau inefisiensi dalam sistem.

Data diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Umpan masuk Raw Mill} &= 648.0043002 \text{ ton/jam} \\ &= 648004.3002 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Dust loss masuk raw mill dari suspension preheater = 7% dari kiln

$$\begin{aligned}\text{Kiln feed} &= 491 \text{ ton/jam} \\ &= 7 \% \times 491000 \text{ kg/jam} \\ &= 34370 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Berikut komposisi serta laju alir bahan baku yang dimasukkan ke dalam Raw Mill di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Pabrik Cilacap, disajikan pada tabel dibawah ini.

**A. Data Perhitungan**

Tabel IX. 1 Komposisi dan Laju Alir Bahan Baku Masuk Raw Mill

| Material    | Massa (ton/jam) | Massa (kg/jam) |
|-------------|-----------------|----------------|
| Lime stone  | 489.001327      | 489001.327     |
| Clay        | 85.92639974     | 85926.39974    |
| Silica sand | 58.74776592     | 58747.76592    |
| FABA        | 14.32877881     | 14328.77881    |
| Total       | 648.0042715     | 648004.2715    |

(Sumber : CCR PT SBI Tbk Cilacap, 9 Juni 2025)

Tabel IX. 2 Komposisi Raw Material Masuk Raw Mill

| Komponen                       | Limestone | Clay   | Silica Sand | FABA  |
|--------------------------------|-----------|--------|-------------|-------|
| CaO                            | 51.75     | 8.9    | 0           | 25.65 |
| MgO                            | 0.2       | 2.17   | 0.5         | 6.51  |
| SiO <sub>2</sub>               | 1.6       | 49.05  | 84.42       | 22.79 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.4       | 17.38  | 6.56        | 8.8   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.67      | 6.87   | 2.72        | 8.43  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.02      | 1.22   | 1.99        | 0.66  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.01      | 0.75   | 0.46        | 2.06  |
| SO <sub>3</sub>                | 0         | 0.59   | 0.11        | 1.32  |
| H <sub>2</sub> O               | 7.27      | 31.2   | 10.24       | 10.8  |
| Total                          | 62.92     | 118.13 | 107         | 87.02 |

(Sumber : CCR PT SBI Tbk Cilacap, 9 Juni 2025)

## B. Hasil Perhitungan

Tabel IX. 3 Komposisi Massa *Raw Material* Masuk *Raw Mill*

| Komponen                       | Material masuk raw mill |                |                |                |
|--------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                | lime stone              | clay           | Silica Sand    | FABA           |
|                                | Massa (kg/jam)          | Massa (kg/jam) | Massa (kg/jam) | Massa (kg/jam) |
| CaO                            | 25305818.67             | 764744.9577    | 0              | 367533.1765    |
| MgO                            | 97800.2654              | 186460.2874    | 29373.88296    | 93280.35005    |
| SiO <sub>2</sub>               | 782402.1232             | 4214689.907    | 4959486.399    | 326552.8691    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 684601.8578             | 1493400.827    | 385385.3444    | 126093.2535    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 327630.8891             | 590314.3662    | 159793.9233    | 120791.6054    |
| K <sub>2</sub> O               | 9780.02654              | 104830.2077    | 116908.0542    | 9456.994015    |
| Na <sub>2</sub> O              | 4890.01327              | 64444.79981    | 27023.97232    | 29517.28435    |
| SO <sub>3</sub>                | 0                       | 50696.57585    | 6462.254251    | 18913.98803    |
| H <sub>2</sub> O               | 3555039.647             | 2680903.672    | 601577.123     | 154750.8111    |
| Total                          | 30767963.49             | 10150485.6     | 6286010.953    | 1246890.332    |

Bahan baku di atas merupakan bahan yang dipakai sebagai masukan *Raw Mill*. Bahan baku tersebut dapat diuraikan menjadi 3 bagian utama, yaitu massa umpan kering, massa *hot gas* dari *Kiln*, dan massa *dust loss* yang dari *Kiln* seperti yang ditampilkan pada tabel IX.4 sampai dengan tabel IX.13.

Tabel IX. 4 Komposisi dan Laju Massa Umpan Kering *Lime Stone*

| Komponen                       | %wt    | Mass (dry) (kg/jam) |
|--------------------------------|--------|---------------------|
| CaO                            | 82.25% | 372,951.14          |
| MgO                            | 0.32%  | 1,441.36            |
| SiO <sub>2</sub>               | 2.54%  | 11,530.86           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.23%  | 10,089.50           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.06%  | 4,828.55            |
| K <sub>2</sub> O               | 0.03%  | 144.14              |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.02%  | 72.07               |
| SO <sub>3</sub>                | 0.00%  | 0.00                |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00%  | 0.00                |
| Total                          | 88.45% | 401057.6015         |

Tabel IX. 5 Komposisi dan Laju Massa Umpan Kering *Clay*

| Komponen                       | %wt    | Mass (dry) (kg/jam) |
|--------------------------------|--------|---------------------|
| CaO                            | 7.53%  | 4,453.95            |
| MgO                            | 1.84%  | 1,085.96            |
| SiO <sub>2</sub>               | 41.52% | 24,546.74           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.71% | 8,697.70            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.82%  | 3,438.05            |
| K <sub>2</sub> O               | 1.03%  | 610.54              |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.63%  | 375.33              |
| SO <sub>3</sub>                | 0.50%  | 295.26              |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00%  | 0.00                |
| Total                          | 73.59% | 43,503.53           |

Tabel IX. 6 Komposisi dan Laju Massa Umpan Kering *Silica Sand*

| Komponen                       | %wt    | Mass (dry) (kg/jam) |
|--------------------------------|--------|---------------------|
| CaO                            | 0.00%  | 0.00                |
| MgO                            | 0.47%  | 246.41              |
| SiO <sub>2</sub>               | 78.90% | 41,604.07           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6.13%  | 3,232.91            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.54%  | 1,340.48            |
| K <sub>2</sub> O               | 1.86%  | 980.72              |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.43%  | 226.70              |
| SO <sub>3</sub>                | 0.10%  | 54.21               |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00%  | 0.00                |
| Total                          | 90.43% | 47,685.49           |

Tabel IX. 7 Komposisi dan Laju Massa Umpan Kering FABA

| Komponen                       | %wt    | Mass (dry) (kg/jam) |
|--------------------------------|--------|---------------------|
| CaO                            | 29.48% | 3,767.41            |
| MgO                            | 7.48%  | 956.17              |
| SiO <sub>2</sub>               | 26.19% | 3,347.34            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.11% | 1,292.52            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.69%  | 1,238.18            |
| K <sub>2</sub> O               | 0.76%  | 96.94               |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.37%  | 302.57              |
| SO <sub>3</sub>                | 1.52%  | 193.88              |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00%  | 0.00                |
| Total                          | 87.59% | 11194.99486         |

Tabel IX. 8 Komposisi dan Laju Massa *Hot Gas* dari *Pre-Heater*

| Komponen         | % mol | Mol (kmol/jam) | BM (kg/kmol) | Massa (kg/jam) |
|------------------|-------|----------------|--------------|----------------|
| CO <sub>2</sub>  | 15.19 | 0.651733159    | 44           | 28.676259      |
| H <sub>2</sub> O | 7.47  | 0.320503403    | 18.015       | 5.773868813    |
| N <sub>2</sub>   | 74.28 | 3.187013763    | 28           | 89.23638536    |
| O <sub>2</sub>   | 3.05  | 0.130861497    | 32           | 4.187567895    |
| Total            | 100.0 | 4.3            |              | 127.8740811    |

Tabel IX. 9 Komposisi *Dust Loss* dari *Pre-Heater*

| Komponen                       | % massa |
|--------------------------------|---------|
| LOI                            | 36.71   |
| SiO <sub>2</sub>               | 7.07    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.65    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.05    |
| CaO                            | 46.47   |
| MgO                            | 0.88    |
| SO <sub>3</sub>                | 0.8     |
| K <sub>2</sub> O               | 0.25    |
| Na <sub>2</sub> O              | 0       |
| CL                             | 0.1     |
| Total                          | 97.98   |

(Sumber : Lab Pengendalian Proses PT SBI Tbk Pabrik Cilacap)

Tabel IX. 10 Komposisi dan Laju Massa *Dust Loss* dari *Pre-Heater*

| Komponen                       | % massa | Massa (kg/jam) | BM (kg/kmol) | Mol (kmol/jam) |
|--------------------------------|---------|----------------|--------------|----------------|
| LOI                            | 36.71   | 1287734.946    | -            | -              |
| SiO <sub>2</sub>               | 7.07    | 248005.6134    | 60.083       | 4127.716881    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.65    | 128036.8443    | 101.96       | 1255.755632    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.05    | 71911.10431    | 159.687      | 450.3253509    |
| CaO                            | 46.47   | 1630101.96     | 56.077       | 29068.9937     |
| MgO                            | 0.88    | 30869.15697    | 40.304       | 765.9080233    |
| SO <sub>3</sub>                | 0.8     | 28062.86997    | 80.057       | 350.5361177    |
| K <sub>2</sub> O               | 0.25    | 8769.646867    | 94.196       | 93.09999222    |
| Na <sub>2</sub> O              | 0       | 0              | 61.979       | 0              |
| CL                             | 0.1     | 3507.858747    | 35.45        | 98.95229187    |
| Total                          | 97.98   | 3437000        |              | 36211.28799    |

Tabel IX. 11 Jumlah Komponen Masuk *Raw Mill*

| Komponen                       | massa (kg/jam) | BM (kg/kmol) | Mol (kmol/jam) | % wt    |
|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|---------|
| CaO                            | 381,172.49     | 56.077       | 6797.305295    | 75.71%  |
| MgO                            | 3,729.90       | 40.304       | 92.54421301    | 0.74%   |
| SiO <sub>2</sub>               | 81,029.00      | 60.083       | 1348.617742    | 16.10%  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,312.64      | 101.96       | 228.6449514    | 4.63%   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,845.24      | 159.687      | 67.9156392     | 2.15%   |
| K <sub>2</sub> O               | 1,832.33       | 94.196       | 19.45233456    | 0.36%   |
| Na <sub>2</sub> O              | 976.67         | 61.979       | 15.75801523    | 0.19%   |
| SO <sub>3</sub>                | 543.35         | 80.057       | 6.78704107     | 0.11%   |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00           | 18.015       | 0              | 0.00%   |
| Total                          | 503,441.62     |              | 8577.025231    | 100.00% |

Tabel IX. 12 Laju Alir *Raw Material* Keluar *Raw Mill*

| Komponen                       | Massa (kg/jam) | BM (kg/kmol) | Mol (kmol/jam) |
|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|
| CaO                            | 381,172.49     | 56.077       | 6797.305295    |
| MgO                            | 3,729.90       | 40.304       | 92.54421301    |
| SiO <sub>2</sub>               | 81,029.00      | 60.083       | 1348.617742    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,312.64      | 101.96       | 228.6449514    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,845.24      | 159.687      | 67.9156392     |
| K <sub>2</sub> O               | 1,832.33       | 94.196       | 19.45233456    |
| Na <sub>2</sub> O              | 976.67         | 61.979       | 15.75801523    |
| SO <sub>3</sub>                | 543.35         | 80.057       | 6.78704107     |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00           | 18.015       | 0              |
| Total                          | 503,441.62     |              | 8577.025231    |

Laju alir massa gas panas keluar *raw mill*

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan air keluar } raw \text{ mill} &= \text{kadar H}_2\text{O in} - \\
 &\quad \text{kadar H}_2\text{O out} \\
 &= 0 \text{ kg/jam} - 0 \text{ kg/jam} \\
 &= 0 \text{ kg/jam} \\
 \text{Laju alir air dari } raw \text{ mill} &= 0 \text{ kg/jam} \\
 \text{Laju alir uap air dari gas panas masuk } raw \text{ mill} &= 5,773868813 \text{ kg/jam} \\
 \text{Sehingga laju alir uap air keluar } raw \text{ mill} &= 0 \text{ kg/jam} + \\
 &\quad 5,773868813 \text{ kg/jam} \\
 &= 5,773868813 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



Tabel IX. 13 Laju Alir *Hot Gas* Keluar *Raw Mill*

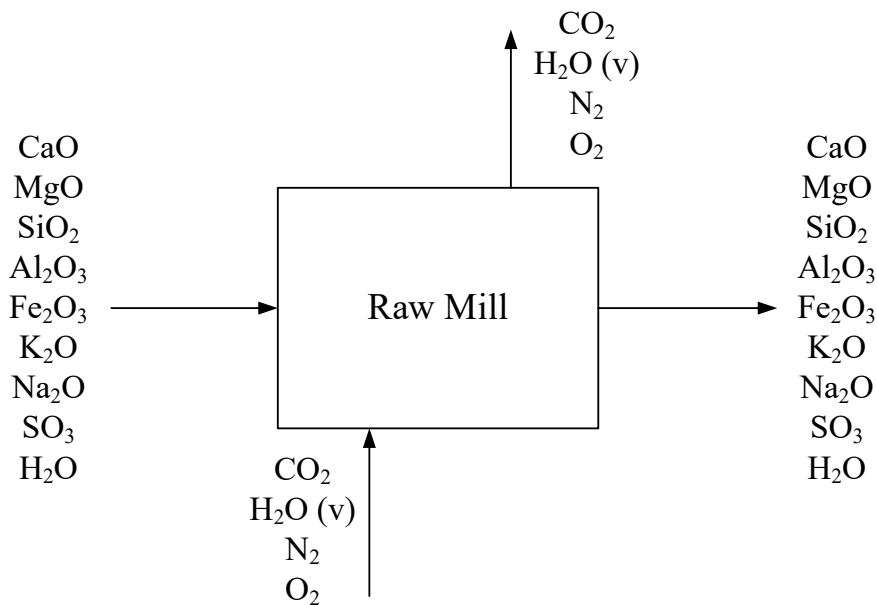
| Komponen             | Massa (kg/jam) | BM (kg/kgmol) | Mol (kmol/jam) |
|----------------------|----------------|---------------|----------------|
| CO <sub>2</sub>      | 28.676259      | 44            | 0.651733159    |
| H <sub>2</sub> O (v) | 5.77           | 18.015        | 0.320503403    |
| N <sub>2</sub>       | 89.23638536    | 28            | 3.187013763    |
| O <sub>2</sub>       | 4.187567895    | 32            | 0.130861497    |
| Total                | 127.8740811    |               | 4.290111822    |

Sehingga berdasar uraian dari tabel IX.4 sampai tabel IX.13, dapat dibuat neraca massa yang masuk dan keluar *Raw Mill* seperti yang diberikan pada tabel dibawah ini.

Tabel IX. 14 Hasil dan Perhitungan Neraca Massa *Raw Mill*

| Komponen                       | Input (kg/jam)    | Output (kg/jam)   |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| CaO                            | 381,172.49        | 381,172.49        |
| MgO                            | 3,729.90          | 3,729.90          |
| SiO <sub>2</sub>               | 81,029.00         | 81,029.00         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,312.64         | 23,312.64         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,845.24         | 10,845.24         |
| K <sub>2</sub> O               | 1,832.33          | 1,832.33          |
| Na <sub>2</sub> O              | 976.67            | 976.67            |
| SO <sub>3</sub>                | 543.35            | 543.35            |
| H <sub>2</sub> O               | 0.00              | 0.00              |
| CO <sub>2</sub>                | 28.68             | 28.68             |
| H <sub>2</sub> O (v)           | 5.77              | 5.77              |
| N <sub>2</sub>                 | 89.24             | 89.24             |
| O <sub>2</sub>                 | 4.19              | 4.19              |
| <b>Total</b>                   | <b>503,569.50</b> | <b>503,569.50</b> |

Aliran Inlet dan Outlet *Raw Mill*



Gambar IX. 4 Aliran Inlet dan Outlet *Raw Mill*

#### IX.5.1 Perhitungan Neraca Panas

Perhitungan neraca panas dilakukan untuk menentukan keseimbangan antara energi panas yang masuk dan keluar dari *Raw Mill*. Perhitungan ini penting dilakukan untuk mengetahui distribusi energi panas dalam sistem, sehingga dapat dipastikan bahwa pemanfaatan energi berlangsung secara optimal. Selain itu, neraca panas juga digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efisiensi termal proses penggilingan dan pengeringan, mengendalikan temperatur operasi, serta sebagai acuan untuk mengidentifikasi potensi kehilangan panas atau inefisiensi energi pada sistem. Berikut data temperatur pada bagian *inlet* dan *outlet Raw Mill* di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Pabrik Cilacap, yang disajikan pada tabel berikut.



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



**A. Data Perhitungan**

Tabel IX. 15 Data Temperatur *Inlet* dan *Outlet Raw Mill*

| Komponen             | Temperatur   |            |
|----------------------|--------------|------------|
|                      | Celcius (°C) | Kelvin (K) |
| Hot gas Pre-heater   | 320          | 593.15     |
| Dust Loss Pre-heater | 320          | 593.15     |
| False Air Mill       | 30           | 303.15     |
| Raw Meal ke Cyclone  | 85           | 358.15     |
| Water Injection      | 25           | 298.15     |

(Sumber : CCR PT SBI Tbk Cilacap, 9 Juni 2025)

Tabel IX. 16 *Heat Capacity Of Gas*

| KOMPONEN         | A     | B          | C          | D    | E    |
|------------------|-------|------------|------------|------|------|
| H <sub>2</sub> O | 33.93 | -0.0084186 | 0.0000299  | 0.00 | 0.00 |
| CO <sub>2</sub>  | 27.44 | 0.0423000  | -0.0000196 | 0.00 | 0.00 |
| N <sub>2</sub>   | 29.34 | -0.0035400 | 0.0000101  | 0.00 | 0.00 |
| O <sub>2</sub>   | 29.53 | -0.0089000 | 0.0000381  | 0.00 | 0.00 |

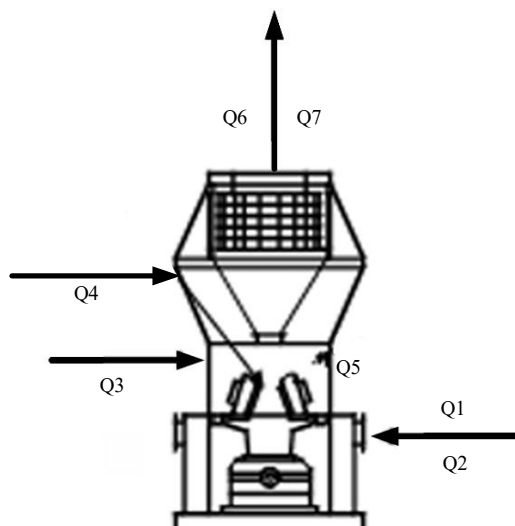
(Yaws, 1999)

Tabel IX. 17 *Heat Capacities of The Elements and Inorganic Compounds at Constant Pressure* ( $T = K$  ;  $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$ ),  $\text{cal}/(\text{mol.K})$ )

| KOMPONEN                       | A         | B(T)     | C/(T <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|-----------|----------|---------------------|
| LOI                            | 0         | 0        | 0                   |
| SiO <sub>2</sub>               | 10.870000 | 0.008712 | 241,200             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 22.080000 | 0.008970 | 523,000             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24.720000 | 0.016040 | 423,400             |
| CaO                            | 10.000000 | 0.004840 | 108,000             |
| MgO                            | 10.860000 | 0.001197 | 208,700             |
| SO <sub>3</sub>                | 5.742     | 0.02855  | 28,087              |
| K <sub>2</sub> O               | 0         | 0        | 0                   |
| Na <sub>2</sub> O              | 9         | 0.000247 | 50559               |
| Cl                             | 7.899     | 0.002923 | 38120               |
| H <sub>2</sub> O               | 92.05     | -0.04    | -0.0000002110       |

(Perry, 2019)

## B. Hasil Perhitungan



Gambar IX. 5 Aliran Neraca Panas *Raw Mill*



Keterangan :

Q1 = Panas *hot gas Pre-Heater*

Q2 = Panas sensibel *dust Pre-Heater*

Q3 = *False Air Mill* masuk *Raw Mill*

Q4 = Panas sensibel feed masuk

Q5 = Panas laten dan sensibel penguapan H<sub>2</sub>O

Q6 = Panas *hot gas* keluaran *Raw Mill*

Q7 = Panas *Raw Meal* ke *Cyclone*

## 1. Panas Masuk

### Menghitung Q1

Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Laju massa} &= 464,077 \text{ Nm}^3/\text{jam} \\ &= 1,227094691 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\text{BM Udara} = 28,6 \text{ kg/kgmol}$$

$$T_{\text{in}} = 320^\circ\text{C} = 593,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{reff}} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

Menghitung CP

$$\begin{aligned}\int_{T_1}^{T_2} C_p dT &= a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4}(T_2^4 - T_1^4) \\ &\quad + \frac{e}{5}(T_2^5 - T_1^5)\end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



Tabel IX. 18 Perhitungan Q1

| Komponen | Laju massa<br>(kg/jam) | Kmol/jam   | Cp<br>(Kj/Kmol.K) | Q<br>(Kj/jam) | BM<br>(kg/kmol<br>) |
|----------|------------------------|------------|-------------------|---------------|---------------------|
| CO2      | 28.676259              | 0.65173315 | 10255.68999       | 6683.973238   | 44                  |
| H2O(v)   | 5.773868813            | 0.32077049 | 12576.32953       | 4034.115381   | 18                  |
| N2       | 89.23638536            | 3.18701376 | 8682.666009       | 27671.77607   | 28                  |
| O2       | 4.187567895            | 0.13086149 | 9035.339243       | 1182.378017   | 32                  |
| Total    | 127.8740811            | 4.29037890 | 40550.02477       | 39572.2427    | 122                 |
|          |                        |            | Total (kcal)      | 9457.766006   |                     |

**Menghitung Q2**

Diketahui :

*Kiln Feed* = 491 ton/jam

*Dust loss di Pre-Heater* = 7%

Laju massa =  $491 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times 7\%$   
= 34,37 ton/jam  
= 34370 kg/jam

T in = 320°C = 593,15 K

T reff = 25°C = 298,15 K

Menghitung CP

$$Cp = a + bT + cT^{-2}$$



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



Tabel IX. 19 Perhitungan Q2

| Komponen | Laju massa<br>(kg/jam) | Kmol/jam  | Cp<br>(Kcal/Kmol.K) | Q<br>(Kcal/jam) | BM<br>(kg/kmol) |
|----------|------------------------|-----------|---------------------|-----------------|-----------------|
| LOI      | 1,287,734.95           | 0.00      | 0.00                | 0.00            | 0               |
| SiO2     | 248,005.61             | 4,127.72  | 16.21               | 66,917.13       | 60.083          |
| Al2O3    | 128,036.84             | 1,255.76  | 30.74               | 38,596.80       | 101.96          |
| Fe2O3    | 71,911.10              | 450.33    | 34.32               | 15,453.85       | 159.687         |
| CaO      | 1,630,101.96           | 29,068.99 | 12.67               | 368,269.93      | 56.077          |
| MgO      | 30,869.16              | 765.91    | 13.61               | 10,424.99       | 40.304          |
| SO3      | 28,062.87              | 350.54    | 14.49               | 5,078.22        | 80.057          |
| K2O      | 8,769.65               | 93.10     | 0.00                | 0.00            | 94.196          |
| Na2O     | 0.00                   | 0.00      | 9.54                | 0.00            | 61.979          |
| CL       | 3,507.86               | 98.95     | 9.20                | 910.29          | 35.45           |
|          |                        |           | Total               | 505,651.20      |                 |

**Menghitung Q3**

Diketahui :

Laju massa = 173,42 Nm<sup>3</sup>/jam  
= 0,9 kg/jam

BM Udara = 28,6 kg/kgmol

T in = 30°C = 303,15 K

T reff = 25°C = 298,15 K

Menghitung CP

$$Cp = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$$



**LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN**  
**PT SOLUSI BANGUN INDONESIA**  
**Tbk PABRIK CILACAP**



Tabel IX. 20 Perhitungan Q3

| Komponen     | Laju massa (kg/jam) | Kmol/jam    | Cp(Kj/Kmol.K) | Q(Kj/jam)   | BM (kg/kmol) |
|--------------|---------------------|-------------|---------------|-------------|--------------|
| H2O(v)       | 5.77                | 0.32077049  | 168.2548173   | 53.97118012 | 18           |
| CO2          | 28.68               | 0.651733159 | 192.4453481   | 125.4230147 | 44           |
| N2           | 89.24               | 3.187013763 | 145.378218    | 463.3223816 | 28           |
| O2           | 4.19                | 0.130861497 | 147.4028726   | 19.28936053 | 32           |
| Total        |                     |             |               | 608.0347568 |              |
| Total (kcal) |                     |             |               | 145.3203069 |              |

**Menghitung Q4**

Diketahui :

Laju massa = 578081,58 kg/jam

T in = 85°C = 358,15 K

T reff = 25°C = 298,15 K

Menghitung CP

$$Cp = a + bT + cT^{-2}$$

Tabel IX. 21 Perhitungan Q4

| Komponen                       | Laju massa (kg/jam) | Kmol/jam | Cp (Kcal/Kmol.K) | Q (Kcal/jam) | BM (kg/kmol) |
|--------------------------------|---------------------|----------|------------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 381,172.49          | 6,344.10 | 78.39            | 497,331.16   | 60.083       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,729.90            | 36.58    | 167.90           | 6,141.97     | 101.96       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 81,029.00           | 507.42   | 143.29           | 72,710.55    | 159.687      |
| CaO                            | 23,312.64           | 415.73   | 40.29            | 16,749.75    | 56.077       |
| MgO                            | 10,845.24           | 269.09   | 68.90            | 18,541.12    | 40.304       |
| SO <sub>3</sub>                | 1,832.33            | 22.89    | 15.26            | 349.20       | 80.057       |
| K <sub>2</sub> O               | 976.67              | 10.37    | 0.00             | 0.00         | 94.196       |
| Na <sub>2</sub> O              | 543.35              | 8.77     | 22.95            | 201.16       | 61.979       |
| H <sub>2</sub> O               | 0                   | 0        | 89.66            | 0            | 18.015       |
|                                |                     |          | Total            | 612.024,91   |              |

## 2. Panas Keluar

### Menghitung Q5

Diketahui :

$$\text{Laju massa} = 817,63 \text{ kg/jam}$$

$$H(v) = 2676 \text{ kJ/kg}$$

$$H(l) = 419,1 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{in} = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{reff} = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{85^{\circ}\text{C}} &= H(v) - H(l) \\ &= 2676 \text{ kJ/kg} - 419,1 \text{ kJ/kg} \\ &= 2256,9 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Menghitung Q

$$Q = m \times \lambda$$

$$Q = 817,63 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \frac{2256,9 \text{ kJ}}{\text{kg}}$$



$$Q = 1.845.303,35 \text{ kJ}$$

$$Q = 441.027,50 \text{ kcal}$$

### Menghitung Q6

Diketahui :

$$\text{Laju massa} = 74272,51 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{in}} = 85^{\circ}\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{reff}} = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

Menghitung CP

$$Cp = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$$

Tabel IX. 22 Perhitungan Q6

| Komponen     | Laju massa<br>(kg/jam) | Kmol/jam    | Cp<br>(Kj/Kmol.K) | Q<br>(Kj/jam) | BM<br>(kg/kmol) |
|--------------|------------------------|-------------|-------------------|---------------|-----------------|
| H2O(v)       | 5.773868813            | 0.32077049  | 2028.490425       | 650.6798667   | 18              |
| CO2          | 28.676259              | 0.651733159 | 2360.417385       | 1538.362279   | 44              |
| N2           | 89.23638536            | 3.187013763 | 1747.227237       | 5568.437251   | 28              |
| O2           | 4.187567895            | 0.130861497 | 1779.748147       | 232.9005064   | 32              |
| Total        |                        |             |                   | 7990.379903   |                 |
| Total (kcal) |                        |             |                   | 1909.700797   |                 |

### Menghitung Q7

Diketahui :

$$\text{Laju massa} = 578081,58 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{in}} = 85^{\circ}\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{reff}} = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

Menghitung CP

$$Cp = a + bT + cT^{-2}$$

Tabel IX. 23 Perhitungan Q7

| Komponen                       | Laju massa (kg/jam) | Kmol/jam | Cp (Kcal/Kmol.K) | Q (Kcal/jam) | BM (kg/kmol) |
|--------------------------------|---------------------|----------|------------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 381,172.49          | 6,344.10 | 78.39            | 497,331.16   | 60.083       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,729.90            | 36.58    | 167.90           | 6,141.97     | 101.96       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 81,029.00           | 507.42   | 143.29           | 72,710.55    | 159.687      |
| CaO                            | 23,312.64           | 415.73   | 40.29            | 16,749.75    | 56.077       |
| MgO                            | 10,845.24           | 269.09   | 68.90            | 18,541.12    | 40.304       |
| SO <sub>3</sub>                | 1,832.33            | 22.89    | 15.26            | 349.20       | 80.057       |
| K <sub>2</sub> O               | 976.67              | 10.37    | 0.00             | 0.00         | 94.196       |
| Na <sub>2</sub> O              | 543.35              | 8.77     | 22.95            | 201.16       | 61.979       |
| H <sub>2</sub> O               | 0                   | 0        | 18.66            | 0            | 18.015       |
| H <sub>2</sub> O(v)            | 5.77                | 0.32     | 484.81           | 155.38       | 18.015       |
| Total                          |                     |          |                  | 612.180,29   |              |

Dari hasil perhitungan maka didapat neraca panas seperti yang diberikan pada tabel berikut ini.

Tabel IX. 24 Neraca Panas di *Raw Mill*

| Aliran            | Input              | Output             |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| Q1                | 9457.766006        |                    |
| Q2                | 505,651.20         |                    |
| Q3                | 145.3203069        |                    |
| Q4                | 612.024,91         |                    |
| Q5                |                    | 441.027,50         |
| Q6                |                    | 1909.700797        |
| Q7                |                    | 612.180,29         |
| <b>Total</b>      | <b>1127279,197</b> | <b>1055117,495</b> |
| Q Loss            | 72161,70194        |                    |
| Panas yang hilang | 6.40 %             |                    |
| Efisiensi         | 93.60 %            |                    |

$$\begin{aligned} Q_{loss} &= \text{Panas Masuk} - \text{Panas Keluar} \\ &= (1127279,197 - 1055117,495) \text{ kcal/jam} \\ &= 72161,70194 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Panas yang hilang} &= \frac{Q_{loss}}{Q_{masuk}} \times 100 \\ &= \frac{72161,70194}{1127279,197} \times 100 \\ &= 6,40\% \end{aligned}$$

$$\eta = 100\% - \text{Panas yang hilang}$$

$$\eta = 100\% - 6,40\%$$

$$\eta = 93,60\%$$

## IX.6 Pembahasan

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Pabrik Cilacap merupakan salah satu produsen semen terbesar di Indonesia yang beroperasi di bawah naungan SIG (Semen Indonesia Group). Dalam proses produksinya, pabrik ini mengolah bahan baku utama berupa batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan bahan korektif lainnya melalui beberapa tahapan penting untuk menghasilkan produk berupa semen. Tahapan tersebut meliputi penggilingan bahan baku pada *raw mill*, pemanasan awal di *pre-heater*, pembakaran di *rotary kiln*, pendinginan klinker pada *grate cooler*, hingga penggilingan akhir di *cement mill*. Salah satu unit utama yang berperan penting adalah *raw mill*. Fungsi dari *raw mill* adalah untuk mencampur, menggiling, dan mengeringkan bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi semen. Untuk membuat material lebih halus, material yang melebihi 10 cm akan diturunkan lagi ukurannya hingga  $\pm 90$  mikron. Material yang masuk ke dalam *Raw Mill* akan diletakkan di atas meja yang berputar dan akan dihantam dan ditekan oleh empat *roller mill* yang dipasang di samping dinding *Raw Mill* (Ramadhanti, 2019).

Untuk menentukan efisiensi kinerja pada *Raw Mill* dapat dilakukan melalui perhitungan neraca massa dan neraca panas pada area sekitar *raw mill*. Neraca



massa digunakan untuk menghitung keseimbangan antara laju alir massa bahan baku yang masuk ke dalam *raw mill* dengan komponen-komponen yang keluar dari sistem. Sementara itu, neraca panas digunakan untuk mengetahui besarnya energi panas yang masuk ke *raw mill* serta total heat loss yang terbangun dari sistem. Data yang digunakan dalam perhitungan neraca massa dan neraca panas ini diperoleh dari CCR (*Central Control Room*) PT Solusi Bangun Indonesia dengan periode pengambilan pada tanggal 9 Juni 2025.

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada sistem *Raw Mill* yang dianalisis menunjukkan kondisi neraca massa seimbang, dengan total aliran masuk dan keluar masing-masing sebesar 503.569,50 kg/jam. Keseimbangan ini menunjukkan bahwa seluruh aliran utama, baik berupa umpan bahan baku, *hot gas*, *dust loss*, maupun produk akhir (*raw meal*) telah tercatat secara akurat, sehingga tidak terdapat kehilangan massa secara signifikan. Keseimbangan massa yang tercapai merupakan syarat penting sebelum dilakukan analisis lebih lanjut terhadap neraca panas, karena memastikan bahwa perbedaan energi yang muncul bukan disebabkan oleh adanya kehilangan material yang tidak teridentifikasi.

Perhitungan neraca panas dilakukan untuk mengetahui jumlah energi panas yang masuk dan keluar pada *Raw Mill*. Pada *raw mill*, panas dari *hot gas* hasil *preheater* dimanfaatkan untuk mengeringkan dan menggiling bahan baku sehingga material yang awalnya memiliki kadar air tinggi dapat mengalami penguapan dan menjadi lebih kering. *Hot gas* yang telah digunakan dalam proses penggilingan selanjutnya akan dialirkan sebagian kembali ke *preheater*, sementara sisanya dibuang ke atmosfer. Oleh karena itu, untuk menjaga efisiensi proses tetap tinggi, pemanfaatan gas panas yang dikembalikan ke sistem harus lebih optimal dibandingkan dengan jumlah panas yang hilang ke lingkungan (*heat loss*).

Sementara itu berdasarkan hasil perhitungan, neraca panas menunjukkan kondisi yang tidak *balance*. Total panas masuk ke sistem tercatat sebesar 1.127.279,197 kcal/jam, sedangkan panas keluar hanya sebesar 1.055.117,495 kcal/jam, dengan selisih panas hilang (*Q loss*) sebesar 72.161,70194 kcal/jam atau setara dengan 6,40% dari total panas masuk. Dari data ini, diperoleh efisiensi panas



*raw mill* sebesar 93,60%, yang menunjukkan kinerja masih tergolong baik namun terdapat kehilangan energi. Perbedaan (ketidakseimbangan) pada neraca panas ini wajar ditemui pada operasi nyata dan perlu dianalisis lebih lanjut agar sumber kehilangan dapat diminimalkan. Total  $Q_{loss}$  ini terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah karena dust yang terbawa oleh gas *pre-heater*, *Kiln*, lalu ke *Raw mill* membawa energi (baik panas sensibel maupun panas laten jika mengandung kelembapan) yang seringkali tidak tercatat penuh dalam pengukuran arus utama sehingga terlihat sebagai selisih panas. Selain itu,  $Q_{loss}$  dapat diakibatkan oleh perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi ke lingkungan sekitar, serta perbedaan data harian dan pembulatan angka dalam perhitungan juga dapat memengaruhi akurasi. Faktor-faktor tersebut yang menyebabkan kondisi neraca panas masih menunjukkan selisih.

Jika dibandingkan dengan prinsip desain dan praktik industri, *Raw Mill* dan sistem pengolahan klinker/*preheater* umumnya dirancang agar pemulihan panas dan efisiensi termal berada pada tingkat tinggi, desain modern dapat meminimalisasi panas yang terbuang dan memanfaatkan kembali *hot gas* ke proses (*recuperation*). Efisiensi termal sebesar 93,60% dapat dikategorikan baik, karena nilainya berada dalam kisaran efisiensi optimal untuk sistem *raw mill* industri semen, yaitu antara 90% hingga 96%. Kisaran ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi panas yang dihasilkan telah dimanfaatkan secara efektif dalam proses penggilingan dan pengeringan material (Rizky, 2022). Dengan efisiensi di atas 90%, sistem dianggap beroperasi dengan pengendalian panas yang stabil, minim kehilangan energi melalui gas buang atau dinding peralatan, serta mencerminkan kinerja operasi dan pemeliharaan yang baik pada unit *raw mill* dan sistem pendukungnya seperti *preheater* dan *fan*. Persentase panas yang hilang sebesar 6,40% menunjukkan masih ada peluang optimasi misalnya dengan perbaikan *sealing duct*, *recovery dust*, peningkatan kontrol aliran gas *pre-heater*, atau kalibrasi instrumentasi untuk menurunkan kehilangan panas dan meningkatkan pemanfaatan panas kembali ke proses.