



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Teknologi Pembuatan Semen

1. Proses Basah (*Wet Process*)

Menurut Walter H Duda, 1983, 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.

Keuntungan dan Kerugian Proses Basah antara lain :

Keuntungan :

- Pencampuran dari komposisi *slurry* lebih mudah karena berupa luluhan.
- Kadar Na_2O dan K_2O tidak menimbulkan gangguan penyempitan dalam saluran *preheater* atau pipa.
- Debu yang dihasilkan relatif sedikit.
- Deposit yang tidak homogen tidak berpengaruh karena mudah mencampur dan mengoreksinya.

Kerugian :

- Tanur putar yang digunakan ukurannya lebih panjang dibandingkan tanur putar pada proses kering.
- Pemakaian bahan bakar lebih banyak dibandingkan proses lain karena kebutuhan panas pembakaran tinggi 1.500 - 1.900 kcal untuk setiap kilogram teraknya.
- Memerlukan air proses untuk membentuk material menjadi seperti lumpur.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Kapasitas produksi lebih sedikit dibandingkan dengan proses lain apabila menggunakan peralatan dengan ukuran yang sama, maka akan didapatkan hasil yang relatif lebih sedikit akibat adanya pencampuran bahan dengan air pada awal proses, yaitu pada proses penggilingan.

2. Proses Semi Basah (*Semi Wet Process*)

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 berbentuk pellet kemudian mengalami kalsinasi dalam tungku putar panjang (*Long Rotary Kiln*). Dengan perpindahan panas awal terjadi pada rantai (*chain section*). Sehingga terbentuk Clinker sebagai hasil proses kalsinasi. (Walter H. Duda, 1983).

Keuntungan dan Kerugian Proses Semi Basah antara lain :

Keuntungan :

- a. Umpan mempunyai komposisi yang lebih homogen dibandingkan dengan proses kering.
- b. Debu yang dihasilkan sedikit. (I Ketut Arsha Putra, 1995)

Kerugian :

- a. Tanur yang digunakan masih lebih panjang dari tanur putar pada proses kering.
- b. Membutuhkan *filter* yg berupa *filter* putar kontinyu untuk menyaring umpan yang berupa buburan sebelum dimasukkan ke *kiln*.
- c. Energi yang digunakan 1.000 - 1.200 kcal untuk setiap kg terak.

3. 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 tanur pada proses ini berupa tepung baku kering, dengan alat granulator (*pelletizer*) umpan disemprot dengan air untuk dibentuk menjadi granular dengan kadar air 10 - 12% dan ukurannya 10 - 12 mm seragam. Kemudian *kiln*



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

feed dikalsinasi dengan menggunakan tungku tegak (*shaft kiln*) atau *long rotary kiln*. Sehingga terbentuk Clinker sebagai hasil akhir proses kalsinasi.

Keuntungan dan Kerugian Proses Semi Kering antara lain :

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 homogen karena pada saat penggilingan bahan dalam keadaan kering.

4. Proses Kering (*Dry Process*)

Pada proses ini bahan baku dipecah dan digiling disertai pengeringan dengan jalan mengalirkan udara panas ke dalam *raw mill* sampai diperoleh tepung baku dengan kadar air 0,5 - 1%. Selanjutnya, tepung baku yang telah homogen ini diumpankan ke dalam *suspension preheater* sebagai pemanasan awal, disini terjadi perpindahan panas melalui kontak langsung antara gas panas dengan material dengan arah berlawanan (*Counter Current*). Adanya sistem *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 tersebut kemudian didinginkan secara mendadak agar terbentuk kristal yang bentuknya tidak beraturan (amorf) agar mudah digiling. Selanjutnya dilakukan penggilingan di dalam *finish mill* dan dicampur dengan *gypsum* dengan perbandingan 96 : 4 sehingga menjadi semen.

Keuntungan dan Kerugian Proses Kering antara lain, Keuntungan :

- a. *Rotary kiln* yang digunakan relatif pendek.
- b. *Heat consumption* rendah yaitu sekitar 800 – 1000 kcal untuk setiap kilogram terak sehingga bahan bakar yang digunakan lebih sedikit.
- c. Kapasitas produksi besar dan biaya operasi rendah



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI RKC III

Kerugian :

- a. Impuritas Na_2O dan K_2O menyebabkan penyempitan pada saluran *preheater*.
- b. Campuran tepung kurang homogen karena bahan yang digunakan dicampur dalam keadaan kering.
- c. Adanya air yang terkandung dalam material sangat mengganggu operasi karena material lengket pada *inlet chute*.
- d. Banyak debu yang dihasilkan sehingga dibutuhkan alat penangkap debu.

Dari keempat teknologi pembuatan semen di atas pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban digunakan teknologi proses kering karena mempunyai keuntungan yaitu biaya operasi yang rendah dan kapasitas produksi yang besar sehingga sangat menguntungkan pabrik.

II.1.2 Proses Umum Pembuatan Semen

Berdasarkan Diktat Teknologi Semen PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. tahun 1995, secara umum proses pembuatan semen dengan proses kering dibagi atas lima bagian yaitu :

1. Penyediaan Bahan Baku

Untuk pembuatan semen menggunakan bahan baku yang terdiri dari :

a. Calcareous group

Batuan yang mengandung kadar CaCO_3 lebih dari 75% contohnya limestone dengan kadar CaCO_3 96 – 98% yang tergolong “High grade limestone”, yang lebih sering dipakai untuk membuat semen.

b. Silicions group

Material yang mengandung mineral silica (SiO_2) dan alumina besi (FeO_2) serta kandungan CaCO_3 nya kurang dari 75%, contohnya clay atau tanah liat.

c. Argillaceons group

Material yang menyumbangkan komponen alumina.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

d. Ferry Ferrons group

Material yang menyumbangkan komponen besi.

Langkah - langkah penyediaan bahan baku, antara lain :

a) Pembersihan (*Cleaning*)

Hal ini dilakukan untuk membuka daerah penambangan yang baru. Tujuannya untuk membersihkan permukaan tanah dari kotoran yang mengganggu proses penambangan.

b) Pengupasan (*Stripping*)

Dilakukan dengan cara mengupas tanah yang berada di lapisan atas permukaan batuan dengan menggunakan bulldozer dan shovel.

c) Pengeboran (*Drilling*)

Pengeboran dilakukan untuk membuat lubang-lubang pada batuan kapur yang akan diberi bahan peledak. Jarak dan kedalaman lubang pengeboran disesuaikan dengan kondisi batuan dan lokasi. Umumnya kedalaman lubang 5 – 9 m, diameter lubang 3 inch dan jarak antar lubang 1,5 – 3 m.

Peralatan yang digunakan untuk pengeboran adalah :

a. Alat bor (*Crawl Air Drill*)

b. Alat penggerak bor (*Compressor*)

d) Peledakan (*Blasting*)

Untuk melepaskan batuan kapur yang diinginkan dari batuan induknya perlu dilakukan pengeboman. Setelah dilakukannya pengeboran lubang-lubang tersebut akan diisi dengan bahan peledak. Batuan kapur hasil dari peledakan memiliki ketentuan ukuran maksimal 300 mm dan siap diangkut menuju *hopper limestone*.

Bahan-bahan peledak yang digunakan adalah :

1. Dynamit ammonium gelatin (*Damotin*), merupakan bahan peledak primer
2. Campuran 96% Ammonium Nitrat dan 4% Fuel Oil (*ANFO*), merupakan bahan peledak sekunder



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

3. *Detonator*

Peralatan-peralatan yang digunakan untuk peledakan adalah :

- a. Mesin peledak (*Blasting Machine*)
- b. Alat ukur daya ledak (*Blasting Ohmmeter*)
- c. Pengangkutan dan pengerukan

Batuan kapur yang sudah diledakkan kemudian dikeruk dan diangkat dengan menggunakan *shovel* atau *loader* menuju *hopper limestone* menggunakan *dump truck* yang mempunyai kapasitas 20-30 ton setiap trucknya, pengangkutan yang dilakukan 25-30 kali/ hari.

2. Penyediaan Bahan Lain

Bahan tambahan selain bahan baku berupa *copper slag*, pasir silica dan *gypsum* tidak berasal dari tambang yang dimiliki PT Semen Indonesia Pabrik Tuban.

- a. *Copper Slag* diperoleh dari PT Smelting
- b. Pasir silica diperoleh dari daerah Cilacap, Bangkalan dan sekitar Tuban
- c. *Gypsum* diperoleh dari PT Petrokimia Jepara

3. Pengolahan Bahan

Bahan-bahan yang sudah dikumpulkan seperti bahan baku dan bahan tambahan selanjutnya dengan komposisi tertentu diumpankan kedalam *raw mill*. Dalam *raw mill* bahan-bahan tersebut mengalami penggilingan dan pencampuran serta pengeringan, sehingga dapat diperoleh produk *raw mill* dengan kehalusan 90% lolos ayakan dengan ukuran 90 mikron dan kandungan air kurang dari 1%. Dari *raw mill* material selanjutnya dimasukkan ke dalam *blending silo*. Fungsinya adalah sebagai tempat penampungan sementara material sebelum diumpankan ke *kiln*, *blending silo* juga berguna sebagai alat homogenisasi produk *raw mill* agar komposisi kimia produk tersebut lebih merata sehingga siap diumpankan ke *kiln*.

4. Pembakaran dan Pendinginan

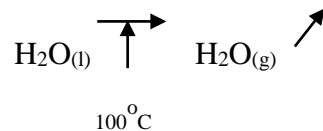
Umpan yang berasal dari *raw mill* selanjutnya diumpankan ke *kiln*. Unit pembakaran inilah merupakan bagian terpenting karena terjadi pembentukan



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

komponen utama semen. Unit ini terdapat *suspenser preheater*, *kiln* dan *great cooler*. Menurut I Ketut Arsha Putra, 1995, proses yang terjadi pada unit ini adalah

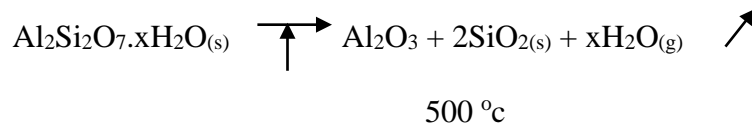
- 1) Proses pengurangan kadar air Terjadi pada suhu 100°C Reaksi :



- 2) Pelepasan air hidrat *clay* (tanah liat)

Air kristal akan menguap pada suhu 500°C. Pelepasan kristal ini terjadi pada kristal hidrat dari tanah liat.

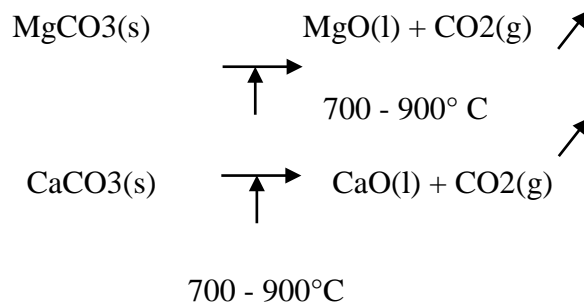
Reaksi :



- 3) Terjadi proses kalsinasi

Tahapan penguapan CO₂ dari *limestone* dan mulai *calsinasi* terjadi pada suhu 700 - 900 °C.

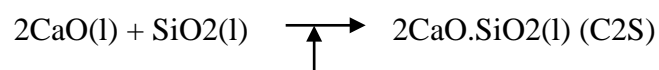
Reaksi :



- 4) Reaksi pembentukan senyawa semen C₂S

Pada suhu 800 – 900 °C terjadi pembentukan *calcium silikat*, sebenarnya sebelum suhu 800 °C sebagian kecil sudah terjadi pembentukan garam *calcium silikat* terutama C₂S.

Reaksi :





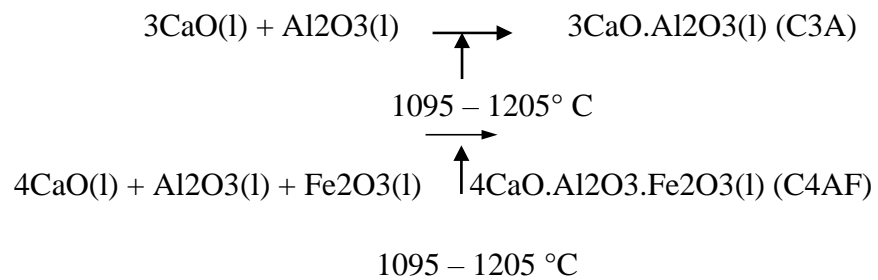
LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

800 – 900 °C

5) Reaksi pembentukan senyawa semen C₃A dan C₄AF

Pada suhu 1095 – 1205 °C terjadi pembentukan kalsium aluminat dan kalsium alumina ferrit.

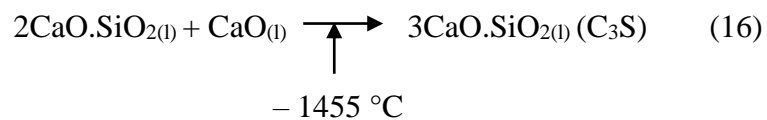
Reaksi :



6) Reaksi pembentukan senyawa semen C₃S

Pada suhu 1260 - 1455 °C terjadi pembentukan *calcium silikat* terutama C₃S yang mana persentase C₂S mulai menurun karena membentuk C₃S.

Reaksi :



5. Penggilingan Semen

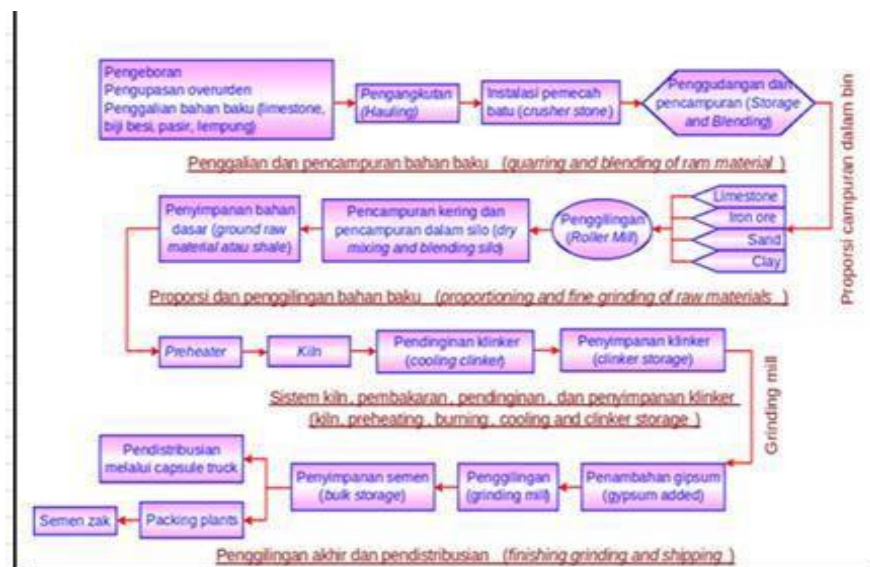
Clinker hasil *kiln* yang sudah didinginkan di dalam *cooler* selanjutnya dilakukan proses penggilingan di *finish mill*. Pada proses ini bahan-bahan tadi diberi tambahan *gypsum* dengan kadar 91% dengan perbandingan 96 : 4 berfungsi sebagai penghambat proses pengeringan pada semen. Penggilingan dilakukan dalam *Tube mill* yang di dalamnya terdapat bolabola (*grinding ball*) yang berfungsi sebagai penggiling bahan. Dalam proses ini semen mengalami pengecilan ukuran dari 100 mesh menjadi 325 mesh dan lolos ayakan 90%.

6. Pengisian dan Pengantongan Semen



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI RKC III

Hasil produk dari *finish mill* kemudian diangkut oleh *air slide* menuju *cement silo*. Semen dilewatkan *vibrating screen* untuk dipisahkan semen dari kotoran pengganggu seperti logam, kertas, plastic atau bahan lainnya yang terikut. Selanjutnya semen dimasukkan ke dalam *bin*. Semen yang sudah jadi selanjutnya melalui tahap pengantongan. Semen curah akan langsung dibawa ke *bin* dan selanjutnya dimasukkan dalam truck dengan kapasitas 18-40 ton untuk didistribusikan kepada konsumen. Sedangkan untuk semen kantong dibawa menuju bagian *packer* untuk dilakukan pengisian dan pengantongan semen. Kapasitas harian atau jumlah kantong semen yang dihasilkan setiap harinya bervariasi sesuai dengan Rencana Kerja Anggaran Perusahaan (RKAP), kebijakan pemerintah, dan kemampuan dari pabrik, sehingga sifatnya tergantung pada permintaan pasar maupun konsumen. Terdapat 2 jenis ukuran kemasan, yaitu kemasan 40 dan 50 kg sesuai standar SNI. Kantong dengan kapasitas 50 kg semen untuk semua type 1 (OPC) yang merupakan produksi utama pabrik Tuban dan 40 kg semen untuk jenis PPC yang hanya digunakan sesuai pesanan.



Gambar 3. Bagan Alir Proses Pabrikasi Semen Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban



II.1.3 Sifat – Sifat Semen

A. Sifat Fisika Semen

Sifat fisika semen merupakan salah satu segi penting yang perlu diperhatikan, karena sifat fisik sangat mempengaruhi kualitas dan kemampuan semen. Sifat–sifat fisik tersebut antara lain:

a. *Kehalusan*

Kehalusan sangat berpengaruh terhadap kecepatan hidrasi semen, semakin tinggi kehalusan kecepatan hidrasi semen akan semakin meningkat. Efek kehalusan dapat dilihat setelah 7 hari setelah reaksi semen dengan air. Alat pengukur kehalusan adalah ayakan dan alat *blaine*.

b. *Pengembangan Volume*

Sifat ini mengarah pada kemampuan pengerasan dan pengembangan volume semen setelah bereaksi dengan air. Kurangnya pengembangan volume semen disebabkan karena jumlah CaO bebas dan MgO yang terlalu tinggi. Alat pengembangan volume adalah *autoclave*.

c. *Penyusutan (Shrinkage)*

Penyusutan dibagi dalam tiga macam, yaitu *hydration shrinkage*, *drying shrinkage* dan *carbonation shrinkage*. Penyebab keretakan yang terbesar pada beton adalah *drying shrinkage*, yang disebabkan oleh penguapan air yang terkandung dalam pasta semen selama berlangsungnya proses *setting* dan *hardening*. Shrinkage dipengaruhi oleh komposisi semen, jumlah air pencampur, *concentrate mix* dan *curing condition*.

d. *Konsistensi*

Konsistensi semen adalah kemampuan semen mengalir setelah bercampur dengan air. Alat pengujinya adalah *vicat*.

e. *Pengikatan (setting) dan Pengerasan (hardening)*

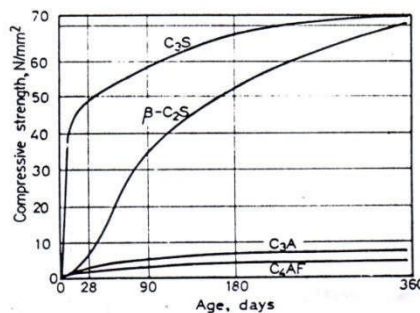


LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI RKC III

Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Semen yang bereaksi dengan air pada awalnya membentuk lapisan yang bersifat plastis dan lama-kelamaan akan membentuk kristal. Waktu mulai terbentuknya kristal atau timbulnya kekakuan pada semen disebut *initial set*. Setelah melalui tahap ini rongga yang ada di dalam semen terisi oleh senyawa-senyawa hidrat dan membentuk titik-titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Proses ini berlangsung hingga semua rongga terisi kristal dan akan semakin kaku akhirnya tercapai *final set*. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi semen adalah temperatur, rasio semen dengan air, karakteristik semen, kandungan dan kereaktifan SO_3 , jumlah dan reaktifitas C_3S serta kehalusan semen. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeras ditunjukkan melalui analisa *setting time*. Analisa *setting time* dapat menunjukkan normal atau tidaknya reaksi hidrasi semen. Alat pengujinya adalah alat *vicat* dan *gillmore*.

f. Kekuatan kompresi

Kekuatan kompresi atau kuat tekan adalah sifat kemampuan semen menahan suatu beban tekan. Kekuatan kompresi semen sangat dipengaruhi oleh jenis komposisi semen dan kehalusan semen. Semakin halus ukuran partikel semen, maka kuat tekan yang dimilikinya akan semakin tinggi. Kadar C_3S di dalam semen memberikan kontribusi yang besar pada tekanan awal semen. Sedangkan C_2S memberikan kontribusi pada kekuatan tekan dalam umur yang panjang. Pengaruh komponen-komponen penyusun terak terhadap kuat tekan dapat dilihat pada gambar 11 berikut.





**Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Komponen-Komponen Penyusun
Semen Dengan Kuat Tekan**

g. Densitas

Densitas semen tidak berpengaruh pada kualitas, tetapi sangat diperlukan dalam perhitungan.

h. False set

False set atau pengikatan semu adalah pengikatan tidak wajar yang terjadi ketika air ditambahkan dalam semen. Setelah beberapa menit semen akan mengeras, tetapi jika diaduk sifat plastis semen akan timbul kembali. *False set* disebabkan karena hilangnya air kristal pada gypsum akibat tingginya temperatur saat penggilingan terak.

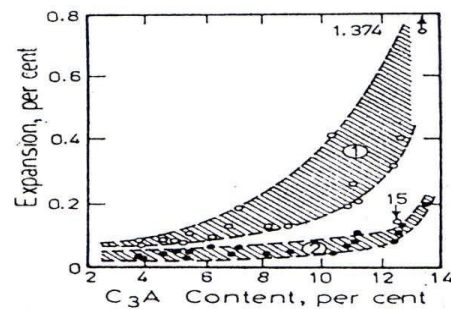
i. Soundness

Soundness adalah kemampuan pasta semen untuk mempertahankan volumenya setelah proses pengikatan. Berkurangnya *soundness* berarti timbulnya kecenderungan beton untuk berekspansi, ini disebabkan oleh tingginya kadar *free lime* (kapur bebas) dan magnesia.

Adapun reaksi-reaksi yang memungkinkan timbulnya sifat ekspansi pada beton adalah:

1. Reaksi antara C_3A dengan SO_3 yang membentuk *ettringite* ($C_6AS_3H_{32}$)
2. Hidrasi free lime, yaitu reaksi CaO dengan H_2O
3. Hidrasi free MgO , yaitu reaksi MgO dengan H_2O

Ekspansi beton tersebut akan menimbulkan keretakan konstruksi beton yang berarti menurunkan kuat tekan beton. Pengaruh kadar C_3A terhadap ekspansi yang dihasilkan akibat reaksi C_3A dengan sulfat dapat dilihat pada gambar 12 berikut.



Gambar 5. Grafik Hubungan Reaksi C₃A dengan Sulfat terhadap Efek Ekspansi

Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa daerah kurva 1 menunjukkan pengaruh dari reaksi C₃A dengan sulfat terhadap efek ekspansi setelah satu tahun dan kurva 2 setelah satu bulan.

j. Konsistensi

Konsistensi semen adalah kemampuan semen mengalir setelah bercampur dengan air. Alat pengujinya adalah *vicat*.

k. Pengikatan (*setting*) dan Pengerasan (*hardening*)

Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Semen yang bereaksi dengan air pada awalnya membentuk lapisan yang bersifat plastis dan lama-kelamaan akan membentuk kristal. Waktu mulai terbentuknya kristal atau timbulnya kekakuan pada semen disebut *initial set*. Setelah melalui tahap ini rongga yang ada di dalam semen terisi oleh senyawa-senyawa hidrat dan membentuk titik-titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Proses ini berlangsung hingga semua rongga terisi kristal dan akan semakin kaku akhirnya tercapai *final set*. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi semen adalah temperatur, rasio semen dengan air, karakteristik semen, kandungan dan kereaktifan SO₃, jumlah dan reaktifitas C₃S serta kehalusan semen. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeras ditunjukkan melalui analisa *setting time*. Analisa setting time dapat menunjukkan normal atau tidaknya reaksi hidrasi semen. Alat pengujinya adalah alat *vicat* dan *gillmore*.



B. Sifat Kimia Semen

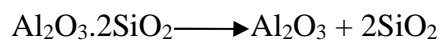
Pembahasan sifat kimia semen di sini meliputi pembahasan komposisi zat yang ada di dalam semen, reaksi-reaksi yang terjadi dan perubahan yang terjadi saat penambahan air pada semen. Hal ini perlu dilakukan karena komposisi dan sifat komponen tersebut sangat mempengaruhi sifat semen secara keseluruhan.

a. *Reaksi kimia dan perubahan yang terjadi setiap kenaikan temperatur.*

Pada 100 °C : Terjadi penguapan air bebas

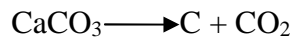
Pada 100°C – 500°C : Pelepasan air kristal (blinded water)

Pada 500 °C : Perubahan struktur mineral silika.

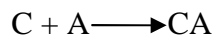


Pada 500°C – 900°C : Terjadi kalsinasi atau peruraian dari MgCO_3 dan CaCO_3

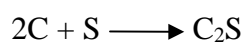
Pada 800 °C : Terjadi reaksi kalsinasi



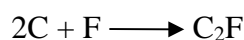
Pembentukan CA



Pembentukan C_2S



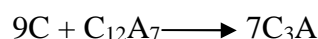
Pembentukan C_2F



Pada 800°C – 900°C : Awal pembentukan C_{12}A_7



Pada 1090°C – 1200°C : C_3A terbentuk dan C_2S pada keadaan maksimal



C_4AF terbentuk

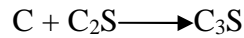


Pada 1200°C : Pembentukan fasa cair material menjadi kental dan homogen.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Pada 1200°C – 1450°C : C₃S terbentuk dan C₂S berkurang



Pada >1450°C : Dekomposisi C₃S menjadi C₂S dan CaO berjalan
Lambat

Kandungan C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF dalam semen dapat diperkirakan lewat perhitungan rumus Boque yaitu:

$$C_3S = 4,071 CaO - 7,6SiO_2 - 6,718 Al_2O_3 - 1,43 Fe_2O_3$$

$$C_2S = 8,062 SiO_2 + 5,068 Al_2O_3 + 1,078 Fe_2O_3 - 3,071 CaO$$

$$C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,692 Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,043 Fe_2O_3$$

b. Hidrasi semen

Jika semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi dengan komponen-komponen yang ada dalam semen dengan air yang reaksinya disebut reaksi hidrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi hidrasi adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur dan komposisi kimia. Hasil dari reaksi-reaksi ini adalah senyawa hidrat.

Di dalam semen, gypsum berfungsi untuk memperlambat setting. Gypsum terutama bereaksi dengan C₃A membentuk ettringite yang akan melapisi C₃A dan menahan reaksi C₃A, lapisan ini akan pecah dan akan digantikan dengan lapisan yang baru sampai seluruh gypsum habis bereaksi. Bila kadar gypsum dalam semen terlalu tinggi maka jumlah lapisan yang melindungi C₃A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama.

Walau gypsum dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan gypsum dibatasi (berdasarkan jumlah SO₃). Karena bila kelebihan SO₃ di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO₃ dalam semen 1,6 – 3%.

c. Durability

Durability adalah ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa kimia, terutama terhadap senyawa sulfat. Senyawa sulfat biasanya terdapat di dalam



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

air laut dan air tanah. Senyawa ini menyerang beton dan menyebabkan ekspansi volume dan keretakan pada beton.

Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrat* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah.

d. Kandungan alkali dalam semen

Kandungan alkali (Na_2O dan K_2O) dalam semen cukup menguntungkan yaitu mengatur pelepasan alkali pada proses hidrasi dan dalam bentuk senyawa alkali sulfat dapat meningkatkan kekuatan awal semen (10% dalam waktu 28 hari) Tetapi kandungan alkali dalam semen dibatasi $< 0,6\%$ (dalam bentuk Na_2O) karena kandungan alkali yang besar dapat menimbulkan fenomena ekspansi alkali. Alkali bereaksi dengan agregat yang terdapat dalam campuran beton.

e. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang ditimbulkan saat semen bereaksi dengan air. Besarnya panas hidrasi tergantung dari komposisi semen dan kehalusan dari semen serta temperatur proses. Alat pengujinya adalah Bomb kalorimeter.

Tabel .1 Panas Hidrasi yang Dihasilkan

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (kj/kg)
$C_3S (+H)$	$C-S-H + CH$	520
$B - C_2S (+H)$	$C-S-H + CH$	260
$C_3A (+CH+H)$	C_4AH_19	1160
$C_3A (+H)$	C_3AH_6	910
$C_3A (+CSH_2+H)$	C_4ASH_{12}	1140
$C_3A(+CSH_2+H)$	$C_6AS_3H_{32}$	1670
$C_3AF (+CH+H)$	$C_3(A_2F)H_6$	420



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Sumber : Lea's Chemistry of Cement and Concrete, edisi ke -4 Arnold,1998

f. Kelembaban Semen

Kelembaban semen akan berakibat :

1. Menurunkan *specific gravity*
2. Terjadi *false set*
3. Terbentuknya gumpalan – gumpalan
4. Menurunnya kualitas semen
5. Bertambahnya *loss on ignition*
6. Bertambahnya *setting time* dan *hardening*
7. Penurunan tekanan

Oleh sebab itu, strategi penyimpanan semen harus diperhatikan agar semen dapat menjadi awet dan mutu dari semen akan terjaga.

g. Free lime (Kapur bebas)

Sifat kimia lain semen adalah kandungan *free lime* yang dimilikinya. *Free lime* adalah kapur (CaO) yang tidak bereaksi selama pembentukan terak. Kadar CaO di dalam semen dibatasi max 1 %. Kadar *free lime* yang tinggi membuat beton memiliki kuat tekan yang rendah (akibat ekspansi kapur bebas) membentuk gel yang akan mengembang (*swelling*) dalam keadaan basah sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton.

h. LOI (Lost On Ignition)

LOI adalah hilangnya beberapa mineral akibat pemijaran. Senyawa yang hilang akibat pemijaran adalah air dan CaO. Kristal-kristal tersebut mudah terurai mengalami perubahan bentuk untuk jangka waktu yang panjang, sehingga dapat menimbulkan kerusakan beton setelah beberapa tahun. Oleh karena itu kadar LOI perlu diketahui agar penguraian mineral dalam jumlah yang besar dapat dicegah.

II.1.4 Bahan Baku Semen

1. Bahan Baku

a. Batu Kapur (CaCO₃/ Calcium Carbonat)



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Dalam keadaan murni, batu kapur berupa bahan CaCO_3 yang mengandung calsite dan aragonite. Batu kapur tersusun atas kristal halus dan kasar yang kekerasannya dipengaruhi oleh umur geologinya. Semakin tua umur batu kapur biasanya semakin keras. Batu kapur pada umumnya tercampur MgCO_3 dan MgSO_4 . Batu kapur yang baik dalam penggunaan pembuatan semen memiliki kadar air $\pm 5\%$ dan penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen itu sendiri sebanyak $\pm 81\%$.

Tabel 2. Spesifikasi Batu Kapur Secara Umum

Parameter	<i>High Grade</i>	<i>Medium Grade</i>	<i>Low Grade</i>
Kenampakan	Putih	Lebih Kusam	Kusam
CaCO_3	97 - 99%	88 - 90%	85 - 87%
MgCO_3	Maksimal 2%	Maksimal 2%	Maksimal 2%
SiO_2	0,08 - 2%	0,08 - 2%	0,08 - 2%
Fe_2O_3	0,01 - 0,4%	0,01 - 0,4%	0,01 - 0,4%
P Al_2O_3	0,09 - 1%	0,09 - 1%	0,09 - 1%
TH 2O , Na_2O , K_2O	Sisa	Sisa	Sisa

Semen Indonesia (Persero), Tbk. menggunakan batu kapur dengan kualitas *High Grade Limestone* dan *Medium Grade Limestone*.

Tabel 3. Komposisi Batu Kapur pada Pembuatan Semen Portland

(Perray, 1979)

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Alkali (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)	H ₂ O (%)
40 - 55	1 - 15	1 - 6	0,2 - 5	0,2 - 4	0,2 - 4	1 - 3	0,2 - 1	7 - 10

Menurut Puja Hadi Purnomo, 1994, sifat fisika batu kapur sebagai berikut:

- Fase : Padat
- Warna : Putih
- Kadar air : 7 - 10 % H_2O

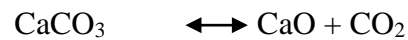


**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

- d. *Bulk density* : 1,3 ton/m³
- e. *Spesific gravity* : 2,49
- f. Titik Leleh : 825 °C
- g. Kandungan CaO : 47 - 56%
- h. Kuat tekan : 31,6 N/mm²
- i. Silika *ratio* : 2,6
- j. Alumina *ratio* : 2,57

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia batu kapur yaitu dapat mengalami kalsinasi.

Reaksi :



$$T = 600-800^\circ\text{C}$$

b. Tanah Liat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)

Semua jenis tanah liat adalah hasil pelapukan kimia yang disebabkan adanya pengaruh air dan gas CO₂, batuan andesit, granit, dan sebagainya. Batuan-batuan ini menjadi bagian yang halus dan tidak larut dalam air tetapi mengendap berlapis-lapis. Senyawa kimia yang membentuk tanah liat antara lain alkali silikat dan beberapa jenis mika. Pada dasarnya warna dari tanah liat adalah putih, tetapi dengan adanya senyawa-senyawa kimia lain seperti Fe(OH)₃, Fe₂S₃, dan CaCO₃ menjadi berwarna abu-abu sampai kuning. Tanah liat yang baik untuk digunakan memiliki kadar air ± 20%, kadar SiO₂ tidak terlalu tinggi ± 46%, dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 9%.

sifat fisika tanah liat sebagai berikut :

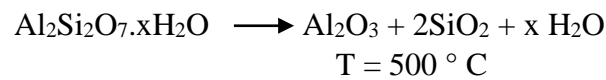
- a. Fase : Padat
- b. Warna : Coklat kekuningan
- c. Kadar air : 18 - 25% H₂O
- d. *Bulk density* : 1,7 ton/m³



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

- e. Titik Leleh : 1999 - 2032°C
- f. Specific gravity : 2,36 gr/cm³
- g. Silika *ratio* : 2,9
- h. Alumina *ratio* : 2,7

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia tanah liat yaitu dapat mengalami pelepasan air hidrat bila dipanaskan pada suhu 500°C. Sifat dari tanah liat jika dipanaskan atau dibakar akan berkurang sifat keliatannya dan menjadi keras bila ditambah air. Reaksinya :



Tabel 4. Komposisi Tanah Liat pada Pembuatan Semen Portland

(Perry,1979)

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Alkali (%)	SO ₃ (%)	H ₂ O (%)
1– 10	40 – 70	15– 30	3 – 10	1 - 5	1– 4	< 2	1– 25

2. Bahan Koreksi

a. Pasir Silika (*SiO₂*)

Silika ditemukan banyak dalam batuan alam. Umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar SiO₂ semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar SiO₂, semakin berwarna merah atau coklat, disamping itu semakin mudah menggumpal karena kadar airnya yang tinggi. Pasir silika yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar SiO₂ ± 90%, dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 9%.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Tabel 5. Komposisi Pasir Silika Pada Pembuatan Semen Portland

(Perry,1979)

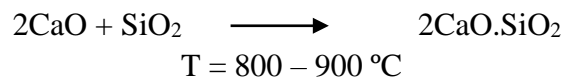
CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Alkali (%)	LOI (%)
1 – 3	85 - 95	2 – 5	1 – 3	1 - 3	1 - 2	2 – 5

Sifat fisika pasir silika sebagai berikut:

- Fase : Padat
- Warna : Coklat kemerahan
- Kadar air : 6% H₂O
- Bulk density* : 1,45 ton/m³
- Spesific gravity* : 2,37 gr/cm³
- Silika ratio* : 5,29
- Alumina ratio* : 2,37

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia pasir silika yaitu dapat bereaksi dengan CaO membentuk garam kalsium silikat.

Reaksi :



Pasir silika banyak terdapat didaerah pantai. Derajat kemurnian pasir silika dapat mencapai 95 - 99,8 % SiO₂. Warna pasir silika dipengaruhi oleh adanya kotoran seperti oksida logam dan bahan organik.

b. Cooper Slag

Copper slag ini sebagai pengganti pasir besi. Pasir besi (Fe₂O₃) berfungsi sebagai penghantar panas dalam proses pembuatan terak semen. Penggunaan pasir besi dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 1%. *Copper slag* digunakan karena mempunyai kandungan besi yang tinggi, sehingga menyebabkan material ini mempunyai densitas lebih tinggi dibandingkan pasir alam. Material ini mempunyai sifat fisik yang sangat keras dan porositas optimum.



Tabel 6. Komposisi *Cooper Slag* Pada Pembuatan Semen Portland

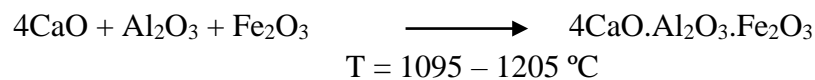
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	LOI (%)
5 – 10	2 – 5	85 - 95	0 - 5

Sifat fisiknya, antara lain :

- Fase : Padat
- Warna : Hitam
- Bulk density* : 1,8 ton/m³

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia *copper slag* yaitu dapat bereaksi dengan Al₂O₃ dan CaO membentuk *calcium alumina ferrit*.

Reaksi :



3. Bahan Pembantu

a. Gypsum (*CaSO₄·2H₂O*)

Gypsum adalah bahan sedimen CaSO₄ yang mengandung 2 molekul hidrat yang berfungsi sebagai penghambat proses pengeringan pada semen. *Gypsum* dapat diambil dari alam ataupun secara sintetis. *Gypsum* terdapat di danau atau gunung, warna kristalnya adalah putih. Penambahan *gypsum* dengan kadar 91% dilakukan pada penggilingan akhir dengan perbandingan 96:4.

sifat fisika *gypsum* sebagai berikut:

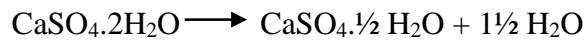
- Fase : Padat
- Warna : Putih
- Kadar air : 10% H₂O
- Bulk density* : 1,7 ton/m³
- Ukuran material : 0 - 30 mm

sifat kimia *gypsum* yaitu dapat mengalami pelepasan air hidrat bila dipanaskan sedikit.



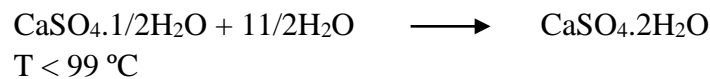
**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Reaksi :



Jika pemanasan dilakukan pada suhu yang lebih tinggi, *gypsum* akan kehilangan semua airnya dan menjadi kalsium sulfat anhidrat. *Gypsum* juga dapat mengalami hidrasi dengan air menjadi hidrat kristal padat.

Reaksi :



b. Trass ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)

Trass adalah bahan hasil letusan gunung berapi yang berbutir halus dan banyak mengandung oksida silika amorf (SiO_2) yang telah mengalami pelapukan hingga derajat tertentu. *Trass* digunakan sebagai bahan campuran semen PPC sebagai *pozzolan activity*. Penambahan *trass* bertujuan agar kadar frelime dapat direduksi sehingga kualitas semen menjadi lebih baik dan memberikan kuat tekan awal yang kurang tetapi kuat tekan akhir yang stabil. Penambahan *trass* dilakukan di dalam finish mill dengan gypsum dan terak.

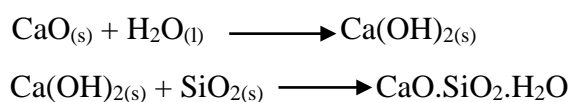
Sifat Fisika :

- a. Fasa : Padat
- b. Warna : Putih keabu-abuan
- c. Bentuk : Butiran
- d. Ukuran Material : 0 – 30 mm
- e. Spesific Gravity : 2,68 gr/cm^3

Sifat Kimia :

Trass dimana kandungan utamanya silika aktif SiO_2 maka pada saat ditambahkan air akan bereaksi dengan CaOH_2 membentuk CSH dimana senyawa ini memberikan kontribusi terhadap kuat tekan. CaOH_2 ini didapat dari reaksi CaO free dalam terak dengan H_2O .

Reaksi :





c. Fly Ash

Digunakan sebagai filler. Fly Ash merupakan bahan pencampur pada pembuatan semen PPC yang didapatkan dari PLTU Paiton, Jepara, dan Tuban.

d. Dust

Digunakan sebagai filler. Dust merupakan bahan pencampur pada pembuatan semen OPC yang didapatkan dari Semen Indonesia (Raw Mill).

e. GBFS (Granular Blast Furnace Slag)

Digunakan untuk substitusi terak atau clinker. GBFS merupakan bahan pencampur pada pembuatan semen OPC yang didapatkan dari PT. Krakatau Semen Indonesia.

II.1.5 Fungsi Semen

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir - butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

II.1.6 Macam – Macam Semen

Perbedaan macam semen tergantung pada komposisi unsur-unsur penyusunnya dan unsur tambahan lain yang ditambahkan.

Berbagai jenis semen, antara lain :

1. *Semen Portland*

Merupakan semen hidrolis yang diperoleh dengan menggiling terak yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, bersama bahan tambahan biasanya digunakan gypsum.

Berdasarkan banyaknya presentase kadar masing-masing komponen ASTM (*American Society of Testing Material*) C 150 – 95 membagi lima macam tipe semen portland. Kelima tipe semen portland tersebut yaitu :



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

a. *Ordinary Portland Cement* (Semen Tipe 1)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen Portland yang umum digunakan untuk bangunan biasa. Semen ini ada beberapa jenis pula, misalnya semen putih yang kandungan feri oksidanya lebih kecil, semen sumur minyak, semen cepat keras, dan beberapa jenis lain untuk penggunaan khusus.

b. *Moderate Heat Cement* (Semen Tipe 2)

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini digunakan dalam situasi yang memerlukan kalor hidrasi yang tidak terlalu tinggi atau untuk bangunan beton biasa yang dapat terkena aksi sulfat. Kalor yang dilepas saat semen ini mengeras tidak boleh lebih dari 295 joule/gram sesudah 7 hari dan 335 joule/gram sesudah 28 hari.

c. *High Early Strength Cement* (Semen Tipe 3)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen dengan kekuatan awal tinggi yang terbentuk dari bahan baku yang mengandung perbandingan gamping-silika lebih tinggi dari yang digunakan untuk semen type I, dan penggilingannya pun lebih halus dari type I. Semen ini mengandung trikalsium silikat lebih banyak dari semen portland biasa. Hal ini disamping kehalusannya menyebabkan semen ini lebih cepat mengeras dan lebih cepat mengeluarkan kalor.

d. *Low Heat Cement* (Semen Tipe 4)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen portland kalor-rendah, persen kandungan C_3S dan C_3A lebih rendah. Akibatnya persen tetra kalsium aluminoforit (C_4AF) lebih tinggi karena adanya Fe_2O_3 yang ditambahkan untuk mengurangi C_3A . Kalor yang dilepas pun tidak boleh lebih dari 250 dan 295 joule/gram masing-masing sesudah 7 dan 28 hari, dan kalor hidrasinya adalah 15 - 35 % dari kalor hidrasi semen biasa/HES.

e. *Sulfat Resistance Cement* (Semen Tipe 5)

Menurut G.T. Austin (1985), semen portland tahan sulfat adalah semen yang karena komposisinya atau cara pengolahannya, lebih tahan



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

terhadap sulfat daripada keempat jenis lainnya. Semen type V ini digunakan bila penerapannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Semen ini mengandung C_3A lebih rendah dari ketiga semen lain.

Akibatnya kandungan C_4AF -nya lebih tinggi.

2. *Semen Putih*

Menurut I Ketut Arsha Putra (1995), semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif bukan untuk tujuan konstruktif, misalnya untuk bangunan arsitektur. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatan yang khusus, misalnya bahan mentah mengandung oksida besi dan oksida mangan yang sangat rendah yaitu dibawah 1%.

3. *Semen Alumina Tinggi*

Menurut E. Jasjfi (1985), semen ini pada dasarnya adalah Semen Kalsium Aluminat yang dibuat dengan melebur campuran batu kapur dan bauksit. Bauksit ini biasanya mengandung oksida besi, silika dan magnesium. Semen ini mengeras sangat cepat dan banyak digunakan pada daerah pelabuhan, namun semen ini tidak tahan terhadap sulfat.

4. *Semen Anti Bakteri*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah campuran yang homogen antara semen portland dengan anti bacteriac agent seperti germicide. Bahan tersebut ditambahkan untuk self desinfectant beton terhadap serangan bakteri dan jamur yang tumbuh. Biasa digunakan pada pembuatan kolam, kamar mandi. Semen ini mempunyai sifat hampir sama dengan semen portland type I.

5. *Semen Pozzoland*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini diperoleh dengan menggiling terak. Semen portland dengan trass sebagai bahan pozzolannya. Jenis semen ini diproduksi untuk pengecoran beton massa, irigasi, bangunan di tepi laut dan tanah rawa yang memerlukan katahanan sulfat dan panas hidrasi rendah.

6. *Water Proofed Cement*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah campuran yang homogen antara Semen Porland dengan Water Proofing agent dalam jumlah kecil seperti kalsium, aluminium atau logam stearat lainnya. Semen ini dipakai untuk kontruksi



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

beton yang berfungsi sebagai penahan tekanan hidrolis, misalnya tangki penyimpanan cairan kimia.

7. *Oil Well cement*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah *Semen Portland* yang dicampur dengan bahan retarder seperti *asam borat, casein, lignin, gula atau organic hidroxid acid*. Fungsi retarder untuk mengurangi kecepatan pengerasan semen, sehingga adukan dapat dipompakan dalam sumur minyak atau gas.

Umumnya semen ini digunakan pada *primary cementing*.

II.1.7 Komposisi Semen

1. *Tricalcium silicate (C₃S)*

C₃S terbentuk pada suhu di atas 1200°C, kristalnya berbentuk *monoclinic* dan disebut *alite*.

C₃S mempunyai sifat :

- Mempercepat pengerasan semen.
- Mempengaruhi pengikatan kekuatan awal dan kekuatan akhir yang tinggi.
- Memberikan kekuatan penyokong untuk waktu yang lama, terutama memberikan kekuatan awal sebelum 28 hari.
- Reaksi hidrasi C₃S



C₃S apabila ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras dan menimbulkan panas hidrasi 500 joule/gram. Kandungan C₃S pada semen Portland bervariasi antara 35%-55% tergantung jenis semen Portlandnya.

2. *Dicalcium silicate (C₂S)*

C₂S terbentuk pada suhu 800°C dan kristalnya disebut *betite*. Bentuk yang umum dijumpai dalam semen portland adalah β -C₂S.

C₂S mempunyai sifat:

- Proses hidrasinya berlangsung lambat.
- Menambah kekuatan setelah 28 hari.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

c. Reaksi hidrasinya adalah :



Pada penambahan air segera terjadi reaksi, menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan sedikit panas yaitu 250 J/gram. Pasta yang mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu, kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C₃S. Kandungan C₂S pada semen Portland bervariasi antara 15% - 35% dan rata-rata 25%.

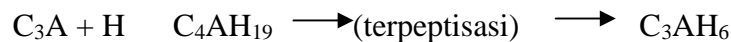
3. *Tricalcium aluminat*

C₃A terbentuk pada suhu 1090°C – 1200°C dan bentuk kristalnya adalah cubic. Jika C₃A mengandung ion asing seperti Na⁺, kristalnya berbentuk *orthorombic* atau *monoclinic*. C₃A mempunyai sifat memberikan kekuatan penyokong pada beton dalam periode 1-3 hari pertama.

Reaksi hidrasi tergantung pada keberadaan gypsum di dalam semen.

A. Hidrasi C₃A tanpa adanya gypsum di dalam semen

a. Jika tidak terdapat Ca(OH)₂

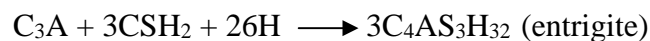


b. Jika terdapat Ca(OH)₂



Pada saat awal pencampuran C₃A dengan air kinetika hidrasinya berlangsung lambat karena terbentuknya *hexagonal hydrate* (C₂AH₈ dan C₄AH₁₉) di permukaan C₃A yang berfungsi sebagai lapisan pelindung. Ketika terjadi konversi senyawa menjadi C₃AH₆ lapisan tersebut menjadi rusak dan proses hidrasi menjadi sangat cepat.

B. Hidrasi C₃A jika terdapat gypsum

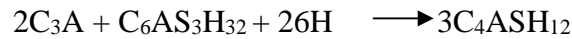


Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi dengan laju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan kadar C₃A rendah justru akan mempercepat setting. Apabila terdapat ketidaksetimbangan antar reaktifitas C₃A dengan laju pelarutan gypsum



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

maka akan terbentuk sejumlah kecil senyawa C_4ASH_{12} atau C_4AH_{19} . Apabila seluruh gypsum telah bereaksi, *enttringite* akan bereaksi dengan C_3A sisa.



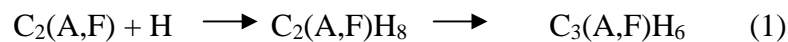
Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk High Calcium Sulfaluminate Hydrat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah. Dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi yaitu 850 J/gram. Kandungan C_3A pada semen Portland bervariasi antara 7% - 15%.

4. *Tetracalsium aluminate ferrit (C₄AF)*

C_4AF terbentuk pada suhu 900°C mempunyai sifat :

- Kurang berpengaruh terhadap kekuatan semen
- Cepat bereaksi dengan air dan cepat pula mengeras
- Memberikan warna pada semen
- Reaksi hidrasi C_4AF hampir serupa dengan hidrasi C_3A yaitu tergantung pada atau tidaknya gypsum dalam campuran semen.

A. Hidrasi C_4AF tanpa adanya gypsum di dalam semen



(Jika dalam campuran terdapat CaO , reaksi yang terjadi hanya reaksi 2)

B. Hidrasi C_4AF jika terdapat gypsum



Dengan air bereaksi dengan cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 420 j/gram. Warna abu-abu pada semen dipengaruhi oleh C_4AF . Kandungan C_4AF pada semen Portland bervariasi antara 5% - 10% dan rata-rata 8%.



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI RKC III

II.2 Tugas Khusus

II.2.1 Judul Tugas Khusus

Menghitung Neraca Massa Dan Neraca Panas Kiln

II.2.2 Latar Belakang Masalah dan Penyelesaian

Data pengamatan untuk perhitungan neraca massa dan neraca panas Rotary Kiln yang terdapat di unit RKC III meliputi, massa umpan masuk, komposisi massa, komponen bahan yang ditunjukkan pada perhitungan neraca massa. Data yang diperlukan untuk menghitung neraca massa adalah sebagai berikut :

A. Data Primer

Data ini diperoleh dari laporan harian CCR I pada tanggal 2 Juni 2019, Laboratorium Pengendalian Proses dan Laboratorium Jaminan Mutu PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban yang meliputi :

1. Data Umpan Kiln dan Coal Mill

(Kebutuhan batu bara untuk kiln dan suspension preheater)

Komposisi	Kapasitas
Umpan Kiln Masuk SP	631.200
Kebutuhan batu bara di SP	26.000
Kebutuhan batu bara di Kiln	21.000



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

2. Komposisi Batu Bara

Komposisi	%Berat
C	47,12
H ₂	3,43
N ₂	0,55
O ₂	19,88
S	0,19
H ₂ O	20,29
Ash	8,54
Total	100

3. Komposisi Umpan Masuk Kalsiner

Komponen	%Massa
SiO ₂	11,56
Al ₂ O ₃	3,67
Fe ₂ O ₃	1,94
CaO	44,95
MgO	0,75
H ₂ O	0,39
K ₂ O	0,35
Na ₂ O	0,09
SO ₃	0,07

4. Data Tiap Alat :

- a. Derajat kalsinasi CaCO₃ dan MgCO₃: 90%



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

- b. Debu keluar 10% dari umpan kering
- c. Udara pembakaran excess 10%
- d. Derajat kesempurnaan reaksi pembakaran 100%

B. Data Sekunder

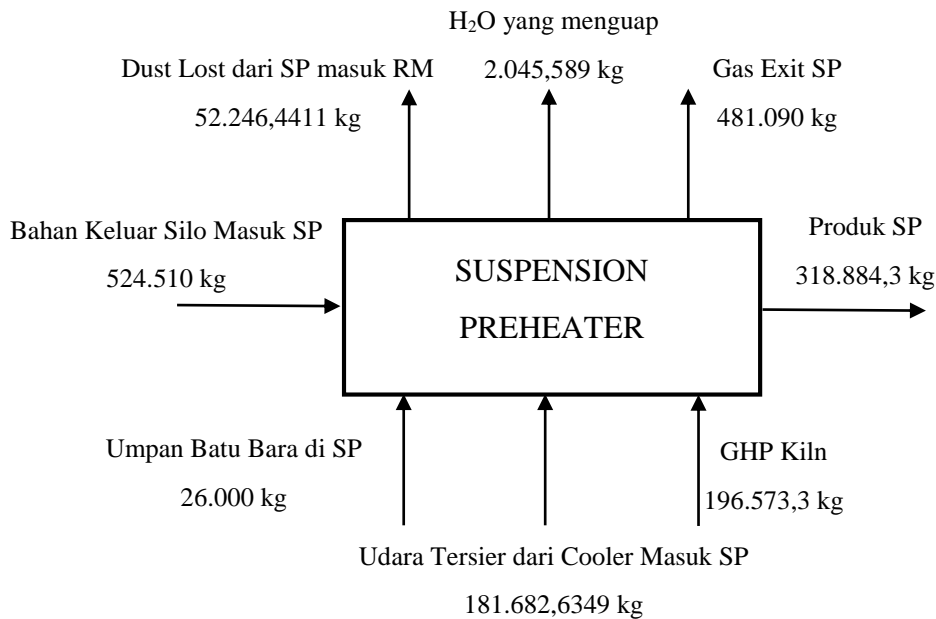
Data ini diperoleh dari literature – literature atau studi pustaka, yaitu data berat molekul beberapa komponen.

C. Asumsi

- 1. Basis perhitungan 1 jam
- 2. Pembakaran berlangsung secara sempurna
- 3. Udara pembakaran 10% excess
- 4. Kebutuhan udara primer maksimal 10% udara yang dibutuhkan

D. Perhitungan Neraca Massa

1. Perhitungan Neraca Massa di Suspension Preheater



➤ **Bahan Keluar Silo Masuk SP**

Jumlah Material Masuk SP = 524.510 kg



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

➤ **Komposisi Umpan Masuk Kalsiner**

Komponen	% berat
SiO ₂	11,56
Al ₂ O ₃	3,67
Fe ₂ O ₃	1,94
CaO	44,95
MgO	0,75
H ₂ O	0,39
K ₂ O	0,35
Na ₂ O	0,09
SO ₃	0,07
Total	63,77

Diketahui :

Komponen	Berat Molekul (gr/mol)
CaCO ₃	100
MgO	40
CaO	56
MgCO ₃	84

$$\begin{aligned}\% \text{ CaCO}_3 &= \frac{BM \text{ CaCO}_3}{BM \text{ CaO}} \times \% \text{ CaO} \\ &= \frac{100 \text{ gr/mol}}{56 \text{ gr/mol}} \times 44,95 \% \\ &= 80,2678\end{aligned}$$

$$\% \text{ MgCO}_3 = \frac{BM \text{ MgCO}_3}{BM \text{ MgO}} \times \% \text{ MgO}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$= \frac{84 \text{ gr/mol}}{40 \text{ gr/mol}} \times 0,75 \%$$
$$= 1,575$$

➤ **Komposisi Umpan SP**

a. Massa $\text{SiO}_2 = \frac{\% \text{ Massa SiO}_2}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{11,56 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 60,633,356 \text{ kg}$$

b. Massa $\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{\% \text{ Massa Al}_2\text{O}_3}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{3,67 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 19.249,517 \text{ kg}$$

c. Massa $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\% \text{ Massa Fe}_2\text{O}_3}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{1,94 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 10.175,494 \text{ kg}$$

d. Massa $\text{CaCO}_3 = \frac{\% \text{ Massa CaCO}_3}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{80,27\%}{100} \times 524.510$$
$$= 421.012,9375 \text{ kg}$$

e. Massa $\text{MgCO}_3 = \frac{\% \text{ Massa MgCO}_3}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{1,58 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 8.261,0325 \text{ kg}$$

f. Massa $\text{H}_2\text{O} = \frac{\% \text{ Massa H}_2\text{O}}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{0,39 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 2.045,589 \text{ kg}$$

g. Massa $\text{K}_2\text{O} = \frac{\% \text{ Massa K}_2\text{O}}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{0,35 \%}{100} \times 524.510$$
$$= 1.835,785 \text{ kg}$$

h. Massa $\text{Na}_2\text{O} = \frac{\% \text{ Massa Na}_2\text{O}}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{0,09 \%}{100} \times 524.510$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$= 427,059 \text{ kg}$$

i. $\text{Massa SO}_3 = \frac{\% \text{ Massa SO}_3}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{0,07 \%}{100} \times 524.510$$

$$= 367,157 \text{ kg}$$

j. $\text{Massa Impuritis} = \frac{\% \text{ Massa Impuritis}}{100} \times \text{Jumlah Material Masuk SP}$

$$= \frac{0,09 \%}{100} \times 524.510$$

$$= 457,073 \text{ kg}$$

➤ **Komposisi Umpan**

Komponen	% berat	Massa
SiO ₂	11,56	60.633,356
Al ₂ O ₃	3,67	19,249,517
Fe ₂ O ₃	1,94	10.175,494
CaCO ₃	80,27	421.012,9375
MgCO ₃	1,58	8.261,0325
H ₂ O	0,39	2.045,589
K ₂ O	0,35	1.835,785
Na ₂ O	0,09	472,059
SO ₃	0,07	367,157
Impuritas	0,09	457,073
Total	100,0	524.510

➤ **Aliran H₂O Umpan**

Aliran H₂O dalam Umpan yang Masuk SP = 2.045,589 kg

Umpan Kering

$$= \text{Umpan Masuk SP} - \text{Aliran H}_2\text{O dalam umpan}$$

$$= 524.510 - 2.045,589$$

$$= 522.464,411 \text{ kg}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

➤ **Dust Lost dari Suspension Preheater**

$$\text{Dust Loss} = 10 \%$$

$$\begin{aligned}\text{Dust Loss} &= 10 \% \times \text{Umpan Kering} \\ &= 10 \% \times 522.464,411 \\ &= 52.246,4411 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Umpan Masuk Kalsiner SP} &= \text{Umpan Kering} - \text{Debu Keluar} \\ &= 522.464,411 \text{ kg} - 52.246,4411 \text{ kg} \\ &= 470.217,9699 \text{ kg}\end{aligned}$$

Komposisi Umpan Masuk Kalsiner

$$\begin{aligned}\text{a. } \% \text{SiO}_2 &= \frac{\text{Massa SiO}_2}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ &= \frac{60.633,356 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ &= 11,60 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa SiO}_2 &= \% \text{SiO}_2 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ &= 11,60 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ &= 54.570,0204 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } \% \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Massa Al}_2\text{O}_3}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ &= \frac{19.249,517 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ &= 3,68 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Al}_2\text{O}_3 &= \% \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ &= 3,68 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ &= 17.324,5653 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. } \% \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ &= \frac{10.175,494 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ &= 1,94 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Fe}_2\text{O}_3 &= \% \text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ &= 1,94 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ &= 9.157,9446 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{d. } \% \text{CaCO}_3 = \frac{\text{Massa CaCO}_3}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \%$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$= \frac{421.012,9375 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ = 80,58 \%$$

$$\text{Massa CaCO}_3 = \% \text{ CaCO}_3 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ = 80,58 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ = 378.911,6438 \text{ kg}$$

$$\text{e. \% MgCO}_3 = \frac{\text{Massa MgCO}_3}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ = \frac{8.261,0325 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ = 1,58 \%$$

$$\text{Massa MgCO}_3 = \% \text{ MgCO}_3 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ = 1,58 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ = 7.434,9292 \text{ kg}$$

$$\text{f. \% K}_2\text{O} = \frac{\text{Massa K}_2\text{O}}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ = \frac{1.835,78 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ = 0,35 \%$$

$$\text{Massa K}_2\text{O} = \% \text{ K}_2\text{O} \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ = 0,35 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ = 1.652,2065 \text{ kg}$$

$$\text{g. \% Na}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Na}_2\text{O}}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ = \frac{472,059 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ = 0,09 \%$$

$$\text{Massa Na}_2\text{O} = \% \text{ Na}_2\text{O} \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP} \\ = 0,09 \% \times 470.217,9699 \text{ kg} \\ = 424,8531 \text{ kg}$$

$$\text{h. \% SO}_3 = \frac{\text{Massa SO}_3}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \% \\ = \frac{367,157 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \% \\ = 0,07 \%$$

$$\text{Massa SO}_3 = \% \text{ SO}_3 \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP}$$



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

$$= 0,07 \% \times 470.217,9699 \text{ kg}$$

$$= 330,4413 \text{ kg}$$

$$\text{i. \% Impuritas} = \frac{\text{Massa Impuritas}}{\text{Umpan Kering}} \times 100 \%$$

$$= \frac{457,073 \text{ kg}}{522.464,411 \text{ kg}} \times 100 \%$$

$$= 0,087 \%$$

$$\text{Massa Impuritas} = \% \text{ Impuritas} \times \text{Umpan Masuk Kalsiner SP}$$

$$= 0,087 \% \times 470.217,9699 \text{ kg}$$

$$= 411,3657 \text{ kg}$$

➤ **Komposisi Umpan Kalsiner**

Komponen	% berat	Massa
SiO ₂	11,60	54.570,0204
Al ₂ O ₃	3,68	17.324,5653
Fe ₂ O	1,94	9.157,9446
CaCO ₃	80,52	378.911,6438
MgCO ₃	1,58	7.434,92925
K ₂ O	0,35	1.652,2065
Na ₂ O	0,09	424,8531
SO ₃	0,07	330,4413
Impuritas	0,087	411,3657
Total	100	470.217,9699

Reaksi Kalsinasi di SP berlangsung dengan derajat kalsinasi = 90%

Komponen yang mengalami kalsinasi yaitu CaCO₃ dan MgCO₃

Reaksi (1)



$$\text{CaCO}_3 \text{ yang terkalsinasi} = 90 \% \times \text{Massa CaCO}_3 \text{ dalam umpan}$$

$$= 90 \% \times 378.911,6438 \text{ kg}$$

$$= 341.020,4794 \text{ kg}$$

$$\text{CaO terbentuk} = \frac{BM \text{ CaO}}{BM \text{ CaCO}_3} \times \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terkalsinasi}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$= \frac{56}{100} \times 341.020,4794 \text{ kg}$$

$$= 190.971,4885 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ terbentuk} = \frac{BM \text{ CO}_2}{BM \text{ CaCO}_3} \times \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terkalsinasi}$$

$$= \frac{44}{100} \times 341.020,4794 \text{ kg}$$

$$= 150.049,0109 \text{ kg}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ sisa} = \text{Massa CaCO}_3 - (\text{Massa CaO} + \text{Massa CO}_2)$$

$$= 378.911,6438 \text{ kg} - (190.971,4885 \text{ kg} + 150.049,0109 \text{ kg})$$

$$= 37.891,1643 \text{ kg}$$

Reaksi (2)



$$\text{MgCO}_3 \text{ yang terkalsinasi} = 90 \% \times \text{Massa MgCO}_3 \text{ dalam umpan}$$

$$= 90 \% \times 7.434,92925 \text{ kg}$$

$$= 6.691,4363 \text{ kg}$$

$$\text{MgO terbentuk} = \frac{BM \text{ MgO}}{BM \text{ MgCO}_3} \times \text{Massa MgCO}_3 \text{ yang terkalsinasi}$$

$$= \frac{40}{84} \times 6.691,4363 \text{ kg}$$

$$= 3.186,3982 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ terbentuk} = \frac{BM \text{ CO}_2}{BM \text{ CaCO}_3} \times \text{Massa MgCO}_3 \text{ yang terkalsinasi}$$

$$= \frac{44}{100} \times 6.691,4363 \text{ kg}$$

$$= 3.505,0380 \text{ kg}$$

$$\text{MgCO}_3 \text{ sisa} = \text{Massa MgCO}_3 - (\text{Massa MgO} + \text{Massa CO}_2)$$

$$= 7.434,92925 \text{ kg} - (3.186,3982 \text{ kg} + 3.505,0380 \text{ kg})$$

$$= 743,4929 \text{ kg}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

➤ **Komposisi Umpan Setelah Kalsinasi**

Komponen	Massa (kg)
SiO ₂	54570,0204
Al ₂ O ₃	17324,5653
Fe ₂ O ₃	9157,9446
CaCO ₃ sisa	37891,16437
MgCO ₃ sisa	743,492925
CaO	190971,4685
MgO	3186,39825
K ₂ O	1652,2065
Na ₂ O	424,8531
SO ₃	330,4413
Impuritas	411,3657
Total	316663,9209

➤ **Aliran CO₂ Hasil Kalsinasi**

CO₂ Hasil Kalsinasi

= massa CO₂ hasil Reaksi (1) + Massa CO₂ Hasil Reaksi (2)

= 150.049,0109 kg + 3.505,0380 kg

= 153.554,049 kg

➤ **Umpan Batu Bara di Suspension Preheater**

Umpan Batu Bara Masuk SP = 26.000 kg



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

➤ **Komposisi Batu Bara**

Komponen	% berat	Massa (kg)
C	47,12	12.251,2
H ₂	3,43	891,8
N ₂	0,55	143
O ₂	19,88	5.168,8
S	0,19	49,4
H ₂ O	20,29	5.275,4
Ash	8,54	2.220,4
Total	100	26.000

A. Massa C = $\frac{\% \text{ Berat C}}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk}$

$$= \frac{47,12}{100} \times 26.000$$

$$= 12.251,2 \text{ kg}$$

B. Massa H₂ = $\frac{\% \text{ Berat H}_2}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$

$$= \frac{3,43}{100} \times 26.000$$

$$= 891,8 \text{ kg}$$

C. Massa N₂ = $\frac{\% \text{ Berat N}_2}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$

$$= \frac{0,55}{100} \times 26.000$$

$$= 143 \text{ kg}$$

D. Massa O₂ = $\frac{\% \text{ Berat O}_2}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$

$$= \frac{19,88}{100} \times 26.000$$

$$= 5.168,8 \text{ kg}$$

E. Massa S = $\frac{\% \text{ Berat S}}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$

$$= \frac{0,19}{100} \times 26.000$$

$$= 49,4 \text{ kg}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$F. \text{ Massa H}_2\text{O} = \frac{\% \text{ Berat H}_2\text{O}}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$$

$$= \frac{20,29}{100} \times 26.000$$

$$= 5.275,4 \text{ kg}$$

$$G. \text{ Massa Ash} = \frac{\% \text{ Berat Ash}}{100} \times \text{Umpan Batu Bara Masuk SP}$$

$$= \frac{8,54}{100} \times 26.000$$

$$= 2.220,4 \text{ kg}$$

➤ **H₂O dalam Batu Bara**

H₂O dalam umpan Batu Bara = 5.275,4 kg

Reaksi Reakasi pembakaran berlangsung sempurna dimana derajat kesempurnaan reaksinya adalah 100 %.

Komponen yang bereaksi adalah C, S dan H₂.

Dimana :

Komponen	Berat Molekul (gr/mol)
C	12
CO ₂	44
H ₂	2
S	32
SO ₂	64
H ₂ O	18
O ₂	16

Sehingga :

Reaksi (1)



Jumlah C yang Bereaksi = 12.251,2 kg

$$CO_2 \text{ terbentuk} = \frac{44}{12} \times \text{Massa C yang bereaksi}$$

$$= \frac{44}{12} \times 12.251,2 \text{ kg}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$= 44.921,06 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= \frac{16}{12} \times \text{Massa C yang bereaksi} \\ &= \frac{16}{12} \times 12.251,2 \text{ kg} \\ &= 32.669,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

Reaksi (2)

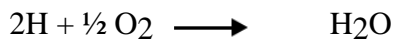


$$\text{Jumlah S yang bereaksi} = 49,4 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 \text{ terbentuk} &= \frac{64}{32} \times \text{Massa S yang bereaksi} \\ &= \frac{64}{32} \times 49,4 \text{ kg} \\ &= 98,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= \frac{16}{32} \times \text{Massa S yang bereaksi} \\ &= \frac{16}{32} \times 49,4 \text{ kg} \\ &= 49,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Reaksi (3)



$$\text{Jumlah H}_2 \text{ yang bereaksi} = 891,8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O terbentuk} &= \frac{18}{2} \times \text{Massa H}_2 \text{ yang bereaksi} \\ &= \frac{18}{2} \times 891,8 \text{ kg} \\ &= 8.026,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 0,5 \times \frac{16}{2} \times \text{Massa H}_2 \text{ yang bereaksi} \\ &= 0,5 \times \frac{16}{2} \times 891,8 \text{ kg} \\ &= 7.134,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total O}_2 \text{ yang diperlukan untuk bereaksi} & \\ &= \text{O}_2 \text{ dari reaksi (1)} + \text{O}_2 \text{ dari reaksi (2)} + \text{O}_2 \text{ dari reaksi (3)} \\ &= 32.669,86 \text{ kg} + 49,4 \text{ kg} + 7.134,4 \text{ kg} \\ &= 39.853 \text{ kg} \end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

O₂ dalam Batu Bara = 5.168,8 kg

Kebutuhan O₂ teoritis

$$\begin{aligned} &= \text{total O}_2 \text{ yang diperlukan untuk bereaksi} - \text{O}_2 \text{ dalam batu bara} \\ &= 39.853 \text{ kg} - 5.168,8 \text{ kg} \\ &= 34.684,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Udara pembakaran yang digunakan 10 % excess

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ Sesungguhnya} &= 110 \% \times \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} \\ &= 110 \% \times 34.684,8 \text{ kg} \\ &= 38.153,35 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Udara Tersier dari Cooler Masuk SP**

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara sesungguhnya} &= \frac{100}{21} \times \text{Kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya (udara tersier)} \\ &= \frac{100}{21} \times 38.153,35 \text{ kg} \\ &= 181.682,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **N₂ dari udara**

$$\begin{aligned} \text{N}_2 \text{ dari udara} &= \frac{79}{21} \times \text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} \\ &= \frac{79}{21} \times 34.684,8 \text{ kg} \\ &= 143.529,2816 \text{ kg} \end{aligned}$$

O₂ sisa pembakaran

$$\begin{aligned} &= \text{kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} - \text{kebutuhan O}_2 \text{ Teoritis} \\ &= 38.153,35 \text{ kg} - 34.684,8 \text{ kg} \\ &= 3.468,48 \text{ kg} \end{aligned}$$



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

➤ **Komposisi Gas Hasil Pembakaran SP**

Komponen	massa (kg)
CO ₂	44.921,06667
N ₂	143.529,2816
H ₂ O	8.026,2
SO ₂	98,8
O ₂	3.468,486667
Total	196.575,3483

➤ **Umpan Masuk Kiln**

Komposisi Umpan Kiln

Komponen	Massa (kg)	Massa Ash (kg)	Massa Total (kg)
SiO ₂	54570,0204	464,50768	55034,52808
Al ₂ O ₃	17324,5653	253,34764	17577,91294
Fe ₂ O ₃	9157,9446	117,23712	9275,18172
CaCO ₃ sisa	37891,16437	0	37891,16437
MgCO ₃ sisa	743,492925	0	743,492925
CaO	190971,4685	1187,02584	192158,4943
MgO	3186,39825	57,28632	3243,68457
K ₂ O	1652,2065	0	1652,2065
Na ₂ O	424,8531	0	424,8531
SO ₃	330,4413	84,81928	415,26058
Impuritas	411,3657	56,17612	467,54182
Total	316663,9209	2220,4	318884,3209

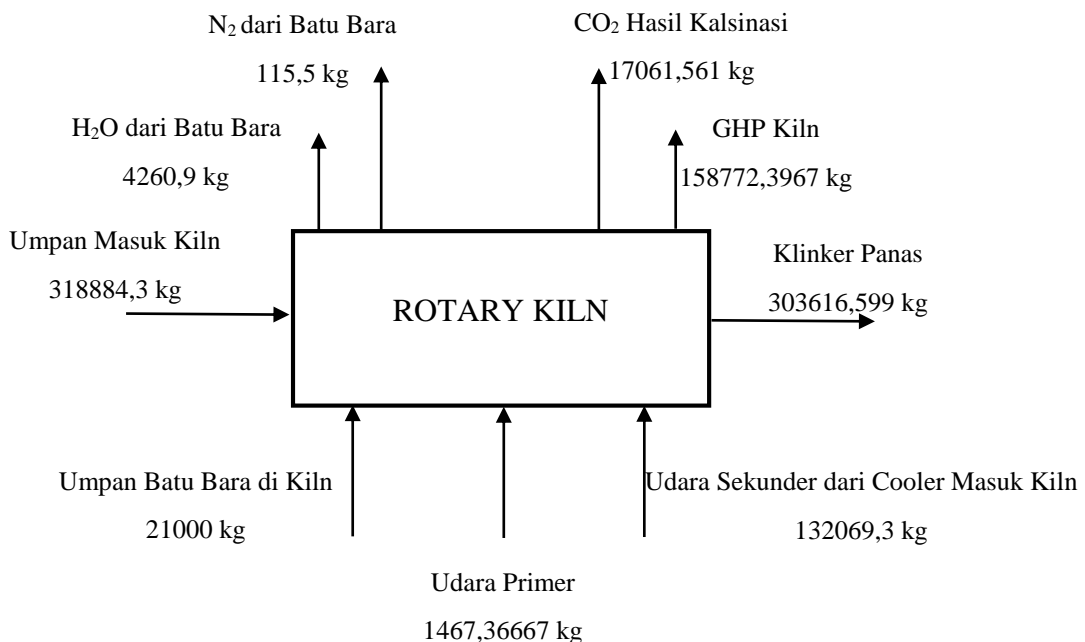


**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Maka dari perhitungan dapat disimpulkan :

Komponen	Input	Output
Umpan Masuk SP	524510	
Umpan Batu Bara	26000	
Udara tersier	181682,6349	
H ₂ O yang menguap		2045,589
CO ₂ hasil kalsinasi		153554,049
O ₂ sisa pembakaran GHP		3468,486667
Debu keluar SP		52246,4411
Umpan kiln		318884,3209
Gas hasil pembakaran		196575,3483
H ₂ O dari Batu Bara		5275,4
N ₂ dari Batu Bara		143
Total	732192,6349	732192,6349

2. Perhitungan Neraca Massa Rotary Kiln



➤ **Aliran Umpan Masuk Kiln**

Umpan masuk kiln berdasarkan perhitungan = 318884,3209 kg

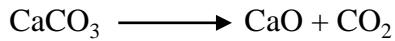


**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Di dalam Rotary Kiln akan terjadi kalsinasi lanjutan dari komponen CaCO_3 dan MgCO_3 yang belum terkalsinasi sempurna di Suspension Preheater.

Reaksi Kalsinasi dari CaCO_3 dan MgCO_3

Reaksi (1)

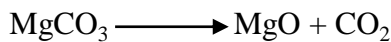


$$\text{CaCO}_3 \text{ yang sisa} = 37891,1644 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{CaO yang terbentuk} &= \frac{BM \text{ CaO}}{BM \text{ CaCO}_3} \times \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang sisa} \\ &= \frac{56}{100} \times 37891,1644 \text{ kg} \\ &= 21219,0521 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ terbentuk} &= \frac{BM \text{ CO}_2}{BM \text{ CaCO}_3} \times \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang sisa} \\ &= \frac{44}{100} \times 37891,1644 \text{ kg} \\ &= 16672,1123 \text{ kg} \end{aligned}$$

Reaksi (2)



$$\text{MgCO}_3 \text{ yang sisa} = 743,492925 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{MgO yang terbentuk} &= \frac{BM \text{ MgO}}{BM \text{ MgCO}_3} \times \text{Massa MgCO}_3 \text{ yang sisa} \\ &= \frac{40}{84} \times 743,492925 \text{ kg} \\ &= 354,04425 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ terbentuk} &= \frac{BM \text{ CO}_2}{BM \text{ MgCO}_3} \times \text{Massa MgCO}_3 \text{ yang sisa} \\ &= \frac{44}{84} \times 743,492925 \text{ kg} \\ &= 389,448675 \text{ kg} \end{aligned}$$

CO₂ Hasil Kalsinasi di Kiln

Total CO₂ Hasil Kalsinasi

$$\begin{aligned} &= \text{CO}_2 \text{ hasil kalsinasi reaksi (1)} + \text{CO}_2 \text{ hasil kalsinasi reaksi (2)} \\ &= 16672,1123 \text{ kg} + 389,448675 \text{ kg} \\ &= 17061,561 \text{ kg} \end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Total CaO Hasil Kalsinasi

$$\begin{aligned} &= \text{CaO hasil kalsinasi SP} + \text{CaO hasil kalsinasi Kiln} \\ &= 192158,4943 \text{ kg} + 21219,0521 \text{ kg} \\ &= 213377,5463 \text{ kg} \end{aligned}$$

Total MgO Hasil Kalsinasi

$$\begin{aligned} &= \text{MgO hasil kalsinasi SP} + \text{MgO hasil kalsinasi Kiln} \\ &= 3243,68457 \text{ kg} + 354,04425 \text{ kg} \\ &= 3597,72882 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Umpan Batu Bara**

Perhitungan Batu Bara dalam Rotary Kiln :

Umpan rata – rata batu bara masuk Rotary Kiln per jam operasi = 21000

Komposisi Batu Bara :

Komponen	% berat	Massa
C	47,12	9895,2
H ₂	3,43	720,3
N ₂	0,55	115,5
O ₂	19,88	4174,8
S	0,19	39,9
H ₂ O	20,29	4260,9
Ash	8,54	1793,4
Total	100	21000

➤ **H₂O dalam Batu Bara**

$$\text{H}_2\text{O dalam Batu Bara} = 4260,9 \text{ kg}$$

➤ **N₂ dalam Batu Bara**

$$\text{N}_2 \text{ dalam Batu Bara} = 115,5 \text{ kg}$$

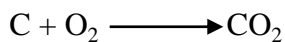
Reaksi pembakaran berlangsung sempurna, dimana derajat kesempurnaan reaksinya adalah 100 %

Komponen yang bereaksi adalah C, S, H₂. Sehingga :



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Reaksi (1)

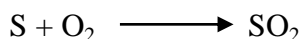


Jumlah C yang Bereaksi = 9895,2 kg

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{BM_{CO_2}}{BM_C} \times \text{Massa C yang bereaksi} \\ &= \frac{44}{12} \times 9895,2 \text{ kg} \\ &= 36282,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_2 \text{ yang diperlukan} &= \frac{BM_{O_2}}{BM_C} \times \text{Massa C yang bereaksi} \\ &= \frac{32}{12} \times 9895,2 \text{ kg} \\ &= 26387,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Reaksi (2)

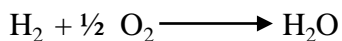


Jumlah S yang Bereaksi = 39,9 kg

$$\begin{aligned} SO_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{BM_{SO_2}}{BM_S} \times \text{Massa S yang bereaksi} \\ &= \frac{64}{32} \times 39,9 \text{ kg} \\ &= 79,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_2 \text{ yang diperlukan} &= \frac{BM_{O_2}}{BM_S} \times \text{Massa S yang bereaksi} \\ &= \frac{32}{32} \times 39,9 \text{ kg} \\ &= 39,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

Reaksi (3)



Jumlah H₂ yang Bereaksi = 720,3 kg

$$\begin{aligned} H_2O \text{ yang terbentuk} &= \frac{BM_{H_2O}}{BM_{H_2}} \times \text{Massa H}_2 \text{ yang bereaksi} \\ &= \frac{18}{2} \times 720,3 \text{ kg} \\ &= 6482,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$O_2 \text{ yang diperlukan} = \frac{1}{2} \frac{BM_{O_2}}{BM_{H_2}} \times \text{Massa H}_2 \text{ yang bereaksi}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \frac{32}{2} \times 720,3 \text{ kg} \\ &= 5762,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Total O₂ yang Diperlukan untuk Bereaksi

$$\begin{aligned} &= \text{O}_2 \text{ dari reaksi (1)} + \text{O}_2 \text{ dari reaksi (2)} + \text{O}_2 \text{ dari reaksi (3)} \\ &= 26387,2 + 39,9 + 5762,4 \\ &= 32189,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

O₂ dalam Batu Bara = 4174,8 kg

Kebutuhan O₂ teoritis

$$\begin{aligned} &= \text{total O}_2 \text{ yang diperlukan untuk bereaksi} - \text{O}_2 \text{ dalam batu bara} \\ &= 32189,5 - 3379,64174,8 \\ &= 28014,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Udara Pembakaran yang Digunakan 10% Excess

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} &= 110 \% \times \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} \\ &= 110 \% \times 28014,7 \\ &= 30816,17 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Aliran Udara Tersier**

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara seungguhnya} &= \frac{100}{21} \times \text{kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} \\ &= \frac{100}{21} \times 30816,17 \text{ kg} \\ &= 146743,6667 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **N₂ dari Udara**

$$\begin{aligned} \text{N}_2 \text{ dari Udara Tersier} &= \frac{79}{21} \times \text{Kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} \\ &= \frac{79}{21} \times 30816,17 \text{ kg} \\ &= 115927,4967 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ sisa pembakaran} &= \text{kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} - \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} \\ &= 28014,7 - 30816,17 \\ &= 2267,856667 \text{ kg} \end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

➤ **Massa Udara Primer**

Massa udara primer sebesar 10% dari kebutuhan udara sesungguhnya

$$\begin{aligned} \text{Massa udara primer} &= 10 \% \times \text{Kebutuhan udara sesungguhnya} \\ &= 10 \% \times 146743,6667 \\ &= 14674,36667 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Massa Udara Sekunder**

Massa udara sekunder (Udara dari Cooler)

$$\begin{aligned} &= \text{Kebutuhan udara sesungguhnya} - \text{Massa udara primer} \\ &= 146743,6667 - 14674,36667 \\ &= 132069,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Komposisi GHP Kiln**

Komponen	Massa
CO ₂	36282,4
N ₂	115927,4967
H ₂ O	6482,7
SO ₂	79,8
Total	158772,3967

➤ **Produk Klinker**

Komposisi klinker panas

Komponen	Massa (kg)	Massa Ash (kg)	Massa Total (kg)
SiO ₂	55034,52808	375,17928	55409,70736
Al ₂ O ₃	17577,91294	204,62694	17782,53988
Fe ₂ O ₃	9275,18172	94,69152	9369,87324
CaO	213377,5463	958,75164	214336,298
MgO	3597,72882	46,26972	3643,99854
K ₂ O	1652,2065	0	1652,2065
Na ₂ O	424,8531	0	424,8531
SO ₃	415,26058	68,50788	483,76846
Impuritas	467,54182	45,37302	512,91484
Total	301822,7599	1793,4	303616,1599

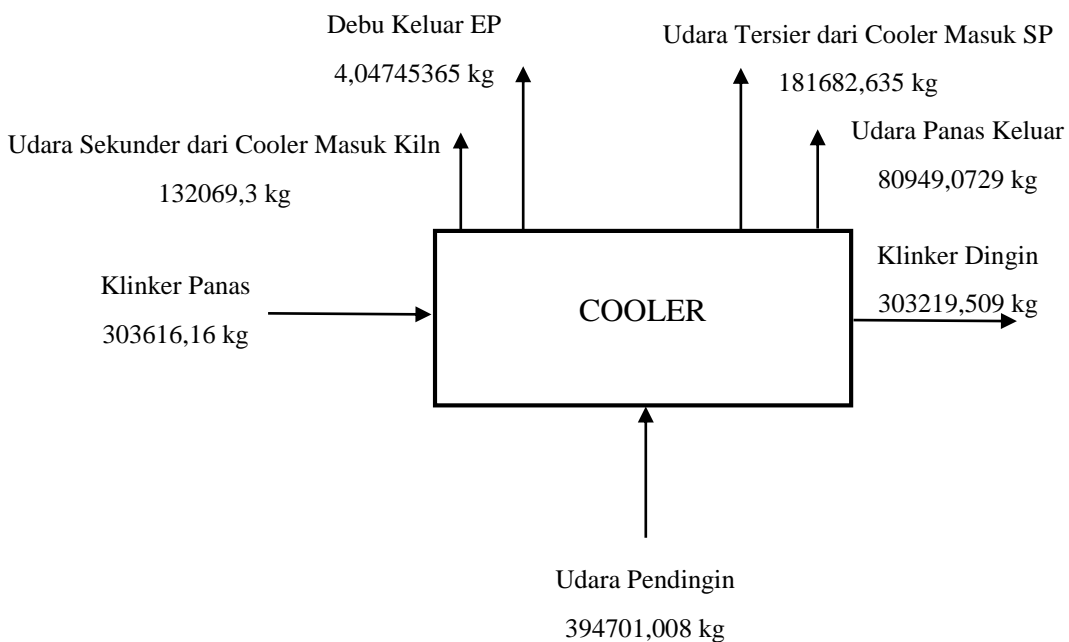


LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

Maka perhitungan dapat diketahui :

INPUT		OUTPUT	
Komponen	Massa (kg)	Komponen	Massa (kg)
Umpan masuk Kiln	318884,3209	CO ₂ hasil kalsinasi	17061,561
Umpan Batubara	21000	O ₂ sisa	2801,47
Udara Primer	14674,36667	GHP	158772,3967
Udara Sekunder	132069,3	Produk Klinker	303616,1599
		H ₂ O dalam batubara	4260,9
		N ₂ dalam batubara	115,5
Total	486627,9876	Total	486627,9876

3. Perhitungan Neraca Massa Cooler



➤ Aliran Umpan Masuk Cooler

Umpan masuk cooler berdasarkan perhitungan = 303616,1599 kg/jam

➤ Aliran Udara Pendingin

- Ratio udara masuk cooler = 1,3
- Udara masuk cooler = 394701,0079 kg



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

○ Udara panas tersier = 181682,6349 kg

○ Udara panas sekunder = 132069,3 kg

➤ **Udara Panas Keluar**

○ Udara keluar EP = Udara masuk cooler – (Udara tersier + Udara sekunder)
= 394701,0079 – (181682,6349 + 132069,3)
= 80949,07295 kg

➤ **Klinker Tersikulasi EP**

○ Debu yang ditarik fan ke EP = 1 %

○ Total debu yang ditarik fan ke EP = (Debu ditarik fan ke EP × Udara keluarEP)
= 1 % × 80949,07295
= 404,7453647 kg

○ Effisiensi EP = 99,00%

○ Klinker tersikulasi = (Efisiensi EP × Total debu fan ke EP)
= 99,00% × 404,7453647
= 400,6979111 kg

○ Debu masuk EP

○ Debu keluar EP = (Total debu fan ke EP - Klinker tersikulasi)
= 404,7453647 - 400,6979111
= 4,047453647 kg

➤ **Klinker Dingin Keluar Cooler**

○ Klinker dingin keluar cooler = Umpan masuk cooler - Debu keluar EP
= 303616,1599 - 4,047453647
= 303620,2074 kg

○ Massa klinker dingin

= (Klinker dingin keluar cooler – Klinkertersikulasi)
= 303620,2074 - 400,6979111
= 303219,5094 kg



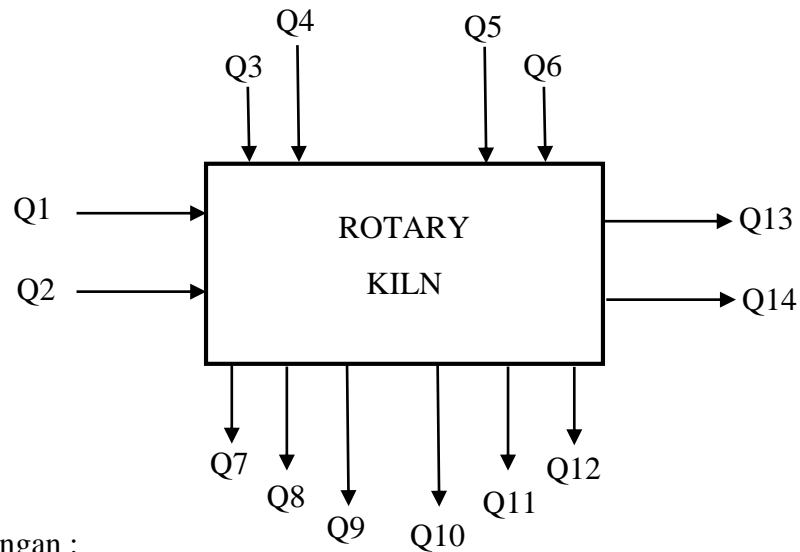
LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

Maka perhitungan dapat diketahui :

Komponen	Input	Output
Klinker Panas	303616,1599	
Udara Pendingin	394701,0079	
Udara Panas Keluar		80949,07295
Udara Tersier Dari Cooler Masuk SP		181682,6349
Udara Sekunder Dari Cooler Masuk Kiln		132069,3
Debu Keluar EP		4,047453647
Klinker Dingin		303219,5094
Total	698317,1678	698317,1678

E. Neraca Panas

1. Neraca Panas di Rotary Kiln



Keterangan :

Panas Masuk :

- Q₁ : Panas yang dibawa umpan kiln
- Q₂ : Panas dari batu bara
- Q₃ : Panas dari udara sekunder
- Q₄ : Panas yang dibawa udara primer
- Q₅ : Panas sensible batu bara



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Q₆ : Panas H₂O dalam batu bara

Panas Keluar :

Q₇ : Panas dari gas hasil pembakaran batu bara

Q₈ : Panas dari CO₂ hasil kalsinasi

Q₉ : Panas disosiasi

Q₁₀ : Panas yang dibawa H₂O dalam batu bara

Q₁₁ : Panas yang dibawa klinker panas

Q₁₂ : Panas N₂ dalam batu bara

Q₁₃ : Panas dari O₂ sisa pembakaran di kiln

Q₁₄ : Panas yang hilang

➤ **Panas Masuk**

1. Panas Yang Dibawa Umpan Kiln

Massa Umpan Kiln = 318884,3209 kg

Suhu Umpan Kiln = 875 °C

C_p = 0,22 kcal/kg°C (Perry; fig 13.01)

Q₁ = $m \cdot C_p \cdot \Delta t$

= 318884,3209 kg x 0,22 kcal/kg°C x (875°C - 25°C)

= 59631368,01 kcal

2. Panas Dari Batu Bara

Massa Batu Bara Kering = 21000 kg

Suhu Batu bara = 60 °C

C_p = 0,284 kcal/kg°C (Perry; fig 13.01)

Q₂ = $m \cdot C_p \cdot \Delta t$

= 21000 kg x 0,284 kcal/kg°C x (60°C - 25°C)

= 208740 kcal

3. Panas Yang Dibawa Udara Sekunder

Massa Udara Sekunder = 86159,49571 kg

Suhu Udara Sekunder = 890 °C

C_p = 0,245 kcal/kg°C (Welty, Appendix A-3)



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$\begin{aligned} Q_3 &= m.C_p.\Delta t \\ &= 86159,49571 \text{ kg} \times 0,245 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (890^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \\ &= 18259351,13 \text{ kcal} \end{aligned}$$

4. Panas Yang Dibawa Udara Primer

Massa Udara Primer = 9573,277320 kg

Suhu Udara Primer = 35°C

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

$$\begin{aligned} Q_4 &= m.C_p.\Delta t \\ &= 9573,277302 \text{ kg} \times 0,23 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (35^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \\ &= 22018,53779 \text{ kcal} \end{aligned}$$

5. Panas Sensibel Batu Bara

Massa Batu Bara Kering = 21000 kg

NHV Batu Bara = 4200 kcal/kg

$$\begin{aligned} Q_5 &= m.NHV \\ &= 21000 \text{ kg} \times 4200 \text{ kcal/kg} \\ &= 88200000 \text{ kcal} \end{aligned}$$

6. Panas Yang Dibawa H₂O Dalam Batu Bara

Massa H₂O Dalam Batu Bara = 2779,73 kg

Suhu Batu Bara = 60 °C

$$C_p = 0,47 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \text{ (Perry; fig 13.05)}$$

$$\begin{aligned} Q_5 &= m.C_p.\Delta t \\ &= 2779,73 \text{ Kg} \times 0,47 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (60^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \\ &= 45726,5585 \text{ kcal} \end{aligned}$$

➤ **Panas Keluar**

1. Panas dari GHP Batu Bara di Kiln

Suhu GHP di kiln = 1225 °C

Sehingga : $\Delta t = (1225 - 25) ^\circ\text{C}$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

Harga Cp untuk CO₂,N₂,SO₂,H₂O diperoleh dari :

Komponen	Massa (kg)	cP (kcal/kg C)	Δt [C]	Q (kcal)
CO ₂	23669,94667	0,254	1200	7214599,745
N ₂	75628,89068	0,259	1200	23505459,22
SO ₂	52,06	0,183	1200	11432,376
H ₂ O	4229,19	0,5	1200	2537514
Q total				33269005,34

2. Panas dari CO₂ Hasil Kalsinasi di Kiln

Massa CO₂ Hasil Kalsinasi = 17061,561 kg/jam

Suhu CO₂ Hasil Kalsinasi = 1200 °C

$$C_p = 0,25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_5 = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$= 17061,561 \text{ kg} \times 0,25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (1200^\circ\text{C})$$

$$= 5118468,3 \text{ kcal}$$

3. a. Panas Dari Reaksi Disosiasi CaCO₃ Sisa

Massa CaCO₃ Hasil Kalsinasi = 37891,16437 kg

Hf CaCO₃ = 289,2 kcal/kg^oC (Frederick M.Lea, 1966)

$$Q_a = m \cdot H_f \text{ CaCO}_3$$

$$= 37891,16437 \text{ kg} \times 289,2 \text{ kcal/kg}$$

$$= 10958124,74 \text{ kcal}$$

b. Panas Dari Reaksi Disosiasi MgCO₃

Massa CaCO₃ = 743,492925 kg

Hf CaCO₃ = 261,5 kcal/kg^oC (Frederick M.Lea, 1966)

$$Q_b = m \cdot H_f \text{ CaCO}_3$$

$$= 743,492925 \text{ kg} \times 261,5 \text{ kcal/kg}$$

$$= 194423,3999 \text{ kcal}$$

Panas Disosiasi Total (Q₉) = Q_a + Q_b

$$= (10958124,74 + 194423,3999) \text{ kcal}$$



$$= 11152548,14 \text{ kcal}$$

4. Panas Yang Dibawa H₂O Menguap Dalam Batu Bara

a. Panas Penguapan H₂O Dalam Batu Bara

Massa H₂O Dalam Batu Bara = 2779,73 kg

Suhu H₂O Menguap = 100°C

$C_p = 0,47 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ (Welty, Appendix A-3)

$$Q_a = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$= 2779,73 \text{ kg} \times 0,47 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$= 130647,31 \text{ kcal}$$

b. Panas Laten Penguapan H₂O

Massa H₂O = 2779,73 kg

$H_f = 539,1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ (Frederick M.Lea, 1966)

$$Q_b = m \cdot H_f$$

$$= 2779,73 \text{ kg} \times 539,1 \text{ kcal/kg}$$

$$= 1498552,443 \text{ kcal}$$

Sehingga panas yang ikut H₂O menuap (Q_{10}) = $Q_a + Q_b$

$$= (130647,31 + 1498552,443) \text{ kcal}$$

$$= 1629199,753 \text{ kcal}$$

5. Panas Yang Dibawa Klinker Panas Keluar

Massa Klinker Panas Keluar = 303616,1599 kg

Suhu Klinker Panas = 1425 °C

$C_p = 0,25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ (Perry; Fig 13.01)

$$Q_{11} = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$= 303616,1599 \text{ kg} \times 0,25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (1425^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$= 106265656 \text{ kcal}$$

6. Panas Yang Dibawa N₂ dari Batu Bara

N₂ dari Batu Bara = 115,5 kg

Suhu N₂ dari Batu Bara = 1225 °C

$C_p = 0,26 \text{ kcal /kg}^\circ\text{C}$ (Welty, Appendix A-3)



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

$$Q_{12} = m \cdot Cp \cdot \Delta t$$
$$= 115,5 \text{ kg} \times 0,26 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times (1225 - 25) ^\circ\text{C}$$
$$= 36036 \text{ kcal}$$

7. Panas Dari O₂ Sisa Pembakaran Di Kiln

Massa O₂ sisa pembakaran = 2801,47 kg

Suhu O₂ sisa pembakaran = 1225 °C

$$Cp = 0,227 \text{ kcal/kg}^0\text{C} \text{ (Welty, Appendix A-3)}$$

$$Q_{13} = m \cdot Cp \cdot \Delta t$$
$$= 2801,47 \text{ kg} \times 0,227 \text{ kcal/kg}^0\text{C} \times (1225 - 25) ^0\text{C}$$
$$= 763120,428 \text{ kcal}$$

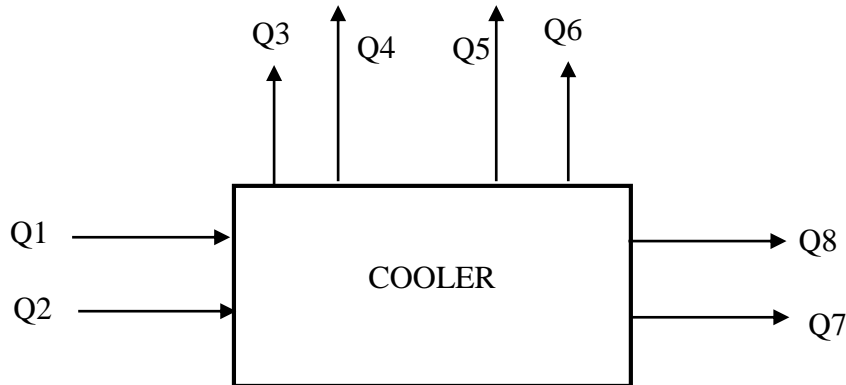
Bila ditabelkan maka akan menjadi :

Komponen	Input (kcal)	Output (kcal)	Kehilangan (kcal)
Panas yg dibawa umpan kiln (Q1)	59631368,01		
Panas dari batubara (Q2)	208740		
Panas dari udara sekunder (Q3)	18259351,13		
Panas dari udara primer (Q4)	22018,53779		
Panas sensibel batubara (Q5)	88200000		
Panas H ₂ O dalam batubara (Q6)	45726,5585		
Panas dari GHP batubara (Q7)		33269005,34	
Panas dari CO ₂ hasil kalsinasi (Q8)		5118468,3	
Panas disosiasi (Q9)		11152548,1371	
Panas yg dibawa H ₂ O dalam batubara (Q10)		1629199,753	
Panas yg dibawa klinker panas (Q11)		106265656	
Panas N ₂ dalam batubara (Q12)		36036	
Panas dari sisa O ₂ dalam pembakaran di kiln (Q13)		763120,428	
Panas yg hilang (Q14)			8133170,305
	166367204,2	158234033,9	8133170,305
Total	166367204,2	166367204,2	

$$\text{Efisiensi Rotary Kiln} = \frac{\text{Panas yang termanfaatkan}}{\text{Panas Input}} \times 100\%$$
$$= \frac{158234033,9}{166367204,2} \times 100\%$$
$$= 95,1113\%$$



2. Neraca Panas di Cooler



Keterangan

Panas Masuk :

Q₁ : Panas yang dibawa klinker panas

Q₂ : Panas dari cooling air

Panas Keluar :

Q₃ : Panas udara sekunder

Q₄ : Panas udara tersier

Q₅ : Panas debu ke EP

Q₆ : Panas udara buangan

Q₇ : Panas dari klinker yang keluar dari cooler

Q₈ : Panas yang hilang

➤ Panas Masuk

1. Panas yang dibawa klinker panas/umpan cooler Q₁ = 106265656 kcal

2. Panas yang dibawa udara pendingin

Massa udara pendingin = 394701,009 kg

Suhu udara pendingin = 33 °C

Suhu referensi = 25 °C

C_p = 0,235 (Welty, Appendix A-3)



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \cdot C_p \cdot \Delta t \\ &= 394701,009 \times 0,235 \times 8 \\ &= 742037,8948 \text{ kcal} \end{aligned}$$

➤ **Panas Keluar**

1. Panas keluar dari udara sekunder masuk kiln

$$\begin{aligned} \text{Massa udara sekunder} &= 132069,3 \text{ kg} \\ \text{Suhu udara sekunder} &= 921 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Suhu referensi} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_p &= 0,2823 \text{ (Perry; Fig 13.03)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_3 &= m \cdot C_p \cdot \Delta t \\ &= 132069,3 \times 0,2823 \times 896 \\ &= 33405714,4 \text{ kcal} \end{aligned}$$

2. Panas yang dibawa udara tersier masuk SP

$$\begin{aligned} \text{Massa udara tersier} &= 181682,6349 \text{ kg} \\ \text{Suhu udara tersier} &= 921 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Suhu referensi} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_p &= 0,2823 \text{ (Perry; Fig 13.03)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= m \cdot C_p \cdot \Delta t \\ &= 181682,6349 \times 0,2823 \times 896 \\ &= 45954951,02 \text{ kcal} \end{aligned}$$

3. Panas yang dibawa debu keluar cooler

$$\begin{aligned} \text{Massa debu keluar cooler} &= 404,7453 \text{ kg} \\ \text{Suhu debu keluar cooler} &= 222 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Suhu referensi} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_p &= 0,17 \text{ (Perry; Fig 13.01)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_5 &= m \cdot C_p \cdot \Delta t \\ &= 404,7453 \times 0,17 \times 197 \\ &= 13554,922 \text{ kcal} \end{aligned}$$



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III**

4. Panas udara panas dari cooler masuk Raw Mill

$$\text{Massa udara panas dari cooler} = 80949,07295 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu udara panas} = 341 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0,2524 \text{ (Welty, Appendix A-3)}$$

$$Q_6 = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$= 26,52650468 \times 0,2524 \times 316$$

$$= 80949,07295 \text{ kcal}$$

5. Panas yang dibawa klinker dingin

$$\text{Massa klinker dingin/produk cooler} = 303620,2074 \text{ kg}$$

$$\text{Suhu klinker dingin keluar} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0,155 \text{ (Perry; Fig 13.01)}$$

$$Q_7 = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$= 303620,2074 \times 0,155 \times 55$$

$$= 2588362,268 \text{ kcal}$$

6. Panas yang hilang

$$Q_8 = \text{input} - \text{output}$$

$$= (Q_1 + Q_2) - (Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7)$$

$$= 18588742,71 \text{ kkal}$$



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.
UNIT OPERASI RKC III

Bila ditabelkan maka akan menjadi :

Komponen	Input (kcal)	Output (kcal)
panas yang dibawa klinker panas (Q1)	106265656	
panas dari cooling air (Q2)	742037,8948	
panas udara sekunder (Q3)		33405714,4
panas udara tersier (Q4)		45954951,02
panas udara buang (Q5)		13554,92227
panas debu ke EP (Q6)		6456368,54
panas dari klinker yang keluar dari cooler (Q7)		2588362,268
panas yang hilang (Q8)		18588742,71
Total	107007693,9	107007693,9

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi Cooler} &= \frac{\text{Panas yang termanfaatkan}}{\text{Panas Input}} \times 100\% \\ &= \frac{88418951,15}{107007693,9} \times 100\% \\ &= 82,6285\%\end{aligned}$$