

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 :

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

Kerugian :

- a. Tanur putar yang digunakan ukurannya lebih panjang dibandingkan tanur putar pada proses kering.
- b. Pemakaian bahan bakar lebih banyak dibandingkan proses lain karena kebutuhan panas pembakaran tinggi 1.500 - 1.900 kcal untuk setiap

kilogram teraknya.

- c. Memerlukan air proses untuk membentuk material menjadi seperti lumpur.

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 bubuk 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 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.

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.1.1. 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.

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 pengeboran. 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
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 diangkut 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

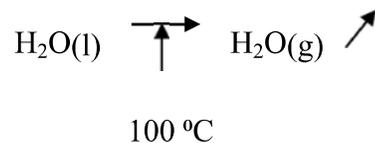
Bahan-bahan yang sudah dikumpulkan seperti bahan baku dan bahan

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 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

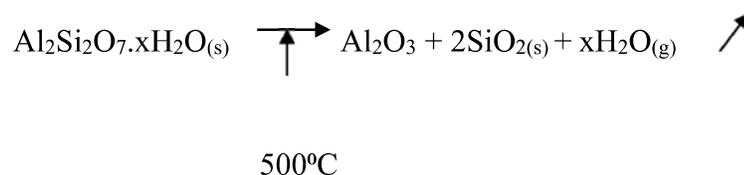
- 1) Proses pengurangan kadar air Terjadi pada suhu 100°C Reaksi :



- 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.

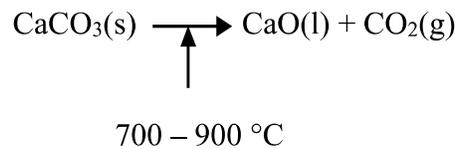
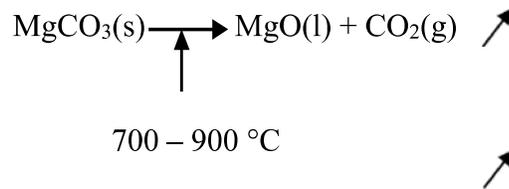
Reaksi :



- 3) Terjadi proses kalsinasi

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

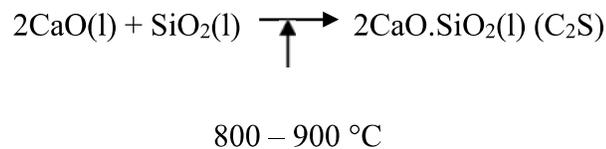
Reaksi :



4) Reaksi pembentukan senyawa semen C_2S

Pada suhu 800 – 900 °C terjadi pembentukan *calcium silikat*, sebenarnya sebelum suhu 800 °C sebagian kecil sudah terjadi pembentukan garam *calcium silikat* terutama C_2S .

Reaksi :



5) Reaksi pembentukan senyawa semen C_3A dan C_4AF

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

Reaksi :



1095 – 1205 °C

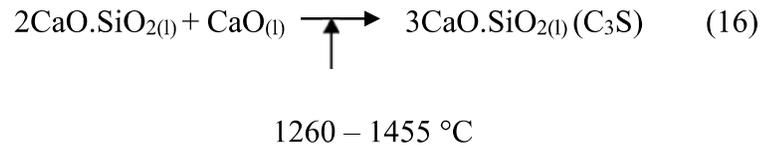


1095 – 1205 °C

6) Reaksi pembentukan senyawa semen C_3S

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

Reaksi :



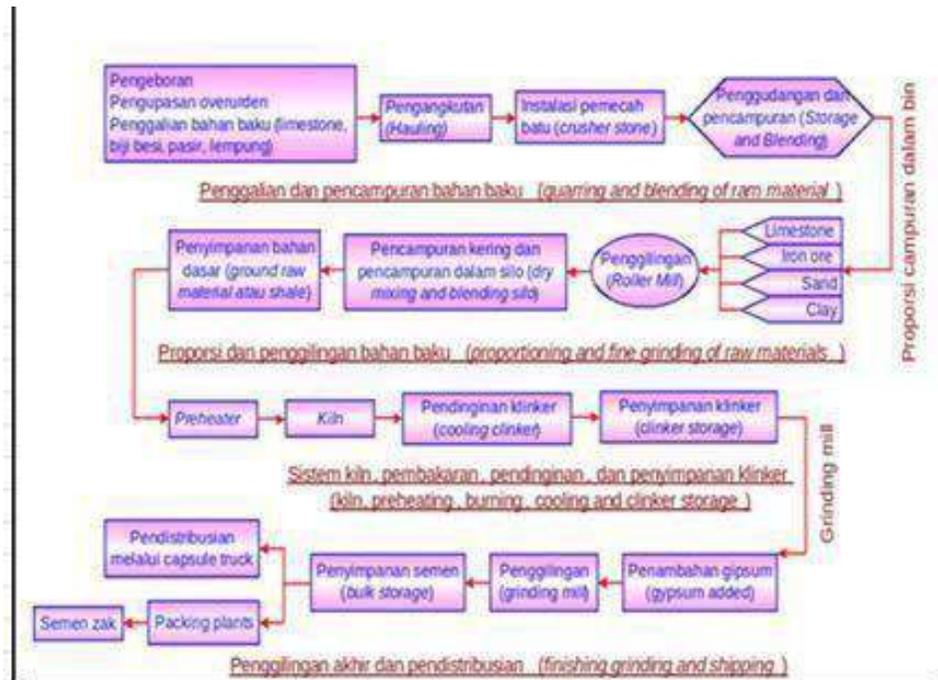
5. Penggilingan Semen

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

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.1.2. 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 *hidration 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*.

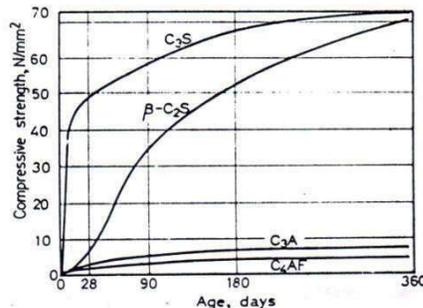
e. Pengikatan (*setting*) dan Pengerasan (*hardening*)

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 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.

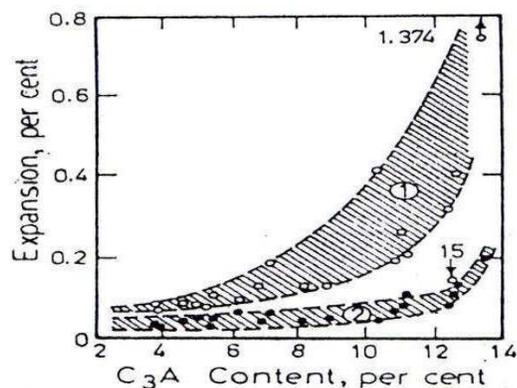
i. Soundness

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 berikut.



Gambar 5. Grafik Hubungan Reaksi C_3A dengan Sulfat terhadap Efek Ekspansi

Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa daerah kurva 1 menunjukkan pengaruh dari reaksi C_3A 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 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*.

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.

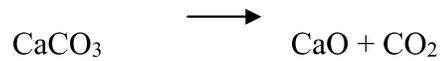
Pada 100 °C : Terjadi penguapan air bebas

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

Pada 500 °C : Perubahan struktur mineral silika.



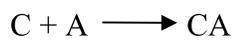
Pada 500°C – 900°C : Terjadi kalsinasi atau peruraian dari MgCO₃
dan CaCO₃



Pada 800 °C : Terjadi reaksi kalsinasi



Pembentukan CA



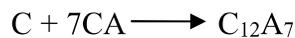
Pembentukan C₂S



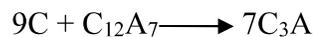
Pembentukan C₂F



: Awal pembentukan C₁₂A₇



Pada 1090°C – 1200°C : C₃A terbentuk dan C₂S pada keadaan maksimal



C₄AF terbentuk



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

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



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

Lambat

Kandungan C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF dalam semen dapat diperkirakan lewat perhitungan rumus Boque yaitu:

$$C_3S = 4,071 \text{ CaO} - 7,6\text{SiO}_2 - 6,718 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,43 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_2S = 8,062 \text{ SiO}_2 + 5,068 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1,078 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 3,071 \text{ CaO}$$

$$C_3A = 2,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,692 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_4AF = 3,043 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

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 C_3A membentuk ettringite yang akan melapisi C_3A dan menahan reaksi C_3A , 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 C_3A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama. Walau gypsum dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan gypsum dibatasi (berdasarkan jumlah SO_3). Karena bila kelebihan SO_3 di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO_3 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 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* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). 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

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.1.3. Bahan Baku Semen

1. Bahan Baku

d. Batu Kapur (CaCO_3 / *Calcium Carbonat*)

Dalam keadaan murni, batu kapur berupa bahan CaCO_3 yang mengandung calcite 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%
T H_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)

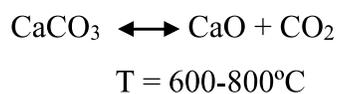
CaO (%)	SiO 2 (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O 3 (%)	MgO (%)	Alkali (%)	SO 3 (%)	Cl (%)	H ₂ O (%)
40 - 55	1 - 15	1 - 6	0,2 - 5	0,2 - 4	0,2 - 4	1 - 3	0,2 - 1	7 - 10

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

- a. Fase : Padat
- b. Warna : Putih
- c. Kadar air : 7 – 10 % H₂O
- 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 :



e. Tanah Liat ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot xH_2O$)

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
- e. Titik Leleh : 1999 - 2032°C
- f. *Spesific 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 :



$$T = 500 \text{ } ^\circ \text{C}$$

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 (SiO_2)

Pada umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar SiO_2 semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar SiO_2 , 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 $SiO_2 \pm 90\%$, dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar $\pm 9\%$.

Tabel 5. Komposisi Pasir Silika Pada Pembuatan Semen Portland
(Perray,1979)

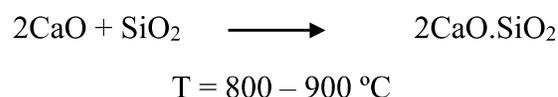
CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Alkali (%)	LOI (%)
1 – 3	85 - 95	2 – 5	1 – 3	1 - 3	1 - 2	2 – 5

Sifat fisika pasir silika sebagai berikut:

- a. Fase : Padat
- b. Warna : Coklat kemerahan
- c. Kadar air : 6% H₂O
- d. *Bulk density* : 1,45 ton/m³
- e. *Spesific gravity* : 2,37 gr/cm³
- f. Silika *ratio* : 5,29
- g. 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. Copper 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 *Copper Slag* Pada Pembuatan Semen Portland

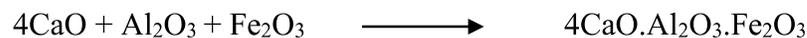
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	LOI (%)
5 - 10	2 - 5	85 - 95	0 - 5

Sifat fisiknya, antara lain :

- a. Fase : Padat
- b. Warna : Hitam
- c. *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 :



$$T = 1095 - 1205 \text{ }^\circ\text{C}$$

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:

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

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

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 :



$$T < 99 \text{ }^\circ\text{C}$$

b. *Trass (2CaO.SiO₂)*

Trass adalah bahan hasil letusan gunung berapi yang berbutir halus dan banyak mengandung oksida silika amorf (SiO₂) 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.

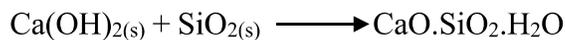
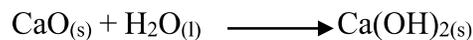
Sifat Fisika :

- a. Fasa : Padat
- b. Warna : Putih keabu-abuan
- c. Bentuk : Butiran
- d. Ukuran Material : 0 – 30 mm
- e. Specific Gravity : 2,68 gr/cm³

Sifat Kimia :

Trass dimana kandungan utamanya silika aktif SiO₂ maka pada saat ditambahkan air akan bereaksi dengan CaOH₂ membentuk CSH dimana senyawa ini memberikan kontribusi terhadap kuat tekan. CaOH₂ ini didapat dari reaksi CaO free dalam terak dengan H₂O.

Reaksi :



c. Batu Kapur dan Dolomit

Digunakan untuk menambah kuat tekan. Batu kapur dan dolomit merupakan bahan pencampur pada pembuatan semen OPC maupun PPC yang didapatkan dari tambang Semen Indonesia.

d. Fly Ash

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

e. Dust

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

f. GBFS (Granular Blast Furnace Slag)

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

II.1.4. 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.1.5. Jenis Semen Yang Diproduksi Macam-macam Semen yang Diproduksi

1. Ordinary Portland Cement (OPC Tipe I)



Semen Hidrolis yang dibuat dengan menggiling clinker, gypsum, dan batu kapur. Digunakan untuk konstruksi dengan kekuatan tekan tinggi. Aplikasi semen tersebut untuk bangunan bertingkat, jembatan, jalan raya, dan lapangan udara.

2. Moderate sulfat resistance (Tipe II)



Semen Portland Tipe II digunakan untuk daerah yang *sulfat atau panas hidrasi sedang*. Tipe II ini mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah dibanding semen Portland Tipe I. Untuk mengurangi penggunaan air selama pengeringan agar tidak terjadi *Srinkege* (penyusutan) yang besar perlu ditambahkan sifat moderat “*Heat of hydration*” dan sifat ini dimiliki Semen Portland Tipe II. Semen Portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga, landasan berat, dan daerah dengan hidrasi rendah

3. High Early Strength (Tipe III)



Semen Portland Tipe III adalah jenis yang cepat mengeras, digunakan untuk kondisi dimana beton mengeras lebih cepat. Semen tipe III ini dibuat dengan kehalusan yang tinggi blaine biasa mencapai $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ dengan nilai C3S nya juga tinggi. Beton yang dibuat menggunakan semen Portland tipe III ini dalam waktu 24 jam dapat mencapai kekuatan yang sama dengan kekuatan yang dicapai semen Portland tipe I pada umur 3 hari, dan dalam umur 7 hari semen Portland tipe III ini kekuatannya menyamai beton dengan menggunakan semen portlan tipe I pada umur 28 hari

4. Low Heat Of Hydration (Tipe IV)

Semen Portland tipe IV digunakan pada daerah dengan *panas hidrasi rendah*. Penggunaan semen ini banyak ditujukan untuk struktur Concrete

(beton) yang massive dan dengan volume yang besar, seperti bendungan, dam, dan lapangan udara. Kenaikan temperatur dari panas yang dihasilkan selama periode pengerasan diusahakan seminimal mungkin sehingga tidak terjadi pengembangan volume beton yang bisa menimbulkan cracking (retak). Pengembangan kuat tekan (strength) dari semen tipe IV sangat lambat jika dibanding semen portland tipe I.

5. Tipe V (Sulfat Resistance Cement)



Semen Portland digunakan pada daerah dengan kondisi *sulfat yang tinggi*. Semen jenis ini cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi seperti air laut, daerah tambang, air payau, dan lain lain.

6. Pozzolan Portland Cement (PPC)



Semen Hidrolis yang dibuat dengan menggiling clinker, gypsum, dan pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung silika atau alumina. Jenis semen ini tahan terhadap asam dan garam. Aplikasi semen tersebut untuk bangunan yang dibangun dekat laut.

7. Portland Composite Cement (PCC)



Portland Composite Cement adalah semen hidrolis yang terbuat dari penggilingan terak (dinker) semen portland dengan gipsum dan bahan pozzolan dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Semen PCC ini dapat digunakan untuk berbagai macam konstruksi umum pada berbagai macam mutu beton pada bangunan perumahan, bangunan bertingkat, jembatan, jalan raya, landasan pacu pesawat udara, bendungan, bangunan irigasi, pembuatan acian dan bahan bangunan dan lain-lain.

II.1.6. Komposisi Semen

1. *Tricalcium silicate (C₃S)*

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

C₃S mempunyai sifat :

- a. Mempercepat pengerasan semen.
- b. Mempengaruhi pengikatan kekuatan awal dan kekuatan akhir yang tinggi.
- c. Memberikan kekuatan penyokong untuk waktu yang lama, terutama memberikan kekuatan awal sebelum 28 hari.
- d. 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*. Ada beberapa modifikasi kristal C₂S yaitu – S, – , dan – . Bentuk yang umum dijumpai dalam semen portland adalah -C₂S.

C₂S mempunyai sifat:

- a. Proses hidrasinya berlangsung lambat.
- b. Menambah kekuatan setelah 28 hari.
- 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%.

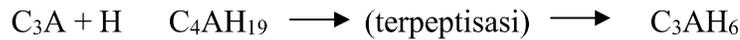
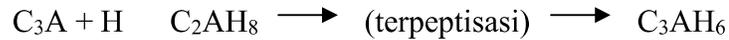
3. *Tricalcium aluminat*

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 C_3A tanpa adanya gypsum di dalam semen

a. Jika tidak terdapat $Ca(OH)_2$



b. Jika terdapat $Ca(OH)_2$

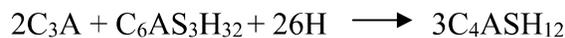


Pada saat awal pencampuran C_3A dengan air kinetika hidrasinya berlangsung lambat karena terbentuknya *hexagonal hydrate* (C_2AH_8 dan C_4AH_{19}) di permukaan C_3A yang berfungsi sebagai lapisan pelindung. Ketika terjadi konversi senyawa menjadi C_3AH_6 lapisan tersebut menjadi rusak dan proses hidrasi menjadi sangat cepat.

B. Hidrasi C_3A jika terdapat gypsum



Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi dengan laju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan kadar C_3A rendah justru akan mempercepat setting. Apabila terdapat ketidaksetimbangan antar reaktifitas C_3A dengan laju pelarutan gypsum 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)*

C₄AF terbentuk pada suhu 900°C mempunyai sifat :

- a. Kurang berpengaruh terhadap kekuatan semen
 - b. Cepat bereaksi dengan air dan cepat pula mengeras
 - c. Memberikan warna pada semen
 - d. Reaksi hidrasi C₄AF hampir serupa dengan hidrasi C₃A yaitu tergantung pada atau tidaknya gypsum dalam campuran semen.
- A. Hidrasi C₄AF tanpa adanya gypsum di dalam semen



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

- B. Hidrasi C₄AF 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 C₄AF. Kandungan C₄AF pada semen Portland bervariasi antara 5% - 10% dan rata-rata 8%.

II.2. Tugas Khusus

II.2.1. Judul Tugas Khusus

Menghitung Neraca Massa Alat Preheater, Rotary Kiln, dan Cooler PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban III

II.2.2. Latar Belakang Tugas Khusus

Kegiatan praktik kerja lapang dilakukan selama satu bulan bagi mahasiswa S1. Sebelum melakukan praktik kerja, peserta dalam suatu periode dibagi dalam kelompok kecil untuk memudahkan dalam pelaksanaan praktik kerja dengan membuat jadwal praktik kerja yang dikeluarkan oleh bagian diklat atau dari pembimbing praktik kerja. Selama melakukan praktik kerja di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban, peserta praktik kerja harus melakukan kegiatan-kegiatan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Kegiatan praktik kerja lapang sudah terjadwal dengan pemaparan unit – unit kerja di Pabrik Tuban oleh narasumber untuk mengetahui keseluruhan proses dan cara kerja dari setiap peralatan.

Penulisan laporan praktik kerja bersumber dari literatur-literatur yang banyak terdapat di perpustakaan Universitas Pembangunan Nasional Veteran “Jawa Timur”. Selain itu untuk penyusunan tugas khusus diperoleh data dari pembimbing lapangan PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban III. Adapun tugas khususnya yaitu, perhitungan neraca massa alat preheater, rotary kiln, dan cooler PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban III. Tugas khusus tersebut bertujuan untuk mengetahui kinerja proses dari unit kerja produksi dengan menghitung neraca massa alat produksi, sehingga didapatkan manfaat dapat mengetahui aliran massa pada alat preheater, rotary kiln, dan cooler.

II.2.3. Uraian Perhitungan Tugas Khusus
Preheater

Preheater : Berfungsi untuk proses pemanasan awal sebelum masuk kedalam alat Rotary Kiln

Basis : Umpan Masuk 522,46 Ton/Jam

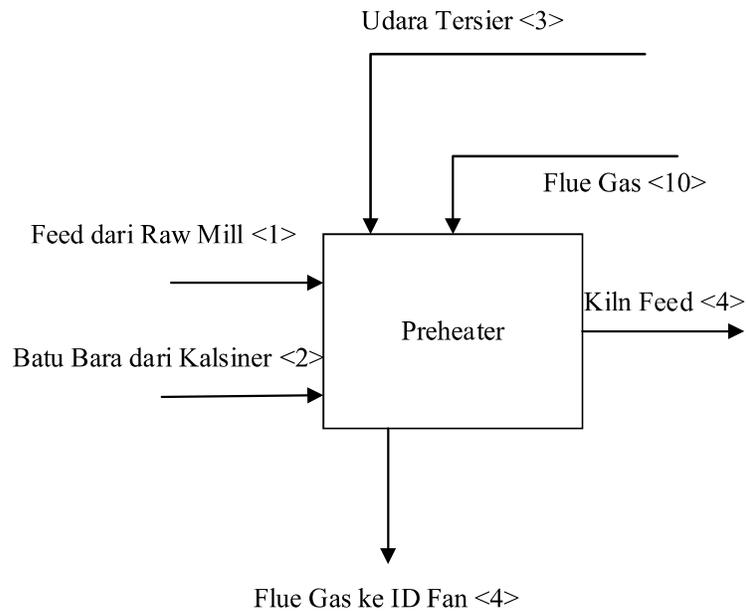


Diagram Alir Neraca Massa Preheater

Komposisi Umpan Masuk Preheater

No.	Komponen	Input		
		% massa	Massa (Ton)	Massa (Kg)
1	SiO ₂	13,12	68,55	68546,75
2	Al ₂ O ₃	3,66	19,12	19122,04
3	Fe ₂ O ₃	2,25	11,76	11755,35
4	CaCO ₃	77,77	406,31	406305,95
5	MgCO ₃	2,44	12,73	12727,13
6	SO ₃	0,08	0,42	417,97
7	Na	0,1	0,52	522,46
8	K	0,05	0,26	261,23
9	Cl	0	0,00	0,00
10	H ₂ O	0,47	2,46	2455,56
11	Impurities	0,07	0,37	365,72
Total		100,00	522,48	522480

Umpan Kering :

H₂O yang dilepas = 2,46 Ton
 = 2455,562 Kg

Umpan Kering = 520,02 Ton
 = 520024,59 Kg

Asumsi Debu keluar = 9,985 % dari Umpan Kering
 = 51924,0874 Kg

Umpan Masuk Kalsiner = 468101 Kg
 = 468,10 ton

Massa Komponen Masuk Kalsiner

No.	Komponen	Input		
		% massa	Massa (Ton)	Massa (Kg)
1	SiO ₂	13,18	61,69	61692,08
2	Al ₂ O ₃	3,68	17,21	17209,83
3	Fe ₂ O ₃	2,26	10,58	10579,82
4	CaCO ₃	78,13	365,68	365675,35
5	MgCO ₃	2,45	11,45	11454,41
6	SO ₃	0,08	0,38	376,17
7	Na	0,10	0,47	470,21
8	K	0,05	0,24	235,11
9	Cl	0	0	0
10	Impurities	0,07	0,33	329,15
Total		100,00	468,02	468022

Derajat Kalsinasi = 95% data dari lab

Reaksi 1

CaCO₃ yang terkalsinasi = 347449,49 kg mol CaCO₃ = 3474.49 Kmol
347,45 Ton

CaO yang terbentuk = 194571,71 Kg
194,57 Ton

CO₂ yang terbentuk = 152877,77 Kg
152,88 Ton

CaCO₃ yang tersisa = 18286,82 kg
18,29 Ton

Reaksi 2

MgCO₃ yang terkalsinasi = 10883,51 kg mol MgCO₃ = 129.57 Kmol
10,88 ton

MgO yang terbentuk = 5182,62 Kg
5,18 Ton

CO₂ yang terbentuk = 5700,89 Kg

5,70 Ton
MgCO₃ yang tersisa = 572,82 Kg
0,573 Ton
CO₂ Hasil Kalsinasi = 158578,66 Kg
158,579 Ton

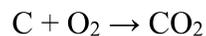
Input Batubara = 24,20 Ton/jam
= 24200,00 Kg/jam

Komposisi Batubara yang masuk

Komponen	% berat	Massa (Ton)	Massa (Kg)
C	47,62	11,52	11524,04
H ₂	5,93	1,44	1435,06
N ₂	0,86	0,21	208,12
O ₂	25,96	6,28	6282,32
S	0,13	0,03	31,46
H ₂ O	14,8	3,58	3581,60
Ash	4,7	1,14	1137,40
Total	100	24,20	24200,00

Asumsi : pembakaran berlangsung secara sempurna, dimana derajat kesempurnaan reaksinya adalah 100%

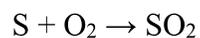
Reaksi 1



CO₂ terbentuk = 42254,81 Kg Mol CO₂ yang terbentuk = 960,34 Kmol
= 42,25 Ton

O₂ yang diperlukan = 30730,77 Kg Mol O₂ yang bereaksi = 960,34 Kmol
= 30,73 Ton

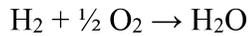
Reaksi 2



SO₂ yang terbentuk = 62,92 Kg Mol SO₂ yang terbentuk = 0,98 Kmol
= 0,063 Ton

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 31,46 \text{ Kg} & \text{Mol O}_2 \text{ yang bereaksi} &= 0,98 \text{ Kmol} \\ &= 0,031 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Reaksi 3



$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O yang terbentuk} &= 12915,54 \text{ Kg} & \text{Mol H}_2\text{O yang terbentuk} &= 717,53 \text{ Kmol} \\ &= 12,92 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 11480,48 \text{ Kg} & \text{Mol O}_2 \text{ yang bereaksi} &= 358,77 \text{ Kmol} \\ &= 11,48 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 42,24 \text{ Ton} \\ &= 42242,71 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Komposisi O}_2 \text{ dalam Batubara} &= 6,28 \text{ Ton} \\ &= 6282,32 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} &= 35,96 \text{ Ton} \\ &= 35960,39 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Udara pembakaran yang digunakan 3,09% excess

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ yang sesungguhnya} &= 37,07 \text{ Ton} \\ &= 37071,57 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Udara tersier} &= 176,53 \text{ Ton} \\ &= 176531,28 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2 \text{ didalam udara} &= 139,46 \text{ Ton} \\ &= 139459,71 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ sisa pembakaran} &= 1,11 \text{ Ton} \\ &= 1111,18 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Komposisi gas hasil pembakaran

Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
CO ₂	42,25	42254,81
N ₂	139,46	139459,71
H ₂ O	12,92	12915,54
SO ₂	0,06	62,92
Total	194,69	194692,99

Komposisi Flue gas dari kiln

Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
CO ₂	31,57	31568,93
N ₂	78,92	78923,12
H ₂ O	9,07	9066,61
SO ₂	0,03	34,58
O ₂	1,19	1185,80
Dust	1,08	1081,67
Total	119,59	121860,71

Total CO₂ di flue gas = 232,40 ton
 232402,41 kg

Total N₂ di flue gas = 218,59 ton
 218590,95 kg

Total H₂O di flue gas = 28,02 ton
 28019,31 kg

Total SO₂ di flue gas = 0,10 ton
 97,50 kg

Total O₂ di flue gas = 2,30 ton
 2296,98 kg

Total Dust di flue gas = 53,01 ton
 53006,13 kg

Komposisi flue gas

Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
CO ₂	232,40	232402,41
N ₂	218,59	218590,95
H ₂ O	28,02	28019,31
SO ₂	0,10	97,50
O ₂	2,30	2296,98
Dust	53,01	53006,13
Total	479,11	479110,17

Komposisi Output Preheater

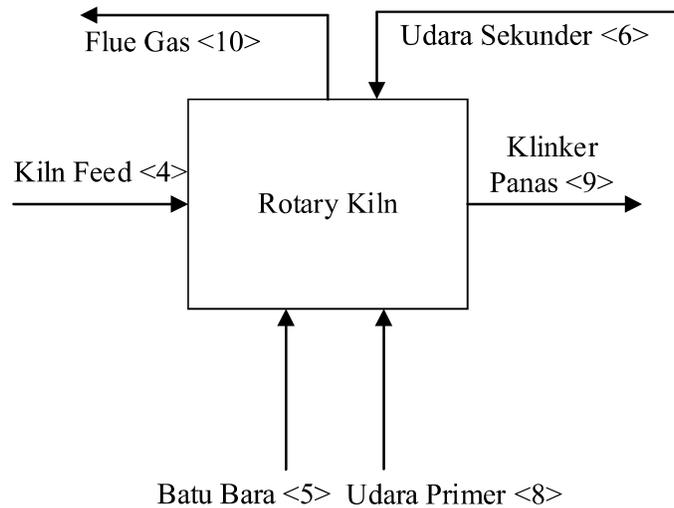
Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
SiO ₂	61,70	61702,36
Al ₂ O ₃	17,21	17212,70
Fe ₂ O ₃	10,58	10581,58
CaCO ₃ sisa	18,29	18286,82
MgCO ₃ sisa	0,57	572,82
CaO	194,57	194571,71
MgO	5,18	5182,62
SO ₃	0,38	376,23
Na	0,47	470,29
K	0,24	235,15
Cl	0,00	0,00
Imputities	0,33	329,20
Ash	1,14	1137,40
Total	310,66	310658,88

Neraca Massa Preheater

Input			Output		
Dari Blending Silo <1>			Kiln Feed <4>		
Komponen	xmass	mass (kg)	Komponen	xmass	Massa (Kg)
SiO ₂	0,131	68546,75	SiO ₂	0,20	61702,36
Al ₂ O ₃	0,037	19122,04	Al ₂ O ₃	0,06	17212,70
Fe ₂ O ₃	0,025	11755,35	Fe ₂ O ₃	0,03	10581,58
CaCO ₃	0,778	406305,95	CaCO ₃ sisa	0,06	18286,82
MgCO ₃	0,024	12727,13	MgCO ₃ sisa	0,00	572,82
SO ₃	0,0008	417,97	CaO	0,63	194571,71
Na	0,0010	522,46	MgO	0,02	5182,62
K	0,0005	261,23	SO ₃	0,00	376,23
Cl	0	0,00	Na	0,00	470,29
H ₂ O	0,005	2455,56	K	0,00	235,15
Impuritis	0,0007	365,72	Cl	0,00	0,00
Total	1,00	522480,16	Impurities	0,00	329,20
Batubara Kalsiner <2>			Ash	0,00	1137,40
C	0,4762	11524,04	Total	1,00	310658,88
H ₂	0,0593	1435,06	Flue Gas <5>		
N ₂	0,0086	208,12	CO ₂	0,43	232402,41
O ₂	0,2596	6282,32	N ₂	0,41	218590,95
S	0,0013	31,46	H ₂ O	0,05	28019,31
H ₂ O	0,148	3581,60	SO ₂	0,00	97,50
Ash	0,047	1137,40	O ₂	0,00	2296,98
Total	1	24200,00	Dust	0,10	53006,13
Udara Tersier <3>			Total	0,90	534413,27
N ₂	0,79	139459,71			
O ₂	0,21	37071,57			
Total	1	176531,28			

Flue Gas dari Kiln <10>				
CO2	0,26	31568,93		
N2	0,65	78923,12		
H2O	0,07	9066,61		
SO2	0,00	34,58		
O2	0,01	1185,80		
Dust	0,01	1081,67		
Total	1,00	121860,71		
Total		845072,16	Total	845072,16

Rotary Kiln



Rotary kiln :

Berfungsi untuk proses pembakaran kiln feed, terjadinya kalsinasi sebesar 100% dan terjadi klinkerisasi

Komposisi Kiln feed

No.	Komponen	Input		
		% massa	Massa (Ton)	Massa (Kg)
1	SiO ₂	19,86%	61,70	61702,36
2	Al ₂ O ₃	5,54%	17,21	17212,70
3	Fe ₂ O ₃	3,41%	10,58	10581,58
4	CaCO ₃ sisa	5,89%	18,29	18286,82
5	MgCO ₃ sisa	0,18%	0,57	572,82
6	CaO	62,63%	194,57	194571,71
7	MgO	1,67%	5,18	5182,62
8	SO ₃	0,12%	0,38	376,23
9	Na	0,15%	0,47	470,29
10	K	0,08%	0,24	235,15
11	Cl	0,00%	0,00	0,00
12	Imputities	0,11%	0,33	329,20
13	Ash	0,37%	1,14	1137,40
Total		100,00%	310,66	310658,88

Reaksi 1

CaCO₃ yang terkalsinasi = 18286,82 kg mol CaCO₃ = 182,87 Kmol
 18,29 Ton

CaO yang terbentuk = 10240,62 Kg
 10,24 Ton

CO₂ yang terbentuk = 8046,20 Kg
 8,05 Ton

Reaksi 2

MgCO₃ yang terkalsinasi = 573 kg mol MgCO₃ = 6,82 Kmol
 0,57 ton

MgO yang terbentuk = 272,77 Kg
 0,27 Ton

CO₂ yang terbentuk = 300,05 Kg
 0,30 Ton

CO₂ Hasil Kalsinasi = 8346,25 Kg
 8,346 Ton

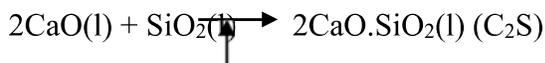
Total CaO = CaO hasil kalsinasi di preheater + CaO hasil kalsinasi di kiln

204812,33 Kg
 204,81 Ton

Total MgO = MgO hasil kalsinasi di preheater + MgO hasil kalsinasi di kiln

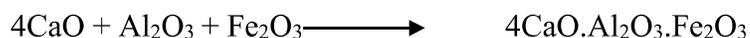
5455,39 Kg
 5,46 Ton

Reaksi 3



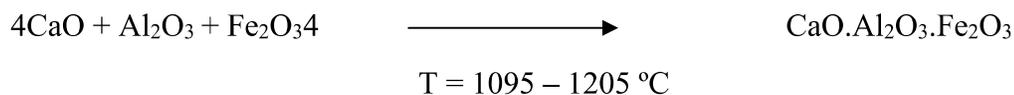
800 – 900 °C

Reaksi 4

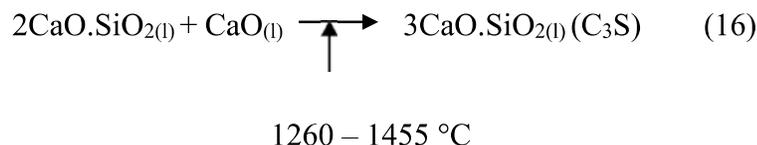


T = 1095 – 1205 °C

Reaksi 5



Reaksi 6



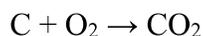
Input Batubara = 13,30 ton
= 13300,00 kg

Komposisi Batubara yang Masuk

Komponen	%Berat	Massa (Ton)	Massa (kg)
C	47,62	6,33	6333,46
H ₂	5,93	0,79	788,69
N ₂	0,86	0,11	114,38
O ₂	25,96	3,45	3452,68
S	0,13	0,02	17,29
H ₂ O	14,8	1,97	1968,40
Ash	4,7	0,63	625,10
Total	100	13,30	13300,00

Massa batubara kering = 11,33 Ton
= 11331,6 Kg

Reaksi 1



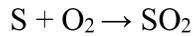
C bereaksi = 6,33346 Ton mol C bereaksi = 527,79 kmol
= 6333,46 Kg

CO₂ Terbentuk = 23222,69 Kg
= 23,22 Ton

O₂ yang diperlukan = 16889,23 Kg

$$= 16,89 \text{ Ton}$$

Reaksi 2

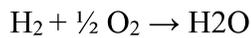


$$\begin{aligned} \text{S bereaksi} &= 0,017 \text{ Ton} & \text{mol S bereaksi} &= 0,54 \text{ kmol} \\ &= 17,290 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 \text{ Terbentuk} &= 34,58 \text{ Kg} \\ &= 0,03 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 17,29 \text{ Kg} \\ &= 0,02 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Reaksi 3



$$\begin{aligned} \text{H}_2 \text{ bereaksi} &= 0,79 \text{ Ton} & \text{mol H}_2 \text{ bereaksi} &= 394,345 \text{ kmol} \\ &= 788,69 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} \text{ Terbentuk} &= 7098,21 \text{ Kg} \\ &= 7,10 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ yang diperlukan} &= 6309,52 \text{ Kg} \\ &= 6,31 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total O}_2 \text{ yang diperlukan untuk reaksi} &= 23216,04 \text{ Kg} \\ &= 23,22 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Komposisi O}_2 \text{ pada Batubara} &= 3,45 \text{ Ton} \\ &= 3452,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kandungan O₂ pada batubara belum bisa memenuhi kebutuhan O₂ reaksi, Sehingga diperlukan O₂ tambahan (O₂ teoritis)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} &= \text{Kebutuhan O}_2 \text{ dalam reaksi} - \text{O}_2 \text{ pada batubara} \\ &= 19,76 \text{ Ton} \\ &= 19763,36 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Udara pembakaran yang digunakan 6,00% excess

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} &= 20,95 \text{ Ton} \\ &= 20949,16 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Udara yang dibutuhkan} &= 99,76 \text{ Ton} \\ &= 99757,90 \text{ Kg} \end{aligned}$$

N₂ Didalam udara = 78,81 Ton
 = 78808,74 Kg

O₂ Sisa pembakaran = Kebutuhan O₂ sesungguhnya - Kebutuhan O₂ teoritis
 = 1,19 Ton
 = 1185,80 Kg

Kapasitas udara primer sebesar = 15000 m³

Densitas Udara Primer = 1,152 kg/m³

Massa udara primer = 17,28 Ton
 = 17280,00 Kg

Massa Udara sekunder = 82,48 Ton
 = 82477,90 Kg

Komposisi gas hasil pembakaran (GHP)

Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
CO ₂	23,22	23222,69
N ₂	99,76	78808,74
H ₂ O	7,10	7098,21
SO ₂	0,03	34,58
Total	130,11	109164,21

Total CO₂ di flue gas = 31,57 ton
 31568,93 kg

Total N₂ di flue gas = 78,92 ton
 78923,12 kg

Total H₂O di flue gas = 9,07 ton
 9066,61 kg

Total Dust di flue gas = 1,08 ton
 1081,67 kg

Komposisi flue gas

Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
CO ₂	31,57	31568,93
N ₂	78,92	78923,12
H ₂ O	9,07	9066,61
SO ₂	0,03	34,58
O ₂	1,19	1185,80
Dust	1,08	1081,67
Total	119,59	119593,24

$$\begin{aligned} \text{Total Ash} &= \text{Ash batu bara} + \text{Ash Kiln feed} \\ &= 1,76 \text{ Ton} \\ &= 1762,50 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Impurities Kiln} &= 0,33 \text{ Ton} \\ &= 329,15 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Komposisi Output Kiln

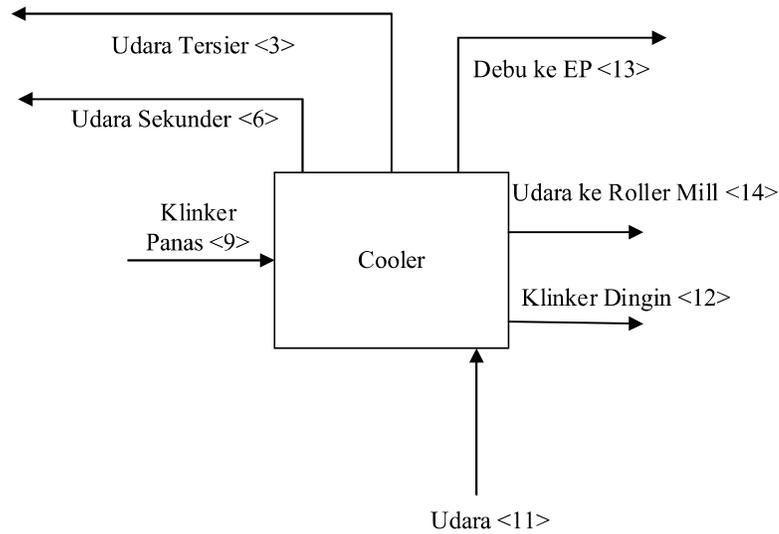
Komponen	Massa (Ton)	Massa (Kg)
SiO ₂	61,70	61702,36
Al ₂ O ₃	17,21	17212,70
Fe ₂ O ₃	10,58	10581,58
CaO	204,81	204812,33
MgO	5,46	5455,39
Impurities	0,33	329,20
Ash	1,76	1762,50
Total	301,86	301856,06

Neraca Massa Rotary Kiln

Input			Output		
Feed dari Preheater <4>			Klinker Panas <9>		
Komponen	xmass	massa (kg)	Komponen	xmass	Massa (Kg)
SiO2	0,1986	61702,36	SiO2	0,20	61702,36
Al2O3	0,0554	17212,70	Al2O3	0,06	17212,70
Fe2O3	0,0341	10581,58	Fe2O3	0,04	10581,58
CaCO3 sisa	0,0589	18286,82	CaO	0,68	204812,33
MgCO3 sisa	0,0018	572,82	MgO	0,02	5455,39
CaO	0,6263	194571,71	Imputities	0,00	329,20
MgO	0,0167	5182,62	Ash	0,01	1762,50
SO3	0,0012	376,23	Total	1,00	301856,06
Na	0,0015	470,29	Flue Gas ke Preheater <10>		
K	0,0008	235,15	CO2	0,26	31568,93
Cl	0,0000	0,00	N2	0,65	78923,12
Imputities	0,0011	329,20	H2O	0,07	9066,61
Ash	0,0037	1137,40	SO2	0,00	34,58
Total	1	310658,882	O2	0,01	1185,80
Batubara <15>			Dust	0,01	1081,67
C	0,4762	6333,46	Total	1,00	121860,71
H2	0,0593	788,69			
N2	0,0086	114,38			
O2	0,2596	3452,68			
S	0,0013	17,29			
H2O	0,148	1968,40			
Ash	0,047	625,10			
Total	1	13300,00			
Udara Primer <8>					
N2	0,79	13651,20			
O2	0,21	3628,80			

Total	1	17280,00		
Udara Sekunder <6>				
N2	0,79	65157,54		
O2	0,21	17320,36		
Total	1	82477,90		
Total		423716,78	Total	423716,78

Cooler



Komposisi Clinker dari Kiln

No.	Komponen	Input		
		% massa	Massa (Ton)	Massa (Kg)
1	SiO ₂	20,44%	61,70	61702,36
2	Al ₂ O ₃	5,70%	17,21	17212,70
3	Fe ₂ O ₃	3,51%	10,58	10581,58
4	CaO	67,85%	204,81	204812,33
5	MgO	1,81%	5,46	5455,39
6	Imputities	0,11%	0,33	329,20
7	Ash	0,58%	1,76	1762,50
Total		100,00%	301,86	301856,06

Cooler Feed = 301,86 Ton
 = 301856,06 kg

Udara Sekunder = 82,48 Ton
 = 82477,9 Kg

Udara Tersier = 176,53 Ton
 = 176531,28 Kg

Flowrate Udara = 1,9 kgudara/kgklinker

Kapasitas blower pada fan = 573526,52 Kg

Debu dari fan ke EP = 2% klinker panas

$$= 6037,12 \text{ Kg}$$

Efisiensi EP = 99,85%

Klinker tersirkulasi = 6028,07 Kg

Debu keluar EP = 9,06 Kg

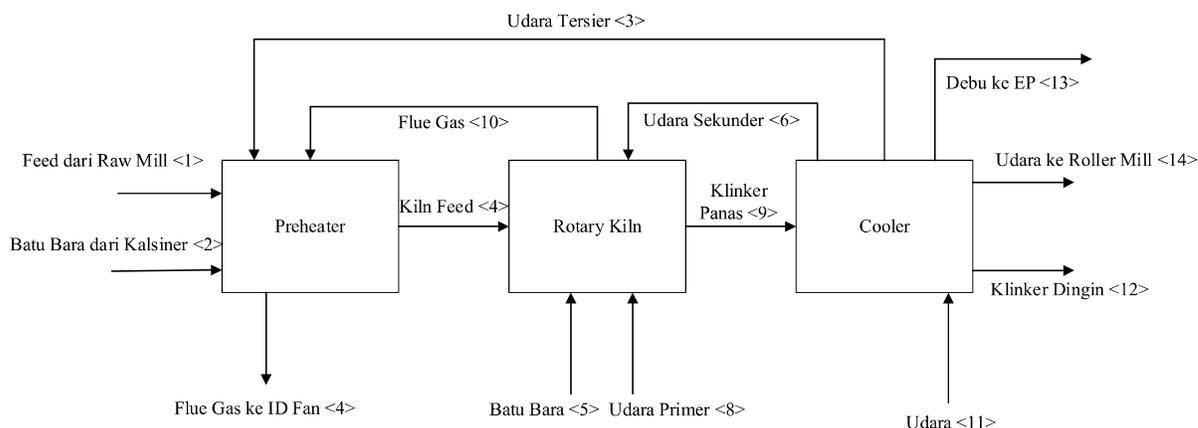
Sisa udara yang masuk ke roller mill = 314517,34 Kg

Komposisi Output Cooler

Komponen	xmass	Massa (Kg)
SiO ₂	0,20	60468,31
Al ₂ O ₃	0,06	16868,45
Fe ₂ O ₃	0,04	10369,95
CaO	0,68	200716,08
MgO	0,02	5346,29
Imputities	0,00	322,62
Ash	0,01	1727,25
Total	1,00	295818,94

Neraca Massa Cooler

Input			Output		
Klinker panas <9>			Klinker dingin <12>		
Komponen	xmass	massa (kg)	Komponen	xmass	Massa (Kg)
SiO ₂	0,20	61702,36	SiO ₂	0,20	60468,31
Al ₂ O ₃	0,06	17212,70	Al ₂ O ₃	0,06	16868,45
Fe ₂ O ₃	0,04	10581,58	Fe ₂ O ₃	0,04	10369,95
CaO	0,68	204812,33	CaO	0,68	200716,08
MgO	0,02	5455,39	MgO	0,02	5346,29
Imputities	0,00	329,20	Imputities	0,00	322,62
Ash	0,01	1762,50	Ash	0,01	1727,25
Total	1,00	301856,06	Total	1,00	295818,94
Udara <11>			Udara Sekunder <6>		
N ₂	0,79	453085,95	N ₂	0,79	65157,54
O ₂	0,21	120440,57	O ₂	0,21	17320,36
Total	1	573526,52	Total	1	82477,90
			Udara Tersier <3>		
			N ₂	0,79	139459,71
			O ₂	0,21	37071,57
			Total	1	176531,28
			Udara Roller <6>		
			N ₂	0,79	248468,70
			O ₂	0,21	66048,64
			Total	1	314517,34
			Debu ke EP <13>		6037,12
Total		875382,59	Total		875382,59



Neraca Massa Total

Input			Output		
Dari Blending Silo <1>			Klinker dingin <12>		
Komponen	xmass	mass (kg)	Komponen	xmass	Massa (Kg)
SiO ₂	0,131	68546,75	SiO ₂	0,20	60468,31
Al ₂ O ₃	0,037	19122,04	Al ₂ O ₃	0,06	16868,45
Fe ₂ O ₃	0,025	11755,35	Fe ₂ O ₃	0,04	10369,95
CaCO ₃	0,778	406305,95	CaO	0,68	200716,08
MgCO ₃	0,024	12727,13	MgO	0,02	5346,29
SO ₃	0,0008	417,97	Impurities	0,00	322,62
Na	0,0010	522,46	Ash	0,01	1727,25
K	0,0005	261,23	Total	1,00	295818,94
Cl	0	0,00	Udara Roller <6>		
H ₂ O	0,005	2455,56	N ₂	0,79	248468,70
Impurities	0,0007	365,72	O ₂	0,21	66048,64
Total	1,00	522480,16	Total	1	314517,34
Batubara Kalsiner <2>			Debu ke EP <13>		
C	0,4762	11524,04	6037,12		
H ₂	0,0593	1435,06	Flue Gas <5>		
N ₂	0,0086	208,12	CO ₂	0,43	232402,41
O ₂	0,2596	6282,32	N ₂	0,41	218590,95
S	0,0013	31,46	H ₂ O	0,05	28019,31
			SO ₂	0,00	97,50

H2O	0,148	3581,60	O2	0,00	2296,98
Ash	0,047	1137,40	Dust	0,10	53006,13
Total	1	24200,00	Total	1,00	534413,27
Batubara <15>					
C	0,4762	6333,46			
H2	0,0593	788,69			
N2	0,0086	114,38			
O2	0,2596	3452,68			
S	0,0013	17,29			
H2O	0,148	1968,40			
Ash	0,047	625,10			
Total	1	13300,00			
Udara Primer <8>					
N2	0,79	13651,20			
O2	0,21	3628,80			
Total	1	17280,00			
Udara <13>					
N2	0,79	453085,95			
O2	0,21	120440,57			
Total	1	573526,52			
Total		1150786,68	Total		1150786,68