



---

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Bahan Baku Semen

1. Bahan Baku

a. Batu Kapur ( $CaCO_3$ / *Calcium Carbonat*)

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 1. 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*.



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

Tabel 2. Komposisi Batu Kapur pada Pembuatan Semen Portland  
(H.N Banerjea, 1980)

CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Alkali (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Cl (%)	H <sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O
- Bulk density* : 1,3 ton/m<sup>3</sup>
- Spesific gravity* : 2,49
- Titik Leleh : 825 °C
- Kandungan CaO : 47 -56%
- Kuat tekan : 31,6 N/mm<sup>2</sup>
- Silika *ratio* : 2,6
- 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 ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot XH_2O$ )**

Semua jenis tanah liat adalah hasil pelapukan kimia yang disebabkan adanya pengaruh air dan gas CO<sub>2</sub>, 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)<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, dan CaCO<sub>3</sub> menjadi berwarna abu-abu sampai kuning. Tanah



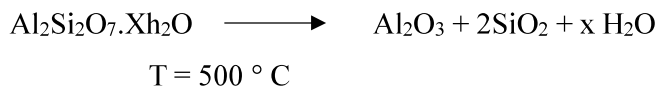
## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

liat yang baik untuk digunakan memiliki kadar air  $\pm 20\%$ , kadar  $\text{SiO}_2$  tidak terlalu tinggi  $\pm 46\%$ , dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar  $\pm 9\%$ .

Menurut Puja Hadi Purnomo, 1994, sifat fisika tanah liat sebagai berikut :

- Fase : Padat
- Warna : Coklat kekuningan
- Kadar air :  $18 - 25\% \text{H}_2\text{O}$
- Bulk density* :  $1,7 \text{ ton/m}^3$
- Titik Leleh :  $1999 - 2032^\circ\text{C}$
- Spesific gravity* :  $2,36 \text{ gr/cm}^3$
- Silika *ratio* : 2,9
- 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  $500^\circ\text{C}$ . Sifat dari tanah liat jika dipanaskan atau dibakar akan berkurang sifat keliatannya dan menjadi keras bila ditambah air. Reaksinya :



Tabel 3. Komposisi Tanah Liat pada Pembuatan Semen Portland  
(H.N Banerjea, 1980)

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

## 2. Bahan Koreksi

### a. Pasir Silika ( $\text{SiO}_2$ )

Pada umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar  $\text{SiO}_2$  semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar  $\text{SiO}_2$ , 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  $\text{SiO}_2 \pm$



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

90%, dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar  $\pm 9\%$ .

Tabel 4. Komposisi Pasir Silika Pada Pembuatan Semen Portland (H.N Banerjea, 1980)

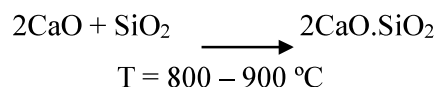
CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Alkali (%)	LOI (%)
1 – 3	85 – 95	2 – 5	1 – 3	1 – 3	1 – 2	2 – 5

Menurut Puja Hadi Purnomo, 1994, sifat fisika pasir silika sebagai berikut:

- Fase : Padat
- Warna : Coklat kemerahan
- Kadar air : 6% H<sub>2</sub>O
- Bulk density* : 1,45 ton/m<sup>3</sup>
- Spesific gravity* : 2,37 gr/cm<sup>3</sup>
- 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 % SiO<sub>2</sub>. 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 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) berfungsi sebagai penghantar panas dalam proses pembuatan terak semen. Penggunaan pasir besi dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar  $\pm 1\%$ . *Copper slag* digunakan karena mempunyai kandungan besi yang tinggi, sehingga menyebabkan material ini mempunyai densitas lebih tinggi



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

dibandingkan pasir alam. Material ini mempunyai sifat fisik yang sangat keras dan porositas optimum.

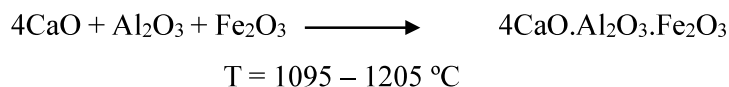
Tabel 5. Komposisi *Cooper Slag* Pada Pembuatan Semen Portland  
(H.N Banerjea, 1980)

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
5 – 10	2 – 5	85 – 95	0 – 5

Sifat fisiknya, antara lain : (Dokumen PT. Smelting, 2010)

- Fase : Padat
- Warna : Hitam
- Bulk density* : 1,8 ton/m<sup>3</sup>

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia *copper slag* yaitu dapat bereaksi dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan CaO membentuk *calcium alumina ferrit*. Reaksi :



### 3. Bahan Pembantu

#### a. Gypsum (*CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O*)

*Gypsum* adalah bahan sedimen CaSO<sub>4</sub> 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.

Menurut Puja Hadi Purnomo, 1994, sifat fisika *gypsum* sebagai berikut:

- Fase : Padat
- Warna : Putih
- Kadar air : 10% H<sub>2</sub>O



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

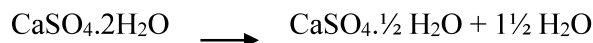
---

d. *Bulk density* : 1,7 ton/m<sup>3</sup>

e. Ukuran material : 0 – 30 mm

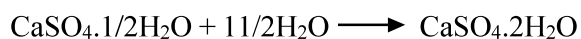
Menurut E.Jasjfi, 1985, sifat kimia *gypsum* yaitu dapat mengalami pelepasan air hidrat bila dipanaskan sedikit.

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 ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )**

Trass adalah bahan hasil letusan gunung berapi yang berbutir halus dan banyak mengandung oksida silika amorf ( $\text{SiO}_2$ ) 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. Specific Gravity : 2,68 gr/cm<sup>3</sup>

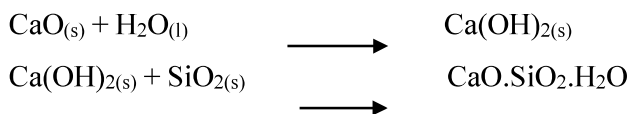
Sifat Kimia :

Trass dimana kandungan utamanya silika aktif  $\text{SiO}_2$  maka pada saat ditambahkan air akan bereaksi dengan  $\text{CaOH}_2$  membentuk CSH dimana senyawa ini memberikan kontribusi terhadap kuat tekan.  $\text{CaOH}_2$  ini didapat dari reaksi  $\text{CaO}$  free dalam terak dengan  $\text{H}_2\text{O}$ .



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

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 (Raw Mill).

### 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.1.2 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  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  tidak menimbulkan gangguan penyempitan dalam saluran *preheater* atau pipa.
- Debu yang dihasilkan relatif sedikit.



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

---

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.
- d. 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 luluh 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.





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

---

- b. Membutuhkan *filter* yang 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 tungkutegak (*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 pengeringandan 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*



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

dan dicampur dengan *gypsum* dengan perbandingan 96 : 4 sehingga menjadi semen.

Keuntungan dan Kerugian Proses Kering antara lain :

Keuntungan :

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

Kerugian :

- Impuritas  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  menyebabkan penyempitan pada saluran *preheater*.
- Campuran tepung kurang homogen karena bahan yang digunakan dicampur dalam keadaan kering.
- Adanya air yang terkandung dalam material sangat mengganggu operasi karena material lengket pada *inlet chute*.
- 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.1.3 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  $\text{CaCO}_3$  lebih dari 75% contohnya limestone dengan kadar  $\text{CaCO}_3$  96 – 98% yang tergolong “High grade limestone”, yang lebih sering dipakai untuk membuat semen.

##### b. Silicious group



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

---

Material yang mengandung mineral silica ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina besi ( $\text{FeO}_2$ ) serta kandungan  $\text{CaCO}_3$  nya kurang dari 75%, contohnya clay atau tanah liat.

c. Argillaceous group

Material yang menyumbangkan komponen alumina.

d. Ferruginous 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*.



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

---

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



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

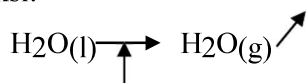
dimasukkan ke dalam *blending silo*. Fungsinya adalah sebagai tempat penampungan sementara material sebelum diumpankan ke *kiln*, *blending silo* juga berguna sebagai alat homogenisasi produk *raw mill* agar komposisi kimia produk tersebut lebih merata sehingga siap diumpankan ke *kiln*.

#### 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:

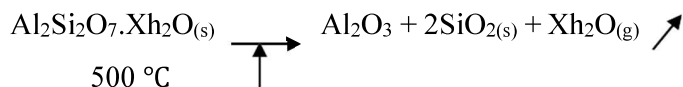


100 °C

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 :

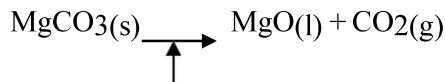


500 °C

3. Terjadi proses kalsinasi

Tahapan penguapan CO<sub>2</sub> dari *limestone* dan mulai kalsinasi terjadi pada suhu 700 – 900 °C.

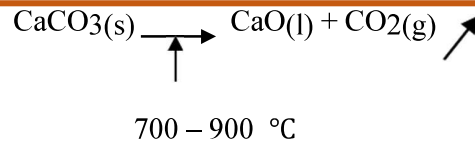
Reaksi :



700 – 900 °C



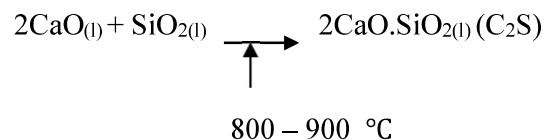
**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG  
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.  
UNIT OPERASI UTILITAS**



4. Reaksi pembentukan senyawa semen  $\text{C}_2\text{S}$

Pada suhu  $800 - 900 \text{ } ^\circ\text{C}$  terjadi pembentukan *kalsium silikat*, sebenarnya sebelum suhu  $800 \text{ } ^\circ\text{C}$  sebagian kecil sudah terjadi pembentukan garam *kalsium silikat* terutama  $\text{C}_2\text{S}$ .

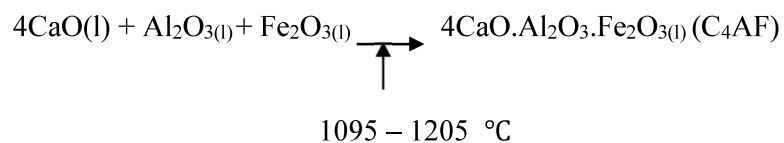
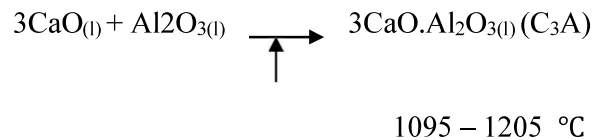
Reaksi :



5. Reaksi pembentukan senyawa semen  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_4\text{AF}$

Pada suhu  $1095 - 1205 \text{ } ^\circ\text{C}$  terjadi pembentukan kalsium aluminat dan kalsium alumina ferrit.

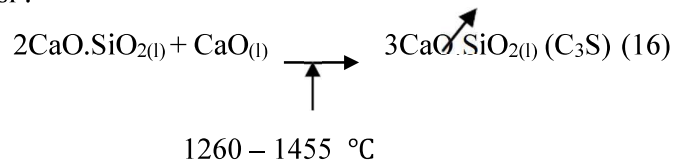
Reaksi :



6. Reaksi pembentukan senyawa semen  $\text{C}_3\text{S}$

Pada suhu  $1260 - 1455 \text{ } ^\circ\text{C}$  terjadi pembentukan *kalsium silikat* terutama  $\text{C}_3\text{S}$  yang mana persentase  $\text{C}_2\text{S}$  mulai menurun karena membentuk  $\text{C}_3\text{S}$ .

Reaksi :



### 5. Penggilingan Semen

Clinker hasil *kiln* yang sudah didinginkan di dalam *cooler* selanjutnya



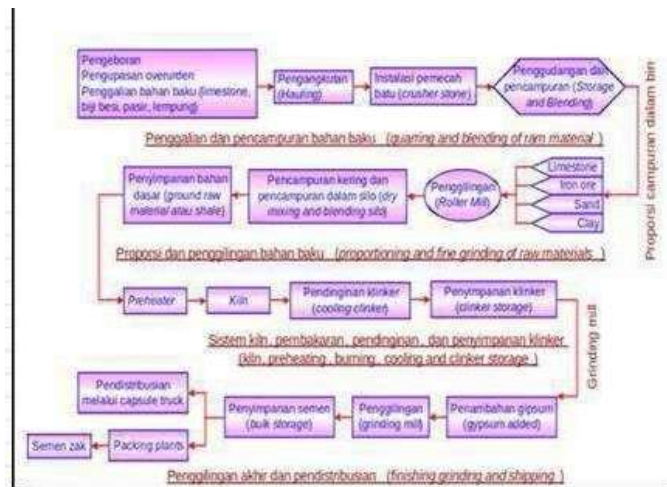
**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG  
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.  
UNIT OPERASI UTILITAS**

---

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 bola-bola (*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 25-50 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 untuk jenis semen PCC. Jenis produksi semen pabrik Tuban yaitu OPC dan PCC



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

## II.1.4 Komposisi Semen

### 1. *Tricalcium silicate (C<sub>3</sub>S)*

C<sub>3</sub>S terbentuk pada suhu di atas 1200 °C, kristalnya berbentuk *monoclinic* dan disebut *alite*. C<sub>3</sub>S 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 C<sub>3</sub>S



C<sub>3</sub>S apabila ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras dan menimbulkan panas hidrasi 500 joule/gram. Kandungan C<sub>3</sub>S pada semen Portland bervariasi antara 35%-55% tergantung jenis semen Portlandnya.

### 2. *Dicalcium Silicate (C<sub>2</sub>S)*

C<sub>2</sub>S terbentuk pada suhu 800°C dan kristalnya disebut *betite*. Ada beberapa modifikasi kristal C<sub>2</sub>S yaitu S, dan bentuk yang umum dijumpai dalam semen portland adalah C<sub>2</sub>S. C<sub>2</sub>S mempunyai sifat :



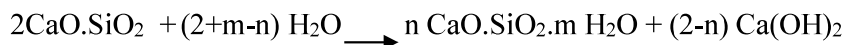


## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

e. Proses hidrasinya berlangsung lambat.

f. Menambah kekuatan setelah 28 hari.

g. Reaksi hidrasinya adalah :



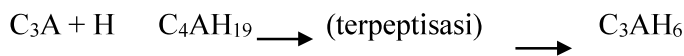
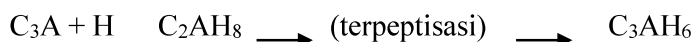
Pada penambahan air segera terjadi reaksi, menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan sedikit panas yaitu 250 J/gram. Pasta yang mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu, kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan  $\text{C}_3\text{S}$ . Kandungan  $\text{C}_2\text{S}$  pada semen Portland bervariasi antara 15% - 35% dan rata-rata 25%.

### 3. *Tricalcium Aluminat*

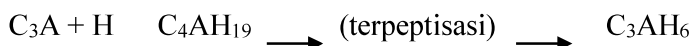
$\text{C}_3\text{A}$  terbentuk pada suhu  $1090^\circ\text{C} - 1200^\circ\text{C}$  dan bentuk kristalnya adalah cubic. Jika  $\text{C}_3\text{A}$  mengandung ion asing seperti  $\text{Na}^+$ , kristalnya berbentuk *orthorombic* atau *monoclinic*.  $\text{C}_3\text{A}$  mempunyai sifat memberikan kekuatan penyokong pada beton dalam periode 1-3 hari pertama. Reaksi hidrasi tergantung pada keberadaan gypsum di dalam semen.

A. Hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  tanpa adanya gypsum di dalam semen

a. Jika tidak terdapat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



b. Jika terdapat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Pada saat awal pencampuran  $\text{C}_3\text{A}$  dengan air kinetika hidrasinya berlangsung lambat karena terbentuknya *hexagonal hydrate* ( $\text{C}_2\text{AH}_8$  dan  $\text{C}_4\text{AH}_{19}$ ) di permukaan  $\text{C}_3\text{A}$  yang berfungsi sebagai lapisan pelindung. Ketika terjadi konversi senyawa menjadi  $\text{C}_3\text{AH}_6$  lapisan tersebut menjadi rusak dan proses hidrasi menjadi sangat cepat.

B. Hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  jika terdapat gypsum

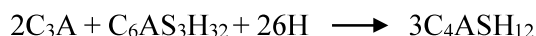


Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi dengan laju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

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.



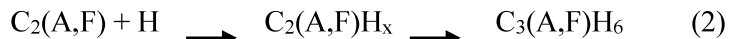
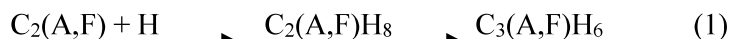
Mineral  $C_3A$  adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk high calcium sulfaluminate hidrat ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2$ ). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar  $C_3A$  yang rendah. Dengan air bereaksi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

#### 4. *Tetracalsium Aluminate Ferrit (C<sub>4</sub>AF)*

$C_4AF$  terbentuk pada suhu 900°C mempunyai sifat :

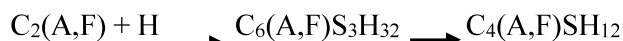
- Kurang berpengaruh terhadap kekuatan semen
- Cepat bereaksi dengan air dan cepat pula mengeras
- Memberikan warna pada semen
- Reaksi hidrasi  $C_4AF$  hampir serupa dengan hidrasi  $C_3A$  yaitu tergantung ada atau tidaknya *gypsum* dalam campuran semen.

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%.

### II.1.5 Sifat – Sifat Semen

#### a. Sifat Fisika Semen

Sifat fisika semen merupakan salah satu segi penting yang perlu



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

---

diperhatikan, karena sifat fisik sangat mempengaruhi kualitas dan kemampuan semen. Sifat–sifat fisik tersebut antara lain :

**1) 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*.

**2) 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*.

**3) 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*.

**4) Konsistensi**

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

**5) 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

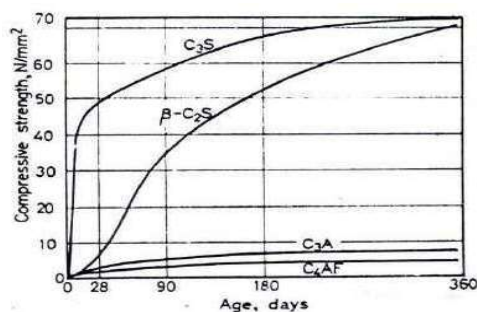


**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG  
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.  
UNIT OPERASI UTILITAS**

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*.

**6) 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 4 berikut.



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

**a) Densitas**

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

**b) False Set**

*False set* atau pengikatan semu adalah pengikatan tidak wajar yang



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

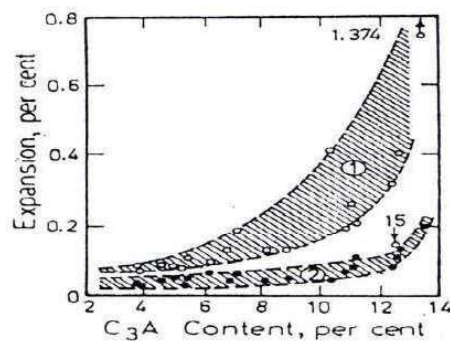
terjadi ketika air ditambahkan dalam semen. Setelah beberapa menit semen akan mengeras, tetapi jika diaduk sifat plastis semen akan timbul kembali. *False set* disebabkan karena hilangnya air kristal pada gypsum akibat tingginya temperatur saat penggilingan terak.

### c) *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 5 berikut.



Gambar 5. Grafik Hubungan Reaksi  $C_3A$  dengan Sulfat Terhadap Efek Ekspansi



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

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.

## 2. Sifat Kimia Semen

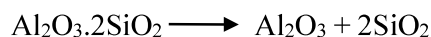
Pembahasan sifat kimia semen di sini meliputi pembahasan komposisi isi zat yang ada di dalam semen, reaksi-reaksi yang terjadi dan perubahan yang terjadi saat penambahan air pada semen. Hal ini perlu dilakukan karena komposisi dan sifat komponen tersebut sangat mempengaruhi sifat semen secara keseluruhan.

### 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  $CaCO_3$



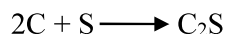
Pada 800 °C : Terjadi reaksi kalsinasi



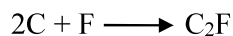
Pembentukan CA



Pembentukan  $C_2S$



Pembentukan  $C_2F$



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

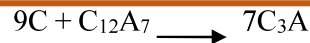


Pada 1090°C – 1200°C :  $C_3A$  terbentuk dan  $C_2S$  pada keadaan maksimal

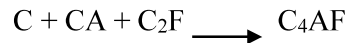


**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG  
PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.  
UNIT OPERASI UTILITAS**

---



$C_4AF$  terbentuk



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

Pada 1200°C – 1450°C :  $C_3S$  terbentuk dan  $C_2S$  berkurang



Pada >1450 °C : Dekomposisi  $C_3S$  menjadi  $C_2S$  dan  $CaO$  berjalan lambat

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

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

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

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

$$C_4AF = 3,043 Fe_2O_3$$

**a. 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



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

beton. Kandungan maksimum  $\text{SO}_3$  dalam semen 1,6 – 3%.

**b. 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  $\text{C}_3\text{A}$  adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrat* ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{LH}_2\text{O}$ ). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar  $\text{C}_3\text{A}$  yang rendah.

**c. Kandungan Alkali dalam Semen**

Kandungan alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ) 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  $\text{Na}_2\text{O}$ ) karena kandungan alkali yang besar dapat menimbulkan fenomena ekspansi alkali. Alkali bereaksi dengan agregat yang terdapat dalam campuran beton.

**d. 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 Bombkalorimeter.

Tabel 6. Panas Hidrasi yang Dihasilkan

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (kj/kg)
$\text{C}_3\text{S}$ (+H)	C-S-H + CH	520
B – $\text{C}_2\text{S}$ (+H)	C-S-H + CH	260
$\text{C}_3\text{A}$ (+CH+H)	$\text{C}_4\text{AH}_{19}$	1160





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

$C_3A (+H)$	$C_3AH_6$	910
$C_3A (+CSH_2+H)$	$C_4ASH_{12}$	1140
$C_3A$	$C_6AS_3H_{32}$	1670
$(+CSH_2+H)$		
$C_3AF (+CH+H)$	$C_3(A_2F)H_6$	420

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

**e. 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.

**f. 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.

**g. 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



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

---

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.1.6 Macam – Macam Semen

Perbedaan macam – macam semen tergantung pada komposisi unsur-unsur penyusunnya dan unsur tambahan lain yang ditamapkannya. 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 :

##### 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



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

---

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 hidrasi semen 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 terhadap sulfat daripada keempat jenis lainnya. Semen type Vini 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



## LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. UNIT OPERASI UTILITAS

---

Kalsium Aluminat yang dibuat dengan melebur campuran batu kapur dan bauksit. Bauksit ini biasanya mengandung oksida besi, silika, dan magnesium. Semen ini mengerassangat 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 disinfectant beton terhadap serangan bakteri dan jamur yang tumbuh. Biasa digunakan pada pembuatan kolam dan 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 Portland dengan Water Proofing agent dalam jumlah kecil seperti kalsium, aluminium atau logam stearat lainnya. Semen ini dipakai untuk kontruksi beton yang berfungsi sebagai penahan tekanan hidrolis, misalnya tangki penyimpan 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*.

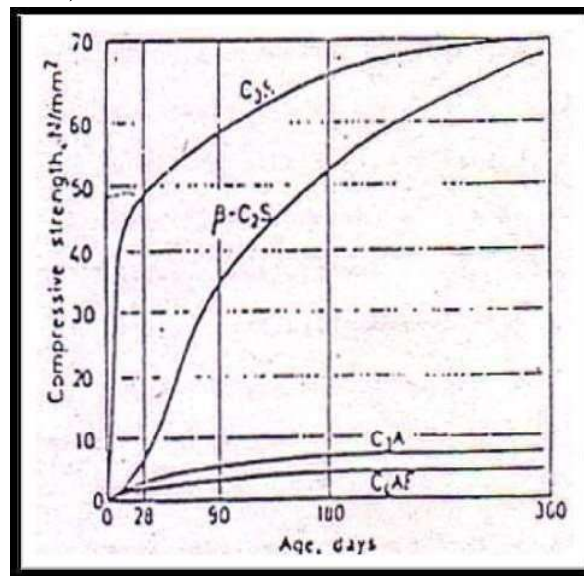


### II.1.7 Fungsi Semen

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.1.8 Hubungan Antara Kekuatan dan Komposisi Semen

Sifat yang paling penting dari semen adalah kekuatan tekannya atau *compressive strength*. Kekuatan tekan semen sangat dipengaruhi oleh komponen kimia semen yaitu  $C_3S$  dan  $C_2S$ . Untuk komponen  $C_3S$  memberikan kekuatan tekan awal pada semen sedangkan untuk  $C_2S$  memberikan pengaruh kekuatan tekan akhir pada semen yang hampir sama dengan semen komponen  $C_3S$ . Komponen  $C_3A$  berpengaruh pada kecepatan pengerasan semen dan  $C_3AF$  berpengaruh pada warna semen. (Ir. E. Jasjfi, 1985).



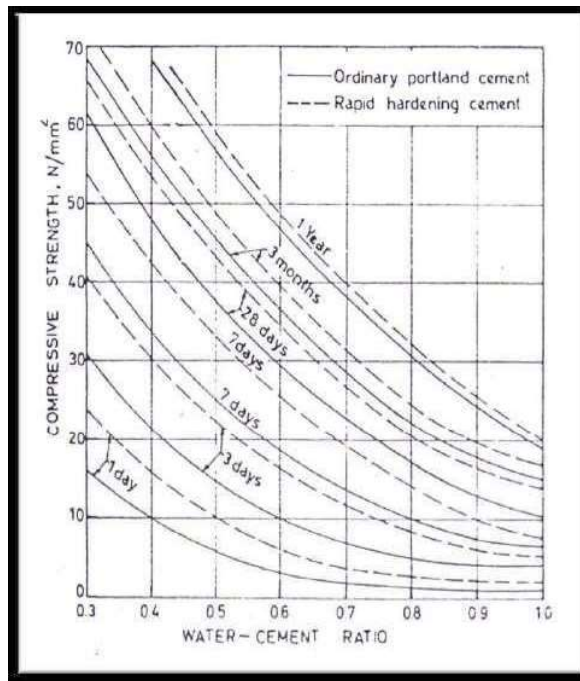
Gambar 6. Grafik Kekuatan Tekan Vs Waktu yang Dialami oleh  
Komponen – Komponen Semen

Berdasarkan grafik diketahui bahwa komponen  $C_3S$  memiliki perkembangan kekuatan yang lebih cepat daripada ketiga komponen semen yang lain. Grafik untuk komponen  $C_2S$  menunjukkan bahwa perkembangan kekuatannya



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

stabil dan melambat pada beberapa minggu kemudian pada hari ke-28 hingga seterusnya perkembangan kekuatan meningkat hingga akhirnya kekuatan tekannya hampir sama dengan C<sub>3</sub>S. Perkembangan kekuatan untuk komponen C<sub>3</sub>A terjadi kenaikan pada hari pertama dan kedua setelah itu perkembangan kekuatannya sangat rendah. Perkembangan kekuatan untuk komponen C<sub>4</sub>AF hampir menyerupai perkembangan C<sub>3</sub>A pada hari pertama dan kedua tetapi mengalami perkembangan kekuatan yang lebih rendah dari pada C<sub>3</sub>A. (Walter H. Duda, 1983)



Gambar 7. Grafik Perkembangan Kuat Tekan Semen Ordinary Portland Cement dan Rapid Hardening Cement Vs Water Cement Ratio

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa kuat tekan OPC lebih rendah daripada Rapid Hardening Cement (Semen Portland Tipe 3). Perbandingan air dan semen sebesar 0,3 untuk semen OPC dan RHC menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada perbandingan air dan semen yang lain. Semakin besar perbandingan semen dan air yang digunakan maka makin rendah kuat tekan yang dihasilkan (ML. Gambhir, 1986).



## **II.2 Tugas Khusus**

### **II.2.1 Judul Tugas Khusus**

Mencari bahan alternatif pengganti PAC (koagulan alami).

### **II.2.2 Latar Belakang Masalah dan Penyelesaian**

Air merupakan sumber daya alam yang paling penting bagi kehidupan. Air merupakan salah satu elemen penting bagi industri. Peran penting air untuk industri yaitu untuk memenuhi kebutuhan sanitasi hingga sebagai air proses. Karena kebutuhan air yang cukup tinggi maka diperlukan adanya pengolahan air di dalam industri tersebut. Utilitas merupakan unit penunjang operasional pabrik di luar unit operasi dan unit proses yang bertugas menyediakan, mempersiapkan dan mendistribusikan bahan – bahan penunjang operasional pabrik. Unit utilitas ini menyediakan dan mendistribusikan kebutuhan pabrik seperti air, steam, listrik, dan bahan bakar.

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu cara pengolahan air untuk menghilangkan zat-zat partikel tersuspensi dalam air sehingga menghasilkan air bersih yang dapat digunakan oleh manusia. Koagulasi ini merupakan proses destabilisasi koloid dan partikel-partikel yang terdapat di air sehingga membentuk flok dengan melakukan penambahan bahan kimia (koagulan) dan proses pengadukan cepat. Proses koagulasi ini berfungsi untuk menstabilisasi partikel-partikel kecil tersuspensi yang tidak dapat mengendap sendiri.

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel–partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya secara gravitasi. Secara umum terdapat dua jenis koagulan yaitu koagulan anorganik dan organik. Beberapa contoh koagulan anorganik yang sering digunakan adalah Poly Aluminium Chloride (PAC), Ferric Chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) dan Aluminium Sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Metode koagulasi merupakan metode yang banyak dikembangkan dalam pengolahan limbah cair. Kelebihan metode koagulasi yaitu lebih mudah, cepat dan efektif dalam mengolah limbah khususnya dalam bentuk koloid. Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah yaitu aluminium dan PAC. Namun hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa tersebut dapat memicu terjadinya penyakit alzheimer dan memiliki sifat neuroksitas.



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

Biokoagulan merupakan alternatif yang memiliki masa depan yang cerah karena mudah didapatkan, jumlahnya banyak, ramah lingkungan, dan sifatnya yang biodegradable. Biji asam jawa merupakan biokoagulan yang memiliki kandungan protein di dalamnya yang mampu berperan sebagai polielektrolit alami yang berfungsi mirip dengan koagulan sintetik (Pembayun, 2020). Kemampuan biji asam jawa sebagai biokoagulan diakibatkan kandungan proteinnya yang cukup tinggi yang dapat berperan sebagai polielektrolit alami. Secara umum semua partikel koloid memiliki muatan sejenis. Diakibatkan muatan yang sejenis, maka terdapat gaya tolak menolak antar partikel koloid sehingga partikel-partikel koloid tidak dapat bergabung. Protein yang terkandung dalam biji asam dapat mengikat partikel-partikel tersebut sehingga partikel koloid terdestabilisasi membentuk ukuran yang lebih besar dan pada akhirnya akan terendapkan. Menurut (Lafiyah, 2017) pemilihan biji asam jawa yang baik untuk dijadikan koagulan sebaiknya biji asam jawa yang matang di pohon yang berwarna kecoklatan. Asam jawa yang masih utuh dipisah antara cangkang, isi dan bijinya. Biji asam jawa yang sudah terpisah dicuci dan dijemur agar mempermudah dalam penumbukan, lalu setelah kering ditimbang dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Didapat ukuran 100 mesh lebih efektif dalam proses koagulasi/flokulasi.

Dalam ekstrak biji asam jawa terkandung ion-ion logam  $Mg^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$ . Dalam 500 mg ekstrak biji asam jawa terdapat 0,9 mg ion  $Mg^{2+}$  dan 0,4 mg ion  $Fe^{2+}$ . Bahan organik yang terkandung dalam air/limbah memiliki muatan negatif sehingga dapat berikatan dengan ion-ion positif yang terkandung dalam koagulan.

Reaksi yang terjadi adalah:

- $Mg^{2+} + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H^+$
- $Fe^{3+} + H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + H^+$

Dalam reaksi tersebut, bahan organik yang terkandung dalam air memiliki muatan negatif dan akan berikatan dengan ion-ion positif yang terkandung dalam koagulan sehingga sistem koloid dalam air tersebut menjadi tidak stabil. Ikatan tersebut akan membentuk flok-flok yang lebih besar setelah mengalami proses pengadukan lambat dimana partikelnya saling bertubrukan dan tetap bersatu untuk kemudian mengendap sebagai endapan (Enrico, 2008).