

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Semen

Semen (cement) adalah hasil industri dari paduan bahan baku: batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/bulk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Dalam pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeras dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Abu vulkanis dan batu bata yang dihancurkan yang ditambahkan pada batu kapur yang dibakar sebagai agen pengikat untuk memperoleh suatu pengikat hidrolik yang selanjutnya disebut sebagai “cementum”. Semen yang digunakan dalam konstruksi digolongkan kedalam semen hidrolik dan semen non-hidrolik.

Semen hidrolik adalah material yang menetap dan mengeras setelah dikombinasikan dengan air, sebagai hasil dari reaksi kimia dari pencampuran dengan air, dan setelah pembekuan, mempertahankan kekuatan dan stabilitas bahkan dalam air. Pedoman yang dibutuhkan dalam hal ini adalah pembentukan hidrat pada reaksi dengan air segera mungkin. Kebanyakan konstruksi semen saat ini adalah semen hidrolik dan kebanyakan didasarkan pada semen Portland, yang dibuat dari batu kapur, mineral tanah liat tertentu, dan gypsum, pada proses dengan temperatur yang tinggi yang menghasilkan karbon dioksida dan berkombinasi secara kimia yang menghasilkan bahan utama menjadi senyawa baru. Semen non-hidrolik meliputi material seperti batu kapur dan gypsum yang harus tetap kering supaya bertambah kuat dan mempunyai komponen cair. Contohnya adukan semen kapur yang ditetapkan hanya dengan pengeringan, dan bertambah kuat secara lambat dengan menyerap karbon dioksida dari atmosfer untuk membentuk kembali kalsium karbonat.

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



Penguatan dan pengerasan semen hidrolis disebabkan adanya pembentukan air yang mengandung senyawa-senyawa, pembentukan sebagai hasil reaksi antara komponen semen dengan air. Reaksi dan hasil reaksi mengarah kepada hidrasi dan hidrat secara berturut-turut. Sebagai hasil dari reaksi awal dengan segera, suatu pengerasan dapat diamati pada awalnya dengan sangat kecil dan akan bertambah seiring berjalannya waktu. Setelah mencapai tahap tertentu, titik ini diarahkan pada permulaan tahap pengerasan. Penggabungan lebih lanjut disebut penguatan setelah mulai tahap pengerasan.

II.1.2 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.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



Kalor yang dilepas saat semen ini mengeras tidak boleh lebih dari 295 joule/gram sesudah 7 hari dan 335 joule/gram sesudah 28 hari.

c. High Early Strength Cement (Semen Tipe 3)

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

d. Low Heat Cement (Semen Tipe 4)

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

e. Sulfat Resistance Cement (Semen Tipe 5)

Menurut G.T. Austin (1985), semen portland tahan sulfat adalah semen yang karena komposisinya atau cara pengolahannya, lebih tahan terhadap sulfat daripada keempat jenis lainnya. Semen type V ini digunakan bila penerapannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Semen ini mengandung C_3A lebih rendah dari ketiga semen lain. Akibatnya kandungan C_4AF -nya lebih tinggi.

2. Semen Putih

Menurut I Ketut Arsha Putra (1995), semen putih dibuat untuk

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



tujuan dekoratif bukan untuk tujuan konstruktif, misalnya untuk bangunan arsitektur. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatan yang khusus, misalnya bahan mentah mengandung oksida besi dan oksida mangan yang sangat rendah yaitu dibawah 1%.

3. Semen Alumina Tinggi

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

4. Semen Anti Bakteri

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah campuran yang homogen antara semen portland dengan anti bacteriac agent seperti germicide. Bahan tersebut ditambahkan untuk self 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 ketahanan 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

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



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.1.3 Komposisi Semen

1. Tricalcium silicate (C₃S)

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

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



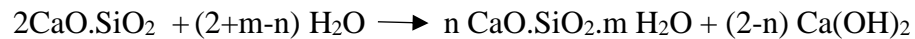
C₃S apabila ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras dan menimbulkan panas hidrasi 500 joule/gram. Kandungan C₃S pada semen Portland bervariasi antara 35%-55% tergantung jenis semen Portlandnya.

2. Dicalcium Silicate (C₂S)

C₂S terbentuk pada suhu 800°C dan kristalnya disebut betite. Ada beberapa modifikasi kristal C₂S yaitu S, dan bentuk yang umum dijumpai dalam semen portland adalah C₂S. C₂S mempunyai sifat :

- Proses hidrasinya berlangsung lambat.
- Menambah kekuatan setelah 28 hari.
- Reaksi hidrasinya adalah :

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



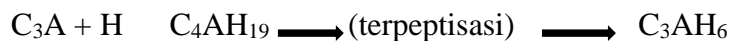
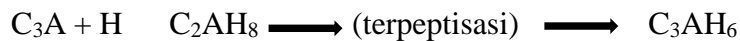
Pada penambahan air segera terjadi reaksi, menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan sedikit panas yaitu 250 J/gram. Pasta yang mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu, kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C₃S. Kandungan C₂S pada semen Portland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

3. Tricalcium Aluminat

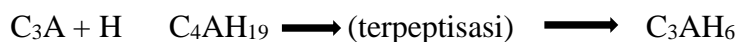
C₃A terbentuk pada suhu 1090°C – 1200 °C dan bentuk kristalnya adalah cubic. Jika C₃A mengandung ion asing seperti Na⁺, kristalnya berbentuk orthorombic atau monoclinic. C₃A mempunyai sifat memberikan kekuatan penyokong pada beton dalam periode 1-3 hari pertama. Reaksi hidrasi tergantung pada keberadaan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

A. Hidrasi C₃A tanpa adanya gypsum di dalam semen

- a. Jika tidak terdapat Ca(OH)₂



- b. Jika terdapat Ca(OH)₂



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

B. Hidrasi C₃A jika terdapat gypsum

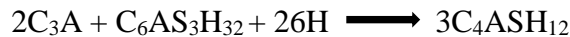


Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi dengan laju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan kadar C₃A rendah justru akan mempercepat setting. Apabila terdapat ketidaksetimbangan antar reaktifitas C₃A dengan laju pelarutan gypsum

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



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.



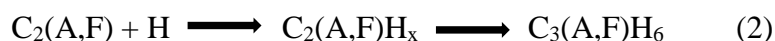
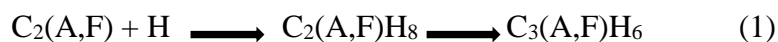
Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk high calcium sulfaluminate hidrat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah. Dengan air bereaksi menimbulkan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

4. Tetracalcium Aluminate Ferrit (C_4AF)

C_4AF terbentuk pada suhu $900^\circ C$ mempunyai sifat :

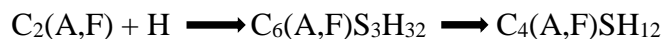
- Kurang berpengaruh terhadap kekuatan semen
- Cepat bereaksi dengan air dan cepat pula mengeras
- Memberikan warna pada semen
- Reaksi hidrasi C_4AF hampir serupa dengan hidrasi C_3A yaitu tergantung ada atau tidaknya gypsum dalam campuran semen.

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%.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



II.1.4 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 :

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.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



5. Pengikatan (setting) dan Pengerasan (hardening)

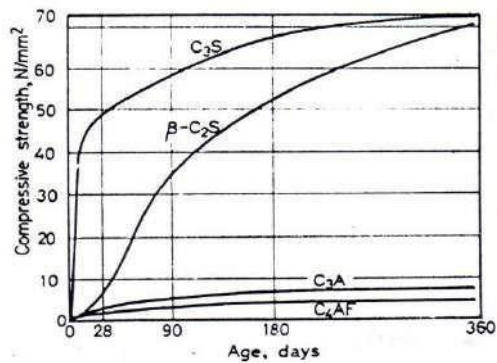
Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Semen yang bereaksi dengan air pada awalnya membentuk lapisan yang bersifat plastis dan lama-kelamaan akan membentuk kristal. Waktu mulai terbentuknya kristal atau timbulnya kekakuan pada semen disebut initial set.

Setelah melalui tahap ini rongga yang ada di dalam semen terisi oleh 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.

1. 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.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



Gambar 3. 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 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

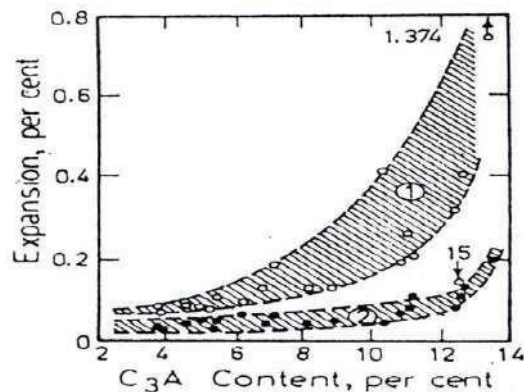
Soundness adalah kemampuan pasta semen untuk mempertahankan volumenya setelah proses pengikatan. Berkurangnya soundness berarti timbulnya kecenderungan beton untuk berekspansi, ini disebabkan oleh tingginya kadar free lime (kapur bebas) dan magnesia. Adapun reaksi-reaksi yang memungkinkan timbulnya sifat ekspansi pada beton adalah:

1. Hidrasi free lime, yaitu reaksi CaO dengan H_2O
2. Hidrasi free MgO , yaitu reaksi MgO dengan H_2O
3. Reaksi antara C_3A dengan SO_3 yang membentuk ettringite ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$)

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



Ekspansi beton tersebut akan menimbulkan keretakan konstruksi beton yang berarti menurunkan kuat tekan beton. Pengaruh kadar C₃A terhadap ekspansi yang dihasilkan akibat reaksi C₃A dengan sulfat dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Reaksi C₃A dengan Sulfat Terhadap Efek Ekspansi

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

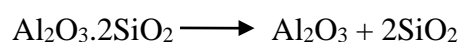
b. Sifat Kimia Semen

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. Reaksi Kimia dan Perubahan yang Terjadi Setiap Kenaikan Temperatur adalah sebagai berikut :

Pada 100 °C : Terjadi penguapan air bebas

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

Pada 500 °C : Perubahan struktur mineral silika.



**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



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

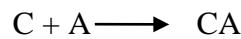
dan CaCO_3



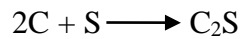
Pada 800 °C : Terjadi reaksi kalsinasi



Pembentukan CA



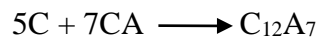
Pembentukan C_2S



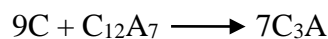
Pembentukan C_2F



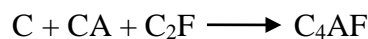
Pada 800 °C – 900 °C : Awal pembentukan C_{12}A



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

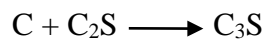


C_4AF terbentuk



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

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

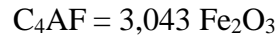
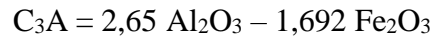
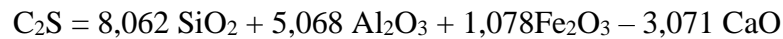


Pada >1450 °C : Dekomposisi C_3S menjadi C_2S dan CaO berjalan lambat

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

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

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



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 beton. Kandungan maksimum 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 C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk High Calcium Sulfaluminate Hydrat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3LH_2O$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



c. 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.

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 Bomb kalorimeter.

Tabel 1. Panas Hidrasi yang Dihasilkan

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (kj/kg)
$\text{C}_3\text{S (+H)}$	C-S-H + CH	520
$\text{B - C}_2\text{S (+H)}$	C-S-H + CH	260
$\text{C}_3\text{A (+CH+H)}$	C_4AH_{19}	1160
$\text{C}_3\text{A (+H)}$	C_3AH_6	910
$\text{C}_3\text{A (+CSH}_2\text{+H)}$	$\text{C}_4\text{ASH}_{12}$	1140
$\text{C}_3\text{A (+CSH}_2\text{+H)}$	$\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$	1670
$\text{C}_3\text{AF (+CH+H)}$	$\text{C}_3(\text{A}_2\text{F})\text{H}_6$	420

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

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



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

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 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.1.5 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

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



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 :

A. Keuntungan :

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

B. 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 luluhan tanah liat, sehingga terbentuk bubur halus dengan kadar air 15 – 25% (*slurry*) disini umpan tanur disaring terlebih dahulu dengan *filter press*. *Filter cake* yang berbentuk pellet kemudian

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



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 :

A. Keuntungan :

1. Umpan mempunyai komposisi yang lebih homogen dibandingkan dengan proses kering.
2. Debu yang dihasilkan sedikit.

B. Kerugian :

1. Tanur yang digunakan masih lebih panjang dari tanur putar pada proses kering.
2. Membutuhkan *filter* yang berupa *filter* putar kontinyu untuk menyaring umpan yang berupa buburan sebelum dimasukkan ke *kiln*.
3. 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 :

A. Keuntungan :

1. Tanur yang digunakan lebih pendek dari proses basah.
2. Pemakaian bahan bakar lebih sedikit.

B. Kerugian :

1. Menghasilkan debu
2. Campuran tepung baku kurang homogen karena pada saat penggilingan bahan dalam keadaan kering

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



4. Proses Kering (*Dry Process*)

Pada proses ini bahan baku dipecah dan digiling disertai pengeringan dengan 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.

A. Keuntungan :

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

B. Kerugian :

1. Impuritas Na_2O dan K_2O menyebabkan penyempitan pada saluran *preheater*.
2. Campuran tepung kurang homogen karena bahan yang digunakan dicampur dalam keadaan kering.
3. Adanya air yang terkandung dalam material sangat mengganggu operasi karena material lengket pada *inlet chute*.
4. 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

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



karena mempunyai keuntungan yaitu biaya operasi yang rendah dan kapasitas produksi yang besar sehingga sangat menguntungkan pabrik.

II.1.6 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. Silicious 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. 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.

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



c) Pengeboran (*Drilling*)

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

Peralatan yang digunakan untuk pengeboran adalah :

- a. Alat bor (*Crawl Air Drill*)
- b. Alat penggerak bor (*Compressor*)

d) Peledakan (*Blasting*)

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

Bahan-bahan peledak yang digunakan adalah :

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

LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk SECTION OF PRODUCTION PLANNING AND INVENTORY CONTROL



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

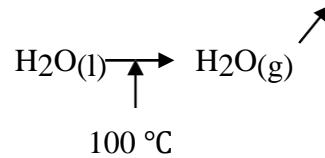
Umpan yang berasal dari *raw mill* selanjutnya diumpankan ke *kiln*. Unit pembakaran inilah merupakan bagian terpenting karena terjadi pembentukan komponen utama semen. Unit ini terdapat *suspenser preheater*, *kiln* dan *great cooler*. Menurut I Ketut Arsha Putra, 1995, proses yang terjadi pada unit ini adalah :

- a. Proses pengurangan kadar air Terjadi pada suhu 100 °C

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



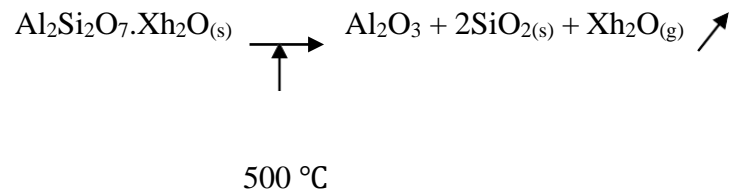
Reaksi:



- b. Pelepasan air hidrat *clay* (tanah liat)

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

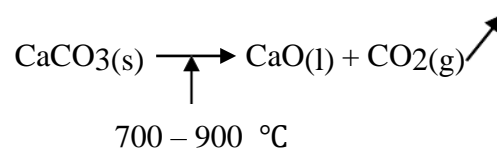
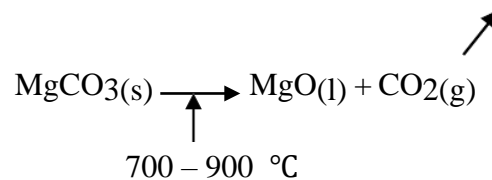
Reaksi :



- c. Terjadi proses kalsinasi

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

Reaksi :



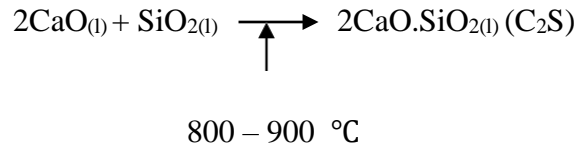
- d. Reaksi pembentukan senyawa semen C₂S

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

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



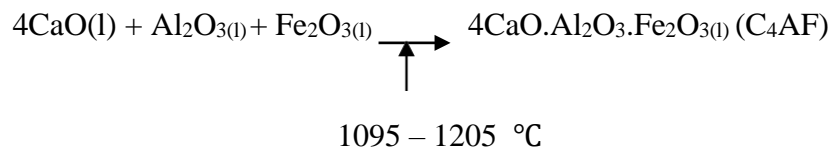
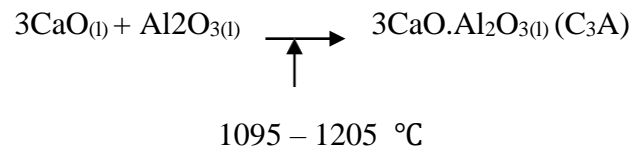
Reaksi :



e. Reaksi pembentukan senyawa semen C_3A dan C_4AF

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

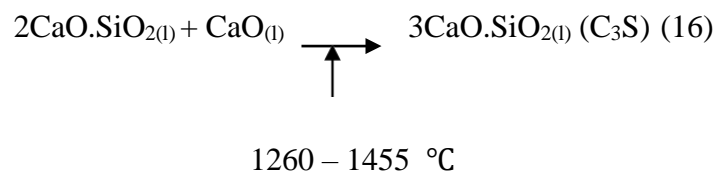
Reaksi :



f. Reaksi pembentukan senyawa semen C_3S

Pada suhu $1260 - 1455 \text{ } ^\circ\text{C}$ terjadi pembentukan *calcium silikat* terutama C_3S yang mana persentase C_2S mulai menurun karena membentuk C_3S .

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 bola-bola (*grinding ball*) yang berfungsi sebagai penggiling bahan. Dalam

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk
SECTION OF PRODUCTION PLANNING
AND INVENTORY CONTROL**



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