



BAB II

BAHAN BAKU DAN PENOLONG HASIL PRODUKSI

II. 1 Bahan Baku

II. 1. 1 Bahan Baku Utama

Bahan baku utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

A. Batu kapur

Batu kapur atau *limestone* adalah salah satu jenis batuan karbonat yang terjadi di alam, dan disebut juga batu gamping. Batu kapur merupakan sumber utama senyawa kalsium yaitu CaO untuk menghasilkan senyawa C_3S maupun C_2S yang dihasilkan dari proses pembakaran di *rotary kiln*. Batu kapur mempunyai fase padat dengan warna putih kekuningan. Mineral utama batu kapur adalah kalsit atau $CaCO_3$, minerallainnya merupakan mineral pengotor, yang biasanya terdiri dari kuarsa atau SiO_2 , karbonat yang berasosiasi dengan mineral besi dan mineral lempung, serta bahan organik sisa tumbuhan (Alextrianto & Jaya Ekaputri, 2019). Berdasarkan kandungan CaO dan $CaCO_3$ dibedakan menjadi:

a) Batu Kapur *High Grade*

Batu kapur ini mengandung $CaCO_3$ yang tinggi yaitu 97-99% dengan kandungan CaO lebih dari 54% dan MgO maksimal 2%, serta bersifat rapuh.

b) Batu Kapur *Medium Grade*

Batu kapur ini memiliki kadar $CaCO_3$ 88-92% dengan kandungan CaO sekitar 52-54% dan MgO maksimal 2%, serta bersifat rapuh dan kurang keras.

c) Batu Kapur *Low Grade*

Batu kapur ini memiliki kadar $CaCO_3$ sebanyak 85-87% dengan kandungan CaO sekitar 50-52% dan kandungan MgO yang tinggi.

Spesifikasi batu kapur secara umum ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel II.1. 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 ₂ O ₃	0,01-0,4%	0,01-0,4%	0,01-0,4%
Al ₂ O ₃	0,09-1%	0,09-1%	0,09-1%
H ₂ O,Na ₂ O ,K ₂ O	Sisa	Si sa	Sisa

Sumber: (Perry, R. H., 1997)

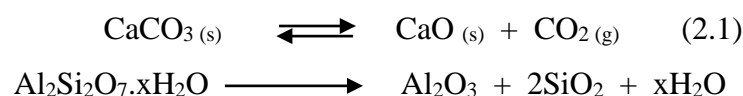
PT Semen Indonesia Tbk. menggunakan batu kapur dengan kualitas *High Grade Limestone* dan *Medium Grade Limestone* yang didapat hasil pertambangan yang ada di Desa Temandang, Pongpongan, Sumberarum, Kab. Tuban dengan jumlah deposite 251.234.184 ton (umur 26 tahun) dan Desa Tuwirikulon, Tuwiriwetan, Kapu, Tegalrejo, Kab. Tuban dengan jumlah deposite 160.602.000 ton (umur 26 tahun). Sifatfisika yang terdapat pada batu kapur ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel II.1.2 Sifat Fisika batu kapur

Fasa	Padat
Warna	Putih kekuningan
Kadar Air (%)	7-10
Bulk density (kg/m³)	1300
Spesific gravity (gram/cm³)	2,49
Kandungan CaCO₃ (%)	85-93
Kandungan CaO (%)	<i>Low lime</i> 40-44
	<i>High lime</i> 51-53
Kuat tekan (N/mm²)	31,6
Silika ratio	2,3
Alumnina ratio	2,7

Sumber: (Perry, R. H., 1997)

Batu kapur pada saat pemanasan atau pembakaran akan mengalami kalsinasi dengan reaksi seperti berikut:



T = 500-600 C

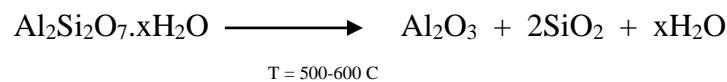


B. Tanah liat

Tanah liat merupakan sumber utama senyawa Al_2O_3 dan SiO_2 yang berfungsi sebagai zat pengeras. Pada dasarnya, warna dari tanah liat adalah putih, tetapi dengan adanya senyawa-senyawa kimia lain seperti $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe_2S_3 , CaCO_3 menjadi berwarna abu-abu sampai kuning. Sumber silika, alumina dan besi yang terdapat pada tanah liat merupakan kandungan yang dibutuhkan dalam pembuatan semen. Pabrik Tuban menggunakan tanah liat sebagai bahan baku pembuatan semen yang bersumber dari Desa Mliwang dan Tlogowaru di Kabupaten Tuban. Dalam penggunaannya sebagai bahan baku pembuatan semen, tanah liat yang baik untuk digunakan yaitu yang memiliki kadar air kurang lebih 20%, kadar SiO_2 tidak terlalu tinggi kurang lebih 46% dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen kurang lebih sebesar 15%.

Karakteristik tanah liat dibagi menjadi sifat kimia dan fisika. Sifat kimia dari tanah liat yaitu berwarna putih jika tidak mengandung zat pengotor, tetapi akan berubah warnanya menjadi cokelat kekuningan jika mengandung senyawa besi atau organik. Tanah liat akan mengeras bila ditambahkan dengan air dan akan berkurang sifat keliatannya bila dipanaskan atau dibakar.

Reaksi pelepasan air hidrat bila dipanaskan pada suhu 500°C .



Tabel II.1.3 Sifat Fisika Tanah Liat

Fase	Padat
Warna	Cokelat kekuningan atau hitam
Kadar Air	18-25%
<i>Bulk density</i>	1,7 ton/m ³
<i>Specific gravity</i>	2,36
Kandungan oksida	Al_2O_3 18-22%
	SiO_2 60-70%
	Fe_2O_3 5-10%
Titik Leleh	1999-2032 C
Kuat tekan	31,6 N/mm ²



Silika ratio	2,9
Alumina ratio	2,7

Sumber: (Perry, R. H., 1997)

II. 1. 2 Bahan Koreksi

Bahan koreksi disimpan dalam *conical pile* dan *hopper*. Dari *hopper* bahan dibawa dengan *belt conveyor* dan masuk ke dalam *correction bin*. Bahan koreksi digunakan apabila terjadi pengurangan pada salah satu komponen campuran bahan baku. Berikut bahan koreksi yang digunakan:

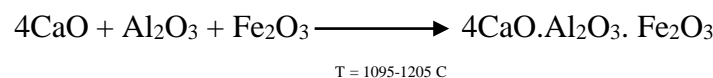
A. Cooper Slag

Copper slag mengandung mineral oksida besi yang digunakan sebagai pengoreksi kadar Fe_2O_3 . Mineral oksida besi akan memudahkan proses pelelehan bahan-bahan mentah saat proses pengilingan. Kandungan besi dalam *copper slag* yang tinggi menyebabkan densitas dan massa jenisnya lebih tinggi dari pada pasir besi. Material ini mempunyai sifat fisik yang sangat keras dan porositas optimum. Bahan ini berasal dari limbah yang dihasilkan pabrik peleburan tembaga PT Smelting Gresik. Berikut sifat fisika *copper slag* menurut PT Smelting ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel II.1.4 Sifat Fisika *Copper Slag*

Fase	Padat
Warna	Hitam
Bulk density	1,8 ton/m ³
Ukuran material	Kurang dari sama dengan 50 mm
Kandungan Fe_2O_3	78-90%

Sifat kimia yang dimiliki *copper slag* yaitu dapat bereaksi dengan Al_2O_3 dan CaO membentuk garam kalsium aluminat ferrit seperti pada reaksi kimia berikut:



Adanya CuO maka *Copper Slag* dapat mengikat SO_3



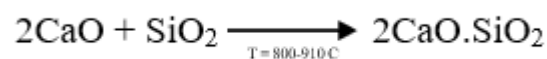
B. Pasir Silika

Kandungan pasir silika yaitu mineral oksida silika dengan kadar kurang lebih 90%, mineral oksida besi dan aluminium. Warna pasir dalam keadaan murni berwarna putih hingga kuning muda. Adanya kotoran mempengaruhi warna dari pasir silika. Pasir silika dipakai sebagai bahan tambahan pada pembuatan semen apabila kadar SiO₂ nya masih rendah. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban memperoleh pasir silika dari daerah Tuban dan Madura. Berikut sifat fisika pasir silika ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel II.1.5 Sifat Fisika Pasir Silika

Fase	Padat
Warna	Coklat kemerahan
Kadar Air	6% H ₂ O
Bulk density	1,45 ton/m ³
Specific gravity	2,37 gram/cm ²
Silika ratio	5,29
Alumina ratio	2,37

Sifat kimia yang dimiliki pasir silika yaitu dapat bereaksi dengan CaO membentuk garam kalsium silikat seperti pada reaksi kimia berikut:



C. Batu Kapur High Grade

Batu kapur *high grade* digunakan untuk mencapai kadar CaO tinggi dalam pembuatan semen yaitu $\pm 93\%$, apabila bahan baku semen kekurangan kadar CaO sebagai bahan koreksi.

II. 1. 3 Bahan Baku Tambahan

Bahan yang ditambahkan ke dalam *clinker* digunakan untuk memperbaiki atau mendapatkan sifat-sifat semen tertentu.

A. Trass

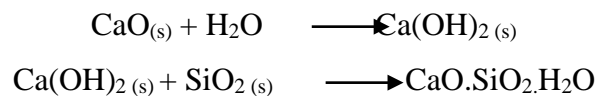
Trass digunakan sebagai bahan tambahan pada produk semen seperti jenis semen PPC agar kadar *freelime* dapat direduksi sehingga kualitas semen menjadi lebih baik dan memberikan kuat tekan awal yang kurang tetapi kuat

tekan akhir yang stabil. Bahan ini berasal dari abu gunung berapi *Trass* diperoleh dari Probolinggo, Tuban, Pasuruan, dan Lumajang. Penambahan *trass* dilakukan. Berikut sifat fisika *trass* ditampilkan pada Tabel 2.6.

Tabel II.1.6 Sifat Fisika Trass

Fase	Padat
Warna	Coklat
Bentuk	kemerahan
Ukuran material	Butiran < 30 mm
Specific gravity	2,68 gram/cm ²
Kandungan Fe₂O₃	1-6%
Kandungan SiO₂	45-72%
Kandungan Al₂O₃	10-18%
Kandungan MgO	0,5-3,0%
Kandungan SO₃	0,3-1,6%
Kandungan LOI	3-14%

Sifat kimia yang dimiliki *trass* dengan kandungan SiO₂ yang tinggi dapat bereaksi dengan Ca(OH)₂ dicampur dengan air dan membentuk CSH yang berperan terhadap kuat tekan. Semen yang diberi *trass* akan tahan terhadap asam, baik berupa sulfat maupun klorida. Ca(OH)₂ didapatkan dari reaksi CaO bebas dalam terak dengan H₂O. Berikut reaksi yang terjadi:



B. Gypsum

Gypsum merupakan bahan tambahan pembuatan semen yang akan dicampur dengan *clinker* pada penggilingan akhir. Tujuan penambahan *gypsum* pada saat penggilingan terak adalah untuk memperlambat pengerasan pada semen (*retarder*). Pada proses penggilingan *clinker* menjadi semen, jumlah *gypsum* dikontrol melalui kandungan SO₃ dalam semen yang di produksi, semakin banyak *gypsum* yang ditambahkan akan meningkatkan kadar SO₃ pada semen. Penambahan *gypsum* ini perlu dikontrol sesuai

kebutuhan karena bila melebihi kebutuhan akan menyebabkan efek negatif pada produk semen, yaitu dapat menyebabkan pemuaihan pada semen saat digunakan. *Gypsum* ini biasanya digunakan sebagai bahan tambahan pembuatan semen tipe I atau semen OPC. *Gypsum* yang digunakan dalam pembuatan semen ini berasal dari limbah B3 PT Petrokimia Gresik berupa *gypsum* sintesis dan natural. Sifatfisika *gypsum* ditampilkan pada Tabel 2.7.

Tabel II.1.7 Sifat Fisika Gypsum

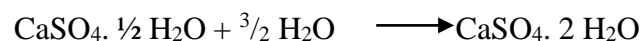
Fase	Padat
Warna	Putih
Kadar	kotos
Air	10%
Bulk density	H ₂ O 1,4 ton/m ³
Ukuran material	0-30 mm

Sifat kimia *gypsum* dapat mengalami pelepasan hidrat bila sedikit dipanaskan.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



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 kristal padat.



C. Fly Ash

Fly ash merupakan abu dari sisa pembakaran batu bara dengan kandungan oksida silika amorf (SiO₂) sebesar 40%. *Fly ash* ditambahkan untuk meningkatkan kuantitas produk semen. Selain oksida silika amorf (SiO₂), *Fly ash* juga mengandung alumunium (Al₂O₃) dan ferri oksida (Fe₂O₃). *Fly ash* yang digunakan PT Semen Indonesia (Persero) Tbk bersumber dari sisa pembakaran pada boiler PLTU Paiton sebanyak 900 ton/bulan.

II. 2 Jenis – Jenis Semen dan Produk PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Terdapat 3 jenis produk semen utama yang diproduksi oleh PT Semen

Indonesia (Persero) Tbk, yaitu OPC (*Ordinary Portland Cement*), PPC (*Pozzolan Portland Cement*), dan PCC (*Portland Composite Cement*). Terdapat 2 jenis semen lain yang diproduksi apabila terdapat pesanan khusus yaitu SBC (*Special Blende Cement*) & semen putih.

II. 2. 1 Semen OPC (Ordinary Portland Cement)



Gambar II.1.1 Semen OPC Tipe I

Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) merupakan semen yang terdiri dari 95-97% dan 3-5% gipsum. Semen ini merupakan semen umum yang paling banyak digunakan di masyarakat. Jenis semen ini memiliki warna abu-abu kebiruan yang berbentuk serbuk halus. Standar dari semen *Portland* mengacu pada SNI 15-2049-2004.

Tabel II.1. 8 Standar Kualitas Produk Semen OPC untuk Pasar Umum

Parameter	OPC	OPC Premium
Insoluble Residue (<i>Max, %</i>)	3	3
Loss on Ignition (<i>Max, %</i>)	5	2,5
Blaine (m^3/kg)	340-380	370-390
Sieve Residue 45 micron (<i>Max, %</i>)	10	6+/-1
Setting Time (menit)		
a) Initial	90-170	120-160
b) Final	160-300	Maks. 270
Kuat Tekan (kg/cm^2)		
a) 3 hari	190-240	
b) 7 hari	270-320	
c) 28 hari	360-410	
SO ₃ (%)	1,70+0,1	1,70 + 0,1
CaO (%)	60-65	60-65



Sumber: (PT Semen Indonesia, 2022)

Tabel II.1. 9 Tipe dan Komposisi Semen *Portland*

Tipe Semen	Komposisi (%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	55	19	10	7
II	51	24	6	11
III	56	19	10	7
IV	38	23	4	9

Sumber: (Austin dalam Andika, 2019)

a. Semen Portland Tipe I (Ordinary Portland Cement)

Semen yang dikenal secara luas sebagai *Ordinary Portland Cement* (OPC) merupakan semen hidrolis yang digunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, yaitu tidak memerlukan ketahanan sulfat, tidak memerlukan persyaratan panas hidrasi, dan tidak memerlukan kekuatan awal yang tinggi. Digunakan pada bangunan perumahan, gedung-gedung bertingkat, landasan pacu, dan jalan raya.

b. Semen Portland Tipe II (Moderate Sulphate Resistance Cement)

Semen yang mempunyai panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat, yakni terhadap air tanah yang mengandung sulfat antara 0,08-0,17% atau yang dinyatakan mengandung $SO_3 \pm 125$ ppm. Misalnya, untuk bangunan di pinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, beton massa dan bendungan.

c. Semen Portland Tipe III (High Early Strength Cement)

Semen yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan bangunan yang memerlukan kuat tekan awal yang tinggi setelah proses pengecoran dilakukan dan memerlukan penyelesaian secepat mungkin, seperti pembuatan jalan raya dan jalan bebas hambatan, bangunan tingkat tinggi dan bandar udara.

d. Semen Portland Tipe IV (Low Heat of Hidration)

Semen *portland* jenis ini dibutuhkan untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi yang rendah. Penggunaan semen ini ditujukan untuk meminimalisir terjadinya pengembangan volume beton yang bisa menimbulkan *cracking* (retak) akibat adanya kenaikan panas hidrasi yang dihasilkan selama periode pengerasan. Untuk mendapat kekuatan tekannya semen ini perlu membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga waktu pengerasannya lebih lambat jika dibandingkan dengan semen *portland type I*. Bangunan yang dibuat menggunakan semen ini yaitu pembangunan dam dan lapangan udara.

e. Semen Portland Tipe V (Sulfate Resistance Cement)

Semen *Portland Tipe V* memiliki sifat ketahanan tinggi sulfat. Penggunaan semen ini sering dibutuhkan dalam pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi seperti air laut, tambak, air payau dan sebagainya.

II. 2. 1 Semen OPC (Ordinary Portland Cement)



Gambar II.1.2 Semen Portland Pozzolan

Sumber: (PT Semen Indonesia, 2021)

Semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) merupakan semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling campuran terak, *gypsum* dan bahan *pozzolan* (biasanya *trass*). *Pozzolan* merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, tetapi karena bentuknya halus, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat layaknya semen dengan adanya tambahan air. Semen ini digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti: jembatan,



jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi dan fondasi pelat jenuh.

Semen ini mempunyai kandungan C_2S lebih besar daripada C_3S , sedangkandungan SO_3 antara 1,2-1,3%. Menurut ASTM, bahan *pozzolan* yang ditambahkan antara 15-40%. Komposisi pada semen PPC terdiri dari *clinker* 75-81%, *gypsum* 3-5%, *trass* 14-18%. Semen ini mempunyai kekuatan tekan awal yang rendah tapi kuat tekan selanjutnya lebih stabil. Menurut SNI 15-0302-2004, semen *portland pozzolan* diklasifikasikan dalam empat jenis yang didasarkan pada perbedaan *raw mix design* yang berpengaruh terhadap komposisi penyusun semen, yakni C_2S , C_3S , C_3A , dan C_4AF antarlain:

- 1) Jenis IP-U yang digunakan untuk semua tujuan pembuatan bahan adukan beton.
- 2) Jenis IP-K yang digunakan untuk semua tujuan pembuatan bahan adukan beton, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis P-U yang digunakan untuk pembuatan beton yang tidak mempersyaratkan kekuatan awal yang tinggi
- 4) Jenis P-K yang digunakan untuk pembuatan beton yang tidak mempersyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Tabel II.1.10 Standar Kualitas Produk Semen PPC untuk Pasar Umum

Parameter	Nilai
<i>Insoluble Residue (Max, %)</i>	Tube Mill 14,5 Ver.mill 12,5
<i>Loss on Ignition (Max, %)</i>	4,5
<i>Blaine (m³/kg)</i>	Min. 360
<i>Sieve Residue 45 micron (Max,%)</i>	10
<i>Setting Time (menit)</i>	
a) Initial	140-180
b) Final	Maks. 340
Kuat Tekan (kg/cm ²)	
a) 3 hari	>140
b) 7 hari	>210

c) 28 hari	>300
SO ₃ (%)	1,70+0,1
CaO (%)	54-58
MgO <i>Free Lime</i>	<2
<i>Autoclave</i>	<3
<i>False Set</i>	<0,2
	>50

Dikarenakan rendahnya permintaan pasar terhadap produk tersebut, pada tahun 2018 PT Semen Indonesia (Persero) Tbk telah berhenti memproduksi semen *Portland pozzolan* (PPC).

II. 2. 3 Special Blended Cement (SBC)

Special Blended Cement (SBC) merupakan pengembangan produk semen PPC yang dikembangkan khusus dengan kandungan silika aktif (amorf) yang dapat mengeliminasi kalsium hidroksida. Semen ini digunakan untuk konstruksi dengan persyaratan khusus yang membutuhkan ketahanan sulfat tinggi disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan proyek, pabrikan atau *batching plant*, serta konstruksi-konstruksi tertentu. Semen SBC dipasarkan dalam bentuk curah (*bulk cement*) dan hanya diprodksi saat perusahaan menerima pesanaan unuk konstruksi tertentu. Keunggulan dari semen iniyaitu memiliki panas hidrasi yang rendah, setara dengan semen *portland type V* dan pengembangan kuat jangka panjang. Standar dari SBC mengacu pada SNI 15-0302-2004.

II. 2. 4 Semen Portland Putih



Gambar II.1.3 Semen *Portland Putih*

Sumber: (PT Semen Indonesia, 2022)



Semen *Portland* Putih merupakan semen hidrolis yang berwarna putih yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* putih terutama kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium. Semen ini dapat digunakan untuk semua keperluan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, kecuali warna putihnya. Semen putih ini mengandung oksida besi dan oksida magnesium kurang dari 1%. Semen ini pun dapat diaplikasikan dalam berbagai keperluan dekorasi baik interior dan eksterior bangunan seperti pelapisan sambungan profile, keramik, ubin, permukaan teras, cat semen, serta struktur yang bersifat dekoratif. Standar dari semen ini mengacu pada SNI 15-0129-2004.

II. 2. 5 High Alumina Cement (Semen Alumina Tinggi)

High Alumina Cement adalah semen yang mengandung kalsium alumina tinggi dan dibuat dengan cara melebur campuran batu kapur dan bauxite. Bauxite biasanya mengandung oksida besi, silika, magnesia, dan impuritas lainnya. Semen tipe ini memiliki sifat tahan air laut, sulfat, dan asam. Selain itu, memiliki kuat tekan tinggi dalam waktu singkat, dan tahan suhu tinggi. Oleh sebab itu, semen ini cocok digunakan untuk pabrik kimia, tambang, dan penyusun *surface* (Wiranto, 2014).

II. 2. 6 Super Masonry Cement (SMC)

SMC merupakan semen yang dapat digunakan untuk konstruksi perumahan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225, dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng beton *hollow brick*, *paving block* dan tegel. Semen ini mengandung satu atau lebih blast furnace slag *cement* (semen kerak dapur tinggi), semen *portland pozzoland*, semen alam atau kapur hidrolik, dan bahan penambahnya mengandung satu atau lebih bahan-bahan seperti: kapur padam, batu kapur, *chalk*, *calceous shell*, talk, slag, atau tanah liat yang dipersiapkan untuk keperluan ini. Sifat semen ini mempunyai penyerapan air yang baik, berdaya plastisitas yang tinggi dan kuat tekan yang rendah (Pringadi, 1995).

II. 2. 7 Oil Well Cement (OWC) Class G HRC

OWC merupakan semen *portland* yang dicampur dengan bahan retarder khusus seperti lignin, asam borat, casein, gula, atau organik hidroksid acid. Semen ini merupakan semen khusus yang digunakan untuk membuat sumur minyak bumi dan gas alam dengankonstruksi sumur minyak di bawah permukaan laut dan bumi.



Fungsi retarder ini yaitu untuk mengurangi kecepatan pengerasan semen atau memperlambat waktu pengerasan semen, sehingga adukan dapat dipompakan kedalam sumur minyak atau gas. OWC yang telah di produksi oleh PT Semen Indonesia, Tbk merupakan *Class G*, High Sulfat Resistant (HSR) atau disebut juga sebagai '*Basic OWC*'. Bahan aditif dapat ditambahkan untuk pemakaian pada berbagai kedalaman dan temperatur tertentu.

II. 2. 8 Semen Max Strength

Semen *Max Strength* merupakan semen *portland* slag dengan spesifikasi yang diformulasikan khusus bagi industri *ready mix* dan *precast* untuk kebutuhan pembangunan mega structure, seperti konstruksi jembatan, *flyover*, terowongan bawah tanah, *sky scrapper* dan *tower* sesuai dengan kebutuhan bangunan modern masyarakat saat ini. Semen *Max Strength* memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki kuat lentur dan kuat tekan yang tinggi. Selain itu, semen ini juga memiliki panas hidrasi yang lebih rendah sehingga keawetan beton terhadap kondisi lingkungan yang agresif, seperti serangan karbonasi, chloride, dan sulfat tinggi. Disamping keunggulannya, semen jenis ini juga merupakan semen ramah lingkungan karena meningkatkan *sustainability* bangunan, mengurangi emisi CO₂, dan menekan penggunaan energi di dalam proses produksi.

Dari seluruh jenis semen yang di produksi PT Semen Indonesia sesuai penjelasan diatas, saat ini PT Semen Indonesia Pabrik Tuban hanya memproduksi semen jenis OPC dan PCC dan Pabrik Gresik semen yang dihasilkan yaitu jenis PPC, SBC, dan Semen Putih. Hal ini didasarkan pada permintaan pasar untuk memenuhi kebutuhan lima jenis semen tersebut.

II. 3 Komposisi Semen

1. Tricalcium Sillicate (C₃S)

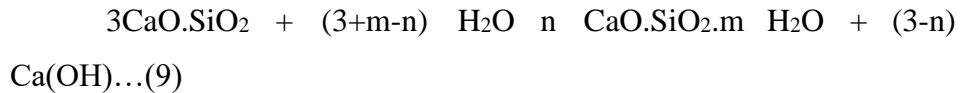
C₃S terbentuk pada suhu di atas 1200°C, kristalnya berbentuk monoclinic dan disebut alite. C₃S mempunyai sifat :

- Mempercepat pengerasan semen.
- Mempengaruhi pengikatan kekuatan awal dan kekuatan akhir yang tinggi.
- Memberikan kekuatan penyokong untuk waktu yang lama, terutama



memberikan kekuatan awal sebelum 28 hari.

d. Reaksi Hidrasi C₃S



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

2. Dicalcium Silicate (C₂S)

C₂S terbentuk pada suhu 800°C dan kristalnya disebut *betite*. Ada beberapa modifikasi kristal C₂S yaitu α - C₂S, β - C₂S, dan γ - C₂S. Bentuk yang umum dijumpai dalam semen portland adalah β - C₂S.

C₂S mempunyai sifat:

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



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

3. Tricalcium Alluminate

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.

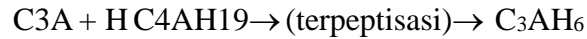
- Hidrasi C₃A tanpa adanya gypsum didalam semen

- Jika tidak terdapat Ca(OH)₂



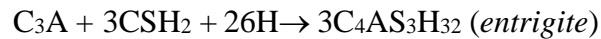


- Jika terdapat $Ca(OH)_2$

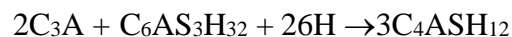


Pada saat awal pencampuran C_3A dengan air kinetika hidrasinya berlangsung lambat karena terbentuknya hexagonal hydrate (C_2AH_8 dan C_4AH_{19}) di permukaan C_3A yang berfungsi sebagai lapisan pelindung. Ketika terjadi konversi senyawa menjadi C_3AH_6 lapisan tersebut menjadi rusak dan proses hidrasi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

- b. Hidrasi C_3A jika terdapat gypsum



Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi dengan laju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan kadar C_3A rendah justru akan mempercepat setting. Apabila terdapat ketidak seimbangan 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, entringite 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 hydrate ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$). 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 Alluminate (C_4AF)

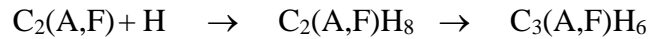
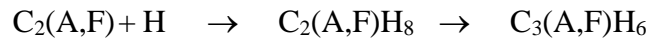
C_4AF terbentuk pada suhu $900^\circ C$ mempunyai sifat :

- a. Kurang berpengaruh terhadap kekuatan semen
- b. Cepat bereaksi dengan air dan cepat pula mengeras
- c. Memberikan warna pada semen



- d. Reaksi hidrasi C₄AF hampir serupa dengan hidrasi C₃A yaitu tergantung ada atau tidaknya gypsum dalam campuran semen.

Hidrasi C₄AF tanpa adanya gypsum di dalam semen



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

Hidrasi C₄AF jika terdapat gypsum



Dengan air bereaksi dengan cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 420 J/gram. Warna abu-abu pada semen dipengaruhi oleh C₄AF. Kandungan C₄AF pada semen Portland bervariasi antara 5% - 10% dan rata-rata 8%. (Austin, 1996)

II. 4 Modulus Semen

Menurut Diktat Teknologi Semen PT. Semen Indonesia (Persero), 1995 Modulus cement adalah bilangan yang menunjukkan ratio kuantitatif dari senyawa-senyawa antara lain :

A. Hidraulic Modulus (HM)

Jika $HM < 1,7$ menyebabkan :

- a. Kuat Tekan Awal Semen Rendah

Kuat tekan semen mempengaruhi mutu dari semen. Jika kekuatan awal semen rendah maka kualitas semen kurang baik. Hal ini disebabkan komposisi senyawa utama dalam bahan baku tidak sebanding yaitu prosentase CaO lebih kecil dibandingkan senyawa lain (SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃) sehingga semen mudah retak.

- b. Kuat Tekan Awal Semakin Tinggi

Semen yang mempunyai kuat tekan awal tinggi berarti semen tersebut mempunyai kekuatan penyokong dalam waktu lama.

- c. Membutuhkan Banyak Panas Dalam Pembakaran Di Kiln

Harga *hydraulic modulus* yang besar disebabkan karena prosentase CaO besar. Kelebihan CaO ini menyebabkan pembakaran umpan kiln membutuhkan waktu yang lama sehingga dibutuhkan panas yang banyak.



2. Lime Saturation Factor (LSF)

Menurut Walter H. Duda (1983), LSF yaitu perbandingan persen CaO yang ada dalam *raw mill* dengan CaO yang dibutuhkan untuk mengikat oksida-oksida lain. Apabila $AR > 0,64$

Harga LSF biasanya 89-98

Jika $LSF < 89$ menyebabkan :

- Terak mudah dibakar
- Kadar free lime rendah
- Liquid fase berlebihan sehingga cenderung membentuk ring dan coating ashing
- Potensial C3S rendah, C2S tinggi
- Panas hidrasi semen rendah

Jika $LSF > 98$ menyebabkan :

- Terak sulit dibakar
- Kadar free lime tinggi
- Temperature burning zone tinggi
- Potensial kadar C3S tinggi
- Panas hidrasi tinggi
- Dipakai apabila menggunakan batu-bara dengan kadar tinggi

3. Silica Ratio (SR)

Menurut Walter H. Duda (1983), SR yaitu bilangan yang menyatakan perbandingan antara oksida silika dengan alumina dari besi.

Harga SR biasanya 1,9 – 3,2. *Silica ratio* ini merupakan indikator tingkat kesulitan pembakaran raw material. Semakin tinggi nilai SR menunjukkan semakin sulit material untuk dibakar. SR yang tinggi akan menurunkan liquid fase serta meningkatkan burnability dan temperature pembakaran.

Jika $SR > 3,2$ menyebabkan :

- Material makin sulit dibakar
- C2S banyak terbentuk dan sedikit C3S
- Cenderung menghasilkan semen yang mempunyai ekspansi tinggi yang menyebabkan umur bricks menjadi lebih pendek

Jika $SR < 1,9$ menyebabkan :



- a. Material mudah dibakar
 - b. Temperature klinkerisasi rendah
 - c. Cenderung membentuk ring coating dalam kiln
4. Allumina Ratio (AR)

Menurut Walter H. Duda (1983), AR yaitu bilangan yang menyatakan perbandingan antara oksida alumina dengan oksida besi. Harga Alumina Ratio berkisar antara 1,5 – 2,5

Jika $AR > 2,5$ menyebabkan :

- a. Material sukar dibakar
- b. Menghasilkan semen dengan setting yang pendek dan kekuatan tekan awal tinggi
- c. Kadar C3A tinggi dan menurunkan kadar C4AF dalam semen

Jika $AR < 1,5$ menyebabkan :

- a. Liquid fase berdensitas tinggi dengan viscous rendah
- b. Temperature klinkerisasi rendah
- c. Material sukar dibakar

II. 5 Sifat – Sifat Semen

A. Sifat Fisika

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 kehalusandapat 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*.

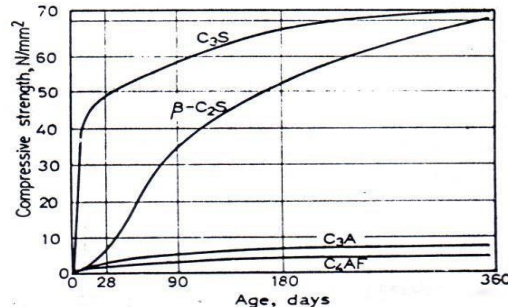
5. Pengikatan (*setting*) dan Pengerasan (*hardening*)

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 senyawa-senyawa hidrat dan membentuk titik-titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Proses ini berlangsung hingga semua rongga terisi kristal dan akan semakin kaku akhirnya tercapai *final set*. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi semen adalah temperatur, rasio semen dengan air, karakteristik semen, kandungan dan kereaktifan SO₃, jumlah dan reaktifitas C₃S serta kehalusan semen. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeras ditunjukkan melalui analisa *setting time*. Analisa *setting time* dapat menunjukkan normal atau tidaknya reaksi hidrasi semen. Alat pengujinya adalah alat *vicat* dan *gillmore*.

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 C₃S di dalam semen memberikan kontribusi yang besar pada tekanan

awal semen. Sedangkan C₂S memberikan kontribusi pada kekuatan tekan dalam umur yang panjang. Pengaruh komponen-komponen penyusun terak terhadap kuat tekan dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar II.1.4 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 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

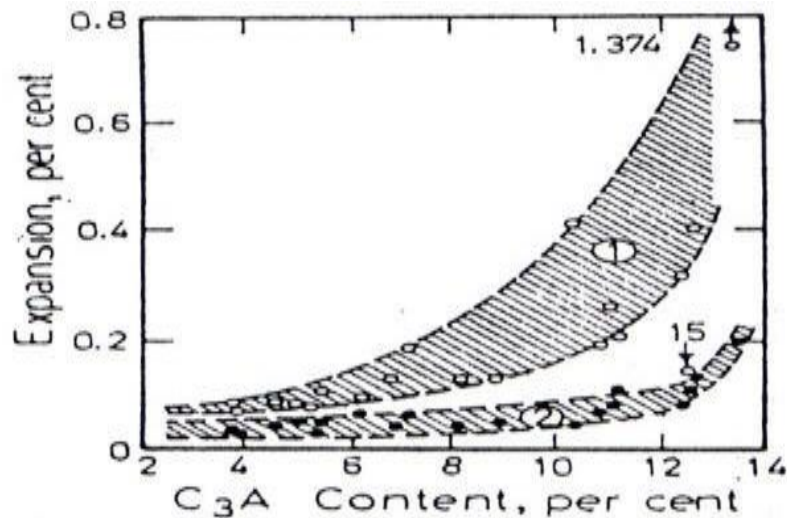
Soundness adalah kemampuan pasta semen untuk mempertahankan volumenya setelah proses pengikatan. Berkurangnya *soundness* berarti timbulnya kecenderungan beton untuk berekspansi, ini disebabkan oleh tingginya kadar *free lime* (kapur bebas) dan magnesia.

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

1. Reaksi antara C₃A dengan SO₃ yang membentuk *ettringite* (C₆AS₃H₃₂)
2. Hidrasi free lime, yaitu reaksi CaO dengan H₂O

3. Hidrasi free MgO, yaitu reaksi MgO dengan H₂O

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 berikut.



Gambar II.1.5 Grafik Hubungan Reaksi C₃A dengan Sulfat Terhadap Efek Ekspansi

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

B. Sifat Kimia

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

a. Reaksi Kimia dan Perubahan yang Terjadi Setiap Kenaikan Temperatur

- Pada 100 °C : Terjadi penguapan air bebas
- Pada 100 °C – 500 °C : Pelepasan air kristal (blinded water)
- Pada 500 ° : Perubahan struktur mineral silika.
$$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$$



- Pada 500 °C – 900 °C : Terjadi kalsinasi atau peruraian dari $MgCO_3$ dan $CaCO_3$
- $$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
- $$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$
- Pada 800 °C : Terjadi reaksi kalsinasi
- $$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
- Pembentukan CA
- $$C + A \rightarrow CA$$
- Pembentukan
- $$C_2S \quad 2C + S \rightarrow C_2S$$
- $$C_2F \quad 2C + F \rightarrow C_2F$$
- Pada 800 °C – 900 °C : Awal pembentukan $C_{12}A_7S$ + $7CA \rightarrow C_{12}A_7$
- Pada 1090°C – 1200°C : C_3A terbentuk dan C_2S pada keadaan maksimal
- $$9C + C_{12}A_7 \rightarrow 7C_3A \quad C_4AF$$
- terbentuk
- $$C + CA + C_2F \rightarrow C_4AF$$
- Pada 1200 °C : Pembentukan fasa cair material menjadi kental dan homogen.
- Pada 1200°C – 1450°C : C_3S terbentuk dan C_2S berkurang
- $$C + C_2S \rightarrow C_3S$$
- 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:

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

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

$$CaOC_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,692 Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,043 Fe_2O_3$$

b. Hidrasi Semen

Jika semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi dengan komponen-komponen yang ada dalam semen dengan air yang reaksinya



disebut reaksi hidrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi hidrasi adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur, dan komposisi kimia. Hasil dari reaksi-reaksi ini adalah senyawa hidrat. Di dalam semen, gypsum berfungsi untuk memperlambat setting. Gypsum terutama bereaksi dengan C_3A membentuk ettringite yang akan melapisi C_3A dan menahan reaksi C_3A , lapisan ini akan pecah dan akan digantikan dengan lapisan yang baru sampai seluruh gypsum habis bereaksi. Bila kadar gypsum dalam semen terlalu tinggi maka jumlah lapisan yang melindungi C_3A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama. Walau gypsum dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan gypsum dibatasi (berdasarkan jumlah SO_3). Karena bila kelebihan SO_3 di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO_3 dalam semen 1,6 – 3%.

c. Durability

Durability adalah ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa kimia, terutama terhadap senyawa sulfat. Senyawa sulfat biasanya terdapat di dalam air laut dan air tanah. Senyawa ini menyerang beton dan menyebabkan ekspansi volume dan keretakan pada beton. Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrat* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah.

d. Kandungan Alkali dalam Semen

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

e. Panas Hidrasi

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

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (KjJKg)
$C_3S (+H)$	$C-S-H + CH$	520
$B - C_2S (+H)$	$C-S-H + CH$	260
$C_3A (+CH+H)$	C_4AH_{19}	1160
$C_3A (+H)$	C_3AH_6	910
$C_3A (+CSH_2+H)$	C_4ASH_{12}	1140
$C_3A(+CSH_2+H)$	$C_6AS_3H_{32}$	1670
$C_3AF (+CH+H)$	$C_3(A_2F)H_6$	420

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

f. Kelembaban Semen

Kelembaban semen akan berakibat :

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

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

g. Free Lime (Kapur Bebas)

Sifat kimia lain semen adalah kandungan *free lime* yang dimilikinya. *Free lime* adalah kapur (CaO) yang tidak bereaksi selama pembentukan terak. Kadar CaO di dalam semen dibatasi max 1 %. Kadar *free lime* yang tinggi membuat beton memiliki kuat tekan yang rendah (akibat ekspansi



kapur bebas) membentuk gel yang akan mengembang (*swelling*) dalam keadaan basah sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton.

h. Lost On Ignition (LOI)

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. (Akhmad, 2017)

II. 6 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.