BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fungsi Semen

Fungsi utama semen adalah sebagai pengikat hidrolik, yang meningkatkan ikatan antara partikel yang terfragmentasi, sehingga dapat memungkinkan penggunaannya di berbagai bidang. Bahan yang dihasilkan akan memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda dari bahan awal bahan. Perubahan sifat yang terjadi dikaitkan dengan reaksi hidrasi eksotermik yang dimulai pada pencampuran pengikat dengan air (Hidayat, 2009).

2.2 Bahan Baku Pembuatan Semen

2.2.1 Bahan Baku Utama dalam Pembuatan Semen

A. Batu Kapur ($CaCO_3$/Calcium Carbonat)

Batu kapur pada umumnya tercampur MgCO3 dan MgSO4. Batu kapur yang baik dalam penggunaan pembuatan semen memiliki kadar air ± 5% dan penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen itu sendiri sebanyak ± 81%.

Batu kapur dalam keadaan murni berupa bahan CaCO3 yang mengandung kalsit dan aragonit. Batu kapur tersusun atas struktur butiran kristal yang baik. Kekerasan batu kapur dipengaruhi oleh umur geologinya. Semakin tua umur batu kapur biasanya semakin keras.

Pada dasarnya Calcareous Materials / Carbonic Material adalah bebatuan yang mengandung bebatuan yang banyak mengandung CaCO3 lebih besar dari 75%, SiO2, Al2O3, Fe2O3. Contohnya lime stone / batu kapur (CaCO3). Limestone adalah bahan yang paling umum digunakan, disamping chalk, marl, shell deposit. Batu kapur dengan kadar kapur tinggi disebut lime component, terdiri dari *calcite*, *dolomite*, dan *aragonite*.

Tabel 2.1 Spesifikasi Batu Kapur secara Umum

Parameter	*High Grade*	*Medium Grade*	*Low Grade*
$CaCO_3$	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 %
Al_2O_3	0,09 – 1 %	0,09 – 1 %	0,09 – 1 %
H_2O, Na_2O, K_2O	Sisa	Sisa	Sisa

Sumber: H.N Banerjea, 1980

Tabel 2.2 Komposisi Batu Kapur pada Pembuatan Semen Portland

Senyawa	% senyawa
CaO (%)	55
SiO_2 (%)	1 – 15
Al_2O_3 (%)	1 – 6
Fe_2O_3 (%)	0,2 – 5
MgO (%)	0,2 – 4
Alkali (%)	0,2 – 4
SO_3 (%)	1 – 3
Cl (%)	0,2 – 1
H_2O (%)	7 – 10

Sumber: H.N Banerjea, 1980

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

- Fase : Padat
- Warna : Putih Kekuningan
- Kadar Air : 7 - 10% H_2O
- *Bulk Density* : 1,3 ton/m3
- *Spesific Gravity* : 2,4 gr/cm3
- Kandungan $CaCO_3$: 85 93%
- Kandungan CaO : 47 – 56%

- ❖ Kuat Tekan : 31,6 N/mm2
- ❖ Silika Ratio : 2,60
- ❖ Alumina Ratio : 2,57

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia batu kapur yaitu dapatmengalami kalsinasi :

$$CaCO_3 \xrightarrow[T= 600\text{-}800^o\ C]{} CaO + CO_2$$

B. Tanah Liat ($Al_2O_3.2SiO_2.xH_2O$)

Semua jenis tanah liat adalah hasil pelapukan kimia yang menyebabkan adanya pengaruh air dan gas CO2, batuan andesit, granit, dan sebagainya. Batuan- batuan ini menjadi bagian yang halus dan tidak larut dalam air tetapi mengendap berlapislapis. Tanah liat (Clay) termasuk kedalam kelompok mineral Siliceous dan Argillaceous, yaitu mineral sumber silika (SiO2), besi alumina (Fe2O3), serta kandungan CaCO3 kurang dari 75%. Tanah liat pada dasarnya terdiri atas berbagai variasi komposisi. Pada umumnya tanah liat merupakan senyawa alumina silica hydrate dengan kadar H2O maksimal 25% dan kadar Al2O3 minimal 14%.

Tanah liat terbentuk dari beberapa senyawa kimia antara lain : alkali silikat dan beberapa jenis mika. Pada dasarnya warna dari tanah liat adalah putih, tetapi dengan adanya senyawa-senyawa kimia lain seperti Fe(OH)3, Fe2S3 dan CaCO3 menjadi hanya berwarna abu-abu sampai kuning. Tanah liat yang baik untuk digunakan memiliki kadar air ± 20%, kadar SiO2 tidak terlalu tinggi ± 46%, dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 9%.

Menurut R.H. Perry, 1984, salah satu sifat kimia tanah liat yaitu dapat mengalami pelepasan air hidrat bila dipanaskan pada suhu 500˚C.

Reaksinya :

$$Al_2Si_2O_7\ xH_2O \xrightarrow[T = 500°C]{} Al_2O_3 + {}_2SiO_2 + xH_2O$$

Sifat dari tanah liat jika dipanaskan atau dibakar akan berkurang sifat keliatannya dan menjadi keras bila ditambah air. Warna tanah liat adalah putih bila tanpa adanya zat pengotor, tetapi bila ada senyawa besi organik tanah liat akan berwarna coklat kekuningan.

Tabel 2.3 Komposisi Tanah Liat pada Pembuatan Semen Portland

CaO (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	Alkali (%)	SO_3 (%)	H_2O (%)
1 – 10	40 – 70	15 – 30	3 – 10	1 – 5	1 - 4	<2	18 - 25

Sumber : H.N Banerjea, 1980

2.2.2 Bahan Pembantu dalam Pembuatan Semen

A. Pasir Silika (SiO_2)

Pasir silika adalah salah satu mineral yang umum ditemukan dalam kerak bumi. Mineral ini memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silica trigonal terkristalisasi (Silikon Dioksida, SiO2) dengan densitas 2,65 g/ dan titik lebur 17150 ^oC. Pada umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar SiO2 semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar SiO2 semakin berwarna merah atau coklat, disamping itu semakin mudah menggumpal karena kadar airnya yang tinggi. Semakin murni pasir silika, maka akan semakin putih warnanya dan biasa disebut pasir kuarsa 100%. Pasir silika yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar SiO2 ± 90%, dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 9%.

Tabel 2.4 Komposisi Pasir Silika pada Pembuatan Semen Portland

Senyawa	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Alkali	LOI
%	1 – 3	85 – 95	2 – 5	1 – 3	1 – 3	1 – 2	2 – 5

Sumber: H.N Banerjea, 1980

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

Reaksi:

$2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO.SiO_2$

T = 800 – 900 °C

Pasir silika banyak terdapat di daerah pantai. Derajat kemurnian pasir silika dapat mencapai 95 – 99,8% SiO_2. Warna pasir silika dipengaruhi oleh adanya kotoran seperti oksida logam dan bahan organic,

B. Pasir Besi (Fe_2O_3)

Copper slag digunakan sebagai pembawa oksida besi yang berfungsi sebagai pengganti pasir besi. Pasir besi (Fe_2O_3) berfungsi sebagai penghantarpanas dalam proses pembuatan terak semen. Penggunaan pasir besi dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar ± 1%. *Copper slag* digunakan karena mempunyai kandungan besi yang tinggi, sehingga menyebabkan material ini mempunyai densitas lebih tinggi dibandingkan pasir alam. Material ini mempunyai sifat fisik yang sangat keras dan porositas optimum kehitaman.

Tabel 2.5 Komposisi *Copper Slag* pada Pembuatan Semen Portland

SiO_2 (%)	**Al_2O_3 (%)**	**Fe_2O_3 (%)**	**LOI (%)**
5 – 10	2 – 5	85 – 95	0 – 5

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

Reaksi:

$4CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

T = 1095 - 1205°C

C. Gypsum ($CaSO_4.2H_2O$)

Kebutuhan *Gypsum* diperoleh dari Petrokimia Gresik, PLTU Jepara, PT.SMELTHING. Gypsum diangkut dengan truck ke pabrik berupa kerikil. *Gypsum* ini digunakan untuk bahan tambahan pembuatan semen type I atau semenOPC (*Ordinary Protland Cement*). Gypsum dipakai sebagai bahan campuran pada terak untuk digiling pada penggilingan akhir. Tujuan penambahan gypsum pada saat penggilingan terak adalah untuk

memperlambat pengerasan pada semen, mencegah adanya *false set*, serta memberikan tekanan pada semen. Penambahan *gypsum* dengan kadar 91 % dilakukan pada penggilingan akhir dengan perbandingan 96 :4. *Gypsum* dapat diambil dari alam ataupun secara sintetis.

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

Reaksi:

$CaSO_4.2H_2O \rightarrow CaSO_4.½\ H_2O + 1½\ H_2O$

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:

$CaSO_4.1/2H_2O + 11/2\ H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$ (T < 99 ºC)

D. Trass ($2CaO.\ SiO_2$)

Trass adalah bahan hasil letusan gunung berapi yang berbutir halus dan banyak mengandung silika amorf (SiO_2) yang telah mengalami pelapukan hingga derajat tertentu. Trass digunakan sebagai bahan campuran semen PPC sebagai pozzolan activity. Penambahan trass bertujuan agar kadar freelime dapat direduksi sehingga kualitas semen menjadi lebih baik dan memberikan kuat tekan awal yang kurang tapi kuat tekan akhir yang stabil. Penambahan trass dilakukan di dalam finish mill dengan gypsum dan terak (clinker). Trass yang memiliki kandungan utama silika aktif SiO_2 akan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ saat ditambahkan air dan membentuk CSH dimana senyawa ini memberikan kontribusi terhadap kuat tekan dan akan tahan terhadap asam, baik sulfat maupun klorida. $Ca(OH)_2$ ini didapat dari reaksi CaO bebas dalam terak dengan H_2O.

Reaksi:

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(s)$$

$$Ca(OH)_2(s) + SiO_2(s) \rightarrow CaO.SiO_2.H_2O$$

E. Fly Ash

Fly ash merupakan abu dari sisa pembakaran batu bara dengan kandunganoksida silika amorf (SiO_2) sebesar 40,0%. Penambahan bahan ini yaitu untuk meningkatkan kuantitas produk semen.

F. Dust

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

2.3 Fungsi Senyawa Kimia dalam Bahan Baku

Jika dinyatakan dalam bentuk oksidanya, ada 8 senyawa kimia penting yang terdapat dalam bentuk bahan baku. Senyawa kimia tersebut adalah sebagai berikut :

A. Oksida Kalsium (CaO)

Sumber utama oksida kalsium adalah CaCO3 dalam batu kapur. Dalam proses semen CaO merupakan oksida terpenting, sebab disamping merupakan senyawa terbesar jumlahnya juga merupakan senyawa bereaksi dengan senyawa- senyawa silikat, aluminat dan besi membentuk senyawa-potensial penyusun senyawa semen. CaO dalam batu kapur tidak semuanya berikatan membentuk mineral potensial biasanya tidak berikatan dengan senyawa lain yang biasa disebut CaO bebas.

B. Oksida Silica (SiO_2)

SiO_2 terutama diperoleh dari peruraian mineral-mineral kelompok montmorillonit yang berasal dari tanah liat. Disamping itu juga SiO_2 bebas yang berasal dari pasir silika. Dalam semen, SiO_2 selalu terdapat dalam keadaan berikatan dengan CaO.

C. Oksida Aluminium (Al_2O_3)

Al_2O_3 juga terdapat di dalam tanah liat yaitu pada kelompok mineral nontronik, bersama CaO merupakan oksida pembentuk mineral potensial kalsium alumina, bersama CaO dan Fe_2O_3 akan membentuk senyawa alumina ferri. Al_2O_3 berperan sebagai fluks (penurunan titik leleh) campuran bahanbahan baku.

D. Oksida Ferrum (Fe_2O_3)

Fe_2O_3 juga terdapat dalam tanah liat yaitu dalam kelompok mineral kaolonit. Bersama-sama CaO dan Al_2O_3, Fe_2O_3 akan bereaksi membentuk senyawa alumina ferrit. Selain berperan dalam reaksi pembentuk mineral potensial juga berperan sebagai fluks.

E. Oksida Magnesium (MgO)

MgO terutama diperoleh dari peruraian dolomite ($CaCO_3$) kadang-kadang MgO bisa juga berasal dari mineral-mieneral tanah liat. MgO tidak berfungsi sebagai salah satu mineral potensial sebab dalam proses pembuatan semen, MgO tidak bereaksi dengan oksida-oksida lainnya. Peranannya hanya sebagai fluks dan pewarna semen

F. Oksida Alkali (Na_2O dan K_2O)

Oksida alkali umumnya berasal dari dekomposisi mineral-mineral tanah liat yaitu kelompok illit dan jumlahnya relatif kecil. Oksida alkali bukan merupakan pembentuk mineral potensial tetapi sebagai fluks saja.

G. Oksida Belerang (SO_3)

Oksida belerang dalam semen terutama diperoleh dari penambahan senyawa CaSO4.2H2O. Selain itu ada juga SO3 yag berasal dari bahan bakar yang digunakan dalam proses pembuatan semen. Senyawa oksida belerang sama sekali tidak berpengaruh dalam pembentukan mineral potensial penyusun semen, tetapi fungsinya terutama pada pemakaian semen.

H. Oksida Fosfor (P_2O_5)

Umumnya kandungan P_2O_5 pada semen tidak lebih dari 0,2%. Adanya P_2O_5 dapat memperlambat pengerasan semen, karena turunnya kadar C_3S dimana terbentuk P_2O_5 dan CaO. Kadar P_2O_5 yang tinggi dapat menyebabkan unsoundness karena terbentuknya kapur bebas pada P_2O_5 2,5%.

2.4 Komponen senyawa dalam Produk Semen

1. Tricalsium Sillicate (C3S)

   C3S terbentuk pada suhu di atas 1200^{o}C, kristalnya berbentuk monoclinic dan disebut alite. C3S mempunyai sifat :

   a. Mempercapat pengerasan semen
   b. Mempengaruhi pengikatan kekuatan awal dan kekuatan akhir yang tinggi.
   c. Memberikan kekuatan penyokong untuk waktu yang lama, terutama memberikan kekuatan awal sebelum 28 hari.
   d. Reaksi Hidrasi C3S

      $3CaO.SiO2 + (3+m-n)\ H2O \rightarrow n\ CaO.SiO2.m\ H2O + (3-n)\ Ca(OH)$

   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. Dicalsium Sillicate (C2S)

   C2S terbentuk pada suhu 800^{o}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:

      a. Proses hidrasinya berlangsung lambat.
      b. Menambah kekuatan setelah 28 hari.
      c. Reaksi hidrasinya adalah :

         $2CaO.SiO2 + (2+m-n)\ H2O \rightarrow n\ CaO.SiO2.m\ H2O + (2-n)\ Ca(OH)2$

   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. Tricalsium Alluminate

C3A terbentuk pada suhu 1090ºC – 1200ºC 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 didalam semen

Jika tidak terdapat Ca(OH)2

C3A + H C2AH8 →(terpeptisasi) →C3AH6

C3A + H C4AH19→ (terpeptisasi)→ C3AH6

Jika terdapat Ca(OH)2

C3A + H C4AH19→ (terpeptisasi)→ C3AH6

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

C3A + 3CSH2 + 26H→ 3C4AS3H32 (entrigite)

Reaksi hidrasi awal berlangsung sangat cepat dan dilanjutkan reaksi denganlaju hidrasi semakin lambat. Oleh karena itu, untuk semen dengan kadar C3A rendah justru akan mempercepat setting. Apabila terdapat ketidak setimbangan antar reaktifitas C3A dengan laju pelarutan gypsum maka akan terbentuk sejumlah kecil senyawa C4ASH12 atau C4AH19. Apabila seluruh gypsum telah bereaksi, enttringiteakan bereaksi dengan C3A sisa.

2C3A + C6AS3H32 + 26H →3C4ASH12

Mineral C3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawasulfat yang ada dalam air dan membentuk high calsium sulfaluminate hydrat (3CaO.Al2O3.3CaSO4.31H2). Oleh karena itu

semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C3A yang rendah. Dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi yaitu 850 J/gram. Kandungan C3A pada semen Portland bervariasi antara 7% - 15%.

4. Tetracalsium Alluminate (C4AF)

   C4AF terbentuk pada suhu 900oC 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

   $C2(A,F) + H \rightarrow C2(A,F)H8 \rightarrow C3(A,F)H6$

   $C2(A,F) + H \rightarrow C2(A,F)H8 \rightarrow C3(A,F)H6$

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

   Hidrasi C4AF jika terdapat gypsum

   $C2(A,F) + H \rightarrow C6(A,F)S3H32 \rightarrow C4(A,F)SH12$

   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%.

(Philip, 2001)

2.5 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 ronggayang 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 semenmemberikan kontribusi yang besar pada tekanan awal semen. Sedangkan C2S memberikan kontribusi pada kekuatan tekan dalam umur yang panjang.

(Hidayat, 2009)

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 saatpenambahan 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^{o}C	: Terjadi penguapan air bebas
Pada 100^{o}C – 500^{o}C	: Pelepasan air kristal (blinded water)
Pada 500^{o}C	:Perubahan struktur mineral silika. $Al_2O_3.2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
Pada 500^{o}C – 900^{o}C	: Terjadi kalsinasi atau peruraian dari $MgCO_3$ dan $CaCO_3$

CaCO3→CaO + CO2

MgCO3→MgO + CO2

Pada 800°C : Terjadi reaksi kalsinasi

CaCO3→CaO + CO2

Pembentukan CA

C + A→CA

Pembentukan

C2S 2C + S→C2S

C2F 2C + F→C2F

Pada 800°C – 900°C : Awal pembentukan

C12A75C + 7CA→C12A7

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

9C + C12A7→7C3A C4AF

terbentuk

C + CA + C2F →C4AF

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

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

C + C2S→C3S

Pada >1450°C : Dekomposisi C3SD menjadi C2S dan CaO berjalan lambat

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

C3S = 4,071 CaO – 7,6 SiO2 – 6,718 Al2O3 – 1,43 Fe2O3

C2S = 8,062 SiO2 + 5,068 Al2O3 + 1,078 Fe2O3 – 3,071

CaOC3A = 2,65 Al2O3 – 1,692 Fe2O3

C4AF = 3,043 Fe2O3

b. Hidrasi Semen

Jika semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi dengan komponen-komponen yang ada dalam semen dengan air yang reaksinya disebut reaksi hidrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi hidrasi adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur, dan komposisi kimia. Hasil dari reaksi-reaksi ini adalah senyawa hidrat. Di dalam semen, gypsum berfungsi untuk memperlambat setting. Gypsum terutama bereaksi dengan C3A membentuk ettringite yang akan melapisi C3A dan menahan reaksi C3A, lapisan ini akan pecah dan akan digantikan dengan lapisan yang baru sampai seluruh gypsum habis bereaksi. Bila kadar gypsum dalam semen terlalu tinggi maka jumlah lapisan yang melindungi C3A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama. Walau gypsum dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan gypsum dibatasi (berdasarkan jumlah SO3). Karena bila kelebihan SO3 di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO3 dalam semen 1,6 – 3%.

c. Durability

Durability adalah ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa kimia, terutama terhadap senyawa sulfat. Senyawa sulfat biasanya terdapat di dalam air laut dan air tanah. Senyawa ini menyerang beton dan menyebabkan ekspansi volume dan keretakan pada beton. Mineral C3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawasulfat yang ada dalam air dan membentuk High Calsium Sufaluminate Hydrat (3CaO.Al2O3.3CaSO4.3lH2O). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C3A yang rendah.

d. Kandungan Alkali dalam Semen

Kandungan alkali (Na2O dan K2O) 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 Na2O) karenakandungan 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.

Tabel 2.6 Panas Hidrasi dari Komposisi Semen

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (KjJKg)
C3S (+H)	C-S-H + CH	520
B – C2S (+H)	C-S-H + CH	260
C3A (+CH+H)	C4AH19	1160
C3A (+H)	C3AH6	910
C3A (+CSH2+H)	C4ASH12	1140
C3A(+CSH2+H)	C6AS3H32	1670
C3AF (+CH+H)	C3(A2F)H6	420

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

f. Kelembaban Semen

1. Kelembaban semen akan berakibat :
2. Menurunkan specific gravity
3. Terjadi false set
4. Terbentuknya gumpalan – gumpalan
5. Menurunnya kualitas semen
6. Bertambahnya loss on ignition
7. Bertambahnya setting time dan hardening
8. Penurunan tekanan
9. Oleh sebab itu, strategi penyimpanan semen harus diperhatikan agar semen dapat menjadi awet dan mutu dari semen akan terjaga.

g. Free Lime (Kapur Bebas)

Sifat kimia lain semen adalah kandungan free lime yang dimilikinya. Free lime adalah kapur (CaO) yang tidak bereaksi selama pembentukan terak. Kadar CaO di dalam semen dibatasi max 1 %. Kadar free lime yang tinggi membuat betonmemiliki 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.

(Philip, 2001).