



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Semen

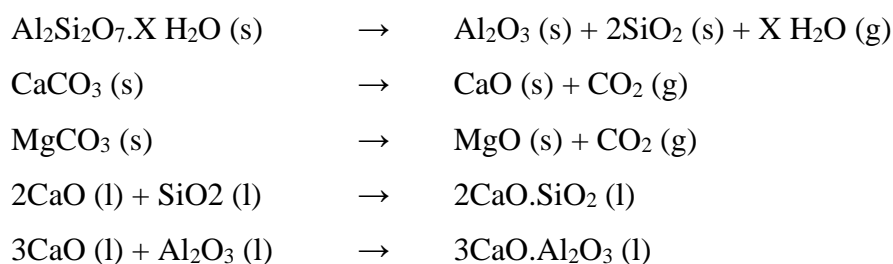
Secara umum, semen adalah substansi yang memiliki sifat adhesif dan kohesif, digunakan sebagai material pengikat yang berfungsi bersama agregat, baik kasar maupun halus (Rivai, 2019). Semen terbagi menjadi dua macam:

- Semen Hidrolis adalah semen yang dapat mengeras dalam air, menghasilkan padatan yang stabil dalam air.
- Semen Non Hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak stabil dalam air.

Pembuatan semen dilakukan melalui proses pembakaran campuran batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan pasir besi dengan proporsi yang telah ditentukan. Produk dari proses pembakaran ini dikenal sebagai clinker atau terak, yang mengandung senyawa utama dari semen, yaitu:

- Tricalcium silicate :  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  atau  $\text{C}_3\text{S}$
- Dicalcium silicate :  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  atau  $\text{C}_2\text{S}$
- Tricalcium aluminate :  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  atau  $\text{C}_3\text{A}$
- Tetracalcium Aluminoferrite :  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  atau  $\text{C}_4\text{AF}$

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan semen adalah:



#### II.2 Komposisi Semen

Semen terdiri dari empat komponen utama, yaitu Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) sebesar 67%, Silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 22%, Feri oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sebesar 3%, dan Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebesar 5%. Kandungan dari keempat oksida utama tersebut mencapai sekitar 97% dari berat semen dan umumnya dikenal

sebagai "Mayor Oxide", sementara sisanya yang berjumlah 3% disebut "Minor Oxide", yang meliputi senyawa  $\text{SO}_3$ , senyawa alkali,  $\text{CaO}$  free lime, dan  $\text{MgO}$  (Riyanto, 2014). Keempat oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa yang terlihat pada tabel berikut:

No	Rumus Kimia	Simbol	Nama
1	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Trikalsium silikat
2	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Dikalsium silikat
3	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Trikalsium aluminat
4	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	Tetrakalsium aluminoferrit

Keempat jenis oksida mayor tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa penyusun semen, yaitu:

a. Trikalsium silikat

$\text{C}_3\text{S}$  terbentuk pada suhu  $1260 - 1450^\circ\text{C}$  dengan memiliki beberapa sifat, yaitu:

- Mempercepat pengerasan semen
- Mempengaruhi pengikatan kekuatan awal terutama memberi kekuatan awal sebelum 28 hari
- Menimbulkan panas hidrasi 120 kalori/gram
- Kandungan  $\text{C}_3\text{S}$  pada semen *Portland* antara 35 – 55%

b. Dikalsium silikat

$\text{C}_2\text{S}$  terbentuk pada suhu  $800 - 900^\circ\text{C}$  dengan memiliki beberapa sifat, yaitu:

- Memberi kekuatan penyokong selama 1 hari
- Panas yang dilepas selama proses hidrasi sebesar 62 kal/gram
- Kandungan  $\text{C}_3\text{S}$  pada semen *Portland* antara 15 – 35%

c. Trikalsium aluminat

$\text{C}_3\text{A}$  terbentuk pada suhu  $1095 - 1205^\circ\text{C}$  dengan memiliki beberapa sifat, yaitu:

- Panas yang dilepas selama proses hidrasi sebesar 220 kal/gram
- Memberikan pengaruh terhadap kecepatan pengerasan pada semen



## LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANG PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG



- Kandungan  $C_3A$  pada semen *Portland* antara 7 – 15%
- d. Tetrakalsium aluminoferrit
  - Memberikan pengaruh pada warna semen
  - Kandungan  $C_4AF$  pada semen *Portland* antara 5 – 10%

Keempat semen *Portland* mengandung komposisi:

1.  $C_3S$  dan  $C_2S$  75%: Memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan semen.
2.  $C_4AF$  dan  $C_3A$  25%:  $C_4AF$  memberikan sedikit pengaruh terhadap warna semen, Sedangkan  $C_3A$  memberikan pengaruh terhadap kecepatan pengerasan semen.

Selain contoh oksida di atas, contoh oksida minor yang terdapat pada semen, yaitu:

a. Magnesium oksida ( $MgO$ )

Pada pembuatan semen salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah kandungan  $MgO$ nya. Kadar  $MgO$  yang disarankan maksimal 2%, apabila kadar  $MgO$ nya tinggi atau lebih dari 2% maka dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk semen setelah terjadi pengerasan, yaitu timbulnya retak-retak atau lengkungan – lengkungan.

b. Sulfur trioksida ( $SO_3$ )

Gypsum memberikan kandungan  $SO_3$  terbesar dalam semen. Namun, penggunaan gypsum juga dibatasi berdasarkan kandungan  $SO_3$ nya, karena apabila terjadi kelebihan  $SO_3$  dalam semen maka akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Dimana kandungan maksimum  $SO_3$  dalam semen adalah 1,6 – 3%.

c. Alkali ( $Na_2O_3$ ,  $K_2O$ )

Kandungan alkali maksimal 1%, tetapi disarankan 0,2 – 0,3%, semakin tinggi kandungan alkali akan berakibat naiknya *liquid contact* yang akan membentuk *coating*.

d. Free lime (kapur bebas)



*Free lime* adalah bagian dari kapur yang tidak bereaksi selama proses klinkerisasi dan tertinggal dalam semen dalam keadaan bebas. Hal ini terjadi karena:

- Ukuran partikel bahan baku tidak cukup halus
- Pembakaran *clinker* tidak sempurna
- Kandungan alkali dalam bahan baku terlalu tinggi
- Dekomposisi mineral *clinker* selama proses pendinginan

Semen berkualitas baik, kandungan *free lime* harus dibawah 2%, maka beton akan memiliki kekuatan yang tinggi dan menjadi kenyal.

e. *Ignition lost (IL)*

*Ignition Lost* disyaratkan untuk mencegah adanya mineral-mineral yang dapat diuraikan pada pemijaran. Besarnya hilang pijar tergantung pada banyaknya air kristal gypsum yang berkisar 2,5 – 3%. Hilang pijar pada semen terutama disebabkan oleh terjadinya penguapan air kristal yang berasal dari gypsum dan penguapan uap air serta CO<sub>2</sub> yang terlepas ke udara.

### II.3 Jenis Semen

Perbedaan macam semen tergantung pada komposisi unsur-unsur penyusunnya dan unsur tambahan lain yang ditambahkan. Berbagai jenis semen antara lain (Manurung, 2019):

#### A. *Semen Portland*

Merupakan semen hidrolis yang diperoleh dengan menggiling terak yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, bersama bahan tambahan. Bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah gypsum. Berdasarkan banyaknya persentase kadar masing – masing komponen, ASTM (*American society of Testing Material*) C 150-95 membagi lima macam tipe semen Portland tersebut yaitu:



## LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANG PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG



### 1) Semen *Portland* Jenis I (*Ordinary Portland Cement*)

Semen hidrolis yang digunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak memiliki persyaratan khusus, antara lain bangunan rumah, gedung bertingkat, landasan pacu.

### 2) Semen *Portland* Jenis II (*Moderate Sulfate Resistance*)

Semen jenis ini digunakan untuk bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang, seperti bangunan pinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, bendungan.

### 3) Semen *Portland* Jenis III (*High Early Strength*)

Semen jenis ini merupakan semen yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan bangunan yang memerlukan tekan awal yang tinggi setelah proses pengecoran dilakukan dan memerlukan penyelesaian secepat mungkin, seperti pembuatan jalan raya bebas hambatan (jalan tol), bangunan tingkat tinggi dan bandar udara.

### 4) Semen *Portland* Jenis IV (*Low Heat of Hydration*)

Jenis semen ini adalah semen yang panas hidrasinya rendah, pengerasan dan pengembangannya lambat. Semen jenis ini digunakan untuk pembangunan beton yang berdimensi besar.

### 5) Semen *Portland* Jenis V (*Sulfate Resistant Cement*)

Semen jenis ini dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah/air yang mengandung sulfat tinggi dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit nuklir.

## **B. *High Alumina Cement***

Semen ini dapat menghasilkan beton dengan kecepatan pengerasan yang cepat dan tahan terhadap serangan sulfat dan asam, tetapi tidak tahan terhadap alkali. Semen ini mempunyai kecepatan pengerasan awal yang lebih baik daripada Semen *Portland* Tipe III. Bahan baku pembuatan semen ini adalah batu kapur dan bauksit.



#### C. Semen *Portland Pozzolan* (*Portland Pozzolan Cement*)

Semen *Portland* pozzolan adalah bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak, gypsum, dan bahan pozzolan. Semen PPC 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 pondasi pelat penuh.

#### D. Semen Putih

Semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif, bukan untuk tujuan konstruktif. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatan yang khusus, seperti misalnya bahan mentahnya mengandung oksida besi dan oksida mangan yang sangat rendah (dibawah 1 %).

#### E. Semen Anti Bakteri

Semen anti bakteri adalah campuran yang homogen antara semen Portland dengan “*antibacterial agent*” seperti germicide. Bahan tersebut ditambahkan pada semen *Portland* untuk “*Self Disinfectant*” beton terhadap serangan bakteri dan jamur yang tumbuh. Sifat kimia dan fisiknya hampir sama dengan semen *Portland* tipe I. Penggunaan semen anti bakteri antara lain:

- Kamar mandi
- Kolam – kolam
- Lantai industri makanan
- Keramik
- Bangunan dimana terdapat jamur patogen dan bakteri

#### F. *Oil Well Cement*

*Oil Well Cement* adalah semen Portland semen yang dicampur dengan bahan retarder khusus seperti asam borat, casein, lignin, gula atau *organic hidroksid acid*. Fungsi dari retarder disini adalah untuk mengurangi kecepatan pengerasan semen, sehingga adukan dapat dipompakan ke dalam sumur minyak atau gas.



### G. *Masonry Cement*

Semen hidrolis, yang digunakan dalam pekerjaan menembok konstruksi, terdiri campuran semen Portland, semen hidrolik dengan bahan bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan bahan lain untuk meningkatkan sifat waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*), dan ketahanan (*durability*).

## II.4 Proses Pembuatan Semen

Menurut Duda (1983), ditinjau dari kadar air umpan maka teknologi pembuatan semen dibagi menjadi 4 proses, yaitu:

### 1. Proses Basah (*wet process*)

Pengolahan semen dengan proses basah adalah proses pengolahan di mana bahan bakunya ditambahkan dengan air atau *slurry*, dan kemudian dikeringkan dengan pengering rotasi. *Kiln* dengan kadar air antara 25 dan 40%. "*Long Rotary Kiln*" adalah yang paling umum digunakan untuk menghasilkan terak. Deolalkar (2009) menyatakan bahwa salah satu kelemahan proses ini adalah bahwa jumlah bahan bakar yang digunakan relatif besar. Proses basah memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan, termasuk:

#### A) Kekurangan

- Sangat korosif di pipa;
- *Kiln* yang digunakan lebih panjang dibandingkan dengan proses kering;
- Memerlukan banyak air proses; dan
- Kapasitas produksi lebih sedikit dibandingkan dengan proses lain.

#### B) Kelebihan

- Komposisi umpan sangat homogen;
- Debu yang dihasilkan relatif sedikit; dan



- Kadar alkalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ) tidak menimbulkan gangguan penyempitan dalam saluran *preheater* atau pipa.

## 2. Proses Semi Basah (*semi wet process*)

Pada proses semi basah, bahan baku dipotong dan ditambahkan air dalam jumlah tertentu pada unit homogenisasi, sehingga terbentuk bubur halus dengan kadar air antara 15 dan 25%. Umpan tanur disaring terlebih dahulu dengan *filter press*. Kemudian, *filter cake* yang berbentuk pellet mengalami kalsinasi dalam tungku putar panjang, juga dikenal sebagai *long rotary kiln*. Proses kalsinasi menyebabkan pembentukan clinker setelah perpindahan panas awal pada bagian rantai. Proses ini menghasilkan panas sekitar 1000-1200 kcal/kg clinker.

### A) Kekurangan

- *Kiln* yang digunakan masih lebih panjang daripada *kiln* yang digunakan pada proses kering.
- Energi yang dibutuhkan 1000-1200 kcal/kg terak.
- Membutuhkan filter yang berupa filter putar kontinu untuk menyaring umpan yang berupa *slurry* sebelum dimasukkan ke *kiln*.

### B) Kelebihan

- Umpan mempunyai komposisi yang lebih homogen dibandingkan dengan proses kering
- Debu yang dihasilkan sedikit.
- Biaya yang digunakan lebih sedikit dibandingkan *wet process*.

## 3. Proses Semi Kering (*semi dry process*)

Proses ini adalah transisi dari proses basah ke proses kering. Pada proses ini, umpan tanur terbuat dari tepung baku kering. Kemudian, alat granulator, juga dikenal sebagai *peletizer*, disemprot dengan air sehingga umpan menjadi granular dengan kadar air 10–12% dan ukuran 10–15 mm. Deolalkar (2009) menyatakan bahwa proses *grate* adalah proses semi kering. Proses kalsinasi *kiln feed* dilakukan dengan menggunakan tungku tegak (juga dikenal sebagai *shaft kiln*) atau tungku rotasi panjang.





## LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANG PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG



Akibatnya, clinker terbentuk sebagai hasil akhir proses kalsinasi. Kekurangan dan keuntungan dari metode semi kering ini adalah sebagai berikut:

### A) Kekurangan

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

### B) Kelebihan

- *Kiln* yang digunakan lebih pendek daripada *kiln* yang digunakan pada proses basah.
- Bahan bakar yang digunakan lebih sedikit dibandingkan pada proses basah

## 4. Proses Kering (*dry process*)

Pada proses ini, bahan baku dipecah, digiling, dan dikeringkan dengan mengalirkan udara panas ke dalam *raw mill* sampai kadar airnya mencapai 1%. Kemudian, tepung baku yang homogen ini dimasukkan ke dalam pemanas suspensi sebagai pemanasan awal. Dalam proses ini, gas panas bersentuhan langsung dengan material berlawanan (*Counter Current*). Setelah keluar dari suspension preheater, material diumpukan ke dalam kiln dan diproses untuk menghasilkan terak. Terak tersebut kemudian didinginkan secara mendadak sehingga terbentuk kristal amorf yang mudah digiling. Di *finish mill*, gypsum dan bahan lain seperti trass dicampur untuk menggiling..

### A) Kelebihan

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



**B) Kekurangan**

- Adanya air yang terkandung dalam material sangat mengganggu operasi karena material menempel pada alat.
- Impuritas  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  menyebabkan penyempitan pada saluran *preheater*.
- Banyak diperlukan alat penangkap debu karena debu yang dihasilkan juga banyak.
- Campuran material kurang homogen karena bahan yang digunakan dicampur dalam keadaan kering.

**II.5 Sifat Semen**

**II.5.1 Sifat Kimia Semen**

Sifat kimia semen disini meliputi pembahasan komposisi zat yang ada di dalam semen, reaksi-reaksi yang terjadi, dan perubahan yang terjadi saat penambahan air pada semen. Sifat kimia semen antara lain:

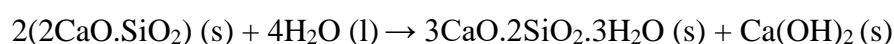
**A. Hidrasi Semen**

Menurut Taylor (1990), ketika semen dicampur dengan air maka proses kimia akan berlangsung yang disebut proses hidrasi. Bahan kimia dalam semen bereaksi dengan air dan membentuk menjadi senyawa baru pengikat hidrasi.

- Hidrasi Kalsium Silikat ( $C_3S$  dan  $C_2S$ )

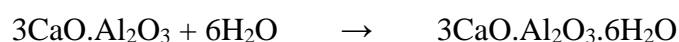
Reaksi hidrasi  $C_3S$  dan  $C_2S$  dengan air akan membentuk Kalsium Hidroksida  $Ca(OH)_2$  dan kalsium silikat hidrat ( $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ ) dengan kebasaaan yang tinggi. Kalsium Silikat Hidrat adalah kristal yang bentuknya berupa padatan yang sering disebut Tobermorite Gel, dengan adanya  $Ca(OH)_2$ , pasta semen mempunyai pH 13.

Reaksi:

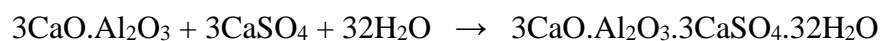


- Hidrasi Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ )

Reaksi hidrasi  $C_3A$  sangat cepat sehingga pasta semen cepat mengeras, yang disebut dengan *false set*. Pengerasan semen dapat dicegah dengan menambahkan gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) ke dalam *clinker* semen. Reaksi hidrasi  $C_3A$  membentuk kalsium aluminat hidrat yang kristalnya berbentuk kubus. Hidrasi  $C_3A$  tanpa gypsum:



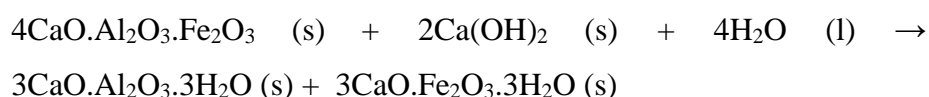
Hidrasi  $C_3A$  tanpa gypsum:



- Hidrasi *Tetrakalsium aluminoferrit* ( $C_4AF$ )

Pada tahap awal  $C_4AF$  bereaksi dengan kalsium hidroksida membentuk kalsium aluminate hydrate dan kalsium ferrit hidrat yang kristalnya berbentuk jarum. Pada tahap berikutnya  $C_4AF$  bereaksi dengan gypsum membentuk calcium sulfoaluminate ferrite hidrat.

Reaksi:



Kecepatan hidrasi akan menentukan waktu pengikatan awal dan pengerasan semen. Kecepatan awal harus cukup lambat agar adonan semen dapat dituang atau sebaliknya sesuai kebutuhan. Hidrasi semen juga dapat mengakibatkan semen tersebut kurang baik mutunya, yaitu



adanya senyawa kalsium bebas yang tidak terjadi proses kalsinasi sehingga dapat mengeroposkan semen yang sudah jadi.

### **B. *Durability***

Menurut Taylor (1990), *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. Kandungan  $C_3A$  merupakan komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrate* ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$ ).

### **C. *Free Lime* (Kapur bebas)**

Menurut Deolalkar (2009), kapur bebas dalam *clinker* juga harus dibatasi kurang dari 1,5%. Sifat kimia semen yang lain adalah kandungan *free lime* yang dimilikinya. *Free lime* adalah kapur ( $CaO$ ) yang tidak ikut bereaksi selama pembentukan terak. Kadar  $CaO$  (*free lime*) di dalam semen dibatasi maksimal 1%. Kadar *free lime* yang tinggi membuat beton memiliki kuat tekan yang rendah dan membentuk gel yang akan mengembang (*swelling*) dalam keadaan basah sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton.

### **D. *LOI (Lost in Ignition)***

Menurut Duda (1985), *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. Kadar *LOI* perlu diketahui agar penguraian mineral dalam jumlah yang besar dapat dicegah.



### E. Kandungan Alkali dalam Semen

Kandungan alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ) dalam semen cukup menguntungkan yaitu mengatur pelepasan alkali pada proses hidrasi dan dalam bentuk senyawa alkali sulfat dapat meningkatkan kekuatan awal semen (+ 10 % dalam waktu 28 hari). Tetapi kandungan alkali dalam semen dibatasi  $< 0,6 \%$  (dalam bentuk  $\text{Na}_2\text{O}$ ) karena kandungan alkali yang besar dapat menimbulkan fenomena ekspansi alkali. Alkali mudah bereaksi dengan agregat – agregat tertentu yang terdapat dalam campuran beton seperti tanah liat dan silika.

## II.5.2 Sifat Fisika Semen

### A. Kehalusan (*Fineness*)

Menurut Kohlhaas (1983), *Fineness* semen disebut juga kehalusan semen yang dinyatakan dalam  $\text{cm}^2/\text{gr}$  atau  $\text{m}^2/\text{kg}$  dan tergantung pada derajat *grinding*. Kehalusan sangat berpengaruh terhadap kecepatan hidrasi semen, semakin tinggi kehalusan maka kecepatan hidrasi semen juga akan semakin meningkat.

### B. Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Menurut Kohlhaas (1983), *Setting time* ditentukan bila pasta semen telah mengalami *setting* (yang telah mengental) dan *hardening* (yang telah mengeras) selama beberapa jam.  $\text{C}_3\text{A}$  akan bereaksi paling cepat menghasilkan CAH berbentuk gel dan bersifat kaku, tetapi CAH akan bereaksi dengan gypsum membentuk ettringite yang akan membungkus permukaan CAH dan  $\text{C}_3\text{A}$  sehingga reaksi  $\text{C}_3\text{A}$  akan dihalangi dan proses setting akan dicegah. Namun demikian lapisan ettringite tersebut karena adanya fenomena osmosis akan pecah dan reaksi hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  akan terjadi lagi, tetapi segera pula akan terbentuk ettringite yang baru kembali. Proses ini akan menghasilkan *setting time*. Semakin banyak ettringite yang terbentuk setting time dan ini diperoleh dengan adanya gypsum. Setting pasta semen Portland disebabkan oleh pembentukan struktur yang dihasilkan oleh hidrasi

mineral clinker terutama  $C_3S$  dan  $C_3A$  kecepatan reaksi  $C_3A$  sangat cepat dengan air.

### C. Kuat Tekan

Menurut Kohlhaas (1983), kekuatan tekan atau kekuatan kompresi adalah sifat kemampuan semen menahan suatu beban tekan. Kekuatan tekan semen sangat dipengaruhi oleh komponen kimia semen yaitu  $C_3S$  dan  $C_2S$ . Komponen  $C_3S$  memberikan kekuatan tekan awal pada semen sedangkan  $C_2S$  memberikan pengaruh kekuatan tekan akhir pada semen. Sementara komponen  $C_3A$  dan  $C_4AF$  tidak begitu berpengaruh (Komponen  $C_3A$  berpengaruh pada kecepatan pengerasan semen dan  $C_4AF$  berpengaruh pada warna semen).

## II.6 Modulus Semen

Modulus semen adalah bilangan yang menunjukkan rasio kuantitatif dari senyawa – senyawa utama  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , dan  $Fe_2O_3$ . Ada beberapa modulus yang digunakan, yaitu *Hydraulic Modulus* (HM); *Lime Saturation Factor* (LSF); *Silica Ratio* (SR); dan *Alumina Ratio* (AR).

### A. Hydraulic Modulus (HM)

Hydraulic Modulus adalah perbandingan dari persentase  $CaO$  dengan total faktor *hydraulic* (jumlah oksida silika, alumina, dan besi). Harga *Hydraulic Modulus* semen berkisar antara 1,7 – 2,3 dan dirumuskan sebagai berikut:

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Kuat tekan awal semen dapat menurun jika  $HM < 7$ . Kuat tekan awal semen yang rendah ini akan menghasilkan semen dengan kualitas yang lebih rendah. Hal tersebut disebabkan oleh ketidakseimbangan komposisi senyawa utama dalam bahan baku, yaitu persentase  $CaO$  yang lebih kecil dibandingkan senyawa lainnya ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , dan  $Fe_2O_3$ ) sehingga semen mudah retak. Selain itu, jika  $HM > 2,3$ , maka semen akan memiliki kuat tekan awal tinggi, yang berarti bahwa itu



## LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANG PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG



akan memiliki kekuatan penyokong untuk waktu yang lama. Namun, kuat tekan awal yang terlalu tinggi akan menghasilkan panas pembakaran yang lebih tinggi pada *kiln* karena terlalu banyak CaO. (Arsa, 1995).

### B. *Lime Saturation Factor (LSF)*

*Lime Saturation Factor (LSF)* adalah perbandingan persen CaO yang ada dalam *raw mill* dengan CaO yang dibutuhkan untuk mengikat oksida – oksida lain. Nilai LSF semen yaitu antara 89 – 98. Secara umum, LSF dapat dirumuskan:

$$LSF = \frac{100CaO}{2,8SiO_3 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3}$$

Jika LSF kurang dari 89, akan menyebabkan terak mudah dibakar, dengan kadar lime bebas yang rendah dan panas hidrasi yang rendah. Jika LSF lebih dari 98, akan menyebabkan terak sulit dibakar, dengan fasa cair yang berlebihan yang cenderung membentuk ring dan lapisan pembakaran. Kondisi ini dapat digunakan dalam pembuatan semen ketika kadar batu bara yang digunakan untuk pembakaran tinggi. (Arsa, 1995)

### C. *Alumina Ratio (AR)*

*Alumina ratio* merupakan perbandingan antara  $Al_2O_3$  dengan  $Fe_2O_3$ . Nilai AR biasanya 1,5 - 2,5. Nilai AR dapat dirumuskan:

$$AR = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Alumina ratio yang tinggi ( $> 2,5$ ) menyebabkan:

- *Clinker* sulit dibakar, sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi.
- Kuat tekan awal tinggi.
- Kadar  $C_3A$  dan  $C_4AF$  naik.
- Menghasilkan semen dengan *setting time* yang pendek.

*Alumina ratio* yang rendah ( $< 1,5$ ) menyebabkan:

- *Clinker* mudah dibakar.



## LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANG PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG



- Kuat tekan awal semen rendah, panas hidrasi rendah.
- Kadar  $C_4AF$  turun karena  $Al_2O_3$  kurang.
- Warna semen kurang gelap.

### D. *Silica Ratio* (SR)

*Silica Ratio* adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara oksida silika dengan alumina dan besi *Silica Ratio* (SR) adalah indikator tingkat kesulitan pembakaran raw material. Nilai SR dalam semen yaitu 1,9 – 3,2. Nilai SR dapat dirumuskan:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Jika nilai SR tinggi ( $>3,2$ ) maka *raw material* akan sulit untuk dibakar sehingga akan terjadi pemborosan bahan bakar. Selain itu, semen yang dihasilkan akan mempunyai ekspansi tinggi karena kadar *free lime* yang tinggi (Arsa, 1995). Jika nilai SR rendah ( $<1,9$ ) maka *raw material* akan mudah dibakar karena panas yang dibutuhkan relatif kecil. Namun ketika pembakaran akan cenderung membentuk *ring coating* dalam *kiln* yang dapat mengurangi hasil produksi semen (Arsa, 1995).