

# Sifat Kimiawi

Menurut SK-SNI-T15-1991-03, **Beton** dibuat dengan mencampurkan **Semen Portland (PC)**, **Air** dan **Agregat**, dengan atau tanpa **bahan tambah** (*admixture*) dalam perbandingan tertentu.

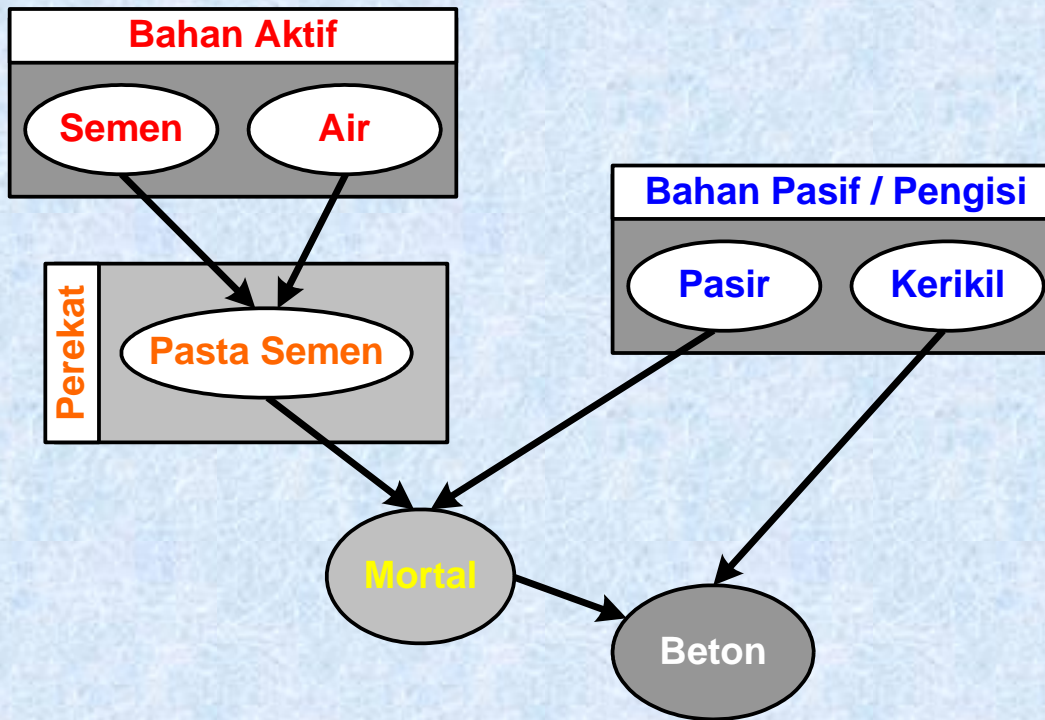
Bahan tambah (*admixture*) dapat berupa bahan kimia, serat, ataupun bahan buangan non-kimia.

Campuran beton pada awalnya berbentuk plastis, jika dituang dalam cetakan dan kemudian dibiarkan akan mengeras seperti batuan.

Pengerasan terjadi karena **peristiwa kimia PC dengan air (hidrasi)** dan dalam kurun waktu yang cukup panjang, sehingga beton akan selalu bertambah keras sesuai dengan pertambahan umurnya.

Batu tiruan ini cukup padat, rongga-rongga antara butiran besar (agregat kasar/krikil/batu pecah) diisi oleh butiran yang lebih halus (agregat halus/pasir). Sedang pori-pori antara agregat halus diisi oleh pasta semen (yang terbentuk oleh campuran PC dan air).

Tugas utama **pasta semen** adalah sebagai perekat/pengikat antara butiran, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa padat yang kompak.



Kekuatan, keawetan dan sifat-sifat beton yang lain dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, perbandingan campuran, cara pengadukan, cara pengerjaan selama pengecoran beton, cara pemadatan dan perawatan selama proses pengerasan.

Kelebihan utama beton adalah mempunyai **Kuat Tekan yang tinggi**, sedangkan kekurangan beton adalah **kuat tariknya rendah** (hanya 9 – 15% kuat tekannya). Oleh sebab itu, pada bagian elemen struktur yang mengalami tarik diperkuat dengan memberi **baja-tulangan**, sehingga terbentuk suatu bahan struktur komposit disebut **beton-bertulangan**. Beton tanpa tulangan disebut **beton polos** (*plain concrete*).

Membuat beton tidaklah hanya sekedar mencampur bahan-bahan dasar pembentuknya, tetapi untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang baik, yang memenuhi persyaratan yang ketat, karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan/dilakukan dengan seksama sesuai SNI 03-2834-1993, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal dan SNI 03-3976-1995, Tata Cara Pengadukan Pengecoran Beton.

**Beton segar** (*fresh concrete*) yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang dalam cetakan dan dapat dipadatkan, serta tidak cenderung terjadi **segregasi** (pemisahan butiran dari adukan) maupun **bleeding** (pemisahan air dan semen dari adukan).

**Beton** (beton keras/*hardened concrete*) yang baik ialah beton yang kuat, tahan lama/awet, kedap air, tahan aus, dan perubahan volume/kembang susut kecil.

# Semen Portland (PC)

Semen portland atau Portland Cement (PC) atau semen hidraulis merupakan bahan ikat yang banyak dipergunakan dalam pembangunan fisik.

Nama Portland Cement diusulkan oleh Joseph Aspdin tahun 1824, karena berbentuk butiran yang berasal dari pulau Portland, Inggris. Produksi PC secara pabrikan pertama kali dilakukan oleh David Saylor di Coplay, Pennsylvania, Amerika Serikat pada tahun 1875.

Semen portland disebut juga **semen hidraulis** karena kemampuannya mengikat/bereaksi dengan air dan mengeras didalam air.

Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat, selain itu untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi suatu massa padat/kompak, walaupun jumlah semen hanya  $\pm 10\%$  volume beton.

## Proses Pembuatan Semen Portland

### Material Utama

Batu Kapur (70%)  
Tanah Liat (15%)  
Quartzite (Silika)  
Oksida Besi

Pengeringan  
Pencampuran

Penggilingan  
dihaluskan  
diproporsikan

Semen  
Portland

Suspensi Pra-pemanasan  
Dipanaskan hingga 800 – 900° C

Gypsum

Penggilingan  
dihaluskan

Klinker  
didinginkan

Rotary Klin  
Dibakar pada 1450° C



# 1. Sifat-Sifat Semen Portland

Semen diperoleh dengan membakar secara bersama, suatu campuran yang terdiri dari *calcareous* (mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu.

Kandungan semen portland adalah kapur, silika dan alumina. Ketiganya dicampur dengan perbandingan tertentu dan dibakar pada suhu 1550° C sehingga menjadi **klinker**. Kemudian didinginkan, lalu di giling sampai halus, dimasukkan ke dalam kantong-kantong semen dengan berat 40 kg atau 50 kg. Butir-butir yang halus dari semen memiliki sifat adhesif maupun kohesif.

Pembuatan Klinker :

- **proses kering** : bahan-bahan dasar dicampur dan dikeringkan, kemudian digiling menjadi bubuk kasar, lalu dibakar dalam tanur tinggi
- **proses basah** : bahan-bahan dasar dicampurkan dengan air dan digiling sampai halus, berupa bubur halur, lalu dibakar dalam tanur tinggi

Saat penggilingan klinker, ditambahkan sekitar 2 - 4% gips atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang berfungsi sebagai pengontrol waktu ikat. Bahan tambah lain juga dapat diberikan untuk membentuk semen khusus.

### a. Susunan Kimia

Bahan dasar semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan alumina, serta oksida besi.

Tabel : Unsur Kimia Semen Biasa

| Oksida   | Persentase |
|--|------------|
| Kapur $\text{CaO}$                                       | 60 – 65    |
| Silika $\text{SiO}_2$                                    | 17 - 25    |
| Alumina $\text{Al}_2\text{O}_3$                          | 3 - 8      |
| Besi $\text{Fe}_2\text{O}_3$                             | 0,5 - 6    |
| Magnesia $\text{MgO}$                                    | 0,5 - 4    |
| Sulfur $\text{SO}_3$                                     | 1 - 2      |
| Soda / potash $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | 0,5 - 1    |

Dalam produksi semen, oksida-oksida berinteraksi satu dengan yang lain, sehingga terjadi perubahan susunan kimia yang kompleks. Pada dasarnya terdapat 4 unsur yang paling penting, yaitu :

|                                     |   |                  |   |
|-------------------------------------|---|------------------|---|
| 1. <b>Trikalsium Silikat</b>        | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | <b>disingkat</b> | <b><math>\text{C}_3\text{S}</math></b>  |
| 2. <b>Dikalsium Silikat</b>         | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | <b>disingkat</b> | <b><math>\text{C}_2\text{S}</math></b>  |
| 3. <b>Trikalsium Aluminat</b>       | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$                             | <b>disingkat</b> | <b><math>\text{C}_3\text{A}</math></b>  |
| 4. <b>Tetrakalsium Aluminoforit</b> | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | <b>disingkat</b> | <b><math>\text{C}_4\text{AF}</math></b> |

**$\text{C}_3\text{S}$**  dan  **$\text{C}_2\text{S}$** , keduanya 70–80% dari semen, merupakan **unsur yang paling dominan dalam memberikan sifat semen**. Jika semen terkena air,  $\text{C}_3\text{S}$  segera berhidrasi dan menghasilkan panas, berpengaruh terhadap proses pengerasan semen terutama pada 14 hari pertama. Sedangkan  $\text{C}_2\text{S}$  bereaksi lebih lambat dengan air, pengaruhnya setelah 7 hari dan memberikan kekuatan akhir, serta membuat semen tahan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan mengurangi susut pengeringan.  $\text{C}_3\text{S}$  membutuhkan air  $\pm 24\%$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  membutuhkan air  $\pm 21\%$  beratnya untuk terjadinya reaksi kimia/hidrasi. Saat hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  membebaskan kalsium hidroksida hampir 3 kali lebih banyak dari yang dilepaskan  $\text{C}_2\text{S}$ .



Bila prosentase  $C_3S$  lebih tinggi akan menghasilkan proses pengerasan awal cepat yang membentuk kekuatan awalnya, disertai panas hidrasi yang tinggi. Sedang jika prosentasi  $C_2S$  yang lebih tinggi, mengakibatkan proses pengerasan yang lambat, panas hidrasi yang lebih rendah, tetapi ketahanan serang kimia lebih baik.

**$C_3A$**  berhidrasi secara exothermic dan bereaksi sangat cepat, serta memberikan kekuatan setelah 24 jam. Kebutuhan air untuk reaksi  $C_3A \pm 40\%$  beratnya. Tetapi karena jumlah unsur ini sedikit, pengaruhnya terhadap jumlah air keseluruhan kecil.

Unsur ini sangat mempengaruhi panas hidrasi (menjadi makin tinggi), baik pada pengerasan awal ataupun pengerasan selanjutnya dalam kurun waktu yang lama.

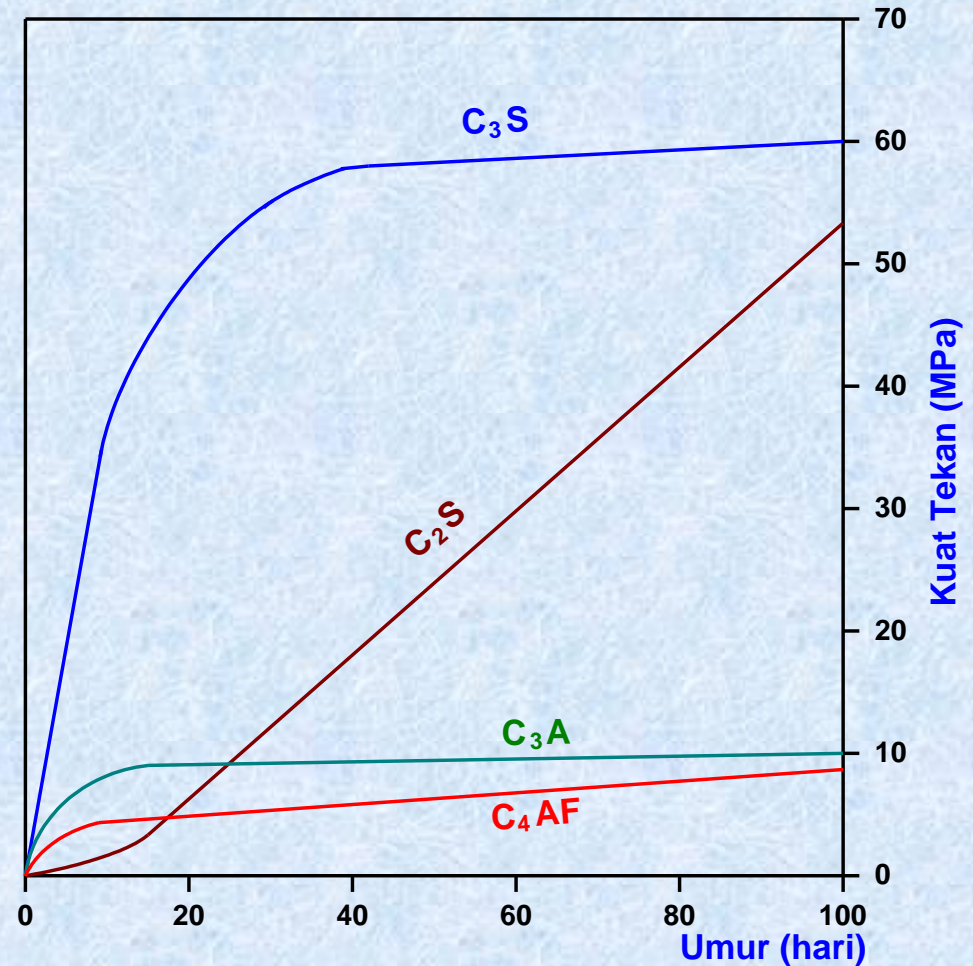
Bila semen mengandung  $C_3A > 10\%$  akan kurang ketahanannya terhadap asam sulfat ( $SO_4$ ), karena itu untuk semen tahan sulfat kandungan unsur ini harus  $\leq 5\%$ . Semen yang terkena asam sulphat didalam air atau tanah, disebabkan keluarnya  $C_3A$  yang bereaksi dengan sulfat, akan mengembang sehingga terjadi retak-retak pada betonnya.

Unsur  $C_4AF$  kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau betonnya.

| Jenis Semen  | Senyawa Kimia |        |        |         |
|--------------|---------------|--------|--------|---------|
|              | $C_3S$        | $C_2S$ | $C_3A$ | $C_4AF$ |
| Normal       | 40%           | 30%    | 11%    | 11%     |
| Cepat Keras  | 50%           | 21%    | 9%     | 9%      |
| Panas Rendah | 25%           | 45%    | 6%     | 14%     |
| Tahan Sulfat | 40%           | 40%    | 2%     | 9%      |

C = CaO : S = SiO<sub>2</sub>

A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Hubungan Umur dan Kuat Tekan Unsur-unsur Utama Semen (Mindess, 1981)

## **b. Hidrasi Semen**

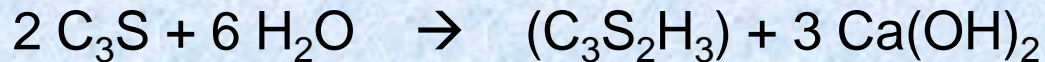
Jika semen bersentuhan dengan air, maka terjadilah proses hidrasi, baik arah ke luar maupun ke dalam. Hasil hidrasi mengendap di bagian luar, dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berjalan lambat, sekitar 2 – 5 jam (disebut periode induksi atau tak aktif), sebelum terjadi percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Pada tahap hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (berbentuk butiran sangat halus dan luas permukaan yang sangat besar) dan sisa-sisa semen yang tidak bereaksi, kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$  dan air, serta beberapa senyawa lain.

Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara random, lalu mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, menjadi kaku dan mengeras menjadi benda padat dan kuat, serta memiliki struktur berpori, ukuran pori mulai dari  $4 \cdot 10^{-4}$  mm sampai yang lebih besar, yang disebut pori-pori gel. Pori-pori pada pasta semen yang telah mengeras mungkin saling berhubungan (kapiler), mungkin juga tidak.

Setelah hidrasi berlangsung (pasta semen sudah mengeras), endapan hasil hidrasi pada permukaan butiran semen mengakibatkan difusi air kebagian dalam butir semen yang belum berhidrasi semakin sulit, sehingga laju hidrasi semakin lambat.

Proses hidrasi sangat kompleks, tidak semua reaksi yang terjadi dapat diketahui. Untuk reaksi hidrasi unsur  $C_2S$  dan  $C_3S$  sbb.



Hasil utama proses ini adalah  $C_3S_2H_3$  yang disebut *Tobermorite* yang berbentuk gel. Terdapat juga beberapa butir yang bersifat seperti kristal didalam *tobermorite*. Karena proses hidrasi butir-butir semen berlangsung sangat lambat, penambahan air bila dimungkinkan masih diperlukan oleh bagian dalam butir-butir semen (terutama semen yang berbutir besar) untuk menyempurnakan proses hidrasi. Penelitian terhadap silinder beton, menunjukkan beton masih meningkat kekuatannya paling tidak untuk jangka waktu 50 tahun.

### **c. Kekuatan Pasta Semen :**

Kekuatan semen yang sudah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi. Jumlah air yang digunakan untuk proses hidrasi  $\pm 25\%$  berat semen. Penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Kelebihan air dari yang dipergunakan untuk proses hidrasi semen umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar adukan tercampur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak dan dipadatkan dengan baik (tidak keropos).

Hendaknya selalu diusahakan jumlah air sesedikit mungkin, agar pori-pori sedikit sehingga kuat tekan beton tinggi, kelebihan air mengakibatkan pasta semen (beton) kekuatannya berkurang dan porous.

Pada beton dikenal suatu nilai yang menunjukkan jumlah air yang diberikan pada beton, yaitu nilai **faktor air semen (fas)**, berat air dibagi berat semen, pada beton normal nilai fas = 0,40 – 0,65.

### **d. Sifat Fisik Semen.**

Sifat-sifat fisik semen yang penting adalah :

**Kehalusan Butir** (fineness) : reaksi semen dengan air dimulai dari permukaan butir semen, sehingga makin makin kecil butir-butir semen (jumlah luas permukaan makin besar), makin cepat proses hidrasinya. Berarti semen yang halus akan cepat menjadi kuat dan meningkatkan **kohesi** pada beton segar, dapat mengurangi **bleeding**, tetapi cenderung terjadi **susut lebih besar** dan mudah terjadinya **retak susut**.

Menurut SII 0013-81, > 90% berat semen harus lolos ayakan lubang 0,09 mm, namun jika butir semen terlalu halus, menyebabkan terjadinya hidrasi awal karena kelembaban udara.

**Waktu Ikat** (setting time) : semen jika dicampur air akan menjadi bubur yang plastis, secara bertahap sifat plastis ini berkurang dan menjadi keras. Waktu dari pencampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut **waktu ikat awal** (*initial setting time*), dan waktu sampai pasta semen menjadi massa yang keras disebut **waktu ikat akhir** (*final setting time*).

Waktu ikat awal > 60 menit, dan waktu ikat akhir < 480 menit.

**Panas Hidrasi.** Silika dan Alumina dalam semen akan bereaksi dgn air dan menjadi media perekat, memadat, dan membentuk massa yang keras. Reaksi ini disebut **hidrasi** dan bersifat **eksotermis** dan mengeluarkan panas  $\pm 110$  kalori/gram.

Pada pembeconan dengan massa besar, dapat terjadi perbedaan temperatur antara bagian luar dan dalam cukup besar yang dapat menyebabkan retak cukup besar. Pada daerah dingin, panas hidrasi tinggi menguntungkan karena mencegah air membeku dalam beton.

**Panas hidrasi** didefinisikan sebagai kualitas panas dalam kalori/gram pada semen yang terhidrasi, waktu berlangsungnya dihitung sampai proses hidrasi berlangsung sempurna pada temperatur tertentu.

Panas hidrasi dipengaruhi ketinggian temperatur. Untuk PC biasa panas hidrasi bervariasi antara 37 kalori/gram pada 5°C sampai 80 kalori/gram pada 40° C, dan  $\pm 60\%$  dari panas total dibebaskan pada 1 - 3 hari pertama,  $\pm 80\%$  sampai hari ke tujuh, dan sekitar 90 – 95% dalam jangka waktu 6 bulan. Laju hidrasi dan peningkatan panas juga dipengaruhi oleh peningkatan kehalusan butir semen, walaupun kuantitas total panas tidak dipengaruhi oleh kehalusan butir tersebut.

**Berat Jenis.** Umumnya berat jenis semen adalah 3,15 dan berat jenis ini dipergunakan dalam perencanaan campuran beton.

#### **e. Sifat Kimia Semen**

**Kesegaran Semen.** Kehilangan berat merupakan ukuran kesegaran semen, terjadi karena kelembaban (mengakibatkan **pre-hidrasi** semen) dan adanya karbon dioksida dalam bentuk kapur bebas atau magnesium yang menguap. Hidroksida dan karbon dari kapur serta magnesium bukan merupakan unsur perekat, tetapi unsur pengisi, semakin sedikit kehilangan berat berarti makin sedikit unsur pengisi, berarti semen semakin baik.

**Sisa yang Tidak Larut.** Sisa bahan yang tidak habis bereaksi adalah bagian yang tidak aktif dari semen. Semakin sedikit sisanya, maka semakin baik semennya. Nilai sisa bahan tidak larut  $< 1,50\%$ .



## 2. Jenis-jenis Semen Portland

Jenis I : Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang

Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut kekuatan awal yang tinggi

Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi rendah

Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

| Jenis Semen | Kandungan Kimia (%) |                  |                  |                   |                   |     |     |
|-------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----|-----|
|             | C <sub>3</sub> S    | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF | CaSO <sub>4</sub> | CaO | MgO |
| Jenis I     | 49                  | 25               | 12               | 8                 | 2,9               | 0,8 | 2,4 |
| Jenis II    | 46                  | 29               | 6                | 12                | 2,8               | 0,6 | 3   |
| Jenis III   | 56                  | 15               | 12               | 8                 | 3,9               | 1,4 | 2,6 |
| Jenis IV    | 30                  | 46               | 5                | 13                | 2,9               | 0,3 | 2,7 |
| Jenis V     | 43                  | 36               | 4                | 12                | 2,7               | 0,4 | 1,6 |

**Jenis I**, digunakan untuk bangunan-bangunan **umum** yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

**Jenis II**, relatif sedikit melepaskan panas, di gunakan untuk struktur besar, untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif, saluran air buangan dan bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa.

**Jenis III**, mengandung kadar  $C_3A$  dan  $C_3S$  yang tinggi dan butirannya sangat halus, cepat mengalami hidrasi, sehingga mencapai **kekuatan awal tinggi** dalam umur 3 hari. Jenis ini dipergunakan pada daerah dingin, terutama daerah yang mempunyai musim dingin.

**Jenis IV**, merupakan semen dengan **panas hidrasi rendah**, dimana kadar  $C_3S \leq 35\%$  dan  $C_3A \leq 5\%$ . Dipergunakan untuk pembetonan yang besar dan masif, seperti bendung, pondasi berukuran besar, dll.

**Jenis V**, merupakan semen **tahan sulfat**, digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif dan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat yang tinggi.

**Semen Portland Puzolan (PPC)**, adalah campuran semen portland dengan pozolan. Kandungan PC 85 – 60% dan puzolan 15 – 40% berat total campuran, dan puzolan mengandung (silika atau silika dan alumina)  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{F}_2\text{O}_3$  minimum 70%.

PPC menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dari pada PC, mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi sulfat, tetapi kecepatan pertambahan kekuatan relatif rendah, lebih **workable** dibanding PC pada nilai slump yang sama. Kuat tekan setara PC pada umur 28 hari baru tercapai pada umur 90 hari.

Puzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, tetapi dalam bentuknya yang halus dan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa, membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti semen (kalsium silikat dan kalsium aluminat hidrat)

**SPP jenis A** : dapat digunakan untuk berbagai adukan beton, bersifat tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.

**SPP jenis B** : dapat digunakan untuk pembuatan adukan beton yang tidak mensyaratkan kekuatan awal tinggi, tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

### 3. Penyimpanan Semen

Semen dapat dijaga mutunya dalam jangka waktu tidak terbatas, asal-kan tidak tersentuh uap air. Semen yang berhubungan dengan udara akan menyerap air secara perlahan yang dapat merusak semen. Penyerapan 1-2% air tidak terlalu mempengaruhi kualitas semen, tetapi dapat memperlambat proses pengerasan dan mengurangi kekuatan. Jika semen diletakkan langsung diatas tanah akan lebih reaktif, semen lebih cepat menyerap uap air dari kelembaban sekeliling.

**Semen curah** disimpan dalam silo/kontainer penyimpanan dari baja atau beton. Umumnya hanya bagian luar setebal  $\pm 5$  cm yang mengeras (penyimpanan cukup lama), harus dibuang.

**Semen dalam kantong** dapat juga disimpan dengan aman untuk beberapa waktu, diletakkan diatas lembaran alas yang kedap air, dinding dan lantai tidak porous, jarak bebas terhadap lantai  $\pm 30$  cm dan jarak bebas dengan dinding  $\pm 50$  cm, serta jendela ditutup rapat. Tinggi timbunan tidak lebih dari 200 cm, agar kantong tidak pecah. Sekali semen disimpan harus tidak boleh diganggu sampai semen akan dipergunakan.