

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Zat Additif

Selain bahan penyusun utama beton (semen, air dan agregat), terkadang ditambahkan bahan lain pada campuran beton untuk tujuan tertentu. Bahan ini disebut bahan tambah atau zat additif. Biasanya zat ini digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain meningkatkan waktu ikat awal beton, menunda waktu ikat awal beton, membuat beton yang lebih resisten terhadap pengaruh buruk ketika musim dingin, mengurangi proses *bleeding* pada permukaan beton, meningkatkan workabilitas, meningkatkan kuat desak beton, membuat beton kedap air, untuk meningkatkan lekatan antara dua permukaan beton, dan lain-lain.

Biasanya perubahan yang dihasilkan dalam campuran beton dengan penggunaan zat additif adalah pada proses hidrasi, pembebasan panas, bentukan pori, dan pembentukan struktur. Karena zat additif juga biasanya memiliki pengaruh buruk, maka penggunaannya harus dievaluasi secara hati-hati sebelum digunakan, berdasarkan komposisi utama, data teknis, dan pemeriksaan campuran.

Saat ini zat additif tersedia dalam berbagai jenis dan merk sehingga sulit untuk diklasifikasikan. Selain itu, dengan banyaknya unsur pokok dan proporsi dari zat additif yang tidak diketahui secara luas biasanya informasi didapat hanya berdasarkan yang diberikan oleh supplier. Oleh N. Jackson (1985) dalam bukunya

“*Civil Engineeing Materials*” yang mengacu pada Rixom (1978) dan *The Concrete Society Technical Report No.18* (1980) zat additif dibedakan menjadi beberapa tipe yang dijelaskan pada tabel 3.1. namun selain jenis yang ada dalam tabel tersebut, masih banyak jenis zat additif lainnya seperti *coloring agents*, *gas-forming agents*, pozzolan, serat, dan lain-lain.



Tabel 3.1 Tipe-tipe zat additif

Tipe	Komposisi utama	Tindakannya dengan beton	Kegunaan utama	Efek samping
<i>Air Entrainers</i>	<i>Foaming agents</i> seperti dari detergen sintetis kayu damar atau bubuk timah.	Membentuk formasi gelembung kecil tersendiri yang stabil .	Meningkatkan resisiten terhadap dingin. Digunakan pada konstruksi jalan raya atau landasan pesawat terbang.	Dapat mengurangi sejumlah kekuatan beton.
<i>Accelerators Setting</i>	Alkalin solusi tinggi seperti aluminium klorida.	Waktu ikat sangat cepat.	Digunakan untuk pekerjaan perbaikan darurat.	Mengurangi kekuatan beton.
<i>Accelerators Setting and Hardening</i>	Kalsium Klorida, kalsium Format.	Meningkatkan waktu ikatan dan pengerasan.	Perkembangan panas tinggi. Digunakan untuk pembetonan pada musim dingin dan pencapaian kuat tekan lebih cepat untuk perpindahan jadwal kerja yang padat.	Meningkatkan susut kering. Mengurangi resistan terhadap serangan sulfat. Bahaya korosi oleh kalsium klorida.

Lanjutan Tabel 3.1 Tipe-tipe zat additif

<i>Retarders</i>	Lignosulphonic atau asam hidroksilat karbolixid dengan selulosa atau kanji.	Menunda waktu ikatan dan pengerasan.	Digunakan untuk pembetonan pada musim panas.	Meningkatkan <i>bleeding</i> pada beberapa tipe dan meningkatkan susut kering pada yang lain.
<i>Water Reducers</i>	Lignosulphonic atau asam hidroksilat karbolixid.	Meningkatkan workabilitas atau mengurangi kebutuhan air.	Digunakan untuk memfasilitasi <i>placing</i> atau memberikan kekuatan dan durabilitas lebih tinggi.	Sama seperti <i>retarder</i> .
<i>Superplasticizers</i>	Kondensasi dari sulfanat melamin formaldehida atau sulfanal naptalin formaldehida atau modifikasi lignosulphonat.	Sama seperti <i>water reducers</i> tetapi lebih efektif.	Sama seperti <i>water reducers</i> , tetapi <i>placement</i> lebih cepat dan kekuatan serta daya tahan yang sangat tinggi	Meningkatkan <i>bleeding</i> dan tingkat kecenderungan segregasi. Meningkatkan susut.

Lanjutan Tabel 3.1 Tipe-tipe zat additif

<i>Bonding Agents</i>	Polifinil asetat atau styren butadina atau akrilik.	Meningkatkan kuat lekat.	Untuk pekerjaan penambalan atau perbaikan.	Sejumlah reduksi pada kuat tekan.
<i>Water Repellers</i>	Sabun atau mineral metal dan turunan dari minyak sayur.	Mengurangi permeabilitas.	Mencegah absorpsi air hujan.	-



Dari tabel tipe-tipe zat aditif di atas dan berdasarkan keterangan yang ada pada brosur, zat aditif merk Additon H.E termasuk ke dalam *accelerators setting and hardening* dan *water reducers*.

3.1.1 Accelerators setting and hardening

Akselerator yang paling lazim digunakan adalah kalsium klorida (CaCl_2), tetapi banyak material lain yang juga digunakan antara lain larutan karbonat, silikat, fluosilikat, dan triethanolamin. Kalsium klorida harus ditambahkan ke dalam campuran dalam bentuk larutan dengan melarutkannya pada sebagian air dan harus dibatasi tidak boleh lebih dari dua persen dari berat semen. Jika zat ini ditambahkan pada beton dalam bentuk kering, semua partikel kering tidak bisa seluruhnya larut selama proses pencampuran, dengan hasil bagian yang tidak larut dapat “keluar” atau membentuk bintik hitam pada beton yang telah mengeras.

Penambahan yang kurang dari dua persen pada campuran tidak berefek korosi yang signifikan pada beton bertulang, memberikan kualitas yang tinggi pada beton. Hal ini tentu saja meningkatkan ketahanan beton pada erosi dan abrasi. Di sisi lain, penyusutan beton ketika mengalami kekeringan juga dapat ditingkatkan.

Penggunaan kalsium klorida atau zat aditif yang mengandung larutan klorida tidak direkomendasikan untuk beton prategang karena kemungkinan resiko korosi. Hal ini juga mengakibatkan korosi serius pada aluminium yang melekat pada baja, khususnya jika aluminium terkontak pada baja dan betonnya dalam keadaan basah. Demikian pula larutan klorida tidak boleh digunakan pada lapisan baja yang terkontak secara permanen dengan beton. Juga, kalsium klorida tidak boleh digunakan pada beton yang tersubyek pada reaksi agregat alkali atau terbuka pada

tanah atau air yang terkontaminasi sulfat, dengan tujuan menghindari menurunnya ketahanan beton pada serangan sulfat.

Akselerator yang terbuat dari bahan kimia lain diproduksi dengan berbagai nama atau merk dagang, yang sesuai dengan standar yang dikeluarkan. Beberapa diantaranya berbentuk bubuk nonhigroskopis, dan yang lain berbentuk larutan konsentrasi. Karena tidak mengandung klorida, maka dapat digunakan pada lekatan yang berpotensi korosi atau baja prategang. Beberapa akselerator juga dapat digunakan (bila perlu) ketika beton terkontak dengan selimut baja atau besi yang melapisi baja, dimana hal ini penting untuk menghindari korosi.

Beberapa akselerator mengandung fluosilikat dan triethanolamine yang menghasilkan efek akselerasi yang jelas. Ada yang berkemampuan mereduksi waktu selama beton tetap plastis hingga kurang dari 10 menit. Contohnya Sterson's Quicksets yang ditambahkan ke semen Portland dapat membuat waktu ikat awal hanya dalam beberapa menit. Hal ini membuat tipe akselerator ini berguna untuk membuat semen penyumbat untuk menghentikan kebocoran tekanan udara (Smith-Andres, 1989).

3.1.2 Water reducers

Zat ini berbahan dasar lignosulphonic dan asam hidroksilat-karboksilat, yang memberikan efek meningkatkan *disperse* (penyebaran) dari partikel semen, mengakibatkan reduksi dari viskositas (kekentalan) beton. Efek ini bekerja dalam tiga cara. Pertama, meningkatkan workabilitas sesuai faktor air semen dan kekuatan nominalnya, hal ini memberikan kemudahan dalam mencetak dan memadatkan beton. Kedua, meningkatkan kekuatan beton tanpa tambahan semen

untuk mengurangi kebutuhan air pada campuran, hal ini menghasilkan beton bermutu tinggi. Ketiga, mengurangi kebutuhan semen dengan faktor air semen tetap, hal ini mengurangi biaya dari campuran. Reduksi dari kebutuhan semen akan menghasilkan suhu maksimum yang lebih rendah dan mengurangi resiko *shrinkage cracking* (susut retak).

Efektifitas dari *water reducers* diberikan dengan dosis tergantung pada tipe semen, gradasi agregat, proporsi campuran, dan suhu. Pada dosis normal, pengurangan air dan semen dapat mencapai 10 % (N. Jackson, 1985).

3.1.3 Tipe zat additif menurut SK SNI S-18-1990-03

Menurut SK SNI S-18-1990-03 (Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton), bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi lima jenis :

- a. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen sama.
- b. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada satu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
- c. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan di bawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu

penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan, dan sebagainya.

- d. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
- e. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Selain lima jenis di atas, ada dua jenis lain yang lebih khusus, yaitu :

- a. Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 12 persen atau bahkan lebih, untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama (air dikurangi sampai 12% lebih namun adukan beton tidak bertambah kental).
- b. Bahan kimia tambahan dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 12% atau lebih dan memperlambat waktu ikatan awal.

Dari paparan di atas dan berdasarkan keterangan yang ada pada brosur, zat additif merk Additon H.E termasuk ke dalam bahan tambah jenis e.

3.2 Gradasi Agregat menurut SK-SNI-T-15-1990-03

Dalam SK-SNI-T-15-1990-03 yang dipakai di Indonesia saat ini kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar, sebagaimana tampak pada tabel 3.2. Adapun gradasi kerikil yang baik sebaiknya masuk di dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 3.3.

Tabel 3.2 Gradasi pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
9,5	100	100	100	100
4,75	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan :

- Daerah I = pasir kasar
- Daerah II = pasir agak kasar
- Daerah III = pasir agak halus
- Daerah IV = pasir halus

Tabel 3.3 Gradasi kerikil

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan Besar butir maksimum :	
	40 mm	20 mm
38,1	95-100	100
19,0	30-70	95-100
9,5	10-35	25-55
4,75	0-5	0-10

Oleh peraturan tersebut telah ditetapkan bahwa campuran beton dengan diameter maksimum sebesar 20 mm harus berada dalam batas-batas dalam kurva standar (penggambaran dari tabel 3.4). Bila gradasi agregat campuran masuk

dalam kurva 1 dan kurva 2 akan diperoleh adukan yang kasar, cocok untuk faktor semen rendah, mudah dikerjakan namun mudah terjadi pemisahan kerikil. Bila gradasi campuran masuk dalam kurva 3 dan kurva 4 akan diperoleh adukan beton yang halus, tampak lebih kohesif, lebih sulit dikerjakan sehingga perlu faktor semen agak tinggi. Gradasi campuran yang ideal ialah yang masuk dalam kurva 2 dan kurva 3. Bila hasil gradasi yang diperoleh tidak masuk dalam kurva standar, maka nilai banding antara pasir dan kerikil harus diperbaiki sehingga memenuhi syarat (masuk kurva standar).

Tabel 3.4 Persen butiran yang lewat ayakan (%) untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm

Lubang ayakan (mm)	Kurva I	Kurva II	Kurva III	Kurva IV
19,0	100	100	100	100
9,5	45	55	65	75
4,75	30	35	42	48
2,36	23	28	35	42
1,18	16	21	28	34
0,60	9	14	21	27
0,30	2	3	5	12
0,15	0	0	0	2

3.3 Ketentuan Pembuatan Benda Uji menurut SK SNI M – 14 – 1989 - F

Ketentuan menurut SK SNI M – 14 – 1989 – F merupakan penyempurnaan dari ketentuan pada PBI 1971. Ketentuan menurut SK SNI M – 14 – 1989 – F yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini antara lain :

1. Benda uji standar berupa silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
Benda uji selain silinder sebagai alternatif yang memberikan kuat tekan yang berbeda dibutuhkan faktor konversi seperti pada tabel 3.5 berikut ini:

Tabel 3.5 Angka konversi benda uji beton

Benda Uji	Faktor Konversi
Silinder 150 x 300 mm	1,00
Kubus 150 x 150 mm	0,80
Kubus 200 x 200 mm	0,83

2. Hasil pemeriksaan diambil nilai rata-rata dari minimum 2 buah benda uji.

3.4 Perancangan Campuran Menurut *American Concrete Institute (ACI)*

Pada saat ini dalam bidang pembuatan bangunan banyak digunakan beton mutu tinggi, sehingga kita dituntut untuk dapat merancang perbandingan campuran lebih tepat sesuai dengan teori perancangan proporsi campuran adukan beton. Pembuatan beton dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil untuk beton biasa dan 1 semen : 1,5 pasir : 2,5 kerikil untuk beton kedap air rupanya sudah kurang memuaskan lagi karena menghasilkan kuat tekan beton yang sangat beragam. Dalam Konsep Pedoman Beton 1989, perbandingan campuran volume di atas hanya boleh dilakukan untuk mutu beton kurang dari 10 Mpa, dan dengan slam yang tidak boleh lebih dari 100 mm.

Pada penelitian ini digunakan perencanaan menurut metode *American Concrete Institute (ACI)* yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini

melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik beton adukan menentukan tingkat konsistensi/ kekentalan (slump) adukan itu.

Secara garis besar urutan langkah perancangan menurut ACI sebagai berikut :

1. Menghitung kuat tekan rata-rata beton, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya.

Nilai margin ialah :

$$m = 1,64 \cdot S_d \quad (3.1)$$

Dengan S_d ialah nilai deviasi standar yang diambil dari tabel berikut :

Tabel 3.6 Nilai deviasi standar (kg/cm^2)

Volume Pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
	m^3	Baik sekali	baik	cukup
Kecil	< 1000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
Sedang	1000 – 3000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
besar	> 3000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

Kuat tekan rata-rata dihitung dari kuat tekan yang disyaratkan ditambah margin :

$$f_{cr} = f_c + m \quad (3.2)$$

Dengan : f_{cr} = kuat tekan rata-rata, Mpa

f_c = kuat tekan yang disyaratkan, Mpa

m = nilai margin, Mpa

2. Tetapkan nilai faktor air-semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 3.8) dan keawetannya (berdasarkan jenis stuktur dan kondisi lingkungannya (lihat tabel 3.9). Dari dua hasil dipilih yang paling rendah.

Tabel 3.7 Hubungan faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton pada umur 28 hari

Faktor air semen	Perkiraan kuat tekan (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3.8 Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton di luar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan teri matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kontinu berhubungan dengan air :	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

3. Menetapkan nilai slump (lihat tabel 3.6) dan ukuran maksimumnya (lihat tabel 3.10)

Tabel 3.9 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok/kolom	Plat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slam yang diinginkan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 3.10 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slam dan ukuran maksimum agregat (liter)

Slump (mm)	Ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25 – 50	206	182	162
75 – 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

5. Hitung semen yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (2) dan (4) di atas per meter kubik beton dengan rumus :

$$W_s = \frac{A \text{ (dari langkah 4)}}{\text{fas (dari langkah 2)}} \quad (3.3)$$

6. Tetapkan agregat kasar yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusnya (tabel 3.11)

Tabel 3.11 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya, dalam m^3

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

7. Hitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar dengan cara hitungan volume absolut. Hitung agregat halus yang dibutuhkan.
8. Kontrol hitungan, dengan cara menghitung berat $1 m^3$ beton, yaitu berat total air, semen, kerikil dan pasir. Berat $1 m^3$ beton normal sekitar 2200–2500 kg/m^3 .
9. Bila sudah memenuhi, dapat ditentukan perbandingan volume dan beratnya.
10. Hitung volume cetakan yang digunakan dalam penelitian.
11. Hitung kebutuhan material untuk satu cetakan.
12. Hitung kebutuhan material untuk sekali pengadukan untuk sejumlah n cetakan atau jenis sampel.

3.5 Pengendalian Mutu Beton

Dalam buku “Perencanaan Campuran dan Pengendalian Mutu Beton” (1994) tercantum bahwa beton yang dibuat dapat dinyatakan memenuhi syarat (mutunya tercapai) jika kedua persyaratan berikut terpenuhi :

1. Nilai rata-rata dari semua pasangan hasil uji (masing-masing 4 hasil uji) tidak kurang dari $(f'c + 0,82 \cdot Sd)$.
2. Tidak satupun dari hasil uji tekan (rata-rata dari 2 silinder) kurang dari $0,85 f'c$.

Standar deviasi yang terjadi pada tiap jenis sampel dihitung dengan rumus berikut :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f'b - f'bm)^2}{N - 1}} \quad (3.4)$$

Dimana : s = deviasi standar (kg/cm^2)

$f'b$ = kekuatan tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji (Mpa) menurut rumus :

$$f'b = \frac{P}{A} \quad (3.5)$$

Dengan : P = beban maksimum yang dapat diterima tiap benda uji dari hasil uji desak (kg)

A = luas penampang benda uji.

$f'bm$ = kekuatan tekan beton rata-rata (Mpa) menurut rumus :

$$f'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^N f'_b}{N} \quad (3.6)$$

dimana : N = jumlah benda uji

Untuk silinder beton yang belum mencapai umur 28 hari dilakukan konversi ke umur 28 hari sesuai tabel berikut (PBBI, Bab IV, hal 34) :

Tabel 3.12 Konversi kekuatan beton

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Kekuatan	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35

3.6 Semen

Pengertian umum dari semen sebenarnya adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif yang digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*). Namun dalam hal ini pengertian semen dibatasi hanya pada bahan perekat yang berfungsi untuk mengikat batu, pasir dan bahan lain menjadi bahan padat, kompak pada pekerjaan konstruksi. Macam-macam semen ada banyak, 2 (dua) diantaranya adalah :

1. Semen Portland (PC)

Semen Portland adalah identik dengan pengertian semen secara umum.

2. *Blended Cement*

Semen ini dibuat karena dibutuhkan sifat khusus yang tidak dimiliki semen Portland. Untuk mendapatkan sifat khusus tersebut maka

diperlukan bahan lain sebagai tambahan (Kuliah Umum Teknologi Semen, 2003). Contoh *blended cement* adalah :

- Semen Portland Pozolan (PPC) atau *Fly Ash cement*.
- *Portland Blast Furnace Slag Cement*.

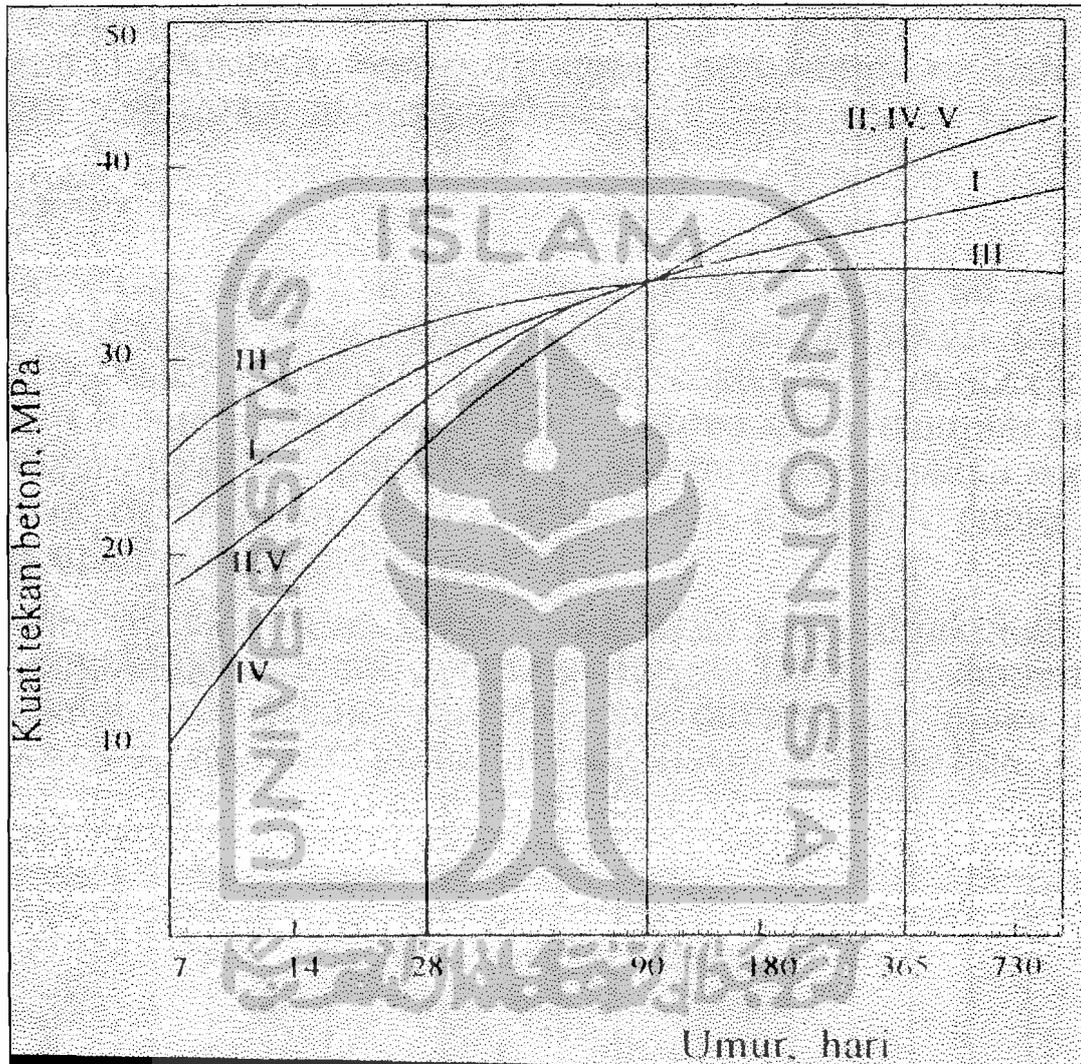
3.6.1 Semen Portland (PC)

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa sulfat dan boleh ditambah bahan tambahan lain.

Menurut SNI 15-2049-1994 semen Portland diklasifikasikan dalam 5 (lima) jenis sebagai berikut :

- 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 atau kalor hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Kuat tekan beton yang dihasilkan oleh setiap penggunaan jenis semen berbeda-beda seperti pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Kuat tekan beton untuk berbagai jenis semen
Sumber : Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992

Semen Portland terutama terdiri dari oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Kandungan dari keempat oksida $\pm 95\%$ dari berat semen dan biasanya disebut "*major oxides*", sedangkan

sisanya sebanyak 5% terdiri dari oksida magnesium (MgO) dan oksida lain. Komposisi spesifik PC tergantung pada jenis semen dan komposisi bahan baku yang dipergunakan. Komposisi bahan kimia semen Portland mempunyai limitasi seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 3.13 Komposisi limit semen Portland

Oksida	Komposisi (% berat)
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0,5 - 6,0
MgO	0,1 - 5,5
Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1,3
TiO ₂	0,1 - 0,4
P ₂ O ₅	0,1 - 0,2
SO ₃	1 - 3

Keempat oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa yang biasa disebut :

- Trikalsium silikat, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ disingkat C₃S
- Dikalsium silikat, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ disingkat C₂S
- Trikalsium aluminat, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ disingkat C₃A
- Tetra kalsium alumino ferrite, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ disingkat C₄AF

Keempat senyawa tersebut mempunyai sifat sebagai berikut :

- C₃S

Sifat C3S hampir sama dengan sifat semen, yaitu apabila ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi ± 500 joule/gram. Kandungan C3S pada PC bervariasi antara 35% - 55% tergantung pada jenis semen.

- C2S

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

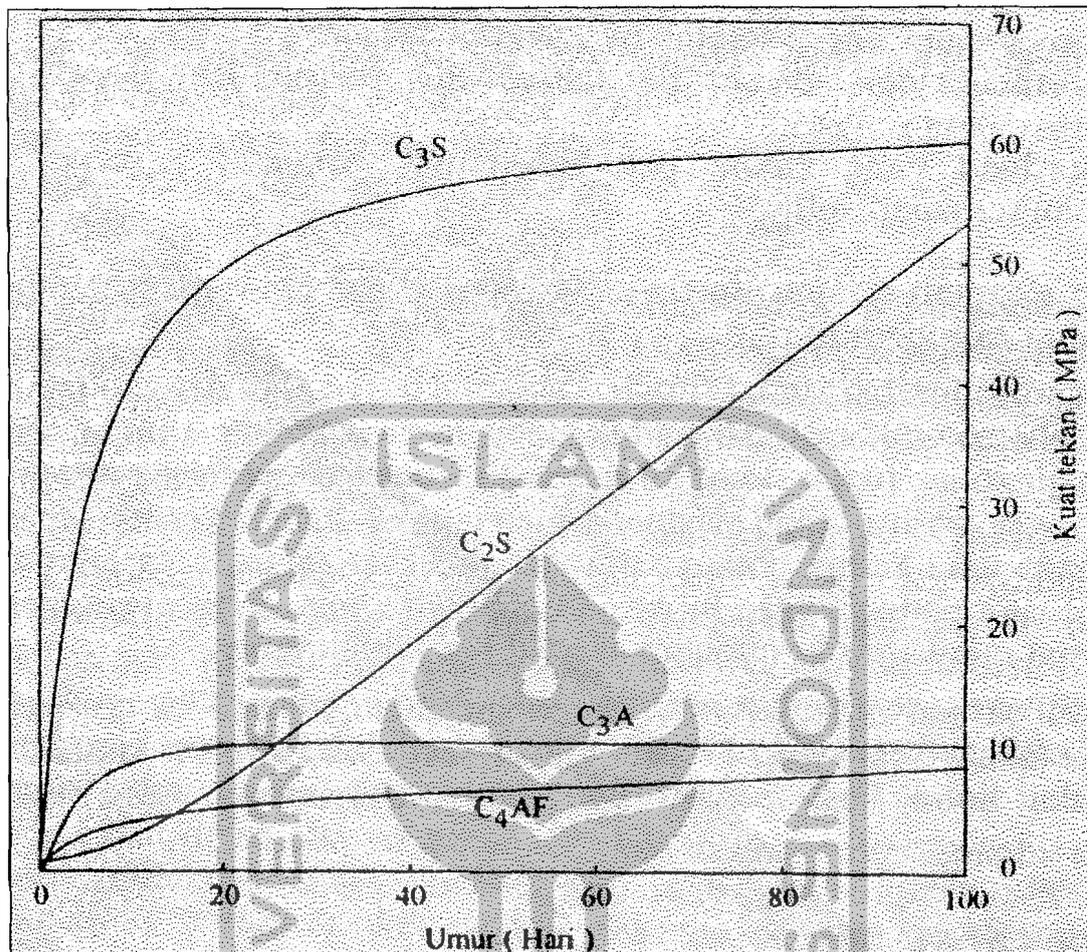
- C3A

Dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi yaitu ± 850 joule/gram. Perkembangan kekuatan terjadi pada satu sampai dua hari, tetapi sangat rendah. Kandungan C3A pada PC bervariasi antara 7% - 15%.

- C4AF

Dengan air bereaksi dengan cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi ± 420 joule/gram. Warna abu-abu pada semen dipengaruhi oleh C4AF. Kandungan C4AF pada PC bervariasi antara 5% - 10% dan rata-rata 8%.

Perkembangan kekuatan tekan dari keempat senyawa tersebut adalah sebagaimana pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Grafik kuat tekan empat oksida utama pada semen
 Sumber : Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992

3.6.2 Semen Portland Pozzolan (PPC)

Menurut SNI 15-0302-1994 semen Portland pozzolan (PPC) adalah suatu bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggiling bersama-sama terak semen Portland dan bahan yang mempunyai sifat pozzolan, atau mencampur secara merata bubuk semen Portland dan bubuk bahan yang mempunyai sifat pozzolan. Selama penggilingan dapat ditambahkan bahan-bahan lain asal tidak mengakibatkan penurunan mutu.

Menurut ASTM C 618-96 pozolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina, dimana bahan pozolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka 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).

Pada dasarnya pozolan dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. Pozolan alam (*Natural pozzolan*)

Pozolan yang terdapat di alam, seperti abu vulkanis, atau pumice, tanah diatome dan tufa.

2. Pozolan buatan (*Artificial pozzolan*)

Pozolan yang didapat dari hasil pembakaran tanah liat, pembakaran batubara berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam.

Komposisi kimia dari bahan pozolan adalah seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 3.14 Komposisi kimia tras dan *fly ash*

Unsur Kimia	Tras (% berat)	<i>Fly Ash</i> (% berat)
SiO ₂	45 - 72	40 - 60
Al ₂ O ₃	10 - 18	20 - 26
Fe ₂ O ₃	1 - 6	4 - 7
CaO	-	-
MgO	0,5 - 3,0	1 - 2
SO ₃	0,3 - 1,6	0,3 - 1,6
Alkali	-	2,5 - 5
LOI	3 - 14	1 - 10

Syarat mutu pozolan sebagai mineral admixture / syarat mutu semen Portland pozolan menurut ASTM C 618-01 adalah sebagai berikut :

Tabel 3.15 Syarat mutu semen Portland pozolan

<i>Class</i>	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min (%)	70,0	70,0	70,0
SO ₃ , maks (%)	4,0	5,0	5,0
Kadar air maks (%)	3,0	3,0	3,0
Hilang pijar, maks (%)	10,0	6,0	6,0
Strength activity index dengan semen Portland :			
7 hari, min (%)	75,0	75,0	75,0
28 hari, min (%)	75,0	75,0	75,0

- *Class N* : Pozolan alam, seperti halnya tanah diatome, shale, tufa, abu gunung berapi atau pumice.
- *Class F* : Abu pembakaran batu bara dari jenis anthracite dan bituminous.
- *Class C* : Abu pembakaran batu bara dari jenis subbituminous dan lignite.

Menurut SNI 15-0302-1994, semen Portland Pozolan digolongkan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

- Semen Portland Pozolan jenis A

Yaitu semen Portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua jenis tujuan pembuatan adukan beton serta tahan sulfat sedang dan panas hidrasinya sedang.

- Semen Portland Pozolan jenis B

Yaitu semen Portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan adukan beton dimana kekuatan awal yang tinggi tidak disyaratkan, serta adukan beton tersebut tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Sifat-sifat semen Portland Pozolan secara umum adalah sebagai berikut :

1. Sifat Pengerjaan (*Workability*)

Campuran beton dan mortar menggunakan PPC mempunyai workabilitas yang lebih mudah dan plastisitas yang lebih baik dari campuran menggunakan PC jenis I, dengan nilai slump yang sama, dan faktor kepadatan beton menggunakan PPC menjadi lebih tinggi dari beton yang menggunakan PC jenis 1.

2. Waktu Pengikatan

Penambahan pozolan pada semen Portland akan memperpanjang waktu ikatan. Selisih waktu pengikatan akhir antara PC dengan PPC menurut SNI 15-2049-94 dan SNI 15-0302-94 sebesar 45 menit.

3. Panas Hidrasi dan Suhu Beton

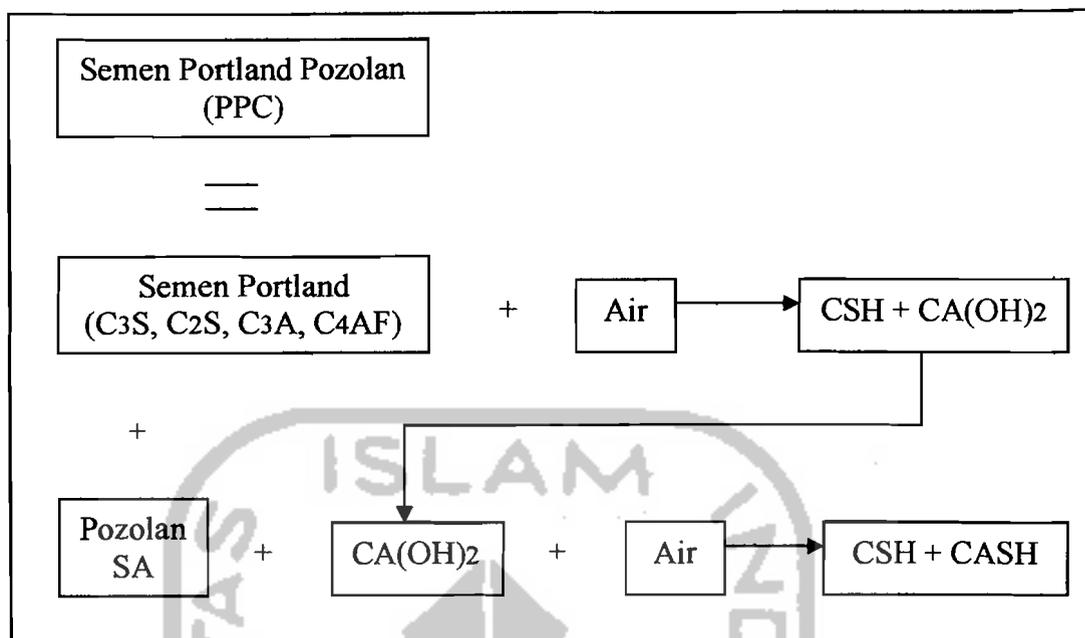
Apabila kepada semen ditambahkan air, maka akan terbentuk Ca(OH)_2 (kalsium hidroksida) sebanyak $\pm 30\%$ bagian berat semen, menurut persamaan reaksi :



Reaksi antara silika aktif dari pozolan dengan Ca(OH)_2 (kalsium hidroksida) berjalan lambat, sehingga berkembangnya panas selama proses hidrasi berjalan lambat, maka PPC mempunyai panas hidrasi lebih rendah dari semen Portland jenis I (PC I), dan relatif sama dengan semen Portland jenis II (PC II). Panas hidrasi semen berhubungan erat dengan suhu beton, oleh karena itu maka beton yang menggunakan PPC akan mempunyai suhu beton yang lebih rendah dari beton menggunakan PC I.

4. Kekuatan Tckan

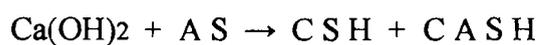
Oleh karena pada PPC diberikan penambahan / substitusi bahan pozolan pada semen Portland, maka kekuatan PPC menjadi lebih rendah dari PC I. Pada umur-umur berikutnya, pada PPC terjadi 2 (dua) reaksi yang bersamaan yaitu antara reaksi antara PC I dengan air dan reaksi antara silika aktif dari pozolan dengan Ca(OH)_2 dan air, maka kekuatan PPC semakin lama menjadi semakin tinggi. Proses hidrasi semen Portland pozolan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Skema proses hidrasi semen Portland pozolan (PPC)

5. Keawetan (*durability*)

Sebagaimana diketahui kalsium hidroksida hasil reaksi semen dan air adalah basa kuat, sehingga beton tidak tahan terhadap asam dan lingkungan yang mengandung garam atau sulfat. Dengan adanya pozolan, maka peranan kalsium hidroksida akan diperkecil, karena kalsium hidroksida akan bereaksi dengan silika dan alumina aktif yang berasal dari pozolan membentuk kalsium silikat hidrat (C S H) dan kalsium aluminat silikat hidrat (C A S H) menurut persamaan :



Sehingga dengan berkurangnya Ca(OH)_2 beton akan memiliki ketahanan yang lebih baik. Disamping itu, dengan adanya pozolan juga memperkecil kandungan C_3A sehingga beton akan lebih tahan terhadap garam dan sulfat.

Dengan demikian, semen Portland Pozolan dapat digunakan sebagai pengganti semen Portland jenis II, karena memiliki sifat-sifat yang sama sebagaimana dimiliki oleh semen Portland jenis II, yaitu memiliki panas hidrasi sedang yang tidak lebih dari 70 cal/gram, pada umur 7 hari tidak lebih dari 80 cal/gram pada umur 28 hari.

Dibandingkan dengan sifat fisika semen Portland jenis I, kekuatan awal semen Portland pozolan (PPC) agak lebih rendah, tetapi pada akhirnya, karena adanya reaksi antara pozolan aktif dengan Ca(OH)_2 yang berjalan terus, maka kekuatan semen Portland pozolan (PPC) akan menyamai bahkan bisa lebih tinggi dari semen Portland jenis I (Kuliah Umum Teknologi Semen, 2003).

