

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Pengertian Beton

Beton pada dasarnya merupakan campuran air, semen, dan agregat (campuran pasir dan koral). Semen dan air di sini berfungsi sebagai perekat serta penguat beton ( kadang-kadang juga ditambah *admixture*). Selama proses *hydration*, dua komponen senyawa terpenting dalam butiran semen yaitu  $C_2S$  dan  $C_3S$  akan bereaksi dengan  $H_2O$  dan menghasilkan  $CSH$  dan  $Ca(OH)_2$ .  $CSH$  berfungsi sebagai zat penentu kekerasan beton dan pengikat agregat. Sedangkan  $Ca(OH)_2$  berfungsi sebagai pelindung tulangan dari ancaman korosi. Campuran tersebut apabila dituangkan kedalam cetakan kemudian didiamkan akan menjadi keras seperti batuan. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu, hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu. Beton dapat juga dipandang sebagai batuan buatan diman adanya rongga pada partikel yang besar (agregat kasar) diisi oleh agregat halus dan rongga yang ada diantara agregat halus akan diisi oleh pasta (campuran air dengan semen) yang juga berfungsi sebagai bahan perekat sehingga semua bahan penyusun dapat menyatu menjadi massa yang padat.

Pemakaian dan proporsi setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan perawatan) serta umur beton (Tjokrodimuljo, 1996).

#### B. Pengertian Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang tersusun atas agregat ringan. Agregat ringan yang digunakan umumnya merupakan hasil produksi pembakaran (batu bara, slag, lumpur, dan lain-lain). Berat jenis agregat rata-rata 1000 kg/m<sup>3</sup> atau

berdasarkan kepentingan strukturnya berkisar antara  $1440 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1850 \text{ kg/m}^3$  dengan kekuatan tekan rata-rata pada umur 14 hari lebih besar dari 17.2 Mpa (ACI-318).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi berat jenis beton atau membuat beton lebih ringan antara lain adalah sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1996).

1. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambah bubuk alumunium kedalam campuran adukan beton.
2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung atau agregat buatan sehingga beton yang dihasilkan akan lebih ringan dari pada beton biasa.
3. Dengan cara membuat beton tanpa menggunakan butir-butir agregat halus atau pasir yang disebut beton non pasir

Secara garis besar bila diringkas pembagian penggunaan beton ringan dapat dibagi tiga yaitu (Tjokrodimuljo, 1996):

1. Untuk nonstruktur dengan berat jenis antara  $240 \text{ kg/m}^3$  sampai  $800 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan antara 0.35 MPa sampai 7 MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding pemisah atau dinding isolasi.
2. Untuk struktur ringan dengan berat jenis antara  $800 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1400 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan antara 7 MPa sampai 17 MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding yang juga memikul beban.
3. Untuk struktur dengan berat jenis antara  $1400 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1800 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan lebih dari 17 MPa yang dapat digunakan sebagaimana beton normal.

Pembagian Beton Menurut Penggunaan dan Persyaratannya Dobrowolski (1998) :

1. Beton dengan berat jenis rendah (*Low-Density concretes*)  $240 \text{ kg/m}^3$  –  $800 \text{ kg/m}^3$ , dengan kuat tekan 0,35 Mpa – 6,9 Mpa.
2. Beton dengan kekuatan menengah (*Moderate-Trength Lighweight Concretes*)  $800 \text{ kg/m}^3$  –  $1440 \text{ kg/m}^3$ , dengan kuat tekan 6,9 Mpa – 17,3 Mpa.
3. Beton ringan struktur (*Structural Lighweight Concretes*)  $1440 \text{ kg/m}^3$  –  $1800$

4. Beton ringan struktur (*Structural Lightweight Concretes*) 1400 kg/m<sup>3</sup> – 1800 kg/m<sup>3</sup> > 17 Mpa.
5. Beton ringan untuk pasangan batu (*Masonry Concrete*) 500 kg/m<sup>3</sup> – 800 kg/m<sup>3</sup>, dengan kuat tekan 7 Mpa.– 14 Mpa.
6. Beton ringan penaan panas (*Insulating Concrete*) < 800 kg/m<sup>3</sup> 0,7 Mpa –7 Mpa.

### C. Bahan Penyusun Beton ringan

#### 1. Portland Cement (PC)

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150,1985, Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk Kalsium Sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Pemilihan tipe semen ini kelihatannya mudah dilakukan karena semen mudah langsung diambil dari sumbernya. Hal itu hanya benar jika standar deviasi yang ditemui kecil, sehingga semen yang berasal dari beberapa sumber langsung dapat digunakan. Akan tetapi, jika standar deviasi hasil kekuatan uji semen besar, hal tersebut akan menjadi masalah. Saat ini banyak tipe semen yang beredar di pasaran sehingga kemungkinan variasi kekuatan semennya juga besar (ACI 318-89:2-1).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk masa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting

## 2. Sifat Dan Karakteristik Semen Portland

Semen satu dengan semen yang lain dapat dibedakan berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirannya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen Portland adalah kapur ( $\text{CaO}$  sekitar 60% - 65%), silika ( $\text{SiO}_2$  sekitar 20% - 25%), dan oksida besi serta alumina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sekitar 7% - 12%). Sifat-sifat semen Portland dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

### 1. Sifat fisika semen Portland

#### a. Kehalusan Butiran (*finesses*)

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya bleeding atau naiknya air ke permukaan beton, tetapi beton punya kecenderungan untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butir semen yang lewat ayakan No. 200 harus lebih dari 78%. Untuk mengukur kehalusan butir semen digunakan turbidimeter dari Wagner atau *water permeability* dari Blaine.

#### b. Kepadatan (*density*)

Berat semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah  $3.15\text{Mg/m}^3$ . pada kenyataanya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar  $3.05\text{ Mg/m}^3$  sampai  $3.25\text{ Mg/m}^3$ . variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam beton. Dengan berat jenis dapat dilakukan dengan *le chatelier flask*

### c. Konsistensi

Konsistensi Semen Portland lebih banyak pengaruhnya pada pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada rasio antara semen dan air, serta aspek – aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi.

### d. Waktu Pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua yaitu : 1). Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dan air menjadi pasta semen hingga hilang sifat keplastisannya, 2). Waktu ikatan akhir (*final setting time*) yaitu waktu terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Pada semen Portland initial setting time berkisar antara 1.0 – 2.0 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1.0 jam, sedangkan final setting time tidak boleh lebih dari 8.0 jam.

Waktu ikatan awal sangat penting pada control pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu diperlukan initial setting time lebih dari 2.0 jam agar waktu terjadinya ikatan awal lebih panjang. Waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaiannya (*finishing*). Proses ikatan ini disertai perubahan temperature yang dimulai sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan menjadi pendek seiring naiknya temperature sebesar 30°C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan kondisi lingkungan di sekitarnya. Pengikatan semu diukur dengan alat Vicat atau Gillmore. Pengikatan semu untuk

#### e. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang ditimbulkan saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui *curing* pada saat pelaksanaan.

Panas hidrasi naik sesuai dengan nilai temperatur pada saat hidrasi terjadi. Untuk semen biasa panas hidrasi bervariasi mulai 37 kal/kg pada temperature 5°C hingga 80 kal/kg pada temperature 40°C. Semua jenis semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada satu hingga tiga hari pertama, 70% pada hari ke tujuh, serta 83% - 90% setelah 6 bulan. Laju perubahan panas ini tergantung pada komposisi semen.

#### f. Perubahan Volume (kekalan)

Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang proses pembakarannya kurang sempurna serta unsur Magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut.

#### g. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang akan diuji dicampur dengan pasir silica dengan perbandingan tertentu, kemudian dibentuk menjadi kubus berukuran 5x5x5 cm. setelah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari dan mengalami perawatan dengan perendaman. benda uji tersebut diuji kekuatan tekannya

## 2. Sifat Kimia Semen Portland

Secara garis besar ada empat senyawa kimia utama yang menyusun Semen Portland yaitu :

- a. Trikalsium Silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) yang disingkat  $\text{C}_3\text{S}$
- b. Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) yang disingkat  $\text{C}_2\text{S}$ .
- c. Trikalsium Aluminat ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat  $\text{C}_3\text{A}$ .
- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  adalah 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling memberikan sifat semen. Senyawa  $\text{C}_3\text{S}$  jika bereaksi dengan air akan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke 14. senyawa  $\text{C}_2\text{S}$  lebih lambat bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh terhadap semen setelah berumur 7 hari.  $\text{C}_2\text{S}$  memberikan ketahanan terhadap serangan kimia (chemical attack) dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan.

Kedua senyawa kimia tadi membutuhkan air sekitar 21%-24% dari beratnya untuk bereaksi. Jika kandungan senyawa  $\text{C}_3\text{S}$  lebih banyak maka akan terbentuk semen dengan kekuatan awal yang tinggi dan panas hidrasi yang tinggi, sebaliknya jika kandungan senyawa  $\text{C}_2\text{S}$  yang lebih tinggi maka akan terbentuk semen dengan kekuatan tekan awal yang rendah dan ketahanan serangan kimia yang tinggi.

Senyawa  $\text{C}_3\text{A}$  bereaksi secara exothermic dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan awal yang cepat pada 24 jam pertama.  $\text{C}_3\text{A}$  bereaksi dengan air yang jumlahnya sekitar 40% dari beratnya. Karena persentasinya dalam semen kecil (sekitar 10%), maka pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. Senyawa sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada saat awal maupun pada saat penguapan berikutnya yang waktunya semakin

Semen yang mengandung  $C_3A$  lebih dari 10% tidak tahan terhadap sulfat.

Prinsip dasar pemilihan semen yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton yang tahan terhadap serangan sulfat adalah berapa banyak mengandung senyawa  $C_3A$  nya. Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan  $C_3A$  tidak lebih dari 5%. Semen dengan  $C_3A$  yang tinggi jika terkena sulfat yang terdapat dalam air atau tanah akan mengeluarkan  $C_3A$  yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang sehingga mengakibatkan retak-retak pada beton.

Senyawa  $C_4AF$  kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil. Komposisi kandungan senyawa yang dibutuhkan dalam semen Portland menurut standar ASTM C-150 (ASTM C-150 Vol.04.02: 1995, 92) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Karakteristik senyawa penyusun Semen Portland

Nilai	Trikalsium Silikat ( $3CaO.SiO_2$ )	Dikalsium Silikat ( $2CaO.SiO_2$ )	Trikalsium Aluminat ( $3CaO.Al_2O_3$ )	Tetrakalsium Aluminoferrit ( $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ )
Penyemenan	Baik	Baik	Buruk	Buruk
Kecepatan reaksi	Sedang	Lambat	Cepat	Lambat
Pelepasan panas hidrasi	Sedang	Sedikit	Banyak	Sedikit

Tabel 2.2 Komposisi kimia dari berbagai jenis semen

Jenis Semen	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik umum
	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	
Tipe I	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Untuk semua tujuan
Tipe II	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Sedikit mrlepas panas, Digunakan untuk struktur besar
Tipe III	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan
Tipe V	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat

Dari uraian diatas nampak bahwa perbedaan persentase senyawa kimia akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakteristik, jenis semen dan fungsinya. Berdasarkan (SK. SNI T-15-1990-03:2) semen portland dibagi menjadi lima jenis :

Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus .

Tipe II, semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Tipe III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.

Tipe IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.

Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

### 3. Air

air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan pada pekerjaan beton.

Air yang mengandung senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, alkali atau bahan kimia lainnya bila ditaklasi dalam campuran beton akan

menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Karena pasta semen merupakan reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dan semen atau faktor air semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah hidrasi selesai, sedang air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya.

Tabel 2.3 Persyaratan kandungan faktor air semen pada kondisi lingkungan khusus.

Jenis beton	Kondisi lingkungan	Faktor air semen maksimum beton normal	Kandungan semen minimum, kg/m <sup>3</sup>			
			Ukuran agregat maksimum			
			40 mm	20 mm	14 mm	10 mm
Bertulang	Ringan	0.65	220	250	270	290
	Sedang	0.55	260	290	320	340
	Berat	0.45	320	360	390	410
Pratekan	Ringan	0.65	300	300	300	300
	Sedang	0.55	300	300	320	340
	Berat	0.45	320	360	390	410
Tidak bertulang	Ringan	0.65	200	220	250	270
	Sedang	0.55	220	250	280	300
	Berat	0.45	270	310	330	360

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antar butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25 % dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35 % beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air

dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton yang sudah mengeras.

Beberapa persyaratan kandungan faktor air semen pada kondisi lingkungan tertentu dapat ditunjukkan pada Tabel 3 (PB 1989 : 21).

#### 4. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996)

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat, karena bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam akan menghasilkan volume pori yang besar tetapi bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diinginkan mempunyai kemampuan yang tinggi, sehingga volume pori dan bahan pengikat yang dibutuhkan lebih sedikit.

Menurut British Standard 882:1973 (Gambhir,1986), distribusi ukuran butiran agregat halus dibagi menjadi empat zone yaitu : zone I (kasar), zone II (agak kasar), zone III (agak halus), zone IV (halus) sebagai mana ditunjukkan pada tabel 2. dan distribusi agregat kasar yang ditunjukkan pada tabel 3.

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu :

- a. Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm
- b. Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm – 40 mm
- c. Pasir, jika ukuran butiran antara 0.15 mm – 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0.15 mm dinamakan “silt” atau tanah (Tjokrodimuljo, 1996).

Agregat kasar menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia perlu dinilai ketahanannya terhadap keusapannya (dengan mesin Los Angeles)

Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 2.4 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus (Gambhir, 1986)

Ukuran Saringan (BS)	Persentase Berat yang Lolos Saringan			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
10.00 mm	100	100	100	100
5.00 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2.36 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1.18 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

Tabel 2.5 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar (Gambhir, 1986)

Ukuran Saringan (BS)	Persentase Berat yang Lolos Saringan	
	5 mm sampai 40 mm	5 mm sampai 20 mm
37.5 mm	90-100	100
20.0 mm	35-70	90-100
10.0 mm	10-40	50-85
5.0 mm	0-5	0-10

Tabel 2.6 Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar Beton (Tjokrodinuljo, 1996)

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan mesin Los Angeles, lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 Mpa-20 MPa)	40
Kelas III (di atas 20 MPa)	27

### 5. Agregat Ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai kepadatan sekitar 300 – 1850 kg/m<sup>3</sup>. agregat ringan biasanya digunakan atas pertimbangan ekonomis dan struktural. Pertimbangan ekonomis biasanya didasarkan atas biaya produksi untuk menghasilkan agregat ringan dan pengerjaan struktur betonnya sendiri. Secara struktural pertimbangan didasarkan atas berat volume dan kepadatan dari beton yang terbentuk dimana akan lebih ringan dibandingkan menggunakan agregat konvensional, sehingga jika digunakan untuk struktur atas akan lebih ringan yang pada akhirnya beban konstruksi menjadi lebih ringan.

Agregat ringan dalam standar SNI 03-2461-2002 terdiri dari 2 macam, yaitu;

- a. agregat ringan buatan yang merupakan hasil proses pengembangan, pemanasan atau sintering dari bahan terak tanur tinggi, lempung, diatome, abu terbang, batu sabak, batu obsidian.
- b. agregat ringan alami diperoleh secara alami, seperti batu apung dan scoria, batu letusan gunung atau batuan lahar.

Komposisi kimia agregat ringan tidak boleh mengandung bahan kimia yang merusak dengan batasan sebagai berikut :

- a. Kotoran organis hasil pengujian tidak boleh memperlihatkan warna yang lebih gelap dari warna pembanding (standar), kecuali kalau dapat dibuktikan bahwa perubahan warna itu mengakibatkan turunya kekuatan tekan beton (lebih dari

- b. Noda warna kandungan besi oksida yang menyebabkan noda ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pada agregat tidak lebih dari 1,5 mg/200 gr contoh. 3. Hilang pijar pada pembakaran tidak melebihi 5%.

Sifat-sifat fisis dan mekanis meliputi :

- a. Gradasi agregat ringan yang diuji harus memenuhi persyaratan gradasi .
- b. Keseragaman gradasi ditentukan berdasarkan besarnya modulus kehalusan yang harus diuji secara periodik tidak boleh berbeda lebih dari 7% terhadap nilai modulus kehalusan yang ditentukan.
- c. Sifat fisis harus memenuhi persyaratan pada tabel 2.6. Persyaratan beton ringan meliputi kuat tekan dan kuat tarik, serta penyusutan akibat pengeringan contoh benda uji tidak boleh melebihi 0,7%.

Menurut ASTM C.330, agregat ringan dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Agregat ringan yang dihasilkan dari sisa / residu proses produksi atau pembakaran misalnya dapur tinggi, pembakaran tanah liat dan lain-lain.
- b. Agregat ringan yang dihasilkan melalui pengolahan bahan alam, misalnya batu apung.

## 6. Bahan Tambah

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain : mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dengan jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokrodinuljo, 1996). Bahan tambah menurut maksud penggunaannya dibagi menjadi 2 golongan yaitu

*Admixtures* adalah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolik dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam batching, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen (Taylor, 1997).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), bahan tambah dapat dibedakan menjadi 3 golongan, yaitu :

- a. *Chemical Admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang berbeda pada beton dalam keadaan segar maupun setelah mengeras, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah dan waktu pengikatan yang lebih lambat atau lebih cepat. *Superplasticizer* merupakan salah satu jenis *chemical admixture* yang sering ditambahkan pada beton segar. Pada dasarnya penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kelecakan, mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran (faktor air semen), mengurangi *slump loss*, mencegah timbulnya *bleeding* dan *segregasi*, menambah kadar udara (*air content*) serta memperlambat waktu pengikatan (*setting time*).
- b. *Pozolan (pozzolan)* merupakan bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Pozolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton atau mortar (sampai batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk memperbaiki kelecakan (*workability*), membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan menambah ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia yang bersifat agresif. Penambahan pozolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton karena adanya reaksi pengikatan kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) oleh silikat atau aluminat menjadi tobermorite ( $2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Pozolan yang saat ini telah banyak diteliti dan

digunakan antara lain : *silicafume*, *fly ash*, tras alam dan abu sekam padi (*rice husk ash*).

- c. Serat (*fibre*) merupakan bahan tambah yang berupa asbestos, gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan (rami, ijuk, serat bambu). Penambahan serat ini dimaksudkan untuk meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*) sehingga dapat meningkatkan keawetan / durabilitas beton, misalnya pada perkerasan jalan raya atau lapangan udara,