

BAB II

B. LANDASAN TEORI

2. Beton

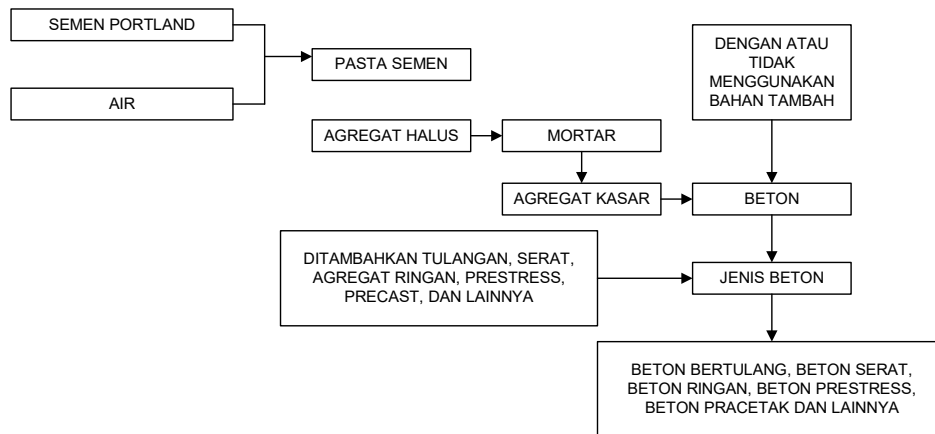
Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang homogen sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan. Sebagai materi komposit, keberhasilan penggunaan beton tergantung pada perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan masing masing material yang baik, proses penanganan dan proses produksinya (Teknologi Beton, Paul Nugraha, 2007). Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder atau kubus dengan prosedur uji ASTM C-39.

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Untuk kuat tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm^2 dengan simbol K untuk benda uji kubus dan f_c untuk benda uji silinder. Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat tekan dan kuat tarik lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.

3. Perawatan. Kehilangan kekuatan sampai dengan sekitar 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya

Proses terbentuknya beton dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses terbentuknya beton

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Kualitas semen,
- b. Faktor Air Semen,
- c. Proporsi semen terhadap campuran,
- d. Kekuatan dan kebersihan agregat,
- e. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
- f. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
- g. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,

- h. Perawatan beton,
- i. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985:24).

Kelebihan beton adalah dapat mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Selain itu pula beton juga memiliki kekuatan mumpuni, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang murah. Selain itu kekurangan-kekurangan lain dari beton dan hal-hal yang membatasi pemakaiannya adalah:

- (1) Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- (2) Kekuatan tariknya rendah, meskipun kuat tekannya besar.
- (3) Beton cenderung untuk retak, karena semennya *hidraulis*. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terlihatseparah struktur baja.
- (4) Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- (5) Penyusutan kering dan perubahan kadar air. Beton menyusut bilamana mengalami kekeringan dan bahkan ketika terjadi pengerasan, memuai dan menyusut bilamana basah dan kering. Perubahan-perubahan ini mengharuskan untuk disediakannya suatu sambungan-kontraksi pada suatu interval-interval agar tidak terjadi retak-retak yang tidak terlihat.
- (6) Rayapan. Beton mengalami perubahan bentuk secara berangsur-angsur bilamana mengalami pembebanan, perubahan bentuk yang ditimbulkan oleh rayapan-beton ini tidak dapat kembali seperti semula bilamana beban ditiadakan. Rayapan ini hal yang sangat penting terutama yang berhubungan

dengan beton pra-tekan. Rayapan dan penyusutan sukar dipisahkan didalam pengukuran perubahan bentuk selama pengujian.

- (7) Kerapatan terhadap air. Beton yang paling baik tidak dapat secara sempurna rapat terhadap air dan kelembaban serta mengandung senyawa-senyawa yang mudah larut serta terbawa keluar oleh air yang jumlahnya berubah-ubah. Bilamana diperlukan perhatian khusus terhadap konstruksi ini, perlu adanya sambungan yang bisa membentuk semacam saluran untuk aliran air tersebut. Kerapatan terhadap air merupakan hal yang sangat penting pada beton bertulang dimana perhatian utama adalah perlindungan terhadap karat pada baja tulangan.

2.1 Beton Normal

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air.

2.2 Beton Non-Pasir (*No Fines Concrete*)

Beton non pasir (*no fines concrete*) ialah suatu bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang diperoleh dengan cara menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatan beton. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi di dalam massa beton, serta berkurangnya berat jenis beton. Rongga didalam beton tersebut mencapai sekitar 20 sampai 25 persen. Kelebihan utama dari pemakaian beton non pasir ini adalah:

- a. kebaikannya sebagai bahan isolasi panas
- b. pembuatan beton yang lebih cepat dan sederhana
- c. bobotnya yang ringan
- d. serta susutnya yang hanya sedikit

- e. tidak ada kecenderungan untuk bersegregasi sehingga dapat dijatuhkan dengan tinggi jatuh yang lebih tinggi
- f. kebutuhan semen sedikit (karena tidak ada pasir maka luas permukaan butir agregat berkurang sehingga kebutuhan pasta semen yang dipakai untuk menyelimuti butir pasir tidak diperlukan lagi, sehingga kebutuhan semen hanya sedikit) sehingga harganya lebih murah

2.3 Sifat dan Karakteristik Beton

Sifat dan karakter mekanik beton secara umum:

1. Beton sangat baik menahan gaya tekan (*high compressive strength*), tetapi tidak begitu pada gaya tarik (*low tensile strength*). Bahkan kekuatan gaya tarik beton hanya sekitar 10% dari kekuatan gaya tekannya.
2. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan (tension) yang tinggi, karena elastisitasnya yang rendah.
3. Konduktivitas termal beton relatif rendah. Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata - mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan akhir dilakukan
4. Dengan cara khusus umpamanya diekspos agregatnya (agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan di bagian luar, sehingga nampak jelas padapermukaan betonnya).

2.3.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan dengan menggunakan mesin tekan. Hasil massa beban maksimum akan terbaca dalam satuan ton. Benda uji diletakan pada bidang tekan mesin secara sentris. Pembebanan dilakukan secara perlahan sampai beton mengalami kehancuran. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana, f_c = kuat tekan (N/mm²),

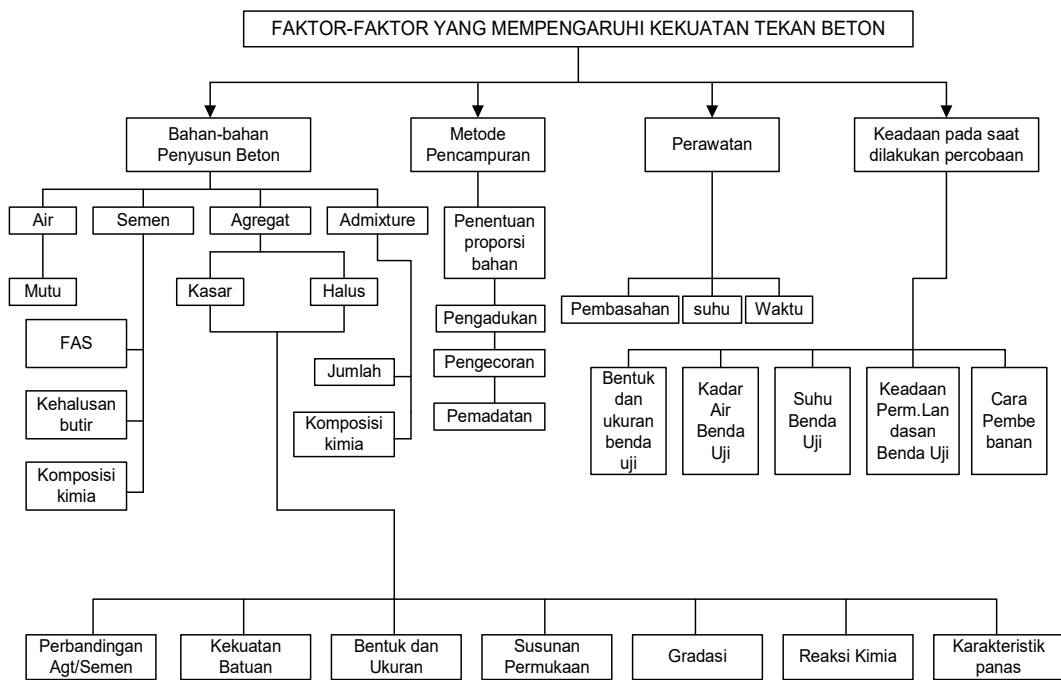
A = luas permukaan kubus (mm²),

P = beban (N).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor (Gambar 2.2), selain oleh perbandingan air-semen dan tingkat kepadatannya. Faktor-faktor penting lainnya yaitu:

- a) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
- b) Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.
- c) Efisiensi dari perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji.

- d) Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat-hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
- e) Umur. Pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai bertahun-tahun.



Gambar 2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

- 1). Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non struktur. Misalnya, dinding bukan penahan beban.
- 2). Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur yang berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20 Mpa. Misalnya kolom, balok, dinding yang menahan beban dan sebagainya.
- 3). Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik dulu sebelum diberi beban.
- 4). Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus misalnya gedung bertingkat sangat banyak.

Tabel 2.1 Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 15 Mpa
Beton rendah	15 – 20 Mpa
Beton prategang	20 – 35 Mpa
Beton kuat tekan tinggi	35 – 65 Mpa
Beton kuat tekansangat tinggi	>65 Mpa

(Sumber: Departemen pekerjaan umum., 2007, *Struktur Beton :7.1.1, Tabel 7.1.1-1*)

2.3.2 Kuat Tarik

Kuat tarik merupakan bagian penting didalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Pengujian kuat tarik diadakan untuk pembuatan beton konstruksi jalan raya dan lapangan terbang

Pengujian dapat dilakukan dengan membelah benda uji berupa silinder oleh suatu desakan ke arah diameternya, untuk mendapatkan apa yang disebut

kekuatan tarik belah. Pada mesin pengujian ditambahkan suatu batangan agar dapat membagi beban merata pada panjang silinder. Dari beban maksimal yang diberikan, kekuatan tarik dapat dihitung sebagai berikut:

$$f_1 = \frac{2P}{\pi ld} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan, f_1 = kekuatan tarik belah (N/mm²),
 P = beban maksimal yang diberikan (N),
 l = panjang dari silinder (mm),
 d = diameter (mm).

2.3.3 Rangkak dan Susut

Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* adalah perubahan bentuk dibawah beban tetap. Pemberian beban pada beban pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut dengan rangkak. Besarnya deformasi ini tergantung pada faktor tegangan-kekuatan dan waktu pembebanan, tetapi dipengaruhi juga oleh faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen dan bahkan kondisi iklim. Jika beban kemudian diangkat, beton akan mengalami *recovery elastic* yang langsung. Perpanjangan rangkap adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak dan susut dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat),
- b. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*),
- c. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*),

- d. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*),
- e. Umur beton pada saat beban bekerja,
- f. Nilai *slump* (*slump test*),
- g. Lama pembebanan,

Besarnya rangkaiak berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkaiak akan lebih besar jika faktor air semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh penyusutan.

2.3.4 Berat Jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Beberapa jenis beton menurut berat jenis dan pemakaiannya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

(Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodinuljo, M.E., 1998, *Bahan Bangunan: IV-57, Tabel 4.2*)

2.4 Bahan-Bahan Penyusun Beton

2.4.1 Air

Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yaitu:

- a) Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- b) Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau pengerjaan beton.

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau keahanan beton. Kandungan kurang dari 1000 ppm (*parts per million*) masih diperbolehkan meskipun konsentrasi lebih dari 20 ppm sebaiknya dihindari.

Pengaruh kotoran pada air secara umum bisa mengakibatkan:

1. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
2. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
3. Perubahan volume yang mengakibatkan keretakan.
4. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
5. Bercak-bercak pada permukaan beton.

Tabel 2.3 Batasan maksimum kandungan zat kimia dalam air

Kandungan unsur kimiawi	Maksimum konsentrasi (ppm*)
Chloride, Cl :	
- Beton prategang	500
- Beton bertulang	1000
Sulfate, SO ₄	1000
Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600
Total solids	50000

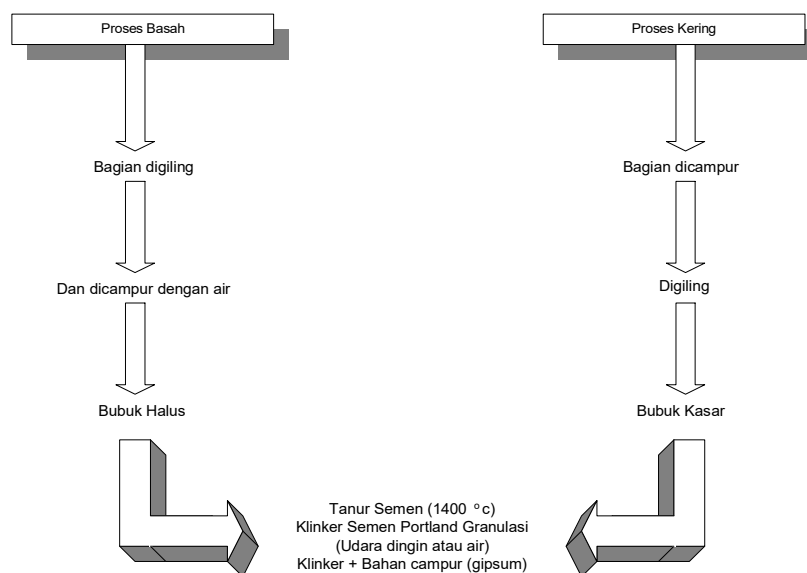
(Sumber: Paul Nugraha ;2007;Teknologi Beton;bab 6; 77;Tabel 6.2)

ppm* = parts per million

2.4.2 Semen Portland

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa 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. Pasta semen adalah *lem*, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu kuat maka tidak menjamin lekatan yang baik.

Semen Portland diproduksi untuk pertama kalinya pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, dengan memanaskan suatu campuran tanah liat yang dihaluskan dengan batu kapur atau kapur tulis dalam suatu dapur sehingga mencapai suatu suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan gas asam karbon. Proses kering dan proses basah merupakan dua cara produksi yang dipergunakan dalam pembuatan semen, seperti yang diuraikan dalam Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Proses pembuatan semen

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen Portland adalah kapur (CaO) sekitar 60 % - 65 %, silika (SiO₂) sekitar 20 % - 25 %, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃) dan Al₂O₃) sekitar 7 % - 12 %. Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

(1). Sifat fisika semen Portland

Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi dan hilang pijar.

(2). Sifat-sifat kimiawi.

Sifat-sifat kimiawi dari semen Portland meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (*insoluble residu*), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen. Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu:

- a. Trikalsium Silikat (3CaO.SiO₂) yang disingkat menjadi C₃S.
- b. Dikalsium Silikat (2CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₂S.
- c. Trikalsium Aluminat (3CaO. Al₂O₃) yang disingkat menjadi C₃A.
- d. Tertakalsium aluminoferrit (4CaO. Al₂O₃.Fe₂O₃) yang disingkat menjadi C₄AF.

Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen membentuk karakter dan jenis semen menjadi lima jenis, yaitu:

- 1) Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- 2) Tipe II, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

- 3) Tipe III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Tipe IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2.4.3 Agregat

Agregat pada beton menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*), dan ekonomis. Mengingat agregat lebih murah daripada semen maka akan ekonomis bila agregat dimasukkan sebanyak mungkin selama secara teknis memungkinkan, dan kandungan semennya minimum.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. Agregat yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, keras, bebas dari sifat penyerapan secara kimia, tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur dan distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan yang berlaku.

Gradasi (pembagian distribusi butir, *grading*) ialah distribusi ukuran butir agregat. Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat halus kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi.

Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45 % dan tertahan pada ayakan berikutnya. Kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu:

1. Volume udara. Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.
2. Volume padat. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton tadi.
3. Berat jenis agregat. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
4. Penyerapan. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat. Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

Pada umumnya agregat digolongkan dalam tiga kelompok, yaitu:

- a. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan, sifat-sifat ini harus diketahui dan dipelajari agar kita dapat mengambil tindakan yang

positif dalam mengatasi masalah-masalah yang timbul. Sifat-sifat tersebut adalah:

1. Serapan air dan kadar air agregat,
2. Berat jenis dan daya serap agregat,
3. Gradasi agregat,
4. Modulus halus butir,
5. Ketahanan kimia,
6. Kekekalan,
7. Perubahan volume,
8. Karakteristik panas (sifat thermal agregat), dan
9. Bahan-bahan lain yang mengganggu.

2.4.3.1 Agregat Halus (pasir)

Agregat halus ialah agregat yang semua butir menembus ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

- a. Pasir galian. Diperoleh langsung dari permukaan tanpa atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara dicuci.
- b. Pasir sungai. Diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan, daya lekat antar butir agak kurang, karena

butirannya bulat. Karena butirannya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok.

- c. Pasir laut. Diambil dari pantai, butiran-butirannya halus dan bulat. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman yang menyerap kandungan air dan udara. Hal ini menyebabkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

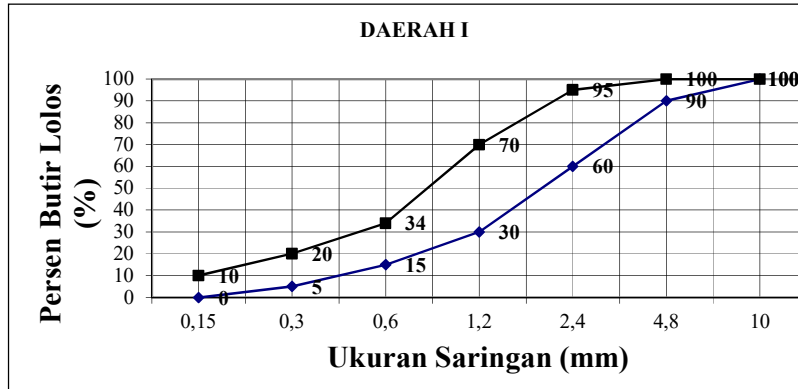
SK-SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah) seperti dalam Tabel 2.4 Tabel tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.4.a sampai 2.4.d untuk mempermudah pemahaman.

Tabel 2.4 Batas gradasi agregat halus (*British Standard*)

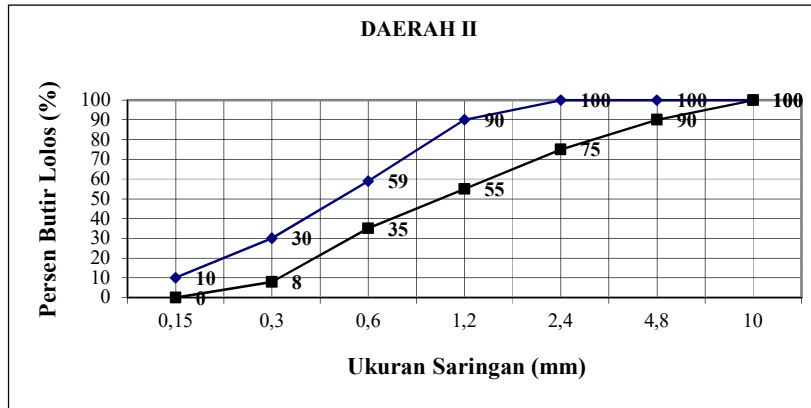
Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber: SNI 03-2834-1993., *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara* ;233, Tabel 6)

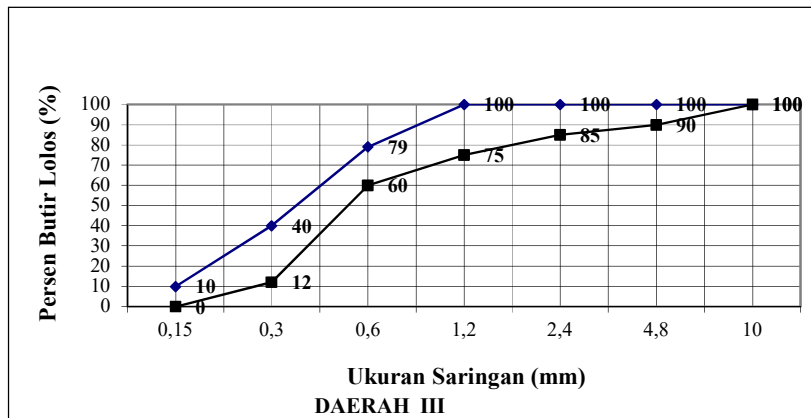
- Keterangan:
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
 - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
 - Daerah Gradasi III = Pasir Halus
 - Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus



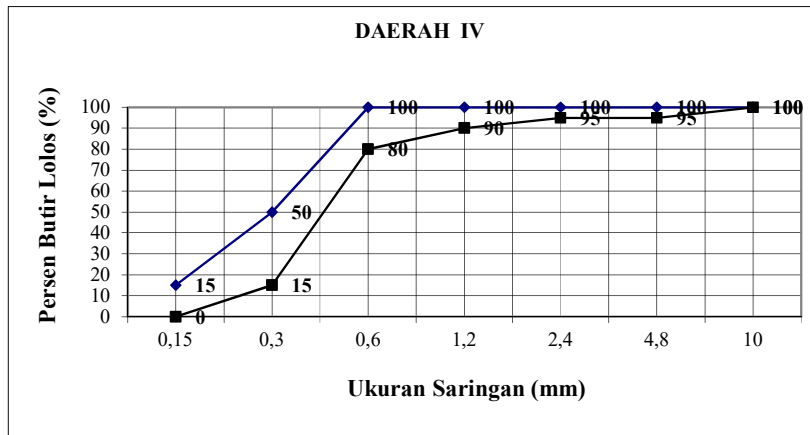
Gambar 2.4.a Daerah gradasi pasir kasar



Gambar 2.4.b Daerah gradasi pasir agak kasar



Gambar 2.4.c Daerah gradasi pasir halus



Gambar 2.4.d Daerah gradasi pasir agak halus

ASTM C.33-86 dalam “Standard Specification for Concrete Aggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.5

Tabel 2.5 Syarat mutu agregat halus menurut ASTM C.33-86

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9.5	100
4.75	95 – 100
2.36	80 – 100
1.18	50 – 85
0.6	25 – 60
0.3	10 – 30
0.15	2 – 10

(Sumber: Ir, Iswandi I, MAsc., Ph.D. Pengenalan Rekayasa dan Bahan Kontruksi Bab 3-16)

2.4.3.2 Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua butir tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat ini dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang pecah.

Menurut *British Standard* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Syarat mutu agregat kasar menurut *British Standard*

Lubang Ayakan (mm)	Persen butir lewat ayakan, besar butir maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12.5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 - 85
4.8	0 – 5	0 - 10	0 - 10

(Sumber : Ir, Tri Mulyono, MT., 2003, *Teknologi Beton* ; 94, Tabel 4.9)

2.5 Perancangan Campuran Beton Metode SNI

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Pada dasarnya perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain:

- (1). *Metode American Concrete Institute,*
- (2). *Portland Cement Association,*
- (3). *Road Note No.4,*

- (4). *British Standard, Departement of Engineering,*
- (5). Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03), dan
- (6). Cara coba-coba.

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 Mpa sesuai dengan teori perancangan proporsi campuran adukan beton, pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 Mpa boleh menggunakan penakaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 Mpa harus menggunakan campuran berat.

Sebelum melakukan perancangan, data-data yang dibutuhkan harus dicari. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-

1990-03). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen Pekerjaan Umum (SK-SNI.T-15-1990-03).

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c) pada umur tertentu.

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.

2. Penetapan nilai deviasi standar (s)

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

- a. Jika pelaksanaan mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratan (selain yang tersebut di atas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (Satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka, dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada tabel 2.7. berikut:

Tabel 2.7. Faktor pengkali deviasi standar (s)

Jumlah Data	:	30	25	20	15	< 15
Faktor pengkali	:	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

*) Untuk nilai antara dipakai interpolasi.

- b. Jika pelaksanaan tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat melihat tabel 2.8. berikut:

Tabel 2.8. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Kondisi Pengerjaan	Standar Deviasi (MPa)	
	Lapangan	Laboratorium
Sempurna	< 3	<1,5
Sangat Baik	3 – 3,5	1,5 – 1,75
Baik	3,5 – 4	1,75 – 2
Cukup	4 – 5	2 – 2,5
Kurang Baik	> 5	>2,5

(Sumber: Ir. Iswandi imran; pengenalan rekayasa & bahan kontruksi; 6-6)

3. Penghitungan nilai tambah “margin” (M),

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa (karena tidak mempunyai data sebelumnya) maka langsung ke langkah (4). Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar s_d maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \times s_d$$

.....(2.5)

dengan : M : nilai tambah (MPa),

k : 1,64,

s_d : deviasi standar (MPa).

4. Menentukan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

.....(2.6)

dengan : f'_{cr} : kuat tekan rata-rata (MPa),

f'_c : kuat tekan yang disyaratkan (MPa),

M : nilai tambah (MPa).

5. Menentukan jenis semen portland

Menurut PUBI 1982 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut

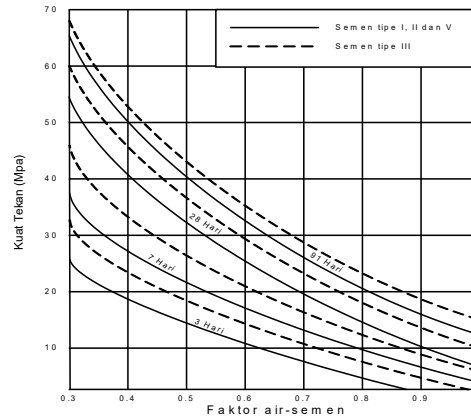
semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah dipakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

6. Penetapan jenis agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tidak dipecahkan) atau agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*).

7. Tetapkan faktor air semen, dengan salah satu dari kedua cara berikut:

- a. Cara pertama, berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat grafik 2.5. berikut:



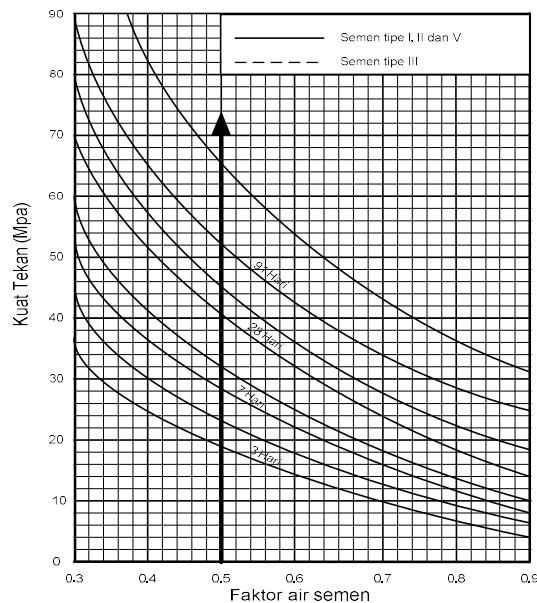
Gambar 2.5. Grafik hubungan faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton (sebagai perkiraan nilai F.A.S)

- b. Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan tabel 2.6. dan gambar 2.2

Tabel 2.9. Perkiraan kuat tekan Beton (MPa) dengan faktor air semen 0,60

Jenis Semen	Jenis agregat kasar	Umur (hari)			
		3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
III	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 2.6. Grafik penentuan untuk mencari faktor air semen

8. Penetapan faktor air semen maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan nilai faktor air semen maksimum dapat dilakukan dengan melihat tabel 2.10. Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah daripada nilai fas dari langkah 7, maka nilai fas maksimum ini yang dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.10 Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembeconan dan lingkungan khusus

Jenis pembeconan	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 korosi	0,25
Beton di luar ruang bangunan	:
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah	:
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Tabel 2.8.a. Tabel 2.8.b.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar /payu/laut	

(Sumber: SNI 03-2834-1993;Tabel 4)

Tabel 2.10.a. Faktor air semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat +

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Faktor air-semen maksimum
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (gr/ltr)			
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15 – 40 %)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	0,50
			Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan	0,55
			Tipe II dan V	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan	0,45
			Tipe II atau V	0,45
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	0,45

(Sumber: SNI 03-2834-1993; Tabel 5)

A. Tabel 2.10.b. Faktor air-semen untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air-semen
Air tawar	Semua tipe I s.d V	0,50
Air payu	Tipe I + Pozolan (15-40 %) atau semen portland Pozolan	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

(Sumber: SNI 03-2834-1993; Tabel 5)

9. Penetapan nilai *slump*

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai *slump* yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai *slump* yang agak kecil. Nilai *slump* yang diinginkan dapat diperoleh dari tabel 2.11.

Tabel 2.11. Penetapan nilai *slump* (mm)

Jenis Kontruksi	Maksimum	Minimum
a. Dinding fondasi dan kaki bertulang	75	25
b. Kaki tak bertulang, caisong dan dinding substruktur	75	25
c. Balok dan dinding bertulang		25
d. Kolom bangunan	100	25
e. Pavement dan lantai	100	25
f. Boton massif	75	25
	75	25

(Sumber: Paul Nugraha ;2007;Teknologi Beton;bab 24; 287;Tabel 24.3)

10. Penetapan besar butir agregat minimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut :

- a. $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau tendon prategang atau selongsong.
- b. Sepertiga kali tebal plat.
- c. Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.

11. Tetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan *slump* yang diinginkan, lihat tabel 2.12.

Tabel 2.12. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maks. Kerikil (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel di atas apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus:

$$A = 0,67A_h + 0,33A_k \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

- A : Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³),
- A_h : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus,
- A_k : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar.

12. Hitung berat semen yang diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah 7 dan 8.

13. Kebutuhan semen minimum

Kebutuhan air semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan menggunakan tabel 2.13. Di bawah ini.

Tabel 2.13. Kebutuhan semen minimum untuk berbagai kebutuhan berbagai pembeconan dan lingkungan khusus

Jenis pembeconan	Semen minimum (kg/m ³ beton)
Beton di dalam ruang bangunan	:
a. Keadaan keliling non-korosif	275
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325
Beton di luar ruang bangunan	:
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah	:
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Tabel 2.12.a.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar /payau/laut	Tabel 2.12.b.

(Sumber: SNI 03-2834-2000; Tabel 4)

Tabel 2.14.a. Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)		
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		Ukurn maks. agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (gr/ltr)			40	20	10
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15 – 40 %)	28 0	30 0	35 0
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	29 0	33 0	38 0
			Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan			
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II dan V	25 0	29 0	43 0
			Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan	34 0	38 0	43 0
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V			
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V	29 0	33 0	38 0
			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	33 0	37 0	42 0
				33 0	37 0	42 0

(Sumber: SNI 03-2834-2000; Tabel 5)

Tabel 2.14.b. Kandungan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan :	Tipe semen	Kandungan semen min.	
		Ukuran maks. agregat (mm)	
		40	20
Air tawar	Semua tipe I s.d V	280	300
Air payu	Tipe I + Pozolan (15-40 %) atau semen portland Pozolan	340	380
	Tipe II atau V	290	330
Air laut	Tipe II atau V	330	370

(Sumber: SNI 03-2834-2000; Tabel 6)

14. Penyesuaian kebutuhan semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah 12 ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum langkah 13 maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih tinggi).

15. Penyesuaian jumlah air dan faktor air semen

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah (14) maka nilai faktor airsemen berubah.

Dalam hal ini, dapat dilakukan dengan dua cara berikut:

- a. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

16. Penentuan daerah gradasi agregat halus

Berdasarkan gradasinya (hasil analisis ayakan) agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan dalam tabel 2.15. Dengan tabel 2.15 tersebut agregat halus dapat dimasukkan menjadi salah satu dari 4 daerah, yaitu daerah 1, 2, 3, dan 4.

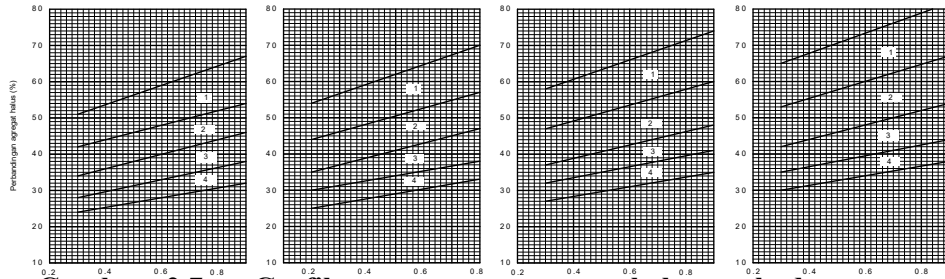
Tabel 2.15. Batas gradasi pasir

No. Saringan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

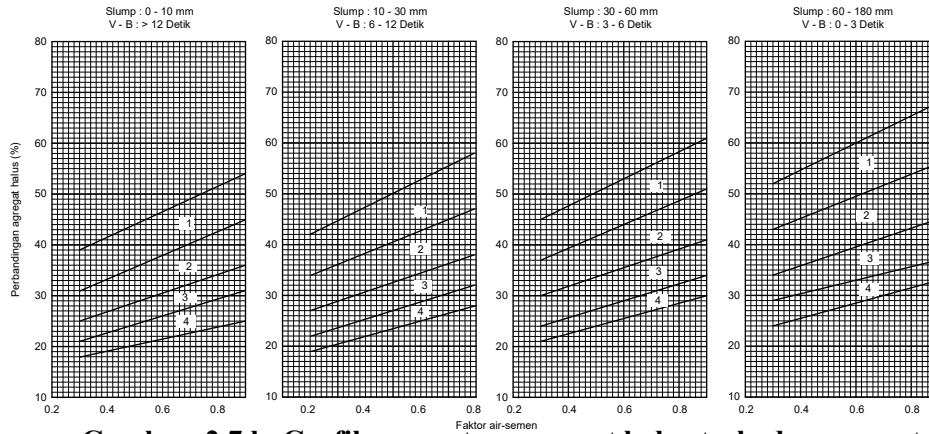
(Sumber: Rika Deni Susanti, ST. MT., *Teknologi bahan konstruksi* :21, tabel 2.5)

17. Perbandingan agregat halus dengan agregat kasar

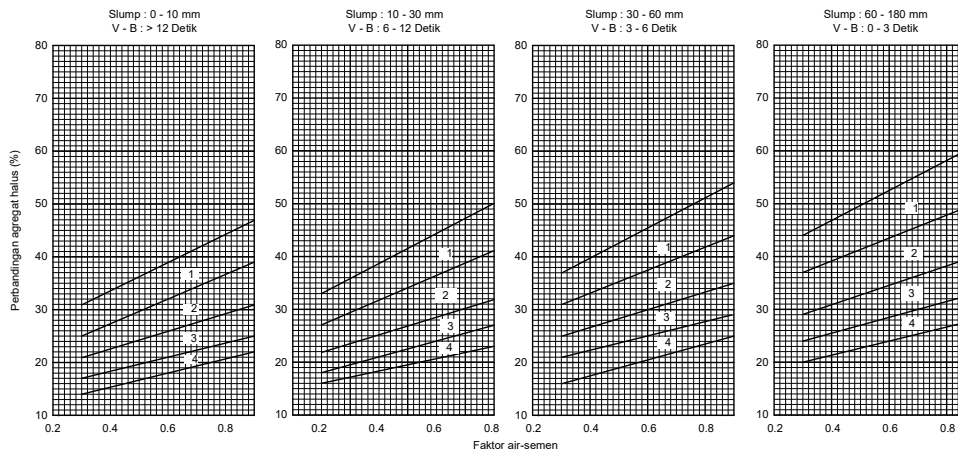
Nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Grafik 2.7.a, 2.7.b, 2.7.c. dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



Gambar 2.7.a. Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 10 mm.



Gambar 2.7.b. Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 20 mm



Gambar 2.7.c. Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 40 mm

18. Berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$B_{j,camp} = \frac{P}{100} \times B_{j,ag.hls} + \frac{K}{100} \times B_{j,ag.ksr}$$

.....(2.8)

dengan :

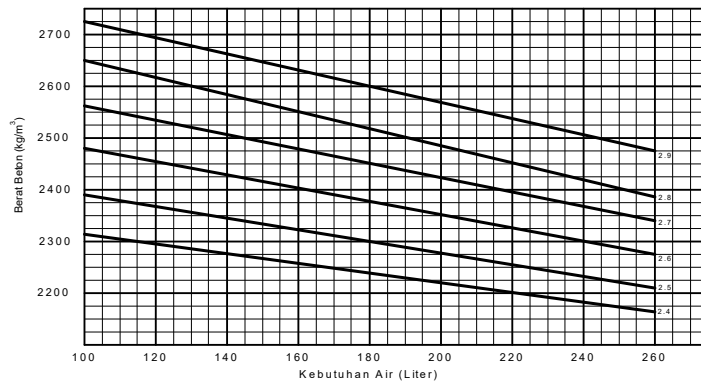
- $B_{j,camp}$: berat jenis agregat campuran,
- $B_{j,ag.hls}$: berat jenis agregat halus,
- $B_{j,ag.ksr}$: berat jenis agregat kasar,
- P : persentase ag.halus terhadap ag.campuran,
- K : persentase ag.kasar terhadap ag.campuran.

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,5 untuk agregat tidak dipecah atau alami, untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70.

19. Penentuan berat jenis beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah 18 dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dengan grafik 2.8. Dapat diperkirakan berat jenis betonnya. Caranya adalah sebagai berikut :

- a. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 17 dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada grafik 2.8.
- b. Kebutuhan air yang diperoleh pada langkah (11) dimasukkan dalam grafik 2.8., kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yang dibuat di atas.
- c. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.



Gambar 2.8. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton.

20. Kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

$$W_{campuran} = W_{beton} - A - S \dots\dots\dots(2.9)$$

- dengan : $W_{campuran}$: kebutuhan agregat campuran (kg),
- W_{beton} : berat beton (kg/m³),
- A : kebutuhan air (litr),
- S : kebutuhan semen (kg).

21. Kebutuhan agregat halus (pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{pasir} = \left(\frac{P}{100} \right) \times W_{campuran} \dots\dots\dots(2.10)$$

- dengan : W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg),
- $W_{campuran}$: kebutuahn agregat campuran (kg),
- P : persentase pasir terhadap campuran.

22. Kebutuhan agregat kasar (kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{krk} = W_{campuran} - W_{pasir} \dots\dots\dots(2.11)$$

- dengan : $W_{kerikil}$: kebutuhan agregat kerikil (kg),
- W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg),
- $W_{campuran}$: kebutuahn agregat campuran (kg),

Dalam perhitungan di atas agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering-muka, sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus dilakukan minimum satu kali per hari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

1. Air : $A - \left[\frac{(A_h - A_1)}{100} \right] \times B - \left[\frac{(A_k - A_2)}{100} \right] \times C$
(2.12)

2. Agregat halus : $B + \left[\frac{(A_h - A_1)}{100} \right] \times B$
(2.13)

3. Agregat kasar : $C + \left[\frac{(A_k - A_2)}{100} \right] \times C$
(2.14)

dengan :

- A : jumlah kebutuhan air (liter/m³),
- B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³),
- C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³),

A_h : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%),

A_k : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%),

A_1 : kadar air pada agregat halus jenuh kering-muka (%),

A_2 : kadar air pada agregat kasar jenuh kering muka (%).

Untuk mempermudah pelaksanaan, berikut ini diberikan Tabel 2.17.

Formulir Perancangan Adukan Beton di bawah ini.

Tabel 2.16. Formulir Perancangan Campuran Beton Menurut Standar Pekerjaan Umum (SK-SNI-T-15-1990-03)

No	Uraian	Tabel / Reverensi Perhitungan	Nilai	Satuan	
1.	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28 hari	: Ditetapkan	.....	MPa
2.	Deviasi standar (s)	: Ditetapkan	.....	MPa
3.	Nilai tambah / Margin (m)	: (Tabel 2.8)	.....	MPa
4.	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr})	: Ditetapkan	.....	MPa
5.	Jenis semen	: (1) + (3)	.....	
6.	Jenis agregat kasar	: Ditetapkan	.....	
7.	Faktor air-semen	: Ditetapkan	.....	
8. a.	Faktor air-semen maksimum	: (Gambar 2.6)	.....	
b.	Digunakan faktor air-semen yang rendah	: (Tabel 2.10)	.....	
9.	Nilai slam	: (7) atau (8)	.....	mm
10.	Ukuran maksimum butiran agregat kasar	: (Tabel 2.13)	.....	mm
11.	Kebutuhan air	: Ditetapkan	.....	ltr
12.	Kebutuhan semen portland	: (Tabel 2.13)	.....	kg
13. a.	Kebutuhan semen portland minimum	: (11)/(8.b)	.....	kg
b.	Digunakan kebutuhan semen portland	: (Tabel 2.14)	.....	kg
14. a.	Penyesuaian jumlah air	: (12) atau (13)	.....	ltr
b.	Penyesuaian jumlah faktor air-semen	: Tetap	.....	
15.	Zona / Daerah gradasi agregat halus	: Tetap	.....	
16.	Persentase agregat halus terhadap campuran	: (Tabel 2.16)	.....	%
17.	Berat jenis agregat campuran	: (Gambar 2.7.b)	.....	
18.	Berat beton	: Ditetapkan	.....	kg/m ³
19.	Kebutuhan campuran pasir dan kerikil	: (Gambar 2.8)	.....	kg/m ³
20.	Kebutuhan agregat halus (pasir)	: (18)-(11)-(13.b)	.....	kg/m ³
21.	Kebutuhan agregat kasar (kerikil)	: ((16)/100) x (19)	.....	kg/m ³
Kesimpulan :					
Volume	Berat beton	Air	Semen	Agr. halus	Agr. kasar
1 m³ kg ltr kg kg kg