

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

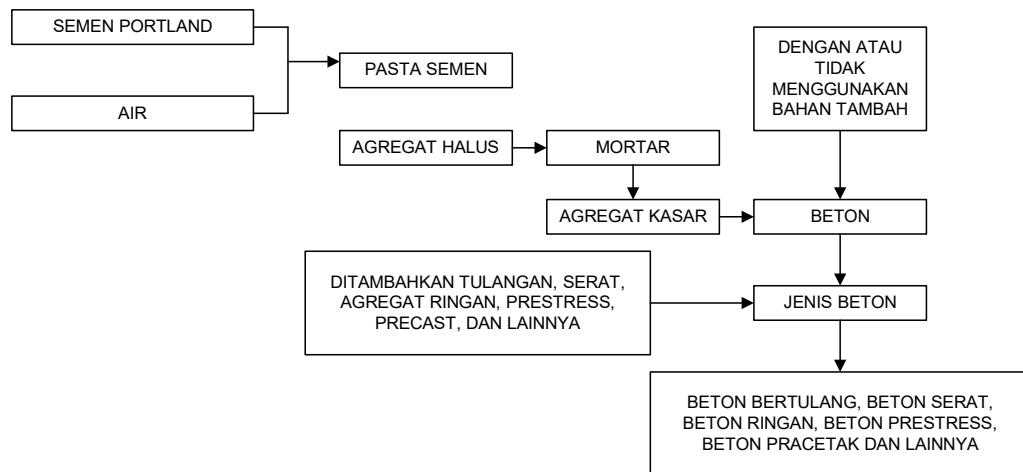
Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan memperlajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1958:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana (*engineer*) dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisian, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi.

Dalam usaha untuk memahami karakteristik bahan penyusun campuran beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Umum melalui LPMB banyak mempublikasikan standar-standar yang berlaku. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK. SNI T-15-1990-03:1).

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Kuat tekan di Indonesia sering menggunakan satuan N/mm^2 . Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor :

1. Jenis dan kualitas semen
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. 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



Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Beton

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

1. Kualitas semen,
2. Faktor air semen,
3. Proporsi semen terhadap campuran,
4. Kekuatan dan kebersihan agregat,
5. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
6. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
7. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemasakan beton,
8. Perawatan beton,
9. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985 : 24).

2.1.1 Keunggulan Beton

Sebagai pembentuk struktur bangunan, beton memiliki banyak kelebihan yang membuat masih banyaknya orang menggunakan beton sebagai pembentuk struktur bangunan. Adapun kelebihan itu sebagai berikut

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan bangunan lainnya.
2. Struktur beton sangat kokoh.
3. Terbuat dari bahan-bahan lokal yang sangat murah dan hampir ditemui di semua daerah di Indonesia (pasir, kerikil dan air).
4. Beton memiliki ketahanan yang tinggi.
5. Memiliki usia layan yang panjang. Dalam kondisi yang normal struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapan pun tanpa kehilangan kemampuannya untuk menahan beban, bahkan kekuatannya semakin lama semakin lama akan semakin bertambah karena lamanya proses pemanasan pasta semen.
6. Beton tidak memerlukan biaya perawatan yang besar.
7. Dapat di cetak menjadi bentuk yang sangat beragam, mulai dari plat, kolom, balok, kubah, cangkan dan lain sebagainya.

2.1.2 Kelemahan Beton

Beton memang banyak memiliki kelebihan. Tetapi tidak lupa juga ternyata beton juga memiliki banyak kekurangan atau kelemahan dalam pengaplikasiannya dalam ilmu struktur. Adapun kelemahan beton sebagai berikut:

1. Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan bantuan dengan penggunaan tulangan terik.
2. Rendahnya kekuatan persatuan berat sehingga mengakibatkan beton bertulang menjadi berat, ini berpengaruh terhadap struktur-struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang sangat besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.

3. Rendahnya kekuatan per satuan volume, mengakibatkan beton bertulang memiliki ukuran yang relatif besar, hal ini di pertimbangkan untuk bangunan-bangunan tinggi dan struktur-struktur yang berbentang panjang.
4. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti produksi material atau bahan bangunan lainnya seperti baja, kayu lapis, dan lain sebagainya.

2.2 Mutu Beton

Mutu beton adalah istiahan yang didasarkan pada kuat tekan beton. Semakin besar nilai kuat tekan, maka semakin baik mutu beton. Beton dengan mutu **K-250** menyatakan kekuatan tekan karakteristik minimum pada umur beton 28 hari.

Tabel 2.1 Kelas Mutu Beton

Kelas	Mutu	σ'_{bk} (kg/cm ²)	σ'_{bm} dengan $S_d = 46$ (kg/cm ²)	Pemakaian	Pengawasan	
					Mutu agregat	Kekuatan tekan
I	B ₀	-	-	non struktur	ringan	-
II	B ₁	-	-	struktur	sedang	-
	K-125	125	200	struktur	ketat	kontinyu
	K-175	175	250	struktur	ketat	kontinyu
	K-225	225	300	struktur	ketat	kontinyu
III	di atas K-225	di atas 225	di atas 300	struktur	ketat	kontinyu

(Sumber PBI 1971 : 34)

Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu beton kelas I dinyatakan dengan B₀.

Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar : B₁, K 125, K175 dan K 225. Pada mutu B₁ pengawasan mutu hanya dibatasi pada

pengawasan sedang terhadap kekuatan tekan sedang terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu-mutu K125, K175, dan K225, pengawasan mutu terdiri dari pengawasan yang ketat terhadap mutu bahan-bahan dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu.

Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural dimana menggunakan mutu beton dengan kekuatan tekan karakteristik lebih dari 225 kg/cm^2 . Pelaksanaanya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap yang dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu. Mutu beton kelas III dinyatakan dengan huruf K dengan angka dibelakangnya yang menyatakan karakteristik beton yang bersangkutan.

Tabel 2.2 Jenis Beton

Jenis beton	$F'_c(\text{Mpa})$	$\sigma_{b_k}'(\text{Kg/cm}^2)$	Uraian
Mutu tinggi	35-65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu sedang	20 - <35	K250 - <K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti plat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 - <20	K175 - <K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10 - <15	K125 - <K175	Umumnya sebagai lantai

			kerja, penimbunan kembali beton.
--	--	--	----------------------------------

2.3 Sifat Campuran Beton

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton yang telah mengeras perlu diketahui. Sifat-sifat tersebut antara lain :

2.3.1 Sifat Beton Segar

Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi segregasi (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan). Hal ini karena segregasi maupun *bleeding* mengakibatkan beton yang diperoleh akan kurang baik.

Sifat penting yang perlu diketahui dari sifat-sifat beton segar, yaitu:

1. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Kelacakan beton atau *workability* adalah kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan. Kelacakan beton sering diidentikan dengan slumpnya. Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpanggung terhadap tinggi adukan cetakan diambil. Semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (*workability*).

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan atau kesulitan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Unsur-unsur yang mempengaruhi workabilitas yaitu jumlah air pencampur, kandungan semen dan gradasi campuran pasir dan kerikil.

Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan. Gradasi adalah distribusi ukuran dari agregat berdasarkan hasil persentase berat yang lolos pada setiap ukuran saringan dari analisa saringan.

- a. Bentuk butiran agregat kasar, Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- b. Cara pemanasan dan alat pemanas.

Bila cara pemanasan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelebihan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

2. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Kecenderungan butir-butir agregat kasar untuk melepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton, segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya: kurang semen, terlalu banyak air, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm dan permukaan butir agregat kasar.

Untuk mengurangi kecenderungan segregasi maka diusahakan air yang diberikan sedikit mungkin, adukan beton jangan dijatuhkan dengan ketinggian yang terlalu besar dan cara pengangkutan, penuangan maupun pemanasan harus mengikuti cara-cara yang betul.

3. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Bleeding dipengaruhi oleh: susunan butir agregat, banyaknya air, kecepatan hidrasi, dan proses pemanasan. Bleeding dapat dikurangi dengan cara memberi lebih banyak semen, menggunakan air sedikit mungkin dan menggunakan pasir lebih banyak.

4. *Kohesifnes*

Yaitu sifat-sifat untuk saling melekat antara agregat dengan semen. Sifat ini termasuk sifat positif dari beton segar. Hal ini terjadi saat bahan-bahan beton dicampur dengan air, terutama semennya. Hal tersebut dipengaruhi oleh :

- a. Kehalusan semen

- b. Kadar air pengaduk
 - c. Bahan tambah (admixture)
5. *Setting time* (waktu pengikatan beton)

Setting time atau waktu pengikatan pada beton adalah sifat beton atau semen pada waktu mengikat atau mengeras. Waktu standar pengikatan awal adalah 1-2 jam pada saat beton dicetak dan dipadatkan. Hal tersebut dapat dihindari dengan membuat faktor air yang sedikit tetapi tidak mengurangi workability,yaitu dengan penggunaan bahan tambah (admixture). Setting time ini dipengaruhi oleh :

- a. Jenis semen yang digunakan. Karena semen memiliki beberapa tipe yang mempunyai waktu pengikatan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan.
- b. Faktor air semen. Apabila faktor air semen terlalu tinggi atau besar, maka beton semakin encer,dan waktu pengikatanpun akan menjadi semakin lama.
- c. Suhu lingkungan juga mempengaruhi waktu pengikatan dengan suhu yang rendah,proses pengikatan awal akan semakin lama.
- d. Bahan tambah (admixture).

2.3.2 Sifat Beton Keras

Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, kekedapan air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

Sifat-sifat beton setelah mengeras, biasanya ditinjau dari beberapa hal sebagai berikut:

1. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan merupakan sifat terpenting dari beton karena berkaitan dengan struktur beton dan memberikan gambaran terhadap mutu beton. Kekuatan beton meliputi kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan kekuatan geser.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

- a. Faktor air semen (FAS)
- b. Mutu semen Portland
- c. Perbandingan adukan beton
- d. Umur Beton
- e. Perawatan (*curing*)
- f. Suhu.

2 Ketahanan (*Durability*)

Beton dikatakan mempunyai daya tahan yang baik bila dapat bertahan dalam berbagai kondisi tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Kondisi yang dapat mengurangi daya tahan beton dapat disebabkan dari faktor luar maupun dari faktor dalam beton itu sendiri. Faktor luar yang berpengaruh antara lain; cuaca, suhu, erosi, dan pengaruh bahan kimia. Sedangkan salah satu faktor dari dalam adalah akibat adanya reaksi agregat dengan senyawa alkali.

2.4 Bahan Campuran Beton

Pada umumnya beton tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu agregat halus dan kasar dengan semen dan air sebagai pengikatnya. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Perlu memilih bahan-bahan yang sesuai untuk dicampur dan digunakan untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat khusus yang diinginkan untuk tujuan tertentu dengan cara yang paling ekonomis. Pemilihan dari bahan dan cara konstruksi tidak mudah dikerjakan, karena terdapat variasi yang mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan, dalam hal ini kualitas dan faktor ekonomi.

2.4.1 Semen

Arti kata semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesive maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Menurut standar industri Indonesia definisi semen Portland adalah semen hidraulik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulik bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum.

Semen yang dikenal sekarang ini disebut sebagai semen Portland, terbuat dari campuran kalsium, silika, alumunium dan oksida besi. Kalsium bisa didapat dari bahan bahan berbasis kapur, seperti batu kapur, marmer, batu karang dan cangkang keong. Silika, alumina dan zat besi dapat ditemukan pada lempung dan batuan serpih.

1. Senyawa Kimia Semen

Senyawa utama pada semen portland terdiri atas C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF

Tabel 2.3 Senyawa utama semen portland

Nama senyawa	Komposisi oksida	Sing katan
Tricalcium silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tricalcium aluminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetracalcium Aluminoferrite	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4A F
Kalsium sulfat dihidrat (Gypsum)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$C\bar{S}H$ 2
$CaO = C; SiO_2 = S; Al_2O_3 = A; Fe_2O_3 = F; H_2O = H \quad \bar{S} = SO_4^{2-}$		

(Sumber: Paul Nugraha, Teknologi Beton, 2007:31)

Tabel 2.4 Kandungan Oksida dalam Semen Portland

Oksida	Komposisi (% berat)
CaO (kapur)	60 – 67
SiO ₂ (Silika)	17 – 25
Al ₂ O ₃ (Alumina)	3 – 8
Fe ₂ O ₃ (Besi)	0,5 – 6
MgO (Magnesia)	0,1 – 4
Alkalis	0,2 – 1,3
SO ₃ (Sulfur)	1 – 3

(Sumber : Ir. Iswandi Imran, MSc., Ph.D, Pengenalan rekayasa dan bahan konstruksi: Bab II-3)

Dari tabel diatas, dapat dilihat sifat yang berbeda dari masing-masing komponen, semen dapat dibuat dalam beberapa jenis hanya dengan mengubah kadar masing-masing komponennya. Apabila ingin mendapatkan semen yang mempunyai kekuatan awal yang tinggi maka kita perlu menambah kadar C_3S dan mengurangi kadar C_2S .

2. Jenis-Jenis Semen

Semen Portland dibagi menjadi lima jenis sebagai berikut :

- a. Tipe I : Semen Portland untuk penggunaan umum pada semua jenis bangunan dan konstruksi, tidak memenuhi persyaratan khusus
- b. Tipe II : Semen untuk beton tahan sulfat dan memiliki panas hidrasi sedang
- c. Tipe III : Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)
- d. Tipe IV : Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah
- e. Tipe V : Semen untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat, seperti pada bangunan laut atau bangunan yang berada diatas tanah yang mengandung sulfat.

2.4.2 Agregat

Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil dan batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan satu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Dalam struktur beton biasanya agregat menempati kurang lebih 70 % – 75 % dari volume beton yang telah mengeras, karakteristik kimia dan fisik dan mekanik agragat yang digunakan dalam pencampuran sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton yang dihasilkan. Seperti kuat tekan, kekuatan, durabilitas, berat biaya produksi dan lain-lain.

Umumnya semakin padat agregat-agregat tersebut tersusun, semakin kuat pula beton yang dihasilkannya, daya tahannya terhadap cuaca dan nilai ekonomis dari beton tersebut. Gradasi dari ukuran-ukuran partikel dalam agregat

mempunyai peranan yang sangat penting untuk menghasilkan susunan beton yang padat.

Faktor penting yang lainnya ialah bahwa permukaannya haruslah bebas dari kotoran seperti tanah liat, lumpur dan zat organik yang akan memperoleh ikatannya dengan adukan semen dan juga tidak boleh terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan diantara material tersebut dengan semen.

Aragat alam diperoleh dari proses pelapukan dan abrasi atau pemecahan massa batuan induk yang lebih besar. Sifat agregat tergantung dari sifat batuan induk. Sifat-sifat tersebut diantaranya, komposisi kimia dan mineral, klasifikasi petrografik, berat jenis, kekerasan, kekuatan, stabilitas fisik dan kimia, struktur pori, warna dan lain-lain. Namun ada juga sifat agragat yang tidak bergantung dari sifat batuan induk, yaitu ukuran dan bentuk partikel, teksture dan absorpsi permukaan.

Keuntungan digunakannya agregat pada beton:

1. Menghasilkan beton yang murah
 2. Menimbulkan sifat beton yang stabil
 3. Mengurangi susut
 4. Mengurangi rangkak
 5. Memperkecil pengaruh suhu.
- A. Klasifikasi agregat

Agregat dapat diklasifikasikan menurut kriteria dibawah ini:

1) Klasifikasi ukuran, bentuk dan tekstur

Agregat kasar dan halus memiliki perbedaan yaitu ayakan 5 mm atau 3/16". Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari ukuran 5 mm dan agregat kasar adalah agregat dengan ukuran lebih besar dari 5 mm. agregat dapat diambil dari batuan alam ukuran kecil ataupun batu alam besar yang dipecah.

2) Klasifikasi bentuk dan tekstur

Agregat yang baik haruslah agregat yang mempunyai bentuk yang menyerupai kubus atau bundar, bersih, keras, kuat, gradasi baik dan stabil secara

kimiawi. Bentuk partikel agregat dapat dibedakan atas: *rounded, irregular, flaky, angular, elongated, flaky* dan *elongated*. Partikel dengan ratio luas permukaan terhadap volume yang tinggi. Teksture permukaan agregat dapat dibedakan atas: *glassy, granular, crystalline, smooth, rough, honeycombed*.

3) Kepadatan

Pengelompokan umum dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.5 Jenis Agregat Berdasarkan Kepadatannya

Jenis	Kepadatan (Kg/m ³)
Ringan	300 – 1800
Sedang	2400 – 3000
Berat	> 4000

(Sumber: Paul Nugraha, Teknologi Beton, 2007, hal 44)

4) Petrologi

Petrologi dapat dibagi kedalam beberapa kelompok batuan yang mempunyai karakteristik masing-masing yang dibagi kedalam kelompok: *basalt, flint, gabbro, granit, gritstone, hornfels, limestone, porphyry, quartzite, dan schist*.

5) Klasifikasi berdasarkan mineral yang ada dalam agregat

Berdasarkan ASTM C294-94, mineral-mineral penting yang umumnya ada pada agregat: Mineral *silica*, mineral *micaceous*, mineral *sulphate*, mineral *ferromagnesium*, mineral ion oksida besi, *feldspar*, mineral *carbonate*, mineral iron *sulphide*, *zeolites*, mineral lempung.

B. 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.

SNI 03-2834-1993 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah) seperti dalam tabel berikut:

Tabel 2.6 Batas Gradasi Agregat Halus

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; 23, 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

Tabel 2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Halus

Ukuran saringan (mm)		% yang lolos	
BS	ASTM	BS	ASTM
3/8	9,5	100	100
3/16	4,75	89-100	95-100
8	2,36	60-100	80-100
16	1,18	30-100	50-85
30	0,6	15-100	25-60
50	0,3	5-70	10-30
100	0,15	0-15	2-10

(Sumber : Ir. Iswandi Imran, MSc., Ph.D., Pengenalan Rekayasa dan Bahan Konstruksi : Bab 3 hal 16, Tabel 3.6).

C. Agregat Kasar

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

Menurut *British Standart* (BS), gradasi agregat kasar (kerikil/ batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 2.8 Syarat Agregat Kasar

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 2.8)

2.4.3 Air

Air yang dimaksud disini adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas beton. Air yang dapat diminum biasanya mengandung bagian solid kurang dari 1000 ppm, syarat ini sebenarnya tidak absolut, karena air minum tidak cocok digunakan sebagai air campuran apabila mengandung kadar sodium dan prostassium yang tinggi (umum dijumpai pada air tanah) hal ini dikarenakan air yang mengandung sodium dan prostassium yang tinggi dapat menimbulkan bahaya reaksi alkali agregat pada beton yang telah mengeras (Ir. Iswandi Imran, MSc.,Ph.D., : Bab 4, hal 1).

Persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan menurut SNI-7974-2013 adalah sebagai berikut :

1. Air untuk pengadukan (air yang ditimbang dan diukur di *batching plant*)

2. Es
3. Air yang ditambahkan operator truk
4. Air yang bebas pada agregat-agregat
5. Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.

Air yang digunakan untuk proses pembuatan beton yang paling baik adalah air bersih yang memenuhi persyaratan air minum. Air yang digunakan dalam proses pembuatan beton jika terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton akan sulit untuk dikerjakan, tetapi jika kadar air yang digunakan terlalu banyak maka kekuatan beton akan berkurang dan terjadi penyusutan setelah beton mengeras. Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yaitu:

1. Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau penggerjaan beton.

A. Syarat Kimiai

Air yang mengandung kotoran yang banyak akan mengganggu proses pengerasan dan ketahanan beton. Pengaruh kotoran pada air secara umum bias mengakibatkan:

- 1) Gangguan pada hidrasi dan pengikatan
- 2) Gangguan pada kekuatan dan ketahanan
- 3) Perubahan volume yang dapat menyebabkan retak
- 4) Korosi pada tulangn baja maupun kehancuran beton
- 5) Bercak-bercak pada permukaan beton

Tabel 2.9 Batasan Kimia untuk Air Campuran

Kandungan kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)	Cara uji
Klorida, Cl		ASTM D512
• Beton pratekan, beton untuk lantai jembatan	500	

• Beton bertulang	1.000	
Sulfat, SO_4	3.000	ASTM D516
Alkali ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$)	600	
Total solid	50.000	AASHTO T26

(Sumber : Paul Nugraha; 2007; Teknologi Beton; Bab 6: 77)

B. Air untuk perawatan beton

Air yang digunakan untuk campuran beton, bisa digunakan untuk perawatan beton. Kandungan besi dan bahan organik pada air yang digunakan untuk perawatan beton dapat menimbulkan noda pada beton seiring dengan menguapnya air. Perawatan beton harus bebas dari bahan-bahan yang dapat menyerang beton yang telah mengeras misalnya serangan oleh CO_2 , perawatan dengan menggunakan air laut dapat memicu serangan korosi pada tulangan.

2.5 Bahan Tambahan

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan de dalam campuran beton pada saat atau sealam pencampuran berlangsung. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu atau untuk menghemat biaya atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Admixture atau bahan tambah didefinisikan *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton, misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Di Indonesia, bahan tambah telah banyak digunakan. Manfaat dan penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan di pakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi

ketentuan yang diberikan oleh SNI. Untuk bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang diberikan dalam ASTM C.494, “*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*”.

2.5.1 Jenis-Jenis Bahan Tambah

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan pekerjaan, jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Beberapa jenis bahan tambah yang sering digunakan untuk beton dikelompokkan dalam 5 kelompok yaitu *accelerating, air-entraining, water reducer, set retarding, high range water reducer*, dan *pozzolan*.

1. Accelerating Admixtures

Accelerating admixtures adalah bahan tambah untuk mempercepat pertumbuhan kuat tekan beton. Bahan tambah ini dicampurkan ke dalam adukan beton untuk mereduksi waktu ikat beton dan mempercepat laju pertumbuhan kuat tekan beton. Bahan ini berasal dari bermacam-macam garam terlarut. Dosis maksimum yang dapat diberikan dari bahan tambah janis ini adalah 1% dari berat semen atau sering diambil 0,5% saja.

2. Air-Entraining Admixtures

Air-Entraining Admixtures adalah bahan tambah pembentuk gelembung udara. Bahan tambah ini akan meningkatkan kemudahan pekerjaan beton serta pada beton yang telah mengeras akan mampu meningkatkan ketahanan terhadap es. Sebagian besar bahan tambah pembentuk gelembung udara berbentuk cair, meskipun ada sebagian yang berbentuk serbuk, serpihan ataupun semi padat. Jumlah yang dibutuhkan dalam suatu campuran tergantung pada bentuk dan gradasi agregat yang digunakan. Semakin halus agregat yang digunakan, maka dibutuhkan dosis yang semakin banyak .

3. Water-reducing Admixtures

Water-reducing Admixtures adalah bahan tambah pengurang air. Bahan tambah jenis ini banyak digunakan untuk mengurangi rasio air semen sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Sebagian besar bahan tambah jenis ini berbentuk cair, dan biasanya menjadi bagian dari pencampur beton dan mengurangi jumlah air yang dibutuhkan dalam suatu adukan beton. Dosis yang digunakan biasanya diambil bervariasi dari 1 hingga maksimum 2% berat semen.

4. Set Retarding Admixtures

Set Retarding Admixtures adalah bahan tambah untuk memperlambat waktu ikat beton. Bahan ini digunakan untuk memperlama waktu ikat beton dan biasa digunakan apabila tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan di lokasi proyek cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran adukan hingga pemadatan lebih dari 1 jam. Di kota besar dengan lalu lintas yang padat dan macet, bahan tambah ini sangat membantu para penyedia beton segar.

5. High Range Water Reducer

High Range Water Reducer adalah bahan tambah untuk mengurangi air dalam jumlah yang besar. Bahan ini digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran hingga 12% bahkan lebih, dan dapat menghasilkan beton dengan kelecanan yang bagus. Bahan tambah ini sering disebut juga istilah *superplasticizer*.

6. Bahan Tambah *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika atau alumina. *Pozzolan* tidak mempunyai sifat semen, namun dalam keadaan halus yaitu lolos ayakan 0,21 mm dapat bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal (24°-27°) menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. *Pozzolan* dapat dipakai sebagai bahan tambah untuk menggantikan sebagian jumlah semen. Jika dipakai sebagai subsitusi parsial

semen Portland, maka persentase penggunaan *pozzolan* biasanya berkisar antara 10% hingga 35% dari berat semen. Jenis pozzolan yang dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton adalah abu terbang (fly ash) dan silica fume.

2.5.2 Arang Batok Kelapa

Arang merupakan suatu produk yang dihasilkan dari proses karbonisasi dari bahan yang mengandung karbon terutama biomass kayu. Produk ini utamanya banyak digunakan sebagai sumber energi. Proses pembuatan arang sesungguhnya dapat dihasilkan berbagai arang yang mempunyai kegunaan berbeda misalnya arang biasa hasil dari pembakaran hanya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas. Sedangkan arang dengan melalui proses pengaktifan fungsinya dapat berubah untuk kesehatan, pertanian, dan kecantikan (Pari *et al*, 2012).

Arang Tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar. Arang memberikan kalor pembakaran yang lebih tinggi, dan asap yang lebih sedikit. Arang dapat ditumbuk, kemudian ditempa menjadi briket dalam berbagai bentuk. Briket lebih praktis penggunaannya dibanding kayu bakar. Arang dapat diolah lebih lanjut menjadi arang aktif, dan sebagai bahan pengisi dan pewarna pada industri karet dan plastik (Hendra, 2007).

Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada suhu 150-3000°C. Pembentukan arang tersebut disebut sebagai pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hydrogen dan gas-gas hidrokarbon 3. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder (Hartanto & Alim, 2010).

2.6 Uji Propertis Bahan Campuran Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium. Pengujian bahan ini meliputi bahan agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah lainnya.

2.6.1 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecah batu atau kombinasu dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi merupakan pengujian untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat halus. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat isi Agregat B} = \frac{W_1}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A-W)-B}{(A \times B)} \times 100$$

Dimana:

B = berat isi agregat (kg/dm³)

V = isi wadah (dm³)

A = *bulk specific gravity* agregat (kg/dm³)

W = berat isi air (kg/dm³)

2. Pengujian Kadar Air

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton. Adapun persamaan dalam menghitung pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

Dengan: W_3 = berat contoh semula (gram)

W_5 = berat contoh kering (gram)

3. Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk mengetahui pembagian butiran dari agregat halus yang digunakan. Pengujian ini sesuai dengan standar ASTM 136-04. Dari hasil pengujian dengan menggunakan saringan ini akan diketahui sebaran dari butiran agregat halus yang digunakan. Pengujian analisa saringan dilakukan dengan menggunakan dua buah benda uji dengan hasil yang telah ditampilkan sebelumnya. Menurut ASTM 136-04 pemabagian butiran dari agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 2.10 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
------	--------

Selain untuk mengetahui pembagian butiran dari agregat halus, analisa saringan juga berguna untuk mencari besarnya nilai finnes modulus. Nilai finnes modulus adalah nilai yang digunakan pada perhitungan rancang campur. Namun nilai ini tidak dapat menggambarkan sebaran ukuran butiran agregat, sehingga antara gradasi agregat dan finnes modulus merupakan kesatuan yang tidak dapat dipisahkan.

4. Berat Jenis dan Penyerapan (Absorbsi) Air

Pengujian berat jenis dan absorpsi dari agregat halus bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, SSD, dan Apparent dari agregat halus. Disamping itu dari pengujian ini juga akan diketahui besar nilai absorpsi dari agregat halus.

Pada tahapan rancang campur, berat jenis yang akan digunakan adalah berat jenis SSD, karena pada kondisi ini akan sama dengan kondisi agregat pada saat pengecoran beton. Kondisi SSD digunakan karena pada kondisi ini kandungan air pada agregat jenuh (mengisi seluruh pori-pori), namun air tidak ada yang berada diantara butiran agregat, sehingga pada pengecoran, air yang digunakan tidak lagi diserap oleh agregat dan tidak ada air tambahan yang berasal dari celah antar butiran agregat.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan (absorbsi) air adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis permukaan kering jenuh} = \frac{B_a}{B + B_a - B_t}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_a - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven, dalam gram

B = berat piknometer berisi air, dalam gram

Bt = berat piknometer berisi benda uji dana ir, dalam gram

Ba = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

5. Pengujian Gumpalan Lempung

Metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat alam. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupu kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana. Rumus yang digunakan dalam perhitungan gumpalan lembung tersebut adalah:

$$P = \frac{(W-R)}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

P = gumpalan lempugn dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

W = berat benda uji (gram)

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram)

6. Pengujian Jumlah Bahan dalm Agregat yang Lolos No. 200

Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan no. 200 sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jenuh. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200, sehingga berguna bagi perancana dan pelaksana. Rumus yang digunakan adalah:

a. Berat kering benda uji awal:

$$W_3 = W_1 - W_2$$

b. Berat kering benda uji sesudah pencucian:

$$W_5 = W_4 - W_2$$

c. Bahan lolos saringan no. 200:

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100$$

Keterangan:

W_1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

W_2 = berat wadah (gram)

W_3 = berat kering bedan uji awal (gram)

W_4 = berat kering uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 = berat kering bend auji sesudah pencucian (gram)

W_6 = % bahan lolos saringan no. 200.

7. Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Beton

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campura beton. Pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka dengan petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir. Pengujian inu selanjutnya dapat digunakam dalam pekerjaan pengendalian mutu agregat.

Mutu larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan strandar atau menunjukkan warna standar lebih besar dari no. 3, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak di izinkan untuk bahan campuran mortar atau beton.

2.6.2 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan no. 4. Agregat garus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang menganggu serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi merupakan pengujian untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat isi Agregat B} = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A-W)-B}{(A \times B)} \times 100$$

Dimana:

B = berat isi agregat (kg/dm³)

V = isi wadah (dm³)

A = bulk specific gravity agregat (kg/dm³)

W = berat isi air (kg/dm³)

2. Pengujian Kadar Air

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton. Adapun persamaan dalam menghitung pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

Dengan:

W_3 = berat contoh semula (gram)

W_5 = berat contoh kering (gram)

3. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini dilakukan berdasarkan Standar Spesifikasi Umum 2018. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan. Hasil ini harus memenuhi persyaratan yang tercantum sebagai berikut:

Tabel 2.11 Gradasi Kombinasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Persen Berat Lolos Untuk Agregat					
ASTM	mm	Halus*	Kasar				
			Ukuran nominal maks 37,5 mm	Ukuran nominal maks 25 mm	Ukuran nominal maks 19 mm	Ukuran nominal maks 12,5 mm	Ukuran nominal maks 9,5 mm
	50,8	-	100	-	-	-	-
	38,1	-	90-100	100	-	-	-
	25,4	-	-	95-100	100	-	-
	19	-	35-70	-	90-100	100	-
	12,7	-	-	25-60	-	90-100	100
	9,5	100	10-30	-	30-65	40-75	90-100
	4,75	95-100	0-5	0-10	5-25	5-25	20-55
	2,36	80-100	-	0-5	0-10	0-10	5-30
	1,18	50-85	-	-	0-5	0-5	0-10
	0,3	10-30	-	-	-	-	0-5
	0,15	2-10	-	-	-	-	-

(Sumber: Standar Spesifikasi Umum 2018)

4. Pengujian Abrasi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angles. Keausan agregat tersebut dinayatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 terhadap berat semula, dalam persen dapat dipisahkan.

5. Berat Jenis dan Penyerapan (Absorbsi) Air

Pengujian berat jenis dan absorbsi dari agregat halus bertujuan untuk menentukan bulk dan *apparent gravity* dan absorbsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan absorbsi air adalah:

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_a} \times 100\%$$

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = berat benda uji kering permukaan, dalam gram

B_a = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram

6. Pengujian Gumpalan Lempung

Metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat alam. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana. Rumus yang digunakan dalam perhitungan gumpalan lembung tersebut adalah:

$$P = \frac{(W - R)}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

P = gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

W = berat benda uji (gram)

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram)

7. Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos No. 200

Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan no. 200 sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jenuh. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200, sehingga berguna bagi perancana dan pelaksana. Rumus yang digunakan adalah:

1. Berat kering benda uji awal:

$$W_3 = W_1 - W_2$$

2. Berat kering benda uji sesudah pencucian:

$$W_5 = W_4 - W_2$$

3. Bahan lolos saringan no. 200:

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100$$

Keterangan:

W₁ = berat kering benda uji + wadah (gram)

W₂ = berat wadah (gram)

W₃ = berat kering benda uji awal (gram)

W₄ = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W₅ = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

$$W_6 = \% \text{ bahan lolos saringan no. 200}$$

2.7 Rancangan Campuran Beton

Campuran beton merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. 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. Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan-bahan baku penyusun beton 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. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perencanaan beton (*mix design*).

Ada sejumlah metode perencanaan campuran (*mix design*). Tidaklah dapat dikatakan mana metode yang paling baik, karena masing-masing mempunyai keunggulan, tergantung material yang dipakai dan tujuan struktur beton tersebut. Dalam menentukan proporsi campuran dapat digunakan beberapa metode yang dikenal, antara lain:

1. Metode *American Concrete Institute*,
2. *Portland Cement Association*,
3. *Road Note No. 4*,
4. *British Standard* atau *Departement of Environment*,
5. Departemen Pekerjaan Umum, 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 penggerjaan, 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 7.15-1990-03, beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa sesuai dengan teori perencanaan 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 penekaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan 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, maka 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 (SNI 03-2834-2000). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000).

2.7.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan (0)

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan struktur yang direncanakan dan kondisi setempat pada umur 28 hari.

Tabel 2.12 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	F_c' (MPa)	b_k' (Kg/cm ²)	Uraian
Mutu Tinggi	$x \geq 45$	$x \geq K500$	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang , beton prategang, gelar beton prategang, plat beton prategang dan sejenisnya
Mutu Sedang	$20 \leq x \geq 45$	$K250 \leq x \geq 500$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti plat lantai jembatan., gelagar beton bertulang,diagfragma,kereb beton pracetak,gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu Rendah	$15 \leq x < 20$	$K175 \leq x < K250$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar, dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	$10 \leq x < 15$	$K125 \leq x < K175$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

(Sumber: Beton untuk Jalan dan Jembatan)

2.7.2 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 hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

- Jika pelaksana mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa lalu, maka persyaratan 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 kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor penggali seperti tampak pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.13 Faktor pengali deviasi standar (s) bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5): 1) deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton. (5) bila data uji lapangan untuk menghitung s yang memenuhi persyaratan butir 4.2.3.1 1) diatas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan harus diambil tidak kurang dari $(f'c + 12 \text{ MPa})$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

b. Jika pelaksana 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 berikut:

Tabel 2.14 Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Isi Pekerjaan		Deviasi Standar (MPa)		
Sebutan	Vol Beton (m ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat diterima
Kecil	< 1000	4,5 < s < 5,5	5,5 < s < 6,5	6,5 < s < 8,5

Sedang	1000 – 3000	$3,5 < S < 4,5$	$4,5 < S < 5,5$	$6,5 < S < 7,5$
Besar	> 3000	$2,5 < S < 3,5$	$3,5 < S < 4,5$	$4,5 < S < 6,5$

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.3 Perhitungan Nilai Tambah Margin (M)

Jika nilai tambah atau margin dihitung berdasarkan nilai deviasi standar, maka dilakukan dengan rumus:

$$M = k \times s$$

Dimana:

M = nilai tambah (MPa)

$K = 1,64$

s = standar deviasi (MPa)

2.7.4 Kuat Tekan Rata-rata

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

$$f_{cr} = f'_{c} + M$$

Dengan:

f_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa)

f'_{c} = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

2.7.5 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 semen III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi atau dengan kata lain sering

disebut dengan semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah menggunakan semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

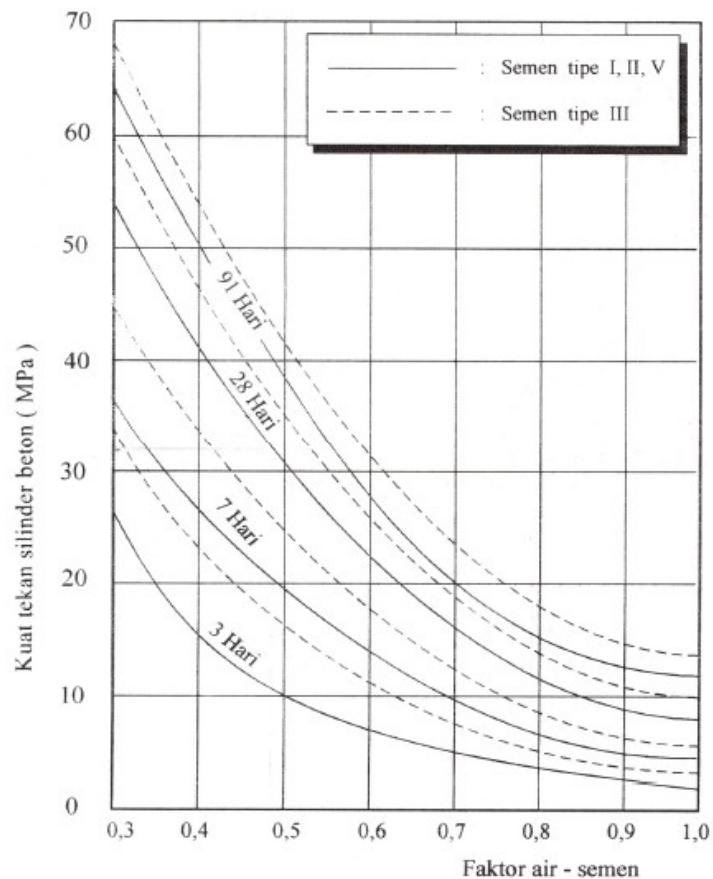
2.7.6 Penetapan Jenis Agregat

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

2.7.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan. Faktor air semen dapat dicari memalui dua cara, yaitu:

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



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-rata untuk Benda Uji Silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

2. 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 sebesar 0,5.

Tabel 2.15 Perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa) pada umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau semen tahan sulfat tipe II, V	Batu tak pecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak pecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak pecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak pecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.8 Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton yang dihasilkan tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan faktor air semen maksimum dilakukan dengan melihat Tabel 2.10 Perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5. Jika nilai faktor air semen lebih rendah dari pada nilai minimum, maka faktor air semen ini dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Untuk lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1951-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

Tabel 2.16 Persyaratan jumlah semen maksimum dan FAS untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Kondisi Lapangan	Nilai Faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling non korosif	0.60
b. Keadaan keliling korosif di sebabkan	0.52
Beton di luar ruangan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	Lihat tabel
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :	
a. air tawar dan air laut	Lihat Tabel

(Sumber: Ir. Kardiyono Tjokrodimuljo, Teknologi Beton: 74, Tabel 7,12)

Tabel 2.17 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar gangguan sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe semen	Kandungan minimum nominal semen ukuran agregat maksimum (Kg/M ³)			Factor air semen
	Dalam tanah		Sulfat (SO ₃) Dalam air Tanah g/l		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2: 1 g/l						
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0,50

				Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tip ell atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tip ell atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tip ell atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tip ell atau Tipe V Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.18 Ketentuan semen minimun untuk beton bertulang kedap 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 porland Pozolan	0.45
	Tipe II atau V	0.50
Air Laut	Tipe II atau V	0.45

(Sumber: Ir. Kardiyono Tjokrodimuljo, Teknologi Beton: 75, Tabel 7,12.b)

2.7.9 Nilai Slump (Derajat Pengerjaan)

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemedatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar, adapun pemedatan adukan engan alat getar dapat dilakukan dengan nilai slump agak kecil. Nilai slump yang diinginkan dapat dilihat dari tabel 2.14 di bawah ini.

Tabel 2.19 Penetapan nilai slump

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Plat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

(Sumber: Ir. Kardiyono Tjokrodimuljo, Teknologi Beton: 76, Tabel 7,13)

Dari tabel 2.14 nilai slump yang ditetapkan dalam perancangan campuran beton adalah maksimum 15,0 mm dan minimum 7,5 mm.

2.7.10 Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan dan ditetapkan sesuai dengan spesifikasi yang telah memenuhi syarat.

2.7.11 Nilai Kadar Air Bebas

Penetapan nilai kadar air bebas/jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan. Nilai kadar air bebas dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2.20 Perkiraan kadar air bebas (kg/m³)

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	Nilai Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2843-2000)

Catatan: Koreksi suhu udara:

Untuk suhu diatas 25 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambah air 5 liter per m² adukan beton.

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

$$Kadar\ air\ bebas = 2/3 Wh + 1/3 Wk$$

Keterangan:

Wh = jumlah air untuk agregat halus

Wk = jumlah air untuk agregat kasar

2.7.12 Jumlah Semen

Jumlah atau berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 2.7.11) dengan faktor air semen yang paling kecil diantara minimum atau maksimum (langkah 2.7.7 dan 2.7.8).

2.7.13 Jumlah Semen Maksimum

Nilai semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya.

2.7.14 Jumlah Semen Minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air lauau. Kebutuhan semen minimum ditetapkan menurut tabel berikut.

Tabel 2.21 Persyaratan Jumlah Semen Minimum

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton didalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton diluar ruang bangunan: a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,60 0,60
Beton masuk kedalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering bergantian b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 (Tabel 5 SNI 2002)
Beton kontinu berhubungan: a. Air tawar b. Air laut		(Tabel 6 SNI 2002)

(Sumber: SNI 03-2834-200)

2.7.15 Faktor Air Semen yang Disesuaikan

Jika jumlah semen mengalami berubah karena pertimbangan kadar air semen maksimum atau kadar air minimum, maka tentukan nilai faktor air semen yang disesuaikan, didapat dengan melakukan dua cara sebagai berikut:

1. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
2. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

2.7.16 Susunan Besar Butir Agregat Halus

Berdasarkan gradasi (hasil analisa saringan), agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan pada grafik gradasi yang diberikan pada tabel.

Tabel 2.22 Susunan Butir Agregat Halus

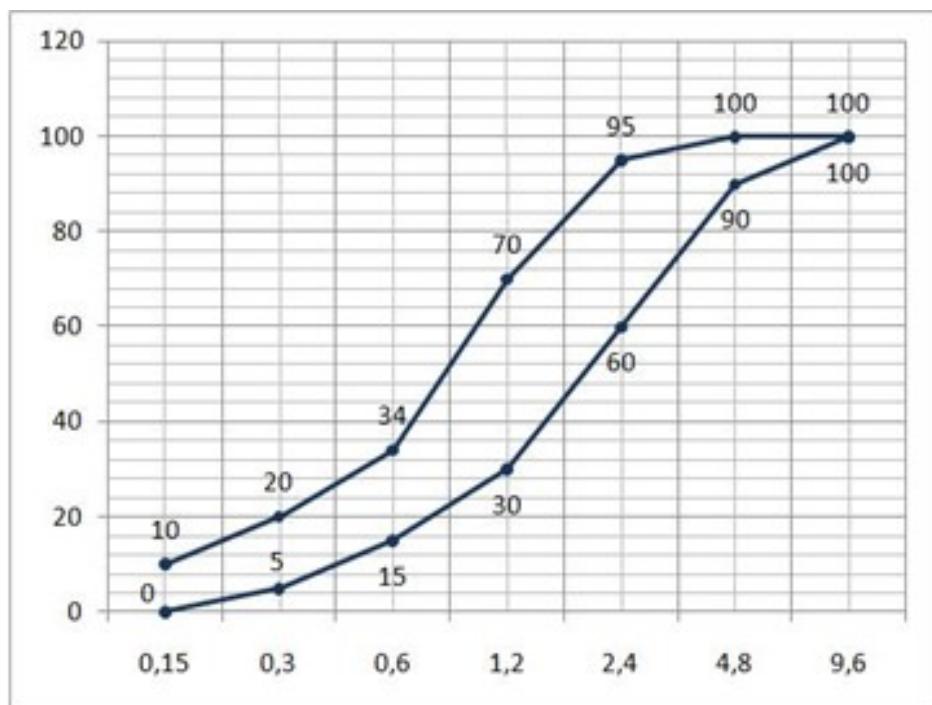
Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 81, Tabel 7.16)

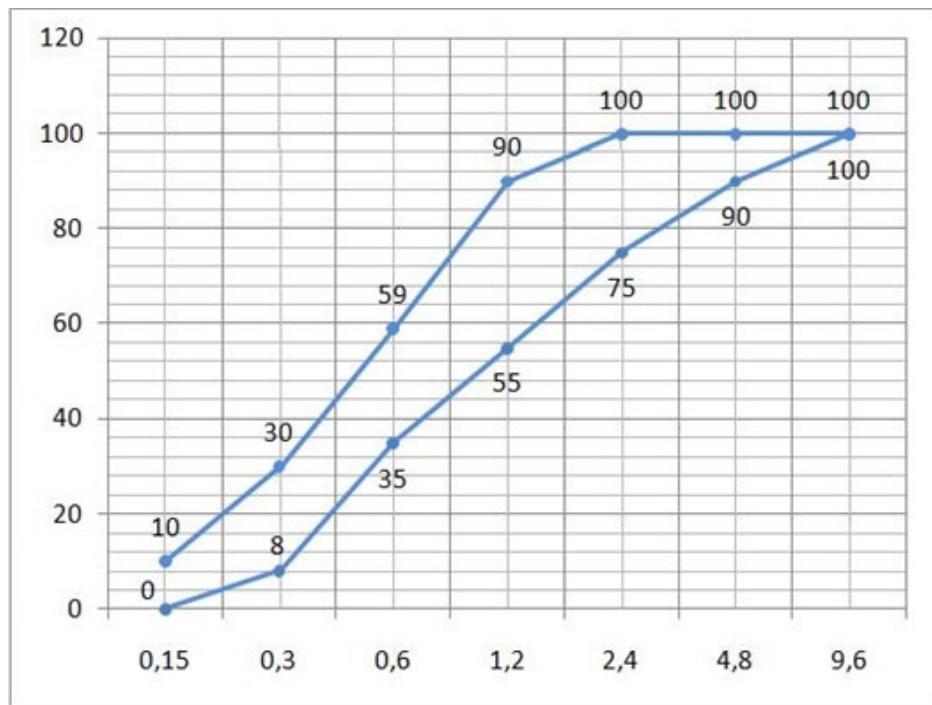
Keterangan:

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

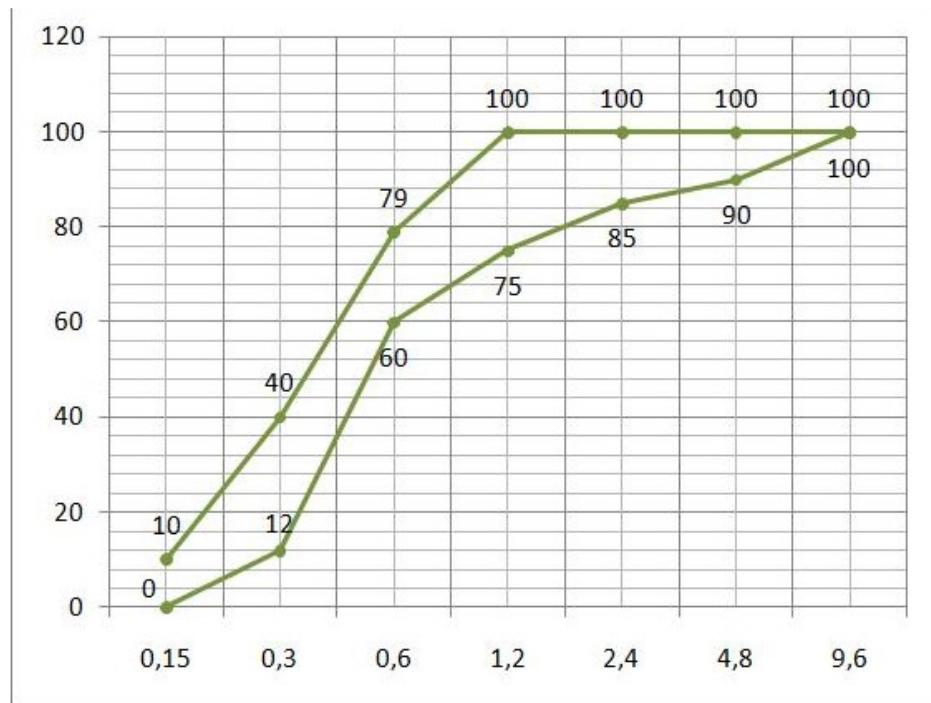
Setelah itu, tentukan gradasi agregat halus sesuai dengan syarat menurut kurva gradasi agregat galus.



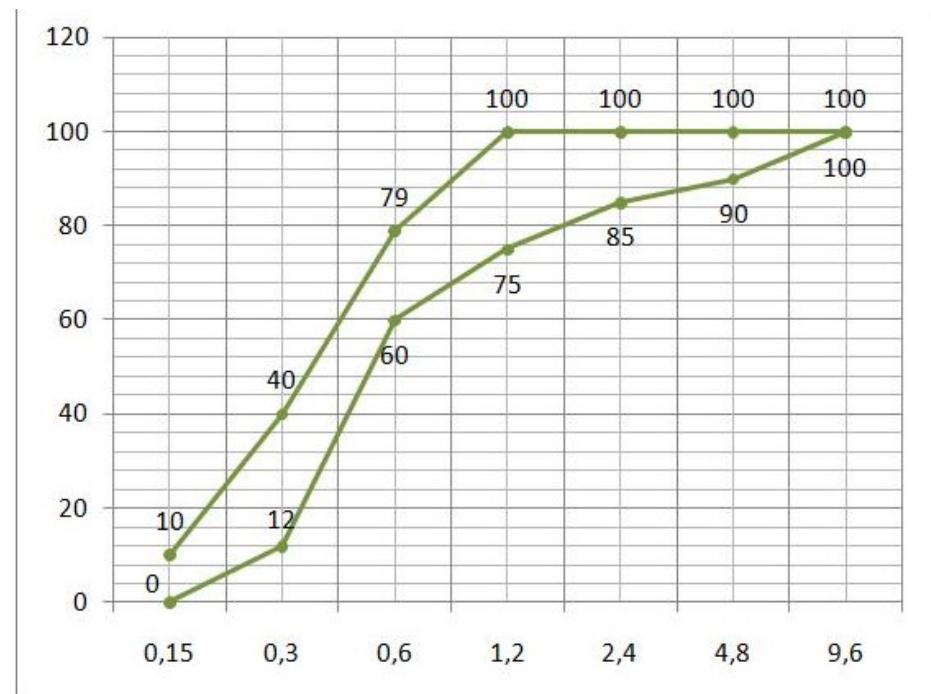
Gambar 2.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe I



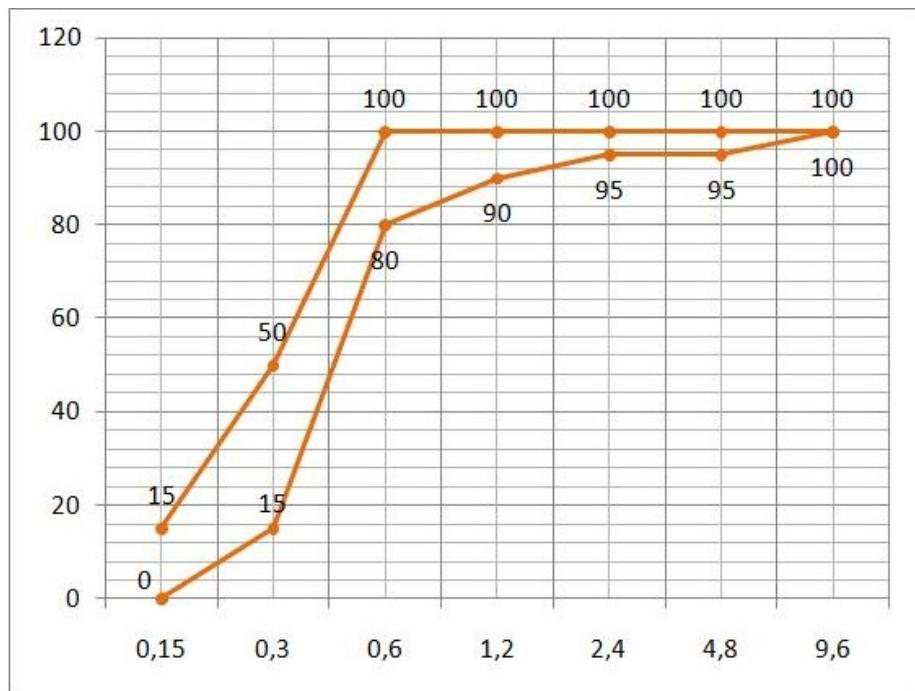
Gambar 2.4 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe II



Gambar 2.5 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe III



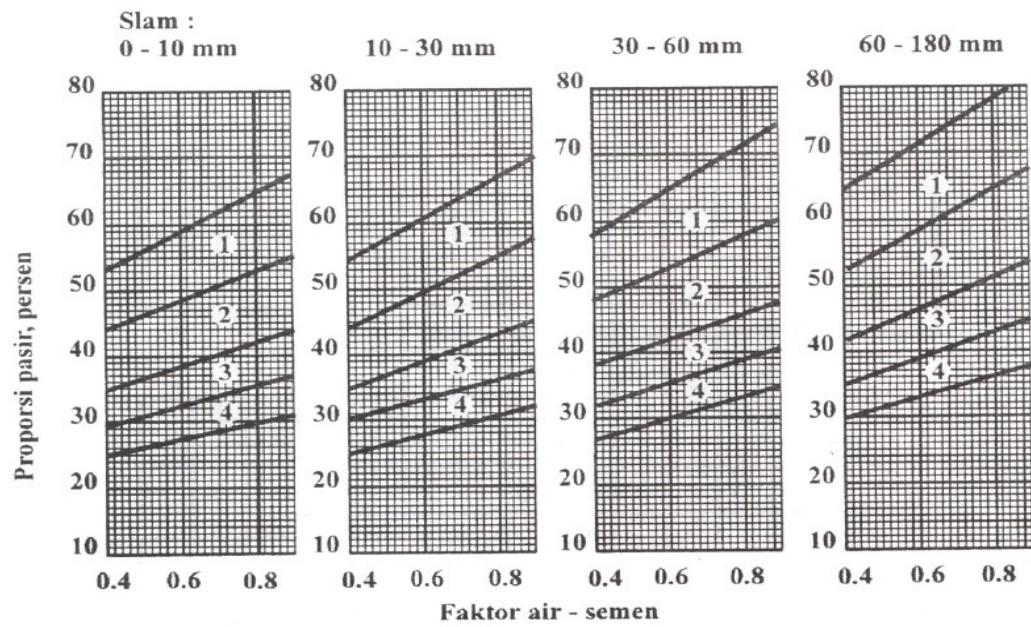
Gambar 2.6 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe IV



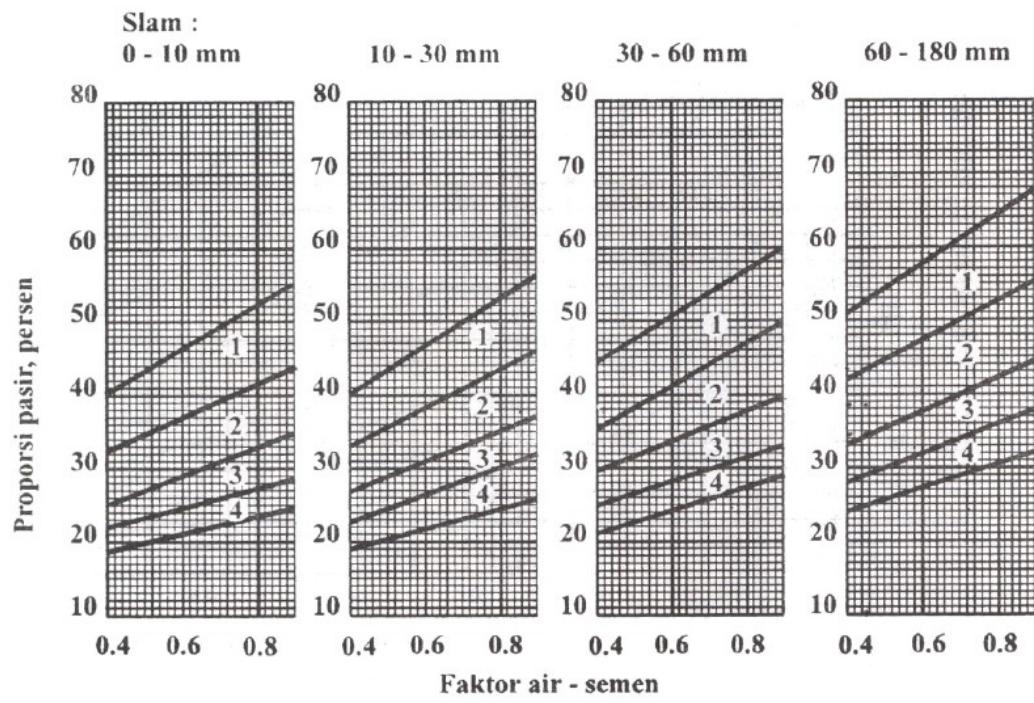
Gambar 2.7 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe V

2.7.17 Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

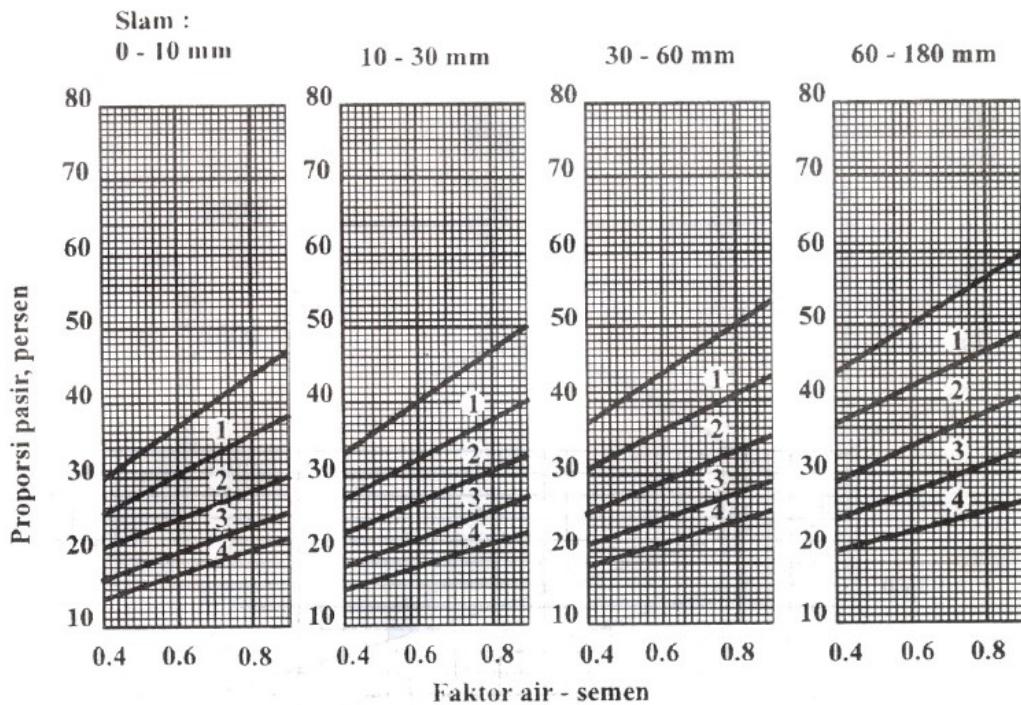
Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Proporsi agregat halus ditentukan berdasarkan nilai ukuran butir maksimum yang dipakai, faktor air semen, dan nilai slump yang digunakan serta zona gradasi agregat halus yang didapat dari gambar grafik 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 dan akan diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



Gambar 2.8 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 10 mm



Gambar 2.9 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 20 mm



Gambar 2.10 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 40 mm

2.7.18 Berat Jenis Relatif Agregat Campuran/Gabungan

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$Bj_{camp} = \frac{P}{100} \times Bj_{agg.\,hls} + \frac{K}{100} \times Bj_{agg.\,ksr}$$

Dengan:

Bj_{camp} = berat jenis agregat campuran

$Bj_{agg.\,hls}$ = berat jenis agregat halus

$Bj_{agg.\,ksar}$ = berat jenis agregat kasar

P = persentase agg. halus terhadap agg. campuran

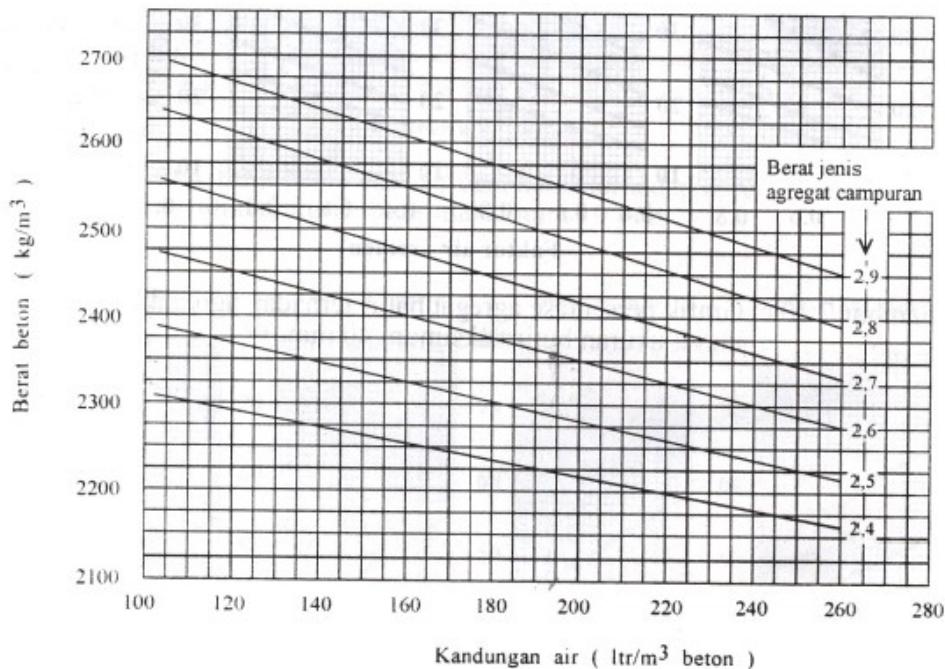
K = persentase agg. halus terhadap agg. campuran

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 dan untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70.

2.7.19 Berat Isi Beton (Beton)

Dengan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap per meter kubik betonnya, maka dengan grafik dibawah dapat diperkirakan berat jenis betonnya, dengan cara:

1. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 17 (nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar), dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada grafik dibawah.
2. Kebutuhan air yang diperoleh dimasukkan dalam grafik, kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yang dibuat.
3. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.



Gambar 2.11 Grafik perkiraan isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

2.7.20 Berat Agregat Campuran/Gabungan

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

$$W_{campuran} = W_{beton} - A - S$$

Dengan:

$W_{campuran}$ = kebutuhan agregat campuan (kg)

W_{beton} = berat beton (kg/m³)

A = kebutuhan air (ltr)

S = kebutuhan semen (kg)

2.7.21 Kebutuhan Agregat Halus (Pasir)

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

$$W_{pasir} = \frac{P}{100} \times W_{campuran}$$

Dengan:

W_{pasir} = kebutuhan agregat pasir (kg)

$W_{campuran}$ = kebutuhan agregat campuran (kg)

P = persentase pasir terhadap campuran

2.7.22 Kebutuhan Agregat Kasar (Kerikil)

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

$$W_{kerikil} = W_{campuran} - W_{pasir}$$

Dengan:

$W_{kerikil}$ = kebutuhan agregat kerikil (kg)

W_{pasir} = kebutuhan agregat pasir (kg)

$W_{campuran}$ = kebutuhan agregat campuran (kg)

2.7.23 Koreksi Proporsi Campuran Beton

Setelah rancangan campuran beton selesai, perlu diingat bahwa yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi ada adanya (keadaan jenuh kering-muka), sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat, maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus dilakukan minimum satu hari sekali.

$$\text{Air} : A = \frac{Ah - A1}{100} \times B - \frac{Ak - A2}{100} \times C$$

$$\text{Agregat Halus} : B + \frac{Ah - A1}{100} \times B$$

$$\text{Agregat Kasar} : C + \frac{Ah - A1}{100} \times C$$

Dengan :

A : jumlah kebutuhan air (liter/m³)

B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³)

C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³)

Ah : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)

Ak : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)

A1 : kadar air pada agregat halus jenuh muka (%)

A2 : kadar air pada agregat halus jenuh muka(%)

Untuk mempermudah pelaksanaan, berikut ini diberikan tabel formulir perencanaan adukan beton.

Tabel 2.23 Tabel Formulir Perencanaan Adukan Beton

No.	URAIAN	TABEL/GRAFIK/ 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)		....	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata yang di rencanakan	Ditetapkan	....	Mpa
5	Jenis semen	(1)+(3)	....
6	Jenis agregat	Kasar	Ditetapkan	....
		Halus	Ditetapkan	....
7	Faktor air semen maksimum		....
8	Digunakan Faktor air semen yang rendah		....
9	Nilai Slump		....	Mm
10	Ukuran maksimum butiran agregat kasar		....	Mm
11	Kebutuhan air	Ditetapkan	....	Ltr
12	Jumlah Semen portland		....	Kg
13	Jumlah Semen portland minimum		....	Kg
No.	URAIAN	TABEL/GRAFIK/	NILAI	Satuan
		PERHITUNGAN		
14	Penyesuaian jumlah air		....	Ltr
15	Penyesuaian jumlah faktor air-semen	Tetap	....
16	Zona/ daerah gradasi agregat halus	Tetap	....
17	Per센 agregat halus terhadap campuran		....	%
18	Berat jenis agregat campuran		....
19	Berat beton	Ditetapkan	....	kg/m3
20	Kebutuhan Campuran pasir dan kerikil		....	kg/m3
21	Kebutuhan agregat halus (pasir)		....	kg/m3
22	Kebutuhan agregat kasar (kerikil)		....	kg/m3

(Sumber : Formulir Perencanaan Campuran Beton Menurut Standar Pekerjaan Umum (SK-SNI-T-15-1990-03)

2.8 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang biasa digunakan yaitu berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 30 mm, diameter 150 mm. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c) yang dipakai beda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus:

$$(f'c) = \frac{P}{A} \text{ (MPa)}$$

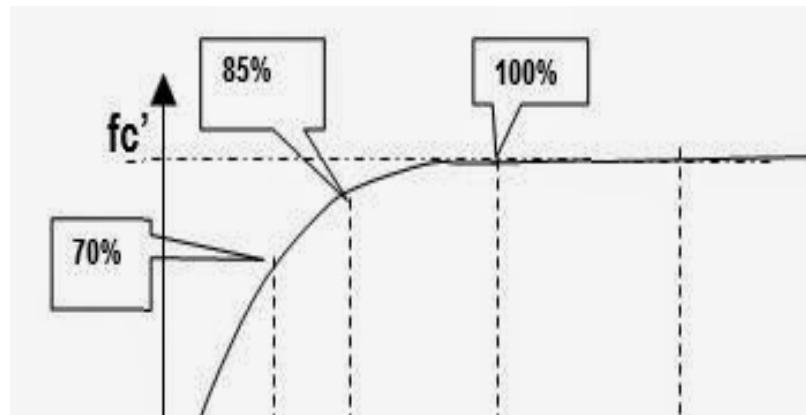
Dimana:

$(f'c)$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tertekan mm^2

Kuat tekan beton (normal) naik secara cepat sampai umur 28 hari. Seterusnya kenaikan kuat tekan berlangsung lambat dalam hitungan bulan atau tahun, sehingga pada umumnya kekuatan beton dipakai sebagai acuan pada umur 28 hari. Kuat tekan beton pada umur 7 hari sekitar 70% terhadap umur beton 28 hari, sedangkan kuat tekan beton pada umur 14 hari sekitar 80% terhadap beton umur 28 hari.



Gambar 2.12 Grafik umur beton

Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat karena agregat mencapai 70-80% volume beton. Oleh karena itu, kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah permukaan dan bentuk agregat, gradasi agregat, dan ukuran maksimum agregat. Apabila dalam pengujian kuat tekan beton mencapai hasil yang telah ditargetkan, maka beton tersebut memenuhi dan mampu memberikan informasi yang cukup.

2.8.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, selain oleh perbandingan air-semen dan tingkat kepadatannya. Faktor penting lainnya yaitu:

1. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Kekuatan dan kebersihan agregat yang digunakan dalam pencampuran beton.
3. Pencampuran yang tepat dari bahan pembentuk beton.
4. Ketepatan dalam pemasangan beton memiliki pengaruh yang signifikan pada kekuatan beton sebagai hasil akhir dari pengecoran.
5. Efisiensi dan perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji. Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Hal ini dilakukan dengan menjaga kelembaban dan suhu yang sesuai agar beton terhidrasi dengan tepat sesuai dengan mutu yang diinginkan.

6. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen.

2.8.2 Jenis-Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya

Berdasarkan kuat tekannya, beton dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya:

1. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non-struktur, misalnya dinding bukan penahan beton.
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 dilentur dahulu sebelum diberi beban.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus, misalnya pada gedung bertingkat banyak.

Tabel 2.24 Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal	10-30 MPa
Beton Prategang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

(Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007)