

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Deskripsi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*) (Mulyono, 2019). Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butiran-butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terekat kuat dan terbentuk suatu massa yang kompak atau padat (Tjokrodinuljo, 1996).

Beton Normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan (SK SNI T-15-1991-03).

Secara umum dalam volume beton terkandung:

Agregat ± 68%

Semen ± 11%

Air ± 17%

Udara ± 4%

2.1.1. Mutu Beton f'_c 20 MPa

Beton adalah bagian dari konstruksi yang dibuat dari campuran beberapa material sehingga mutunya akan banyak tergantung kondisi material pembentuknya

ataupun pada proses pembuatannya. Untuk itu kualitas bahan dan proses pelaksanaan harus dikendalikan agar dicapai hasil yang optimal.

Beton dengan mutu f'_c 20 menyatakan kekuatan tekan minimum adalah 20 MPa pada umur beton 28 hari, dengan menggunakan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Semakin besar nilai kuat tekan, maka semakin baik pula mutu beton.

Tabel 2. 1 Mutu beton dan penggunaannya

Jenis beton	f'_c (Mpa)	σ'_{bk} (Kg/cm ²)	Uraian
Mutu tinggi	35-65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 - <35	K250 - <K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat 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.

f'_c :berdasarkan benda uji silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm

σ'_{bk} :berdasarkan benda uji kubus 150 x 1500 x 150 mm

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2002, Pelaksanaan Jembatan Beton untuk Jalan dan Jembatan)

2.1.2. Jenis Beton

Berdasarkan jenisnya beton dibagi menjadi beberapa macam yaitu (Tri Mulyono, 2019:307):

1. Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal, agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 MPa sampai 17,24 Mpa.

2. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan sekitar 15 – 40 MPa.

3. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Beton yang mempunyai berat yang tinggi ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya.

4. Beton Massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan. Batuan yang digunakan dapat lebih besar dari yang disyaratkan sampai 150 mm, dengan *slump* rendah yang akan mengurangi jumlah semen.

5. *Ferro-Cement*

Ferro-Cement adalah bahan gabungan yang diperoleh dari campuran beton dengan tulangan kawat ayam/kawat yang dianyam. Beton jenis ini akan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan daktil, serta lebih waterproofing. Ketebalannya biasanya antara 10-60 mm dengan volume tulangan 60-75% volume mortalnya.

6. Beton Serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

7. Beton Siklop

Beton siklop menggunakan agregat yang besar-besar, sampai dengan 20 cm, batasannya tidak lebih dari 20%. Digunakan untuk pekerjaan beton massa. (*mass concrete*).

8. Beton Hampa (*vacuum concrete*)

Beton vakum adalah beton yang air sisa dari proses hidrasinya (sekitar 50%), disedot keluar setelah beton mengeras. Penyedotan ini dinamakan *vacuum method*.

2.2. Keunggulan dan Kelemahan Beton

2.2.1. Keunggulan Beton

Dari pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini bahwa struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibanding materi struktur yang lain. (Paul Nugraha, 2007:4)

a. Ketersediaan (*availability*) material dasar.

1. Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relative lebih murah karena semua bahan bias didapat di dalam negeri, bahkan bisa setempat.
2. Tidak demikian halnya dengan struktur baja, karena harus dibuat di pabrik, apalagi kalau masih harus impor. Pengangkutan menjadi masalah tersendiri bila proyek berada di tempat yang sulit untuk dijangkau, sementara beton akan lebih mudah karena masing-masing material bias diangkut sendiri.

3. Ada masalah lain dengan struktur kayu. Meski problemnya tidak seberat struktur baja, namun penggunaannya secara massal akan menyebabkan masalah lingkungan, sebagai salah satu penyebab utama kerusakan hutan.
- b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).
1. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bias diangkat secara terpisah.
 2. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, fondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas. Beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural bisa untuk keperluan dekoratif.
 3. Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat, seperti jembatan, gedung, tandon air, bangunan maritim, instalasi militer dengan beban kejut besar, landasan pacu pesawat terbang, kapal dan sebagainya.
- c. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*).
1. Beton bersifat *monolit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
 2. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk khusus 3 dimensi.
 3. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus (kecuali beberapa pengawas yang sudah mempelajari teknologi beton), sampai alat modern di pabrik yang serba otomatis dan terkomputerisasi. Metode produksi modern memungkinkan industri beton yang profesional.
 4. Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.

- d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

Secara umum ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

2.2.2. Kelemahan Beton dan Cara Mengatasinya

Di samping segala keunggulan di atas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan. (Paul Nugraha, 2007:6)

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekanannya besar.
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terekspose separah struktur baja.
- d. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- e. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur-ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

Meskipun demikian beberapa beberapa kelemahan beton tersebut di atas dapat diatasi dengan berbagai cara, yaitu:

- a. Untuk elemen struktural: Membuat beton mutu tinggi, beton pratekan, atau keduanya, sedangkan untuk elemen non-struktural dapat memakai beton ringan.
- b. Memakai beton bertulang atau beton pratekan.
- c. Melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixtures*).

- d. Mempelajari teknologi beton dan melakukan pengawasan dan kontrol kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.
- e. Beberapa elemen struktur dibuat pracetak (*precast*) sehingga dapat dilepas per elemen seperti baja. Kemungkinan untuk melakukan beton recycle sedang dioptimalkan.

2.3. Sifat Beton

2.3.1. Sifat Beton Segar

Dalam pengerjaan beton segar, beberapa sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregation*), pemisahan air (*bleeding*), dan waktu pengikatan (*setting time*).

2.3.1.1. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, maka semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang dapat mempengaruhinya kemudahan pekerjaan antara lain (Tri Mulyono, 2019:232):

- a. Jumlah air pencampur
Semakin banyak air semakin mudah dikerjakan.
- b. Kandungan semen
Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannyapun akan lebih tinggi.
- c. Gradasi campuran pasir-kerikil
Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.
- d. Bentuk butiran agregat kasar
Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah dikerjakan
- e. Butir maksimum
- f. Cara pemadatan dan alat pemadat.

2.3.1.2. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Kecenderungan butir-butir kasar untuk melepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal; campuran kurus atau kurang semen, terlalu banyak air, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm, permukaan butir agregat kasar karena semakin kasar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi segregasi. Kecendungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah jika (Tri Mulyono, 2019:235):

- a. Tinggi jatuh diperpendek
- b. Penggunaan air sesuai dengan syarat
- c. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan
- d. Ukuran agregat sesuai dengan syarat
- e. Pemadatan baik

2.3.1.3. 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 (*laitance*). *Bleeding* ini dipengaruhi oleh (Tri Mulyono, 2019:235):

- a. Susunan butir agregat
Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.
- b. Banyaknya air
Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- c. Kecepatan hidrasi
Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- d. Proses pemadatan
Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

2.3.2. Sifat Beton Keras

Setelah beton mengeras atau berhentinya proses hidrasi, maka terbentuklah suatu benda padat dan keras dengan sifat-sifat tertentu. Sifat-sifat tersebut perlu diketahui untuk dapat digunakan dalam perencanaan, atau untuk mengevaluasi kekuatan suatu struktur, atau untuk menentukan mode penanganan masalah. Sifat-sifat beton setelah mengeras ditinjau dari berbagai hal sebagai berikut:

2.3.2.1. Kekuatan Beton

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan yang lain, dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karenanya kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus.

2.3.2.1.1. Asal Kekuatan Beton

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

Suatu kekuatan beton dipengaruhi oleh empat bagian utama, yaitu:

- a. Proporsi bahan-bahan penyusun beton dengan mutu bahan tertentu.
- b. Metode perancangan dan pencampuran.
- c. Kondisi pada saat pengecoran dilaksanakan.
- d. Perawatan.

2.3.2.1.2. Pengaruh Porositas

A.N. Talbot pada tahun 1921 mengatakan kekuatan beton ditentukan oleh faktor ruang kosong/semen. Ide ini adalah pada kasus di mana faktor air semen tidak bisa diterapkan seperti (Paul Nugraha, 2007:183):

- a. Beton yang kurang pasta semen,
- b. Beton yang kaku dengan pemadatan yang tidak memadai,
- c. Beton *air-entrain* yang kandungan udaranya tidak dapat ditemukan.

2.3.2.1.3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$a. E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$b. E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ untuk beton normal } \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana, E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = berat jenis (kg/cm^3)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

2.3.2.2. Susut, Rangkak, dan Retak

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

2.3.2.2.1. Susut

Penyusutan merupakan salah satu penyebab utama dari retak pada bangunan, karena bahan bangunan pada umumnya basah pada waktu didirikan dan mengering kemudian. Susut juga terjadi pada semua bahan yang memakai semen sebagai pengikat. Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang terjadi ketika air masuk atau keluar dari gel semen, atau ketika air mengubah keadaan fisik atau kimiawinya di dalam pasta.

Susut dari beton adalah jauh lebih kecil dibandingkan dengan susut dari pasta, karena pengaruh perlawanan dari agregat dan bagian lain yang tidak mengering.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi susut (Paul Nugraha 2007:197):

- a. Kadar agregat
- b. Kadar air

- c. Kadar semen dan bahan kimia pembantu
- d. Kondisi perawatan dan penyimpanan
- e. Pengaruh ukuran.

2.3.2.2.2. Rangkak

Rangkak adalah perubahan bentuk di bawah beban tetap. Pemberian beban pada beton pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut rangkak (*creep*) atau *lateral material flow*. Besarnya deformasi ini tergantung faktor tegangan-kekuatan pada waktu pembebanan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen dan bahkan kondisi iklim. Jika beban kemudian diangkat, beton akan mengalami recovery elastis yang langsung. Perpanjangan rangkak (*creep recovery*) adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula. (Paul Nugraha, 2007:200)

2.3.2.2.3. Retak

Bila beton baru mengering dengan cepat maka permukaannya akan mengalami tegangan tarik yang lebih tinggi dari kekuatan tariknya. Hal ini akan menyebabkan retak. Retak juga mungkin terjadi bila terdapat perbedaan temperatur yang tinggi (sampai 20°C) antara bagian dalam dan bagian luar beton, akibat dari perbedaan muai. (Paul Nugraha, 2007:201)

2.3.2.3. Ketahanan (Durabilitas)

Struktur beton harus mampu menghadapi kondisi di mana dia direncanakan, tanpa mengalami kerusakan selama jangka waktu yang direncanakan. Beton yang demikian disebut mempunyai ketahanan yang tinggi. Kurangnya ketahanan dapat disebabkan oleh pengaruh luar seperti pengaruh fisik, kimia maupun mekanis, misalnya pelapukan oleh cuaca, perubahan temperatur yang drastis, abrasi, aksi elektrolisis, serangan oleh cairan atau gas alami ataupun industri.

Umur efektif beton dapat menjadi lebih singkat dari semestinya apabila dipengaruhi oleh cuaca, air yang agresif, pengikisan pada bangunan keairan, korosi kimiawi, dan kehancuran mekanis. (Paul Nugraha, 2007:207)

2.3.2.4. Kecedap-airan Beton

Tidak ada beton yang betul-betul kedap air. Namun, secara praktis, beton dapat dibuat tahan air. Dengan perencanaan yang teliti, pemadatan dan perawatan yang baik, dengan factor air semen kurang dari 0,6 maka bisa mendapatkan kekuatan lebih dari 250-300 kg/cm², dan cukup kedap air. Untuk bangunan hidraulis dan maritim, masalah kekedap-airan ini lebih utama daripada kekuatannya.

Cara membuat beton kedap air (Paul Nugraha, 2007:219):

- Memberi batas minimum dan maksimum dari agregat halus.
- Ukuran agregat terbesar dibatasi.
- Memakai semen yang sangat halus dan menambah material pozzolan.
- Pemakaian bahan kimia tambahan yang menjadikan beton kedap air (*water proofing*).
- Penuangan (*placing*), pemadatan dan perawatan adalah lebih penting untuk masalah kedap air daripada masalah kekuatan.

2.3.3. Berat Jenis Beton

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 berkurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 2 Beberapa jenis beton menurut berat jenis dan pemakaiannya.

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

(Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, 2007)

2.4. Bahan Pembentuk Beton

Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi

kriteria workabilitas, kekuatan, durabilitas, dan penyelesaian akhir. Proporsi yang dihasilkan oleh rancangan pun harus optimal, dalam arti penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria teknis.

2.4.1. Semen Portland

Semen portland adalah material halus yang terdiri dari bahan-bahan campuran utama seperti semen, silica, alumina, besin dan gypsum. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*). Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Oleh karena itu, walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tapi karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi sangat penting.

2.4.1.1. Sifat Fisika Semen Portland

Sifat-sifat fisika semen meliputi kehalusan agregat, waktu pengikatan, kekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing sifat (Tri Mulyono, 2019:31):

2.4.1.1.1. Kehalusan Butiran (*Fineness*)

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

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air ke permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak. Menurut ASTM, butir semen yang lewat ayakan No.200 harus lebih dari 78%. Untuk mengukur kehalusan butir semen digunakan “*Turbidimeter*” dari Wagner atau “*Air Permeability*” dari Blaine.

2.4.1.1.2. Kepadatan (*Density*)

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah $3,15 \text{ Mg/m}^3$. Pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara $3,05 \text{ Mg/m}^3$. Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian berat jenis dapat dilakukan menggunakan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

2.4.1.1.3. Konsistensi

Konsistensi semen portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada rasio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregat pencampurnya.

2.4.1.1.4. Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua:

- 1) waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan,
- 2) waktu ikatan akhir (*final setting time*) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras.

Pada semen portland *initial setting time* berkisar 1-2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam, sedangkan *final setting time* tidak boleh lebih dari 8 jam.

Waktu ikatan awal sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu, diperlukan *initial setting time* lebih dari 2 jam agar waktu terjadi ikatan awal lebih panjang. Waktu yang Panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaiannya (*finishing*). Proses ikatan ini disertai perubahan temperatur yang dimulai terjadi sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya temperatur sebesar 30°C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai oleh lingkungan sekitarnya.

2.4.1.1.5. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama pada struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

2.4.1.1.6. Perubahan Volume (*Kekalan*)

Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakkekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Kapur bebas itu mengikat air dan kemudian menimbulkan gaya-gaya ekspansi. Alat uji untuk menentukan nilai kekalan semen portland adalah “*Autoclave Expansion of Portland Cement*” cara ASTM C-151, atau cara Inggris, BS, “*Expansion by Le Chatellier*”.

Sifat-sifat semen portland sangat dipengaruhi oleh susunan ikatan oksida-oksida serta bahan-bahan pengotor lainnya. Semen yang digunakan untuk membangun suatu struktur harus mempunyai kualitas tertentu agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik pada saat

pemrosesan, saat menjadi bubuk semen maupun setelah menjadi pasta semen. Pemeriksaan semen atau pengujian semen harus dilakukan sesuai dengan standar mutu. Standar yang digunakan di Indonesia adalah Standar Industri Indonesia, (SII-0013-81) yang mengadopsi ASTM C-150-80. SII kini telah diperbaharui menjadi SNI.

2.4.1.1.7. Kekuatan Tekan

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

2.4.1.2. Sifat Kimia Senyawa Semen

Semen portland memiliki beberapa senyawa kimia yang masing-masing memiliki sifat sendiri-sendiri. Empat senyawa kimia yang utama dari semen portland antara lain Trikalسيوم Silikat (C_3S), Dikalسيوم Silikat (C_2S), Trikalسيوم Aluminat (C_3A), Tetrakalسيوم Aluminoferrit (C_4AF) seperti yang terlihat dalam Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3 Empat senyawa utama dari semen portland

Nama Oksida Utama	Rumus Oksida	Notasi Pendek
Trikalسيوم Silikat	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dikalسيوم Silikat	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Trikalسيوم Aluminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalسيوم Aluminoferrit	$4CaO. Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF
Kalsium Sulfat Dihidrat (Gypsum)	$CaSO_4.2H_2O$	$C\bar{S}H_2$
Notasi pendek: $C = CaO, \quad S = SiO_2, \quad A = Al_2O_3, \quad F = Fe_2O_3, \quad H = H_2O, \quad \bar{S} = SO_4^{2-}$		

(Sumber: Paul Nugraha 2007:31).

2.4.1.3. Jenis-jenis Semen

Dari uraian di atas nampak bahwa adanya perbedaan persentase senyawa kimia akan menjadi sebab terjadinya perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Oleh karenanya semen portland menurut SNI 15-2049-2004 dibedakan ke dalam beberapa tipe, yaitu:

- 1) Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- 3) Tipe III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- 5) Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.4.2. Agregat

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat kasar dan agregat halus berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan kasar yaitu 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan kasar yang butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm). (Tri Mulyono, 2019:65)

2.4.2.1. Klasifikasi Agregat

2.4.2.1.1. Klasifikasi Agregat Sumber

Agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan berdasarkan sumbernya yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan (*artificial aggregates*).

Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari alat pemecah batu (*stone crusher*), hasil residu terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pecahan genteng, pecahan beton, abu terbang (*fly ash*).

2.4.2.1.2. Klasifikasi Agregat Berat

Berdasarkan beratnya, ada tiga jenis agregat yaitu agregat normal, agregat ringan, dan agregat berat yang dijabarkan sebagai berikut:

- a. Agregat normal bisa dihasilkan dari pemecahan batu atau langsung dari sumber alam dan biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dsb. Berat jenis rata-rata adalah 2,5 - 2,7 dan bobot isinya tidak boleh kurang dari 1,2 kg/dm³.
- b. Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton ringan dengan bermacam-macam produk seperti bahan isolasi, bahan untuk pratekan, dan bahan-bahan pracetak lainnya. Beton yang dibuat dengan agregat ringan mempunyai keunggulan sifat lebih tahan api tetapi terdapat juga kelemahan karena ukuran pori pada beton lebih besar sehingga penyerapannya juga besar.
- c. Agregat berat bisa mempunyai berat lebih besar dari 2800 kg/m³. Beton yang dibuat dengan agregat ini biasanya digunakan sebagai pelindung dari radiasi sinar-X.

2.4.2.1.3. Klasifikasi Agregat Bentuk

Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut (Tri Mulyono, 2019:79):

- a. Agregat Bulat
Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air atau keseluruhannya terbentuk karena penggeseran. Rongga udaranya minimum 33%, sehingga rasio luas permukaannya kecil. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat kurang kuat.

b. Agregat Bulat Sebagian atau Tidak Teratur.

Agregat ini secara alamiah berbentuk tidak teratur. Sebagian terbentuk karena pergeseran sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35%-38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat belum cukup baik (masih kurang kuat).

c. Agregat Bersudut

Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang nampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38%-40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregatnya baik (kuat). Agregat ini dapat juga digunakan untuk bahan lapis perkerasan.

d. Agregat Panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar daripada tebalnya. Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari 9/5 dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata ialah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm, akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan Panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($9/5 \times 15$ mm). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Agregat jenis ini cenderung berada di rata-rata air sehingga akan terdapat rongga di bawahnya. Kekuatan tekan dari beton yang menggunakan agregat ini buruk.

e. Agregat Pipih

Agregat disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat pipih sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya dari 3/5 ukuran rata-ratanya. Untuk contoh di atas agregat disebut pipih jika lebih kecil dari 9 mm. Menurut (Galloway, 1994) agregat pipih mempunyai perbandingan antara panjang dan lebar dengan ketebalan dengan rasio 1:3 yang dapat digambarkan sama dengan uang logam.

f. Agregat Pipih dan Panjang

Agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

2.4.2.1.4. Klasifikasi Agregat Tekstur Permukaan

Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang. Permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Jenis lain dari permukaan agregat adalah mengkilap dan kusam.

Secara umum susunan permukaan ini sangat berpengaruh pada kemudahan pekerjaan. Semakin licin permukaan agregat akan semakin sulit beton untuk dikerjakan. Umumnya jenis agregat dengan permukaan kasar lebih disukai. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut (Tri Mulyono, 2019:81):

a. Agregat licin/halus (*glassy*)

Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar. Dari hasil penelitian, kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat ini cenderung mutunya lebih rendah. Agregat licin terbentuk dari akibat pengikisan oleh air, atau

akibat patahnya batuan (*rocks*) berbutir halus atau batuan yang berlapis-lapis.

b. Berbutir (*granular*)

Pecahan agregat jenis ini berbentuk bulat dan seragam

c. Kasar

Pecahannya kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkrystal yang tidak dapat dilihat dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

d. Kristalin (*crystalline*)

Agregat jenis ini mengandung kristal-kristal yang nampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

e. Berbentuk sarang lebah (*honeycombs*)

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual, kita dapat melihat lubang-lubang pada batumannya.

2.4.2.1.5. Klasifikasi Ukuran Butir Nominal

Ukuran agregat berpengaruh pada kekuatan beton. Dengan menggunakan maksimum agregat yang lebih besar akan menghasilkan beton yang lebih sulit dikerjakan dan kekuatannya lebih kecil dibandingkan dengan beton yang menggunakan ukuran agregat lebih kecil. Untuk struktur beton bertulang, batasan untuk butir agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm (1½"). Sebagai dasar perancangan campuran beton, untuk penentuan ukuran agregat maksimum (ACI 318) memberikan batasan sebagai berikut (Tri Mulyono, 2019:82):

- a. Seperlima dari jarak terkecil antara bidang samping cetakan.
- b. Sepertiga dari tebal pelat.
- c. Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang tulangan atau berkas-berkas tulangan ataupun dari selubung (*ducting*) tendon pratekan.

2.4.2.2. Susunan Butiran (Gradasi)

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi dalam agregat dapat berpengaruh terhadap kepadatan beton. Untuk menghasilkan beton yang padat, diantara butiran harus saling mengisi. Untuk itu maka diperlukan variasi

butiran agregat dari yang paling besar sampai yang paling kecil. Untuk mengetahui susunan butiran pada agregat dilakukan dengan analisa saringan. Syarat susunan butiran agregat untuk beton telah diatur dalam peraturan-peraturan seperti SK-SNI, ASTM dan *British Standard*. Berdasarkan standar tersebut, gradasi agregat harus memenuhi syarat-syarat seperti di bawah ini:

2.4.2.2.1. Persyaratan Gradasi Agregat Halus

ASTM C.33-86 dalam “*Standar Specification for Concrete Aggregates*” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel..., dimana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2. 4 Syarat Mutu Gradasi Agregat Halus

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, Tri Mulyono, MT., 2003, Teknologi Beton; 93, Tabel 4.8)

2.4.2.2.2. Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Persyaratan gradasi agregat kasar menurut Spesifikasi Umum 2018 tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 2. 5 Syarat Mutu Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Persen Berat Yang Lolos Untuk Agregat					
ASTM	(mm)	Halus	Kasar				
			Ukuran nominal maksimum 37,5 mm	Ukuran nominal maksimum 25 mm	Ukuran nominal maksimum 19 mm	Ukuran nominal maksimum 12,5 mm	Ukuran nominal maksimum 9,5 mm
2"	50,8	-	100	-	-	-	-
1½"	38,1	-	90-100	100	-	-	-
1"	25,4	-	-	95-100	100	-	-
¾"	19	-	35-70	-	90-100	100	-

½"	12,7	-	-	25-60	-	90-100	100
¾"	9,5	100	10-30	-	30-65	40-75	90-100
No.4	4,75	95 - 100	0-5	0-10	5-25	5-25	20-55
No.8	2,36	80 - 100	-	0-5	0-10	0-10	5-30
No.16	1,18	50 - 85	-	-	0-5	0-5	0-10
No.50	0,300	10-30	-	-	-	-	0-5
No.100	0,150	2-10	-	-	-	-	-

(Sumber: Spesifikasi Umum 2018; 7-9, Tabel 7.1.2.1 Ketentuan Gradasi Agregat)

2.4.3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai Faktor Air Semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

2.4.3.1. Sumber-Sumber Air

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Berikut sumber-sumber air yang ada adalah sebagai berikut (Tri Mulyono, 2019:51):

2.4.3.1.1. Air yang Terdapat di Udara

Air yang terdapat di udara atau air atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurnian air ini sangat tinggi. Sayangnya, hingga sekarang belum ada teknologi untuk mendapatkan air atmosfer ini secara mudah. Air yang terdapat dalam atmosfer

ini kondisinya sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin untuk mendapatkan beton yang baik dengan air ini.

2.4.3.1.2. Air Hujan

Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Udara terdiri dari komponen-komponen utama yaitu zat asam atau oksigen, nitrogen dan karbondioksida. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

2.4.3.1.3. Air Tanah

Air tanah terutama terdiri dari unsur kation dan unsur anion. Pada kadar yang lebih rendah, terdapat juga unsur Fe, Mn, Al, B, F dan Se. Disamping itu air tanah juga menyerap gas-gas serta bahan-bahan organik seperti CO₂, H₂S dan NH₃.

2.4.3.1.4. Air Permukaan

Air permukaan dibagi menjadi air sungai, air danau dan situ, air genangan dan air *reservoir*. Erosi yang disebabkan oleh aliran air permukaan, membawa serta bahan-bahan organik dan mineral-mineral. Air sungai atau air danau dapat digunakan sebagai bahan campuran beton asal tidak tercemar oleh air buangan industri. Air rawa-rawa atau air genangan tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, kecuali setelah melalui pengujian kualitas air.

2.4.3.1.5. Air Laut

Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garaman dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%.

Air laut yang mengandung 30.000 - 36.000 mg garam per liter (3% - 3,6%) pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang, beton pra-tegang dan beton pra-tekan atau dengan kata lain untuk beton-beton mutu tinggi.

Air asin yang terdapat di pedalaman mengandung 1000-5000 mg garam per liter. Air dengan kadar garam sedang, mengandung 2000-10000 mg garam per liter. Air di daerah pantai, memiliki kadar garam sekitar 20000-30000 mg per liter.

Air laut tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton pra-tegang atau pra-tekan, karena batang-batang baja pra-tekan langsung berhubungan dengan betonnya. Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk beton yang ditanami aluminium di dalamnya, beton yang memakai tulangan atau yang mudah mengalami korosi pada tulangannya akibat perubahan panas (temperatur) dan lingkungan yang lembab.

2.4.3.2. Pemilihan Pemakaian Air

Pemilihan air yang digunakan sebagai campuran beton didasarkan pada campuran beton. Air tersebut harus berasal dari sumber yang sama dan terbukti dapat menghasilkan beton yang memenuhi syarat.

Jika air yang ada dari suatu sumber belum terbukti memenuhi syarat, harus dilakukan uji tekan mortar yang dibuat dengan air tersebut, yang kemudian dibandingkan dengan campuran mortar yang menggunakan air suling. Hasil pengujian (pada usia 7 hari dan 28 hari) kubus adukan yang dibuat dengan air campuran yang tidak dapat diminum paling tidak harus mencapai 90% dari kekuatan spesimen serupa yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

2.4.3.3. Syarat Mutu Air Menurut British Standard

Berikut adalah kriteria yang harus dipenuhi oleh air yang akan digunakan sebagai campuran beton. Jika ketentuan-ketentuan dibawah ini tidak terpenuhi, sebaiknya air tidak digunakan untuk membuat campuran beton. Syarat-syarat tersebut antara lain:

2.4.3.3.1. Garam-garam Anorganik

Ion-ion utama yang biasa terdapat dalam air adalah kalsium, magnesium, natrium, kalium, bikarbonat, sulfat, klorida, nitrat dan kadang-kadang karbonat. Gabungan ion-ion tersebut tidak boleh lebih besar dari 2000 mg per liter. Garam-garam anorganik ini akan memperlambat waktu pengikatan beton dan menyebabkan menurunnya kekuatan beton. Konsentrasi garam-garam tersebut hingga 500 ppm dalam campuran beton masih diijinkan.

2.4.3.3.2. NaCl dan Sulfat

Konsentrasi NaCl atau garam dapur sebesar 20000 ppm pada umumnya masih diijinkan. Air campuran beton yang mengandung 1250 ppm natrium sulfat, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$, dapat digunakan dengan hasil yang memuaskan.

2.4.3.3.3. Air Asam

Air campuran asam dapat digunakan atau tidak berdasarkan konsentrasi asamnya yang dinyatakan dalam ppm (*parts per million*). Bisa atau tidaknya air ini digunakan ditentukan berdasarkan nilai pH, yaitu suatu ukuran untuk konsentrasi ion hydrogen.

Air netral biasanya mempunyai pH sekitar 7.00. Nilai pH diatas 7.00 menyatakan keadaan kebasaan dan nilai pH 7.00 menyatakan nilai keasaman. Semakin tinggi nilai asam (pH lebih dari 3.00), semakin sulit kita mengelola pekerjaan beton. Karena itu penggunaan air dengan pH diatas 3.00 harus dihindarkan.

2.4.3.3.4. Air Basa

Air dengan kandungan natrium hidroksida sekitar 0.5% dari berat semen, tidak banyak berpengaruh pada kekuatan beton, asalkan waktu pengikatan tidak berlangsung dengan cepat. Konsentrasi basa lebih tinggi dari 0.5% berat semen akan mempengaruhi kekuatan beton.

2.4.3.3.5. Air Gula

Apabila kadar gula dalam campuran dinaikan hingga mencapai 0.2% dari berat semen, maka waktu pengikatan biasanya akan semakin cepat. Gula sebanyak 0.25% berat semen atau lebih akan mengakibatkan bertambah cepatnya waktu pengikatan secara signifikan dan berkurangnya kekuatan beton pada umur 28 hari.

2.4.3.3.6. Minyak

Minyak mineral atau minyak tanah dengan konsentrasi lebih dari 2% berat semen dapat mengurangi kekuatan beton hingga 20%. Karena itu penggunaan air yang tercemar minyak sebaiknya dihindari.

2.4.3.3.7. Rumput Laut

Rumput laut yang tercampur dalam air campuran beton dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton secara signifikan. Bercampurnya rumput laut dengan semen akan mengakibatkan berkurangnya daya lekat dan menimbulkan terjadinya sangat banyak gelembung-gelembung udara dalam beton. Beton menjadi keropos dan pada akhirnya kekuatannya akan berkurang. Rumput laut dapat juga dijumpai dalam agregat terutama jika agregat yang digunakan adalah agregat halus dari pasir pantai. Hal itu membuat hubungan antara agregat dan pasta semen terganggu, bahkan menjadi buruk.

2.4.3.3.8. Zat-zat Organik, Lanau dan Bahan-bahan Terapung

Kandungan zat organik dalam air dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen dan kekuatan beton. Air yang berwarna tua, berbau tidak sedap dan mengandung butir-butir lumut perlu diragukan dan harus diuji sebelum dipakai.

Kira-kira 2000 ppm lempung yang terapung atau bahan-bahan halus yang berasal dari batuan diijinkan ada dalam campuran. Untuk mengurangi kadar lanau dan lempung dalam adukan beton, air yang mengandung lumpur harus diendapkan terlebih dahulu dalam bak-bak penampung sebelum digunakan.

2.4.3.3.9. Pencemaran Limbah Industri atau Air Limbah

Air yang tercemar limbah industri sebelum dipakai harus dianalisis kandungan pengotornya dan diuji (dengan percobaan perbandingan) untuk mengetahui pengikatannya dan kekuatan tekan betonnya.

Air limbah biasanya mengandung kira-kira 400 ppm senyawa organik. Setelah air limbah itu diencerkan/disaring di tempat yang cocok untuk keperluan pencampuran beton, konsentrasi senyawa organik biasanya turun menjadi 20 ppm atau kurang dari itu. Jadi, setelah diencerkan, air limbah dapat digunakan.

2.5. Bahan Tambahan

Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah didefinisikan dalam *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 dicampur 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.

2.5.1. Jenis Bahan Tambah

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan aditif yaitu bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan.

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah aditif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatan.

2.5.1.1. Bahan Tambah Kimia (*admixture*)

Jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah. Pada dasarnya suatu bahan tambahan harus mampu memperlihatkan komposisi dan unjuk kerja yang sama sepanjang waktu pekerjaan selama bahan tersebut digunakan dalam racikan beton sesuai dengan pemilihan proporsi betonnya. Jenis dan definisi bahan tambah kimia ini sebagai berikut;

2.5.1.1.1. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

Water-Reducing Admixtures digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen (wcr) yang rendah. Atau dengan tidak mengubah kadar semen yang digunakan dengan faktor air semen yang tetap maka nilai slump yang dihasilkan dapat lebih tinggi.

Bahan tambah pengurang air dapat berasal dari bahan organik ataupun campuran anorganik untuk beton tanpa udara (*non-air-entrained*) atau dengan udara dalam hal mengurangi kandungan air campuran. Selain itu bahan tambah ini dapat digunakan untuk memodifikasi waktu pengikatan beton atau mortar sebagai dampak perubahan faktor air semen. Komposisi dari campuran bahan tambah ini diklarifikasikan secara umum menjadi 5 kelas:

- a. Asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam.
- b. Modifikasi dan turunan asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam.
- c. *Hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garamnya.
- d. Modifikasi *hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garamnya.
- e. Material lain seperti:
 - Material inorganik seperti seng, garam-garam, barak, posfat, klorida.
 - Asam amino dan turunannya.
 - Karbonhidrat, polisakarida dan gula asam.
 - Campuran polimer, seperti eter, turunan melamic, naptan, silikon, hidrokarbon-sulfat.

2.5.1.1.2. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk menghindari *cold joints* dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan.

2.5.1.1.3. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (*hidrasi*) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton. *Accelerating Admixtures* yang paling terkenal adalah kalsium klorida. Bahan kimia lain yang berfungsi sebagai pemercepat antara lain adalah senyawa-senyawa garam seperti klorida, bromide, karbonat, silikat dan terkadang senyawa organik lainnya seperti tri-etanolamin. Perlu ditekankan bahwa kalsium klorida jangan digunakan jika korosi progresif dari tulangan baja dapat terjadi.

2.5.1.1.4. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

Water Reducing and Retarding Admixtures yaitu pengurang air dan pengontrol pengeringan (*Water Reducing Admixtures*). Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Bahan ini hampir semua berwujud cair.

2.5.1.1.5. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air artinya FAS yang digunakan tetap dengan mengurangi kadar air. Bahan ini hampir semuanya berwujud cair. Air yang terkandung dalam bahan ini akan menjadi bagian dari air campuran beton. Jadi, dalam campuran perencanaan air ini harus ditambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton.

2.5.1.1.6. Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

Fungsinya untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini dapat berupa *superplasticizer*. Bahan jenis ini pun termasuk dalam bahan kimia tambahan yang baru, dan disebut sebagai “bahan tambahan kimia pengurang air”. Bahan tambah ini dibuat dari sulfonat organik dan disebut superplastisizer, karena dapat mengurangi pemakaian air pada campuran beton dan meningkatkan *slump* beton sampai 8 inch (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebih akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton.

2.5.1.1.7. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan menunda waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

2.5.1.2. Bahan Tambah Mineral (*additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah pozzollan, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*. Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral ini antara lain:

- Memperbaiki kinerja workability
- Mengurangi panas hidrasi
- Mengurangi biaya pekerjaan beton
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika
- Mempertinggi usia beton
- Mempertinggi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi keawetan beton
- Mengurangi penyusutan
- Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

2.5.1.2.1. Abu terbang batubara

Abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitumius dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau subbitumens. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung kapur (lime) lebih dari 10% beratnya.

2.5.1.2.2. Slag

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi. Definisi *slag* adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan, misalnya dengan mencelupkannya dalam air.

Keuntungan penggunaan *slag* dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan.
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton.
- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton.
- Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut.
- Mengurangi serangan alkali-silika.

- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu.
- Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton.
- Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume.
- Mengurangi porositas dan serangan klorida.

2.5.1.2.3. Silika fume

Silica fume adalah material pozzollan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau *alloy* besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara microsilika dengan silika fume).

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi digunakan misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, pre-cast atau beton pra-tegang dan beberapa keperluan lain.

2.5.1.2.4. Penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*)

Bahan ini berupa mineral yang dipakai untuk memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat. Selain itu juga dapat dipergunakan untuk menaikkan mutu dari beton yang dapat dibuat. Kegunaan lainnya adalah untuk mengurangi permeabilitas atau ekspansi dan juga mengurangi biaya produksi beton. Contoh bahan ini adalah kapur hidrolis, semen, slag, *fly ash*, dan pozzollan alam yang sudah menjadi kapur atau mentah.

2.5.2. Cangkang Telur

Konsumsi telur ayam meningkat setiap tahunnya. Sementara cangkang telurnya terbuang sebagai limbah. Cangkang telur ayam merupakan bagian dari telur yang terbuang dan belum banyak gunakan sebagai sumber bahan yang dimanfaatkan oleh masyarakat.

Di Indonesia sendiri produksi kulit telur akan terus berlimpah selama telur diproduksi di bidang peternakan serta digunakan di restoran, pabrik roti, kue, mie dan lainnya sebagai bahan baku pembuatan makanan. Menurut data Direktorat Jenderal Peternakan (2020), produksi telur di Jawa Barat dan Indonesia pada tahun 2020, masing-masing sebesar 497.577 ton dan 5.044.395 ton. Pada umumnya yang

dikonsumsi adalah putih dan kuning telur, sehingga banyak cangkang telur yang terbuang. Namun ternyata cangkang telur juga bisa dimanfaatkan salah satunya sebagai campuran bahan konstruksi bangunan.

Komposisi utama cangkang telur terdiri dari kalsium karbonat sebesar 94% dari total bobot keseluruhan cangkang, kalsium fosfat 1%, bahan-bahan organik 4%, dan magnesium karbonat 1% (Rivera, 1999). Kandungan kalsium yang cukup besar berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah pembuatan semen.

2.5.2.1. Kandungan Mineral dalam Cangkang Telur

Berikut beberapa kandungan mineral cangkang telur seperti yang ada pada Tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2. 6 Kandungan mineral cangkang telur

Mineral	% dari berat total	g/berat total
Kalsium (Ca)	37,30	2,30
Magnesium (Mg)	0,38	0,02
Fosfor (P)	0,35	0,02
Karbonat (CO ₃)	58,00	3,50
Mangan (Mn)	7	ppm

(Sumber: Yuwanta, 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 labolatorium. Pengujian bahan ini meliputi pemeriksaan bahan agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah lainnya.

2.6.1. Pengujian Agregat Kasar

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

2.6.1.1. Pengujian Berat Isi

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah 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:

$$V = \text{Isi wadah (dm}^3\text{)}$$

$$A = \text{Bulk specific gravity agregat (kg/dm}^3\text{)}$$

$$B = \text{Berat isi agregat (kg/dm}^3\text{)}$$

$$W = \text{Berat isi air (kg/dm}^3\text{)}$$

2.6.1.2. Pengujian Kadar Air

Pengujian Kadar Air 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 sebagai berikut:

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

dengan:

$$W_3 = \text{Berat contoh semula (gram)}$$

$$W_5 = \text{Berat contoh kering (gram)}$$

2.6.1.3. 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. 7 Gradasi Kombinasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Persen Berat Yang Lolos Untuk Agregat					
ASTM	(mm)	Halus	Kasar				
			Ukuran nominal maksimum 37,5 mm	Ukuran nominal maksimum 25 mm	Ukuran nominal maksimum 19 mm	Ukuran nominal maksimum 12,5 mm	Ukuran nominal maksimum 9,5 mm
2"	50,8	-	100	-	-	-	-
1½"	38,1	-	90-100	100	-	-	-
1"	25,4	-	-	95-100	100	-	-
¾"	19	-	35-70	-	90-100	100	-
½"	12,7	-	-	25-60	-	90-100	100
⅜"	9,5	100	10-30	-	30-65	40-75	90-100
No.4	4,75	95 - 100	0-5	0-10	5-25	5-25	20-55
No.8	2,36	80 - 100	-	0-5	0-10	0-10	5-30
No.16	1,18	50 - 85	-	-	0-5	0-5	0-10
No.50	0,300	10-30	-	-	-	-	0-5
No.100	0,150	2-10	-	-	-	-	-

(Sumber: Spesifikasi Umum 2018; 7-9, Tabel 7.1.2.1 Ketentuan Gradasi Agregat)

2.6.1.4. Pengujian Abrasi

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

2.6.1.5. Berat Jenis dan Penyerapan Air (Absorpsi)

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

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

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

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

$$\text{Penyerapan} = \frac{Bj - Bk}{Ba} \times 100\%$$

Keterangan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan (gram)

Ba = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2.6.1.6. 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 pembangunan jalan.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

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

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).

2.6.1.7. 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 perencana 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:

W_1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

W_2 = berat wadah (gram)

W_3 = berat kering badan uji awal (gram)

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

W_5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

W_6 = % bahan lolos saringan no. 200

2.6.2. 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 pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut:

2.6.2.1. 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:

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

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

dimana:

$V = \text{Isi wadah (dm}^3\text{)}$

$A = \text{Bulk specific gravity agregat (kg/ dm}^3\text{)}$

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

$W = \text{Berat isi Air (kg/ dm}^3\text{)}$

2.6.2.2. 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 sebagai berikut:

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

dengan:

$W_3 = \text{Berat contoh semula (gram)}$

$W_5 = \text{Berat contoh kering (gram)}$

2.6.2.3. 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 akan digunakan Pengujian

Pengujian analisa saringan dilakukan dengan menggunakan dua buah benda uji, dengan hasil yang telah ditampilkan sebelumnya.

Menurut ASTM 136-04 pembagian butiran dari agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 2. 8 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.

2.6.2.4. Berat Jenis dan Penyerapan Air (Absorpsi)

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. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C-128-01.

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 saat 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 (absorpsi) air adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis permukaan kering jenuh} = \frac{Ba}{B+Ba-Bt}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Ba-Bk}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

Ba = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.6.2.5. 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 maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana pembangunan jalan.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

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

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).

2.6.2.6. 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 perencana 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:

W_1 = berat keringa 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

2.6.2.7. 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 campuran beton.

Pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka dengan petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir. Pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu agregat.

Warna larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar atau menunjukkan warna standar lebih besar dari No. 3, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran mortar atau beton.

2.7. Rancangan Campuran Beton Normal

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 pengerjaan, 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*).

Meurut 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.

Berikut ini merupakan mutu suatu beton dan penggunaannya:

Tabel 2. 9 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	$20 \leq x \leq 45$	$K250 \leq x \leq 500$	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. 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 pengkali seperti tampak pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 10 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 ($f'_c + 12$ 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. 11 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	$2,5 < S < 3,5$	$3,5 < S < 4,5$	$4,5 < S < 5,5$

(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 direncanakan 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 PUBLI 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.

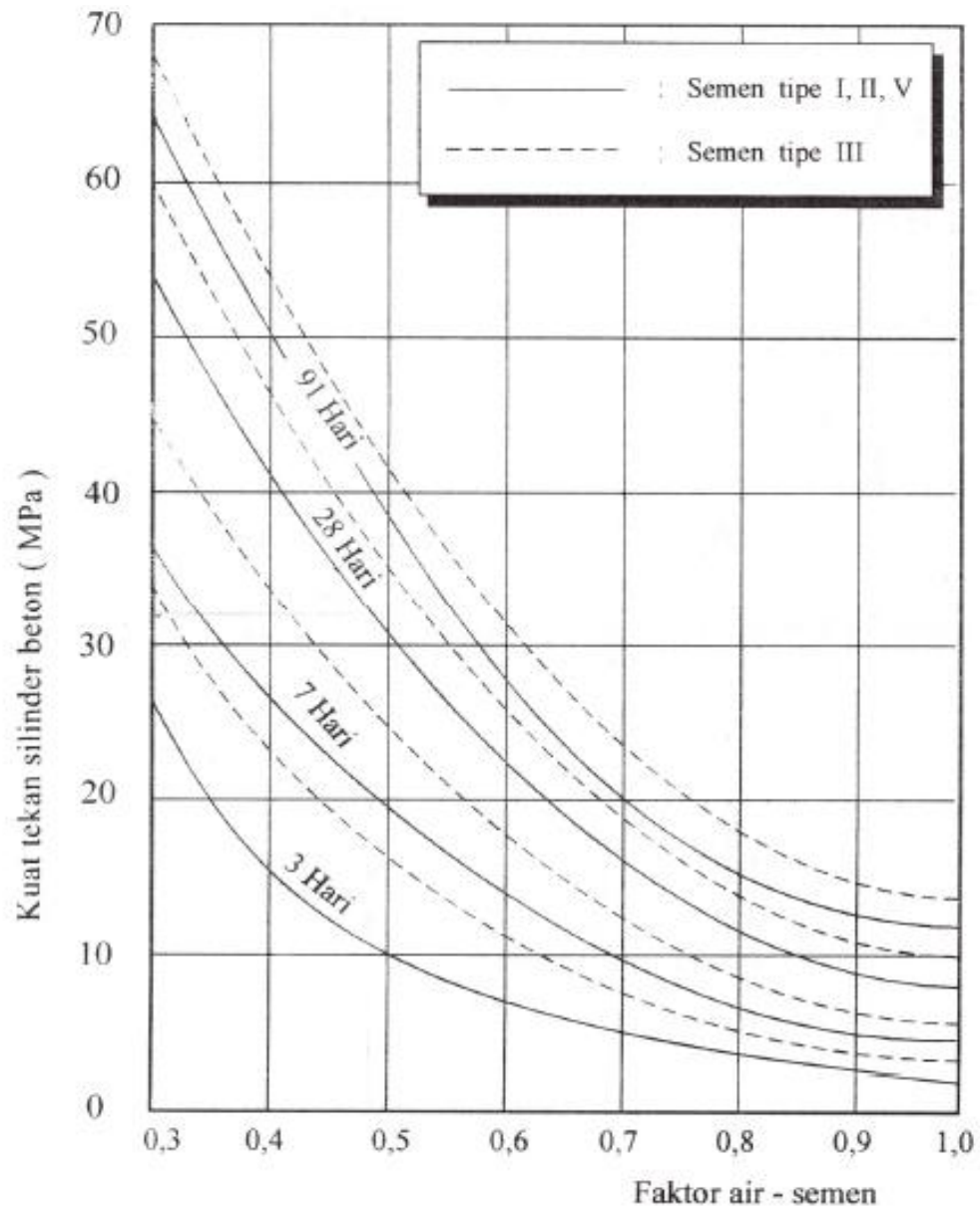
2.7.6. Penetapan Jenis Agregat

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

2.7.7. Faktor Air Semen Bebas

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan. Faktor air semen dapat dicari melalui 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. 1 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. 12 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. 13 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 no 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
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. 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 Tjokrodinuljo, Teknologi Beton: 74, Tabel 7,12)

Tabel 2. 14 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

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

2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				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 I 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	330	370	420	0,45

				Lapisan pelindung				
--	--	--	--	-------------------	--	--	--	--

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2. 15 Ketentuan semen minimum 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 Tjokrodinuljo, Teknologi Beton: 75, Tabel 7,12.b)

2.7.9. Nilai Slump (Derajat Pengerjaan)

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 memnentukan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan engan alat getar dapat dilakukan dengan nilai slump agak kecil. Nilai slump yang diinginkan dapat dilihat dari tabel 2.16 di bawah ini.

Tabel 2. 16 Penetapan nilai slump

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
-----------------	----------	---------

Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan 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. Kardiyo Tjokrodinuljo, 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. 17 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:

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$$

Keterangan:

W_h = jumlah air untuk agregat halus

W_k = 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 laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan menurut tabel berikut.

Tabel 2. 18 Persyaratan jumlah semen minimum

Lokasi	Jumlah semen minimum per m³ beton (Kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton didalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton masuk kedalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55 (Tabel 5 SNI 2002)
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		(Tabel 6 SNI 2002)
b. Air laut		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

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 di klasifikasikan menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan pada grafik gradasi yang diberikan pada tabel 2.19.

Tabel 2. 19 Susunan Butir Agregat Halus

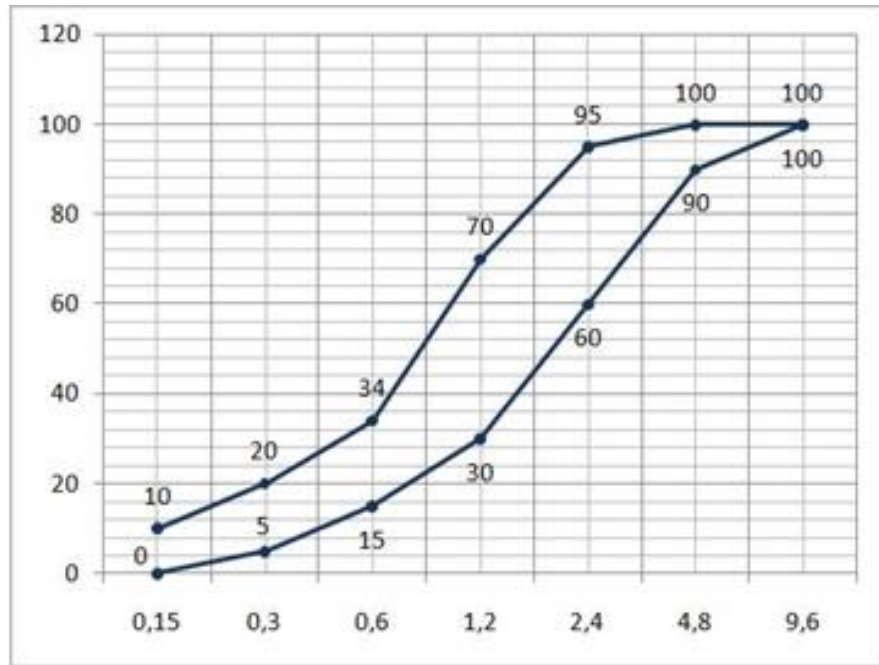
Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

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

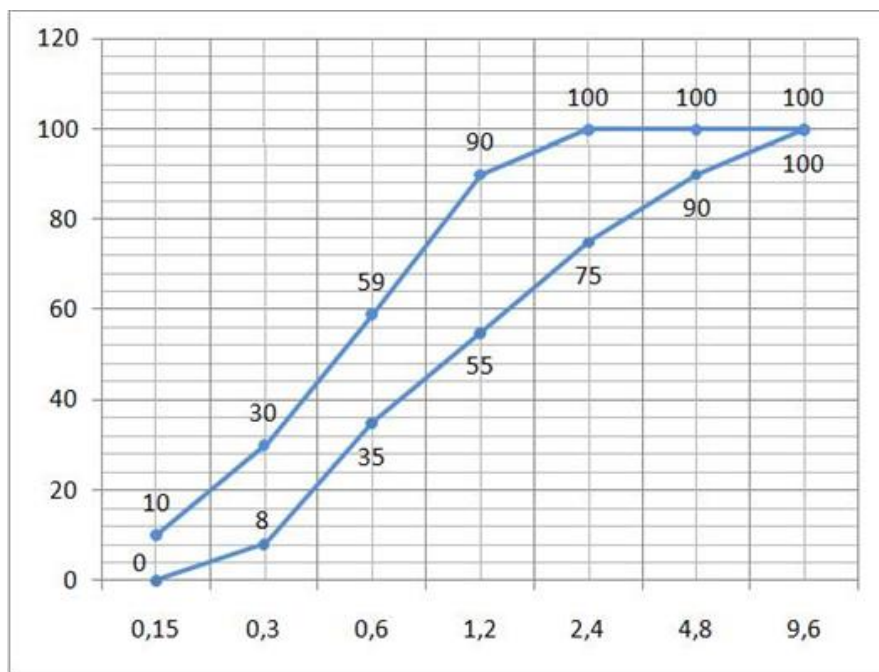
Keterangan:

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

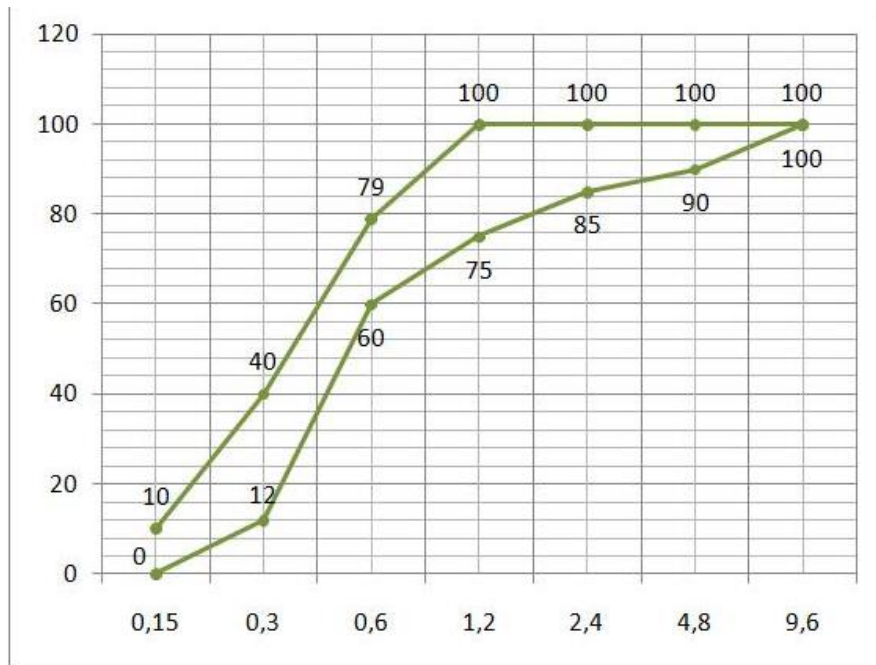
Setelah itu, tentukan gradasi agregat halus sesuai dengan syarat menurut kurva gradasi agregat halus.



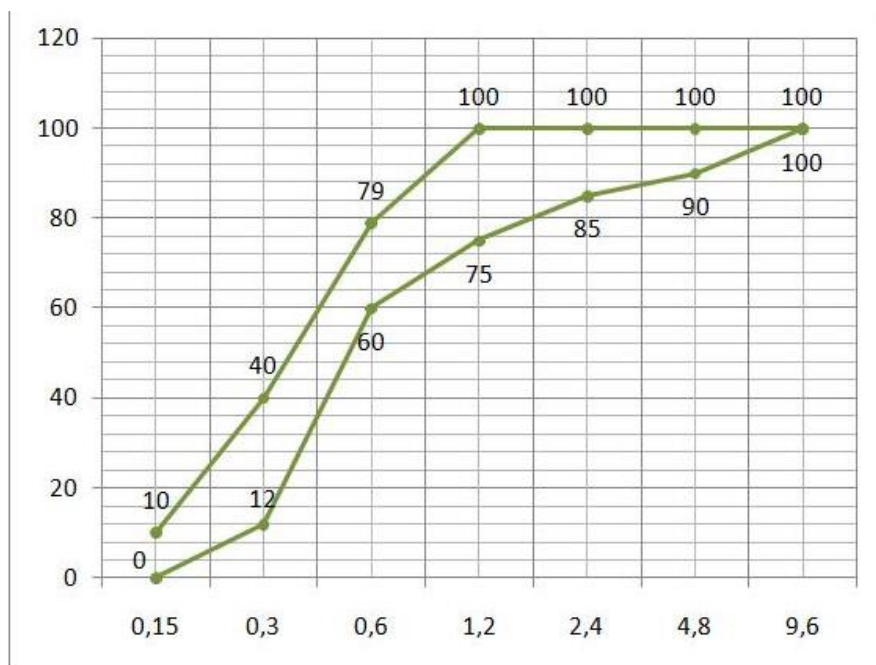
Gambar 2. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe I



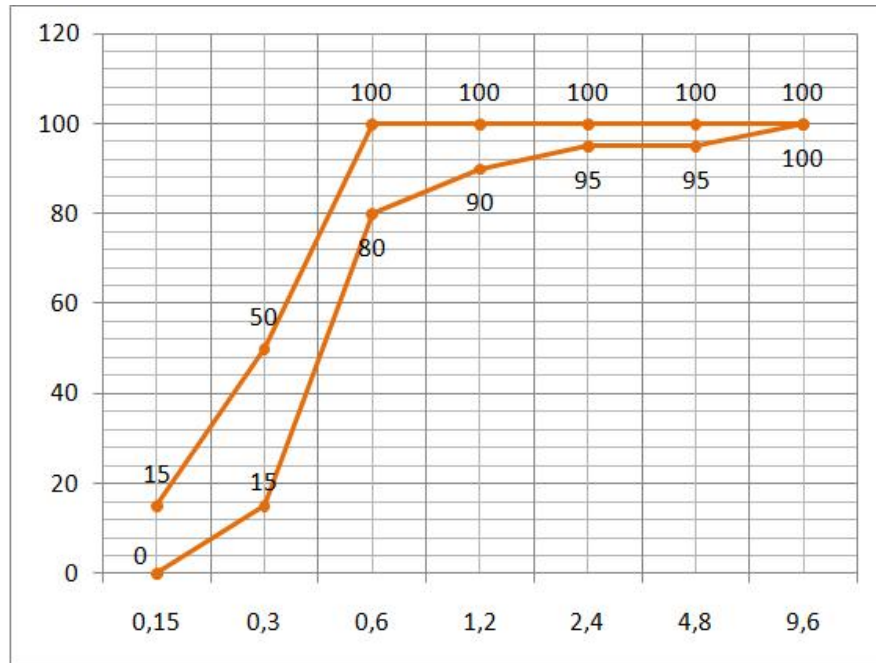
Gambar 2. 3 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe II



Gambar 2. 4 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe III



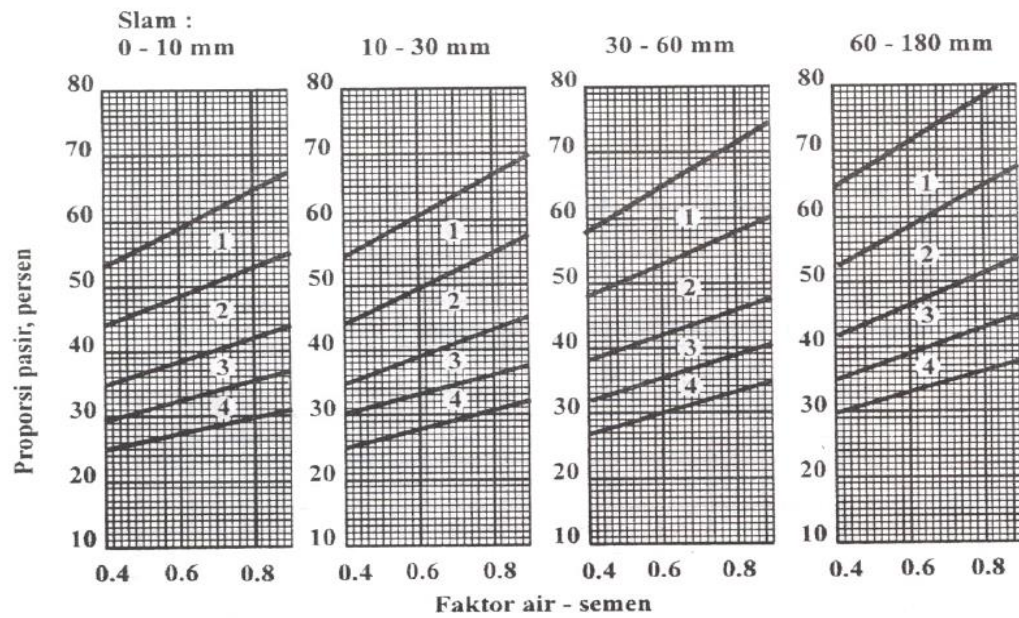
Gambar 2. 5 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe IV



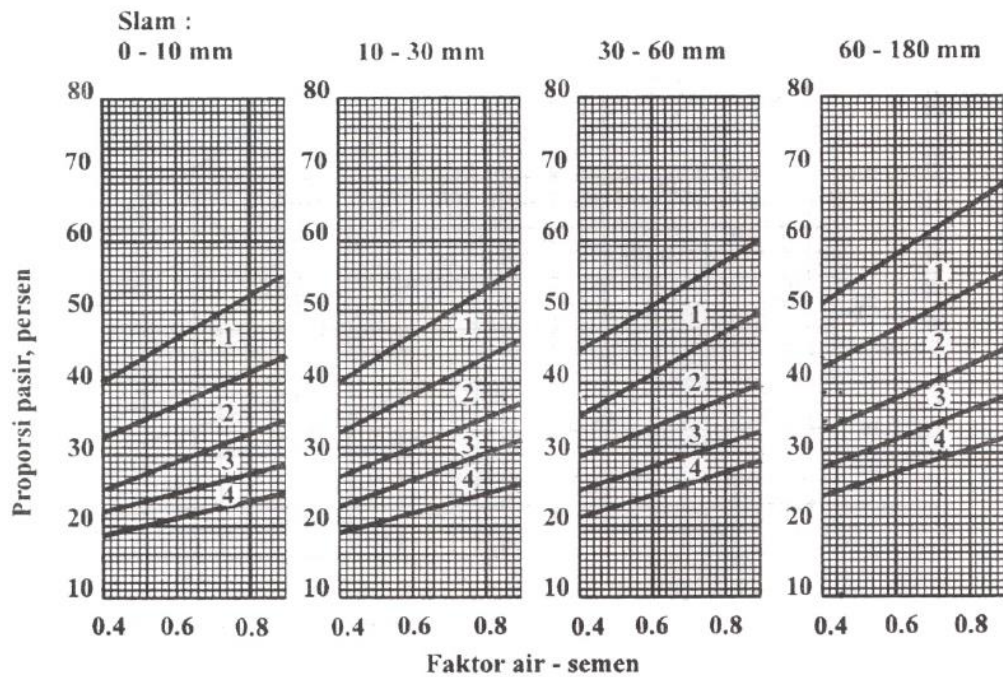
Gambar 2. 6 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe V

2.7.17. Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

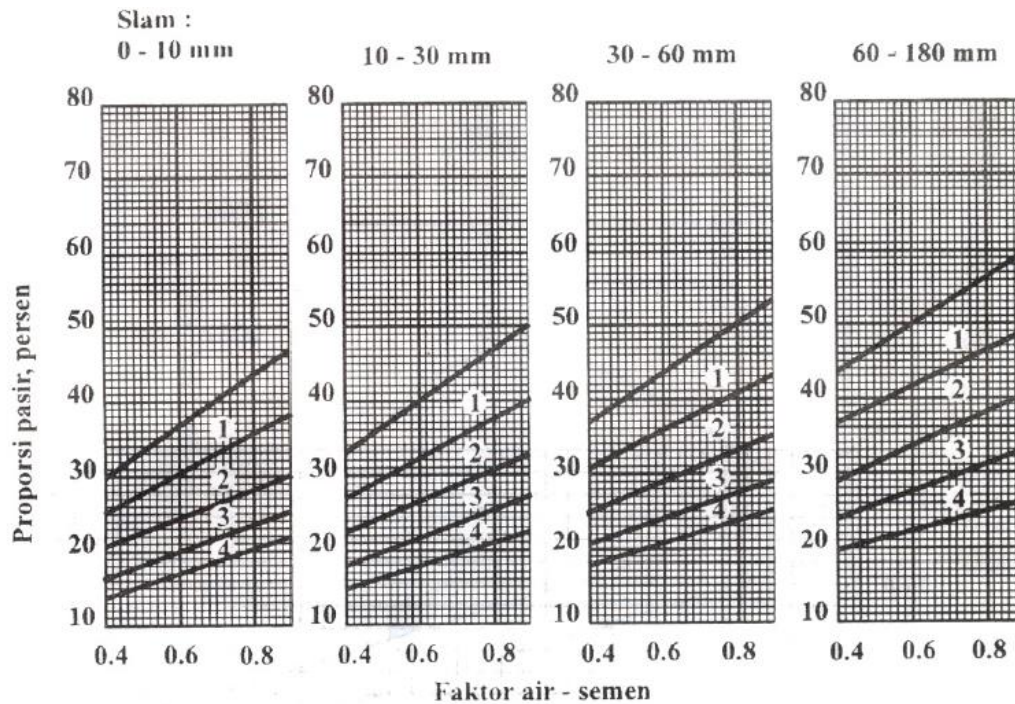
Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Proporsi agregat halus ditentukan berdasarkan nilai ukuran butir maksimum yang dipakai, faktor air semen, dan nilai slump yang digunakan serta zona gradasi agregat halus yang didapat dari gambar grafik 2.7, 2.8, 2.9 dan akan diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



Gambar 2. 7 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 10 mm



Gambar 2. 8 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimal 20 mm



Gambar 2. 9 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:

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

Dengan:

Bj_{camp} = berat jenis agregat campuran

$Bj_{agg. halus}$ = berat jenis agregat halus

$Bj_{agg. kasar}$ = berat jenis agregat kasar

P = persentase agg. halus terhadap agg. campuran

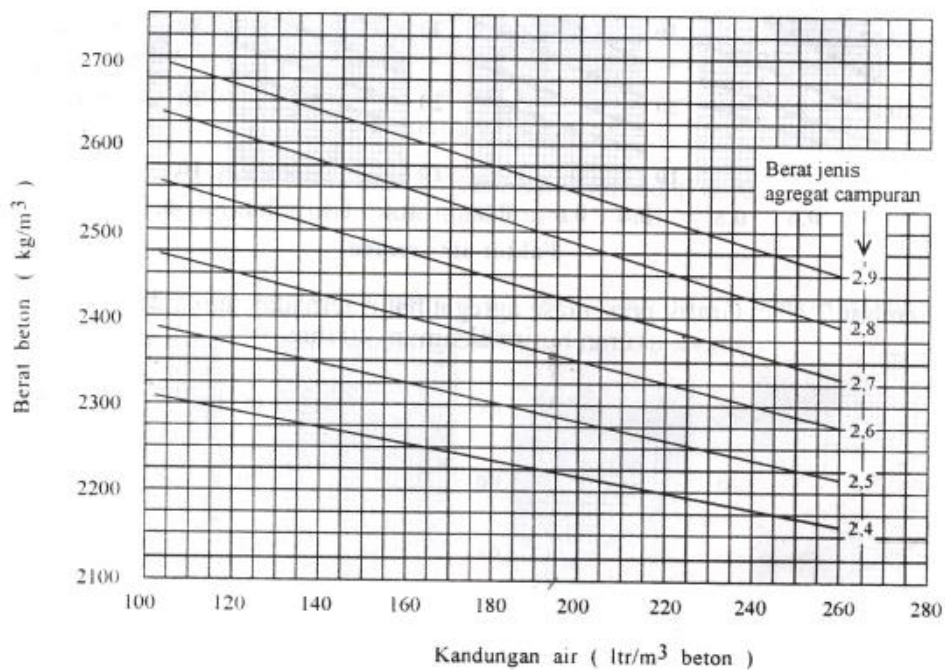
K = persentase agg. halus terhadap agg. campuran

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 (Basah)

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. 10 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

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

Dengan:

W_{campuran} = kebutuhan agregat campuran (kg)

W_{beton} = berat beton (kg/m^3)

A = Kebutuhan air (litr)

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.

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

Dengan:

W_{pasir} = kebutuhan agregat pasir (kg)

W_{campuran} = kebutuhan agregat campuran (kg)

P = persentase pasir terhadap campuran

2.7.22. Kebutuhan Agregat Kasat (Kerikil)

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

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

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

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 kasar jenuh muka (%)

Untuk mempermudah pelaksanaan, berikut ini diberikan 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 agregatkasar			....	Mm
11	Kebutuhan air		Ditetapkan	....	Ltr
12	Jumlah Semen porland			....	Kg
13	Jumlah Semen porland minimum			....	Kg
14	Penyesuaian jumlah air			....	Ltr
15	Penyesuaian jumlah faktor air-semen		Tetap	....	
16	Zona/ daerah gradasi agregat halus		Tetap	....	
17	Persen agregat halus terhadap campuran			....	%
18	Berat jenis agregat campuran			....	
19	Berat beton		Ditetapkan	....	kg/m ³
20	Kebutuhan Campuran pasir dan kerikil			....	kg/m ³
21	Kebutuhan agregat halus (pasir)			....	kg/m ³
22	Kebutuhan agregat kasar (kerikil)			....	kg/m ³

(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:

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

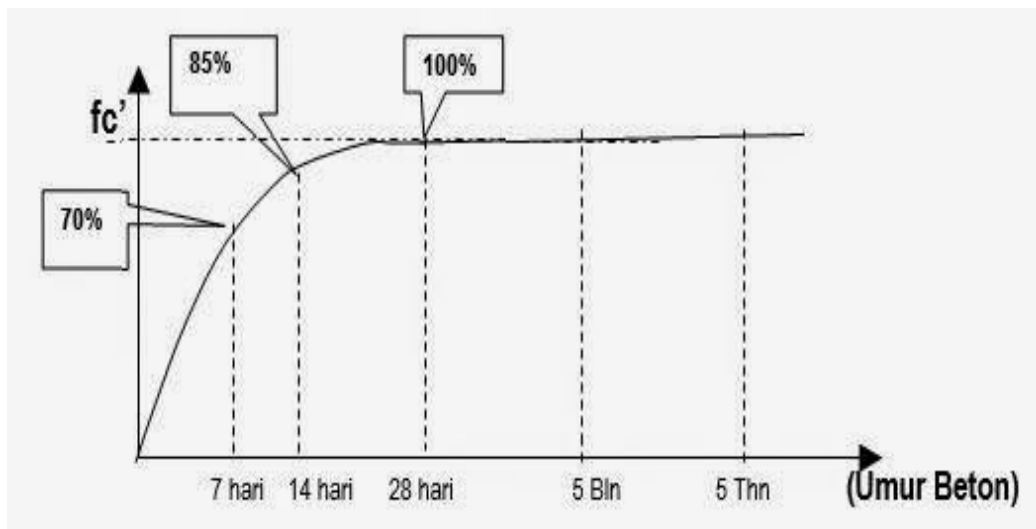
Dimana:

(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. 11 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-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 pemadatan 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. Perhitungan Kuat Tekan Beton

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. 20 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: Kardiyo Tjokrodimulyo, 2007)