

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

Menurut SNI-03-2847-2002, beton ialah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Beton saat ini banyak digunakan pada konstruksi bangunan gedung maupun konstruksi yang lain karena proses pengerjaannya yang cukup mudah.

Beton dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu beton normal dan beton khusus. Beton normal diperoleh dengan cara mencampurkan semen *portland*, air dan agregat, sedangkan beton khusus adalah beton yang ditambahkan dengan bahan khusus, misalnya *pozolan*, bahan kimia pembantu, serat, dan sebagainya. Tujuan pemberian bahan tambah ialah untuk menghasilkan beton khusus yang lebih baik daripada beton normal (Tjokrodinuljo,2007). Secara umum kelebihan beton yaitu:

1. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya tersedia di dekat lokasi pembangunan, kecuali semen *portland*. Hanya untuk daerah tertentu yang sulit mendapatkan pasir atau kerikil harga beton menjadi agak mahal.
2. Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan kebakaran, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan murah.
3. Kuat tekannya cukup tinggi, sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang kuat tariknya tinggi akan mampu digunakan untuk struktur berat. Baja tulangan boleh dikatakan mempunyai koefisien muai yang hampir sama. Saat ini beton bertulang banyak dipakai untuk pondasi, kolom, balok, dinding, jalan raya, landasan pesawat udara, gedung, penampung air, pelabuhan, bendungan, jembatan dan sebagainya.

4. Beton segar dapat dengan mudah diangkat maupun dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan dapat pula dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi murah.

Walaupun beton mempunyai beberapa kelebihan, namun beton juga memiliki beberapa kekurangan. Menurut Tjokrodinuljo (2007), kekurangan beton dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Bahan dasar penyusun beton agregat halus maupun agregat kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam pula.
2. Beton keras mempunyai beberapa kelas kekuatan sehingga harus disesuaikan dengan bagian bangunan yang akan dibuat, sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula.
3. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat dan sebagainya.

B. Klasifikasi Beton

Sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat. Beton harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton (Mulyono, 2003), sehingga bisa disesuaikan dengan keperluan atau peruntukan beton yang akan dibuat.

Menurut PBI'71 beton dibagi dalam kelas dan mutu yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kelas dan mutu beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kekuatan Tekan (Kgf/cm ²)	Tujuan Pemakaian Beton
I	B0	50 – 80	Non-Struktural
II	B1 K125 K175 K225	100 125 175 225	Rumah Tinggal Perumahan Perumahan Bendungan
III	K>225	>225	Jembatan, Bangunan Tinggi, Terowongan kereta api

C. Sifat Beton

Beberapa sifat-sifat yang dimiliki beton dan sering digunakan sebagai keunggulan dalam suatu perencanaan bangunan adalah :

1. Kekuatan

Beton bersifat mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Oleh karena itu kuat tekan beton sangat berpengaruh pada sifat yang lain. Jenis beton menurut kuat tekannya dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Jenis beton menurut kuat tekannya

Jenis Beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10
Beton normal	15 – 30
Beon pra tegang	30 – 40
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80

Sumber : *Tjokrodinuljo,2007*

2. Berat jenis

Untuk berat jenis beton dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Berat jenis beton

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,40	Struktur
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

Sumber : *Tjokrodinuljo,2007*

3. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Persamaan modulus elastisitas beton dapat dilihat pada persamaan 3.1 dan 3.2 (*Tjokrodinuljo,2007*)

$$Ee = (We)^{1,5} \times 0,043 \sqrt{fc}' \text{ untuk } We = 1,5-2,5 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Ee = 4700\sqrt{fc}' \text{ untuk beton normal } \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan :

E_e = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

W_e = Berat jenis beton (kg/m³)

f_c' = Kuat tekan beton (Mpa)

4. Susutan pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil daripada volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras beton mengalami sedikit penyusutan karena adanya penguapan air. Bagian yang susut adalah padabagian pastinya karena agregat tidak mengalami perubahan volume. Oleh karena itu semakin besar jumlah pastinya maka akan semakin besar penyusutan betonnya.

5. Kerapatan air

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan harus rapat air atau kedap air agar tidak mengalami kebocoran atau rembes saat menampung air , misalnya : plat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan lain- lain.

D. Bahan Penyusun Beton

Beton adalah suatu elemen struktur yang memiliki karakteristik yang terdiri dari beberapa bahan penyusun, diantaranya sebagai berikut :

1. Semen *Portland*

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Komposisi semen dalam beton berkisar 10% namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat, maka peranan semen menjadi penting (Mulyono, 2004).

Menurut Mulyono (2004), semen yang satu dapat dibedakan dengan semen yang lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirannya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen *portland* adalah kapur sekitar 60% - 65%, silika (SiO₂) sekitar 20% - 25% dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7% - 12%. Menurut Tjokrodimuljo (2007), sifat-sifat semen *portland* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisik dan sifat kimia.

Penemu semen (*Portland Cement*) adalah Joseph Aspdin di tahun 1824, seorang tukang batu kebangsaan Inggris. Dinamakan semen *portland*, karena awalnya semen dihasilkan mempunyai warna serupa dengan tanah liat alam di Pulau *Portland*.

Semen *portland* dibuat melalui beberapa langkah, sehingga sangat halus dan memiliki sifat adhesif maupun kohesif. Semen diperoleh dengan membakar karbonat atau batu gamping dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Bahan tersebut dicampur dan dibakar dengan suhu 1400°C - 1500°C sehingga menjadi *klinker*. Setelah itu didinginkan dan dihaluskan sampai seperti bubuk. Lalu ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2–4 % persen sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambah lain kadang ditambahkan pula untuk membentuk semen khusus misalnya kalsium klorida untuk menjadikan semen yang cepat mengeras. Semen biasanya dikemas dalam kantong 40 kg dan 50 kg (Sutikno, 2003), meskipun untuk kondisi tertentu ada semen curah.

a. Sifat fisik semen *portland*

1) Kehalusan butiran

Butiran semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dibandingkan butiran semen yang lebih kasar. Semen dengan butiran halus dapat meningkatkan kohesi pada beton segar (*fresh concrete*) dan dapat mengurangi *bleeding*, akan tetapi hal ini dapat menambah penyusutan beton lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2) Waktu ikatan

Waktu ikatan adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, mulai dari bereaksi dengan air (membentuk gel) dan menjadi kaku untuk menahan tekanan. Waktu dari saat pencampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal (*initial time*), sedangkan waktu antara terbentuknya pasta semen hingga menjadi beton yang mengeras disebut waktu ikatan akhir (*final setting time*). Pada semen *portland* biasa, waktu ikatan awal tidak boleh kurang dari 1 jam dan waktu ikatan akhir tidak boleh lebih dari 8 jam. Waktu ikatan awal diperlukan untuk memberikan peluang pembuat beton untuk mengerjakan proses pembuatan beton.

3) Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah silikat dan aluminat pada semen yang bereaksi dengan air sampai menjadi bahan perekat yang memadat dan membentuk massa yang keras. Waktu berlangsungnya proses hidrasi dihitung sampai proses hidrasi sempurna pada temperatur tertentu.

4) Berat jenis

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah $3,15 \text{ mg/m}^3$. Berat jenis bukan merupakan petunjuk kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam hitungan perbandingan campuran saja.

b. Sifat kimia semen *portland*

1) Kesegaran semen

Pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan diletakkan dalam platina pada temperatur $900-1000^\circ\text{C}$ selama 15 menit. Dalam keadaan normal, akan terjadi kehilangan berat sekitar 2% dan untuk batas maksimumnya yaitu 4%. Kehilangan berat semen ini merupakan ukuran dari kesegaran semen.

2) Sifat yang tak larut (*Insoluble Residue*)

Sisa bahan yang tidak habis bereaksi dengan air adalah sisa bahan yang tidak aktif yang terdapat pada semen. Jumlah maksimum sisa tak larut yang diizinkan adalah 0,85%

Bahan-bahan dasar semen *portland* terdiri dari bahan-bahan yang mengandung unsur kimia sebagaimana tercantum pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Susunan unsur semen *portland*

Unsur	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5 – 1

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

Secara garis besar, ada 4 senyawa kimia penting yang menyusun semen *portland* yaitu sebagai berikut :

- 1) Trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$
- 2) Dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$
- 3) Trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$
- 4) Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Dua unsur yang pertama (C_3S dan C_2S) biasanya terdapat 70% - 80% dari semen, sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat pada semen.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu sebagai berikut :

a. Jenis I

Semen *portland* untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

b. Jenis II

Semen *portland* untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

c. Jenis III

Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal tinggi.

d. Jenis IV

Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.

e. Jenis V

Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

2. Air

Air merupakan salah satu bahan yang paling penting dalam pembuatan beton karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia semen *portland* dan sebagai bahan pelicin antara semen dengan agregat agar mudah dikerjakan. Air diperlukan pada adukan beton karena berpengaruh pada sifat pengerjaan beton (*workability*).

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25%-30% dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 maka adukan beton akan sulit dikerjakan. Akan tetapi jumlah air untuk

pelicin pada adukan beton tidak boleh terlalu banyak karena dapat mempengaruhi beton setelah mengeras yaitu beton akan *porous* sehingga kekuatannya akan rendah (Tjokrodimuljo, 2007).

Air untuk campuran beton minimal yang memenuhi persyaratan air minum, akan tetapi bukan berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Penggunaan air sebagai bahan campuran beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 2007) :

- a. Air harus bersih
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume beton. Walau hanya bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butirannya. Agregat yang mempunyai ukuran berbutir besar disebut agregat kasar dan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaannya di lapangan umumnya agregat dikelompokkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimuljo, 2007), yaitu sebagai berikut :

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

Untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat berkualitas baik pula. Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Butir-butirnya tajam dan keras

- b. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.
- d. Tidak mengandung zat organis dan zat-zat reaktif terhadap alkali.

Dari jenisnya agregat dibedakan menjadi 2 yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan). Untuk beton normal sendiri agregat yang digunakan adalah agregat halus dan agregat kasar. Menurut standar SK SNI S-04-1989-F, agregat untuk bahan bangunan sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Agregat halus

- 1) Butir-butirnya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
- 2) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
- 3) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 %.
- 4) Tidak mengandung zat organis terlalu banyak, yang dilakukan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar.
- 5) Modulus butir antara 1,50-3,80 dan dengan variasi butiran sesuai standar gradasi.
- 6) Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat harus reaktif terhadap alkali.
- 7) Agregat halus dari laut atau pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

b. Agregat kasar

- 1) Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan $\leq 5\%$ bila diuji dengan goresan batang tembaga. Bila diuji dengan bejana Rudeloff atau Los Angeles seperti Tabel 3.5

Tabel 3.5 Persyaratan kekerasan/kekuatan agregat kasar untuk beton normal

Kelas dan mutu beton	Bejana Rueloff maksimum bagian yang hancur		Mesin Los Angeles maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1.7 mm (%)
	Ukuran butir 19 – 30(mm)	Ukuran butir 9.5 – 19 (mm)	
Kelas I Mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II Mutu K-125 ($f_c' = 10$ MPa) sampai ($f_c' = 20$ MPa)	22	24	40
Kelas III Mutu di atas K-225 ($f_c' = 20$ MPa)	14	16	27

Sumber : *Tjokrodinuljo, 2007*

- 2) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika diuji dengan larutan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
- 3) Tidak mengandung lumpur lebih dari 1 %.
- 4) Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- 5) Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20 %.
- 6) Modulus halus butir antara 6-7,10 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

- 7) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari: 1/5 jarak terkecil antar bidang-bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, 3/4 antar tulangan atau berkas tulangan.

4. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Pemberian bahan tambah pada adukan beton bertujuan untuk memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktalitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan (Tjokrodimuljo, 2007).

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 pada saat pengadukan atau pada saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additif* ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan (Mulyono, 2004).

Bahan tambah kimia biasanya lebih banyak berfungsi untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan pekerjaan karena dapat memperbaiki kinerja pelaksanaan. Sedangkan bahan tambah *additif* merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan, sehingga bahan *additif* lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatan.

a. Bahan tambah kimia (*chemical admixture*)

Bahan tambah kimia yaitu tambahan pada campuran beton untuk mengubah beberapa sifat beton. Bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe (Mulyono, 2004) :

1) Tipe A (*water – reducing admixtures*)

Water – reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Tujuannya adalah menjadikan adukan beton lebih lecah tanpa penambahan air, sehingga pengerjaan beton lebih mudah.

2) Tipe B (*retarding admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

3) Tipe C (*accelerating admixtures*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

4) Tipe D (*water reducing and retarding admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

5) Tipe E (*water reducing and accelerating admixtures*)

Water reducing and accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

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. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahan pengerjaannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1% - 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

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 penunda waktu pengikatan. Digunakan pada kondisi yang sempit karena sedikitnya

sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

b. Bahan tambah mineral (*additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton, sehingga bahan tambah mineral cenderung bersifat penyemenan. Bahan tambah mineral terdiri dari beberapa macam (Mulyono, 2004) diantaranya:

- 1) Abu terbang batu bara (*fly ash*) adalah butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara.
- 2) *Slag* adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan, misalnya dengan mencelupkannya dalam air.
- 3) *Silicafume* adalah material *pozzolan* yang halus, dimana komposisi *silica* lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi *silicon* atau *alloy* besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *microsilika* dengan *silicafume*).
- 4) Penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*) digunakan untuk memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat. Contoh bahan ini adalah kapur hidrolis, semen slag, *fly ash*, dan *pozzolan* yang sudah menjadi kapur atau mentah.

Keuntungan penggunaan bahan tambah mineral antara lain:

- a. Memperbaiki kinerja *workability*,
- b. Mengurangi panas hidrasi,
- c. Mengurangi biaya pekerjaan beton,
- d. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat,
- e. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika,
- f. Mempertinggi usia beton
- g. Mempertinggi kekuatan beton,
- h. Mempertinggi keawetan beton,
- i. Mengurangi penyusutan,
- j. Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

E. Kuat Tekan Beton

Kinerja sebuah beton dapat dibuktikan dengan nilai kuat tekan beton. Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima beban persatuan luas (Mulyono, 2004). Nilai kuat tekan beton seringkali menjadi parameter utama mengenal kinerja utama beton, karena kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau MPa (*Mega Pascal*).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton (Tjokrodinuljo, 2007) antara lain:

1. Umur beton

Kuat tekan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur di sini adalah umur beton dihitung sejak beton dicetak. Kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat dan lama-lama laju kenaikan itu akan semakin melambat. Laju kenaikan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : faktor air semen, suhu sekeliling beton, semen portland dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Untuk rasio kuat tekan beton berbagai umur dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Rasio kuat tekan beton berbagai umur

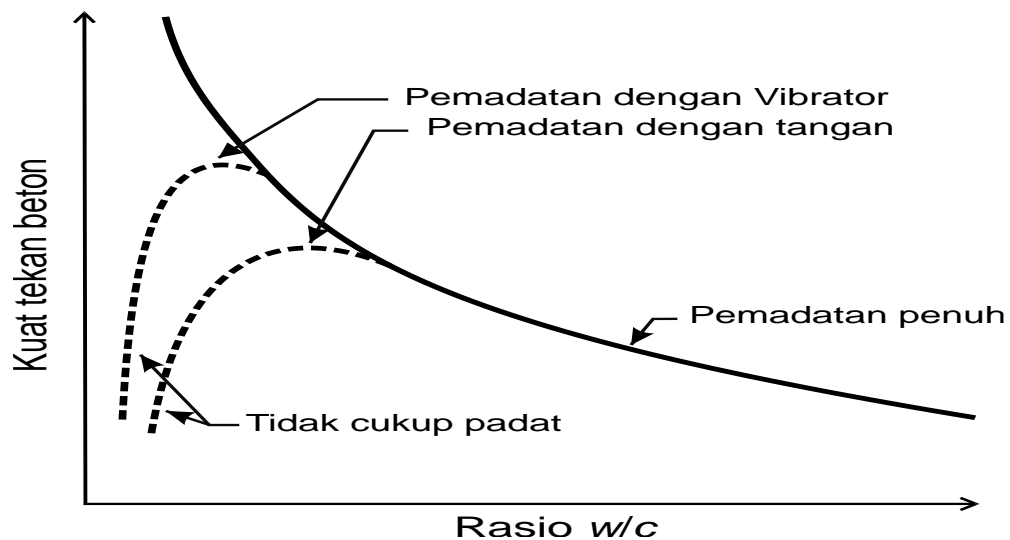
Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen <i>portland</i> biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen <i>portland</i> dengan mutu tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

2. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat antar air dan semen portland di dalam campuran adukan beton. Nilai fas juga sangat berpengaruh pada

jumlah semen yang dibutuhkan pada suatu campuran beton. Secara umum sudah diketahui bahwa semakin tinggi nilai fas, maka semakin rendah nilai kuat tekan beton yang didapatkan. Dan jika nilai fas semakin kecil, maka nilai kuat tekan beton yang didapatkan akan semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka di bawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodimuljo, 2007). Faktor air semen (fas, w/c) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian w/c bisa diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998).



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan dan fas (w/c) (Tjokrodimuljo, 2007)

Hubungan antara fas dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.1. dan Persamaan 3.3 (persamaan Abrams) yaitu (Tjokrodimuljo, 2007):

$$f_c' = P/A \dots\dots\dots 3.3$$

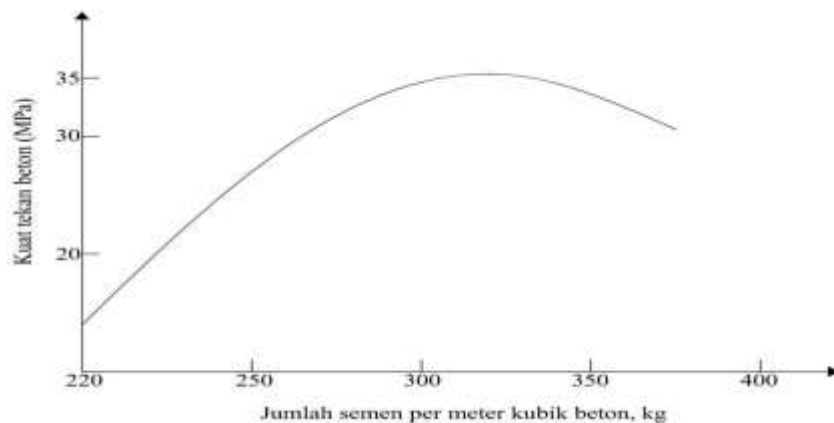
Dengan: f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

3. Jumlah pasta semen

Jumlah pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butir-butir agregat terisi penuh dengan pasta semen, serta seluruh permukaan butir agregat terselimuti pasta semen. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat dan tidak seluruh permukaan butir agregat terselimuti pasta semen, sehingga rekatan antar butir kurang kuat dan berakibat kuat tekan beton rendah. Akan tetapi, jika jumlah pasta semen terlalu banyak maka kuat tekan beton lebih didominasi oleh pasta semen, bukan agregat. Karena pada umumnya kuat tekan pasta semen lebih rendah daripada agregat, maka jika terlalu banyak pasta semen kuat tekan beton menjadi lebih rendah. Pengaruh jumlah pasta semen terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton pada faktor air semen yang sama (Tjokrodimuljo, 2007)

4. Kepadatan

Kekuatan beton akan berkurang jika kepadatan beton kurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga udara sehingga kuat tekannya berkurang karena adanya udara di dalam.

5. Jenis semen

Semen *portland* untuk pembuatan beton terdiri dari beberapa jenis, masing-masing jenis semen portland mempunyai sifat tertentu misalnya cepat mengeras dan sebagainya, sehingga mempengaruhi pula terhadap kuat tekan beton.

6. Sifat agregat

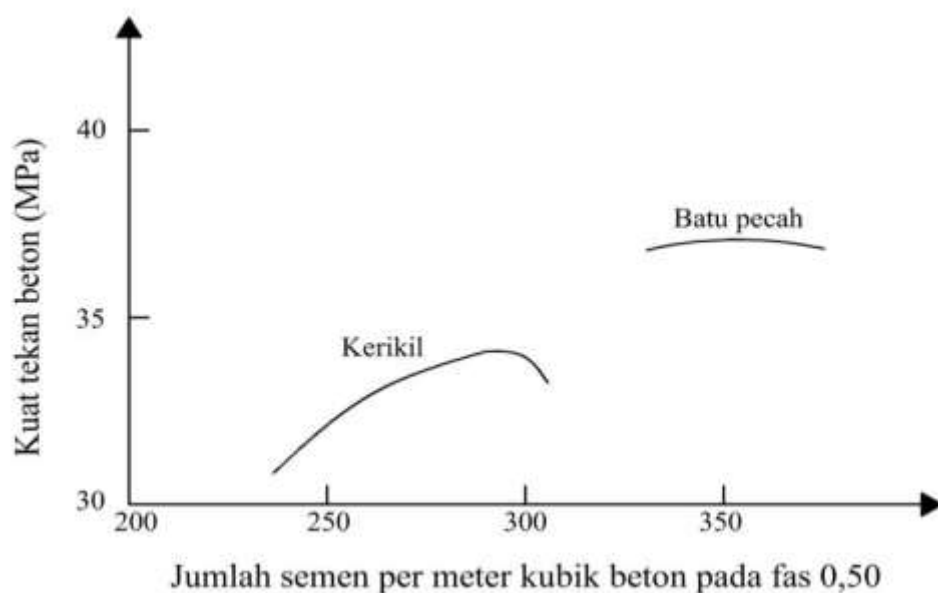
Jika agregat yang dipakai mempunyai kuat tekan yang rendah maka akan diperoleh kuat tekan beton yang rendah pula. Hal ini disebabkan karena sekitar 70% volume beton terisi oleh agregat. Agregat terdiri atas agregat halus dan agregat kasar. Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain (Tjokrodimuljo, 2007):

a. Kekerasan permukaan

Karena permukaan agregat yang kasar dan tidak licin membuat retakan antara permukaan agregat dan pasta semen lebih kuat dari pada permukaan agregat yang halus dan licin.

b. Bentuk agregat

Karena bentuk agregat yang bersudut misalnya pada batu pecah, membuat butir-butir agregat itu sendiri saling mengunci dan digeserkan berbeda dengan batu kerikil yang bulat. Oleh karena itu beton yang dibuat dari batu pecah lebih kuat dari pada beton yang dibuat dari kerikil seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Hubungan jumlah semen dan kuat tekan beton pada fas 0,5
(Tjokrodimuljo, 2007)

c. Kuat tekan agregat

Karena sekitar 70 % volume beton terisi oleh agregat, sehingga kuat tekan beton didominasi oleh kuat tekan agregat. Jika agregat yang dipakai mempunyai kuat tekan yang rendah akan diperoleh beton yang kuat tekannya rendah pula.

F. Nilai *Slump*

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya, semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan.

Kelecakan beton biasanya di periksa dengan uji *slump* untuk dapat memperoleh nilai *slump* yang kemudian dipakai sebagai tolok ukur kelecakan beton segar untuk kemudahannya dalam mengerjakan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelecakan beton antara lain (Tjokrodumuljo, 2007) :

- a. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton
- b. Jumlah pasta dalam campuran adukan
- c. Gradasi agregat
- d. Bentuk butiran agregat
- e. Besar butir maksimum agregat

Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Penetapan nilai *slump* adukan beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan stuktur dibawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber : Tjokrodumuljo, 2007

G. Perencanaan Campuran Beton

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. Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum (Mulyono, 2004).

Perancangan campuran adukan beton bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi jumlah bahan yang dibutuhkan untuk suatu campuran adukan beton. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan campuran beton adalah kuat tekan yang direncanakan pada umur 28 hari, sifat mudah dikerjakan (*workability*), sifat awet dan ekonomis. Adapun perancangan campuran adukan beton ini menggunakan SK SNI : 03-2834-2002 (Tjokrodimuljo, 2007), dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Mengambil kuat tekan beton yang direncanakan f_c' pada umur tertentu.
2. Menghitung deviasi standar menurut ketentuan berikut :
 - a. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai data hasil uji yang memenuhi persyaratan: mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu dan kondisi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan, dan hanya ada sebanyak 15 sampai 29 buah hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengalinya.
 - b. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai data hasil uji yang memenuhi persyaratan: mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu dan kondisi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_c' harus diambil tidak kurang dari $(f_c' + 12)$ MPa.
3. Menghitung nilai tambah

Perhitungan nilai tambah (M) dihitung dengan cara berikut :

- a. Jika produksi beton mempunyai pengalaman lapangan, maka nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar S dengan 2 rumus atau persamaan 3.4 dan 3.5 berikut dan diambil yang terbesar :

$$M = 1,34 \cdot S \dots\dots\dots (3.4)$$

$$M = 2,33S - 3,5 \dots\dots\dots (3.5)$$

- b. Jika produksi beton tidak mempunyai pengalaman lapangan, maka nilai tambah dapat diambil dari tabel. 3.8.

Tabel 3.8 Nilai tambah M jika pelaksana mempunyai pengalaman

Kuat tekan yang direncanakan, f_c' (MPa)	Nilai tambah (MPa)
Kurang dari 21	7,0
21 s/d 35	8,5
Lebih dari 35	10,0

Sumber : *Tjokrodijolo,2007*

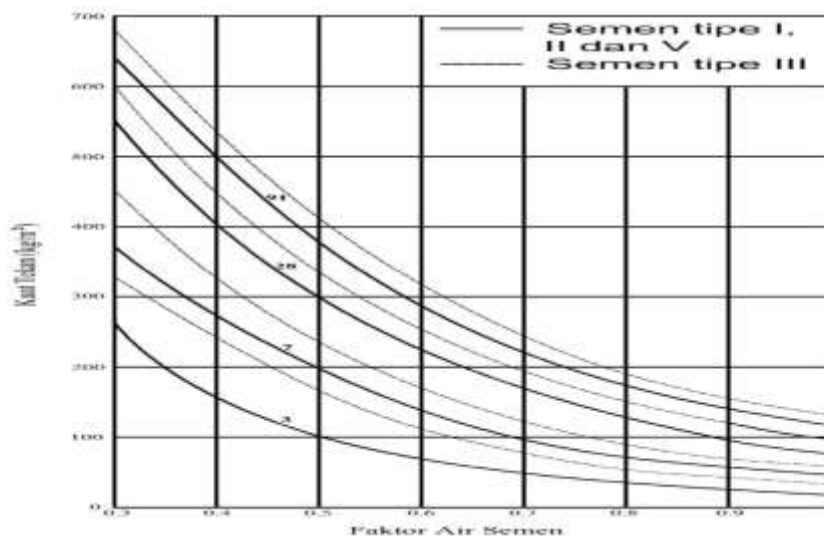
4. Menghitung nilai kuat tekan beton rata-rata menurut rumus atau persamaa 3.6:

$$f'_{cr} = f_c' + M \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata MPa

f_c' = kuat tekan yang direncanakan Mpa

5. Menetapkan jenis semen.
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dalam bentuk alami atau di pecahkan.
7. Menentukan nilai faktor air semen. Untuk benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dipergunakan seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder (*Tjokrodijolo,2007*)

8. Menetapkan nilai faktor air semen maksimum dari Tabel 3.

Tabel 3.9 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dalam lingkungan khusus

Keadaan beton	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik sinar matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik sinar matahari langsung	275	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	375	0,52
Beton yang terus-menerus berhubungan dengan:		
a. Air tawar	275	0,57
b. Air laut	375	0,52

Sumber : *SNI-T-15-1991-03:7* dalam *Mulyono, 2004*

9. Menetapkan nilai *slump*, dapat diperoleh dari Tabel 3.10.Tabel 3.10 Nilai *slump* beton segar

Pemakaian	Maksimum (mm)	Minimum (mm)
Dinding, plat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massa (beton massal)	7,5	2,5

Sumber : *Tjokrodinuljo, 2007*

10. Menetapkan ukuran agregat maksimum.

11. Menentukan kebutuhan air, jika jenis agregat sudah ditentukan dipecah atau alami dan ukuran maksimum agregat sudah di tentukan, maka kebutuhan air dapat lihat Tabel 3.11 dan dihitung menurut Persamaan 3.7

$$A = 0,67A_h + 0,33 A_k \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan : A = jumlah air yang dibutuhkan , liter/m³

A_h = jumlah air yang dibutuhkan untuk agregat halus nya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan untuk agregat kasarnya

Tabel 3.11 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton

Besarnya ukuran maksimal agregat (mm)	Jenis agregat	Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)			
		Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	196
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

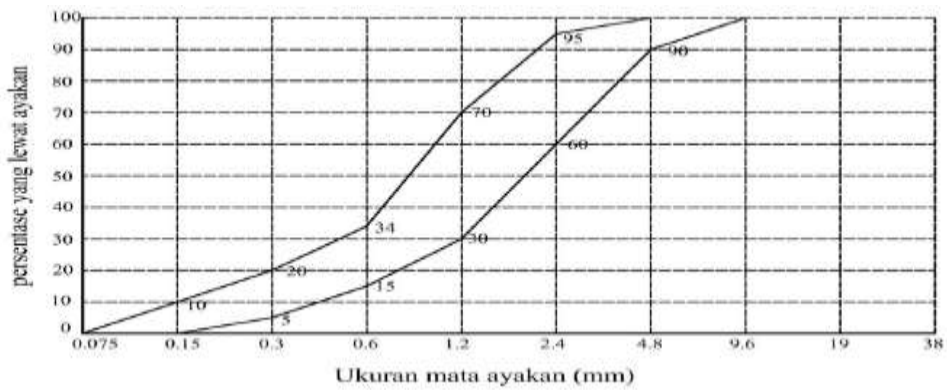
Sumber : *Tjokrodinuljo, 2007*

12. Menghitung kebutuhan air yang diperlukan dengan cara jumlah kebutuhan air (dari langkah ke-11) dibagi nilai faktor air semen.
13. Menentukan jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan dapat diabaikan.
14. Menentukan jumlah semen minimum, dapat dilihat pada Tabel. 3.7 di atas, kemudian pilih semen yang terbesar dari kedua semen tersebut.
15. Menentukan kebutuhan air dan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan, namun jika tidak lebih kecil maka dapat diabaikan atau tidak ada.
16. Menentukan susunan besar butir agregat halus (pasir) kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayakannya menurut standar yang berlaku, kurva dari pasir dapat dibandingkan dengan kurva yang tertera dalam tabel 3.12 atau gambar 3.5 untuk gradasi pasir daerah 1, gambar 3.6 untuk gradasi pasir daerah 2, gambar 3.7 unrtuk garadasi pasir daerah 3, gambar 3.8 untuk gradasi pasir daerah 4, dan tabel 3.13 atau gambar 3.9 untuk agregat kasar.

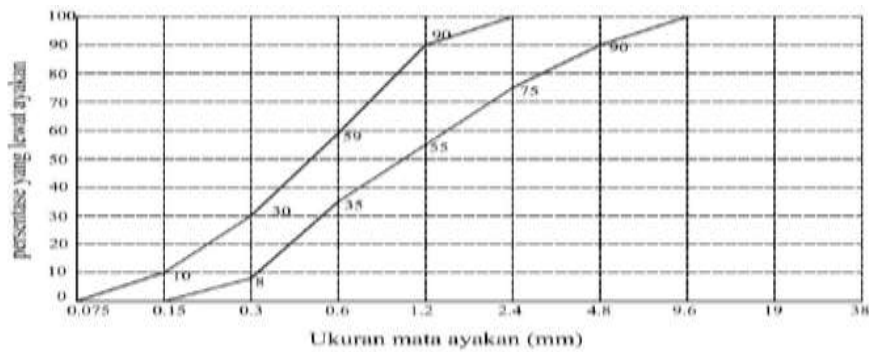
Tabel 3.12 Batas gradasi pasir

Lubang ayakan		Persentase berat butir yang lewat ayakan (%)			
British (mm)	ASTM (No)	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
4,75	3/16 inci	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	8	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	16	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	30	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	50	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	100	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Mulyono, 2004



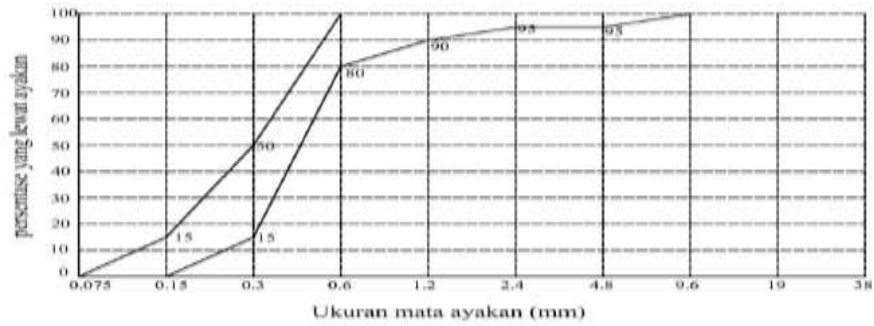
Gambar 3.5. Batas gradasi pasir pada daerah no.1 (Mulyono, 2004)



Gambar 3.6. Batas gradasi pasir pada daerah no.2 (Tjokrodimuljo, 2007)



Gambar 3.7. Batas gradasi pasir pada daerah no.3 (Tjokrodimuljo, 2007)

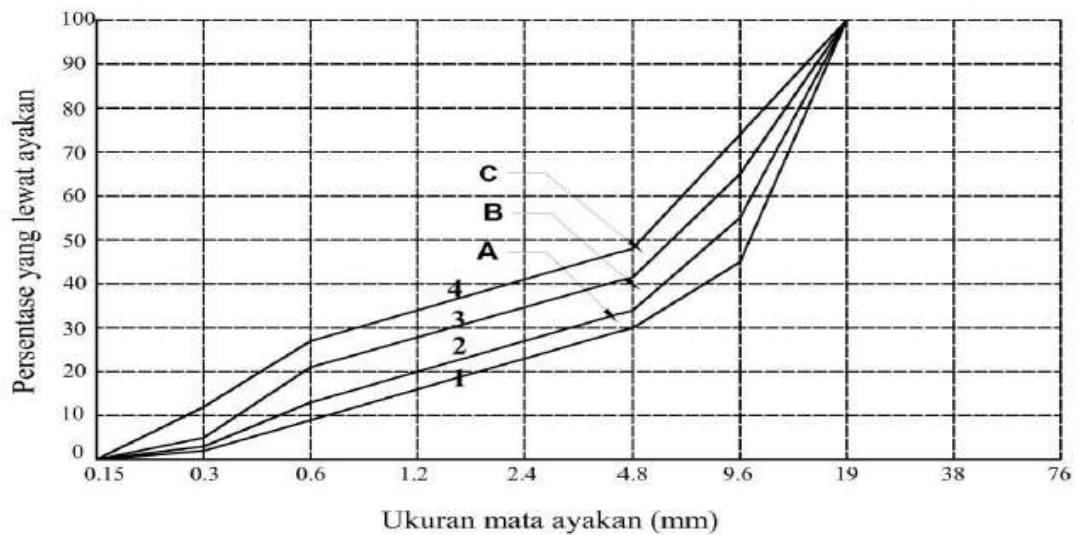


Gambar 3.8. Batas gradasi pasir pada daerah no.4 (Tjokrodimuljo, 2007)

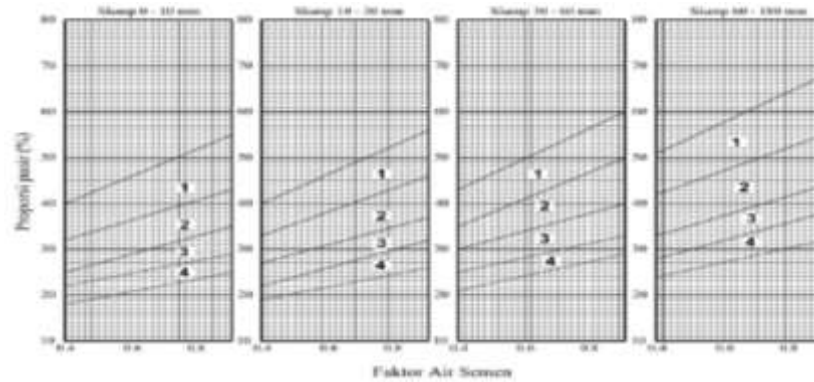
Tabel 3.13 Batas gradasi agregat dengan ukuran butir maksimum 20 mm

Lubang ayakan		Persentase berat butir yang lewat ayakan (%)			
British (mm)	ASTM (No)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
19	3/4 inci	100	100	100	100
9,6	3/8 inci	45	55	65	75
4,8	3/16 inci	30	35	42	48
2,4	8	23	28	35	42
1,2	16	16	21	28	34
0,6	30	9	12	21	27
0,3	50	2	3	5	12
0,15	10	0	0	0	0

Sumber : Mulyono, 2004



Gambar 3.9. Batas gradasi kerikil dengan besar butir maksimum 20 mm (Tjokrodimuljo, 2007)



Gambar 3.10. Proporsi agregat halus pada agregat maksimum 20 mm
(Tjokrodimuljo, 2007)

17. Tentukan persentase pasir dengan menggunakan Gambar 3.10, dengan diketahuinya ukuran butir agregat maksimum (dari langkah ke-10), nilai *slump* (dari langkah ke-9), nilai faktor air semen (dari langkah ke-7), dan daerah susunan agregat (dari langkah ke-16), maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada Gambar 3.10. Dari persentase jumlah pasir yang dibutuhkan maka dapat diketahui juga jumlah persentase kebutuhan agregat kasar.
18. Menghitung berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus (persamaan 3.8):

$$bj_{camp} = (x_{bjh}) + (x_{bjk}) \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan :

bj_{camp} = berat jenis agregat campuran

bj_h = berat jenis agregat halus

bj_k = berat jenis agregat kasar

kh = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran

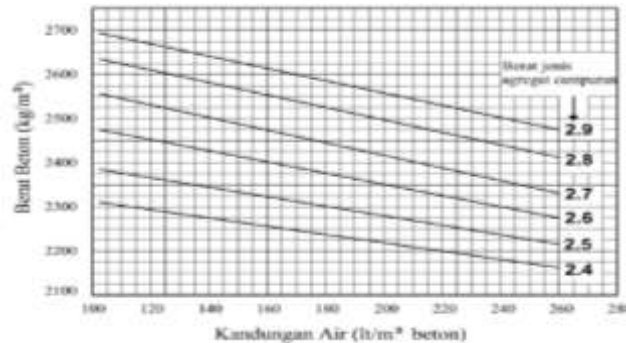
kk = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan berat jenis agregat kasar diperoleh dari pemeriksaan laboratorium, namun jika belum ada maka dapat diambil sebesars :

$bj = 2,60$ untuk agregat tak dipecah/alami

$bj = 2,70$ untuk agregat pecahan

18. Tentukan berat jenis beton menurut gambar 3.11 yang ada di bawah ini, sesuai dengan data kebutuhan air (dari langkah ke-11 atau ke-15) dan dari bj camp yang di dapat dari langkah ke-18.



Gambar 3.11. Hubungan antara kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton (Tjokrodimuljo, 2007)

20. Menghitung kebutuhan agregat gabungan yang didapat dari berat jenis beton dikurangi jumlah kebutuhan semen dan dikurangi jumlah kebutuhan air.
21. Menghitung kebutuhan agregat halus yang besarnya adalah hasil kali presentasi pasir (langkah ke-17) dan agregat campuran (langkah ke-20).
22. Menghitung kebutuhan agregat kasar yang besarnya adalah kebutuhan agregat gabungan (langkah ke-20) dikurangi kebutuhan agregat halus (langkah ke-21).

Dan dari langkah-langkah tersebut di atas dapat diketahui akan kebutuhan bahan campuran adukan beton untuk 1 m³ beton.

H. Perawatan Beton

Perawatan beton ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan air) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, karena udara yang panas maka akan terjadi proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonnya (Tjokrodimuljo, 2007).

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini dilakukan minimal selama 7 hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus dan stabilitas dari dimensi struktur.

Perawatan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu sebagai berikut (Mulyono, 2004) :

1. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab
2. Menaruh beton segar dalam genangan air
3. Menaruh beton segar dalam air
4. Menyelimuti permukaan beton dengan air
5. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
6. Menyirami permukaan beton secara kontinyu
7. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*

Menurut SNI-2493-2011 perawatan benda uji beton di laboratorium dapat dilakukan sebagai berikut :

a. Penutupan setelah pekerjaan akhir

Untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, beton segera ditutup setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih plat yang tak menyerap dan reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet dan kedap air. Goni basah dapat digunakan untuk menutup, tetapi harus diperhatikan untuk menjaga goni tetap basah hingga benda uji dibuka dari cetakan. Meletakkan lembaran plastik di atas goni akan melindungi goni untuk tetap basah. Melindungi permukaan luar cetakan dari kontak dengan goni basah atau sumber air lainnya sedikitnya untuk 24 jam setelah silinder dicetak. Air dapat menyebabkan cetakan mengembang dan merusakkan benda uji pada umur awal.

b. Pembukaan Cetakan

Pembukaan benda uji dari cetakan yaitu ± 8 jam sampai 24 jam setelah pencetakan.

c. Lingkungan perawatan

Kecuali bila ada persyaratan lain, semua benda uji harus dirawat basah pada temperatur $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian, dengan catatan temperatur dalam pasir basah atau di bawah goni basah atau bahan yang serupa akan selalu lebih rendah dari atmosfer sekitarnya jika penguapan terjadi. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus pada lingkungan bebas getaran. Seperti yang diberlakukan pada perawatan benda uji yang dibuka, perawatan basah berarti bahwa benda uji yang akan diuji harus memiliki air bebas yang dijaga pada seluruh permukaan pada semua waktu. Kondisi ini dipenuhi dengan merendam dalam air jenuh kapur dan dapat dipenuhi dengan penyimpanan dalam ruang jenuh air sesuai dengan AASTHO M 201. Benda uji tidak boleh diletakkan pada air mengalir atau air yang menetes. Rawat silinder beton struktur ringan sesuai dengan standar ini atau sesuai dengan SNI 03-3402-1994.

d. Benda uji kuat lentur

Benda uji kuat lentur dirawat sesuai dengan a dan b, kecuali selama dalam penyimpanan untuk masa minimum 20 jam segera sebelum pengujian benda uji direndam dalam cairan jenuh kapur pada $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ saat terakhir masa perawatan, antara waktu benda uji dipindahkan dan perawatan sampai pengujian diselesaikan. Pengeringan benda uji harus dihindarkan. Dengan catatan jumlah pengeringan yang relatif sedikit dari permukaan benda uji lentur akan menyebabkan tegangan tarik pada serat ekstrim yang akan mengurangi secara berarti kuat lentur yang seharusnya.

Lama pelaksanaan *curing*/perawatan beton sendiri berpengaruh pada beberapa hal antara lain :

- a. Mutu / kekuatan beton (*Strength*)
- b. Keawetan struktur beton (*Durability*)
- c. Kekedapan air beton (*Water Tightness*)
- d. Ketahanan permukaan beton (*Wear Resistance*)

- e. Kestabilan volume yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (volume stability : shrinkage and expansion)

Berikut adalah beberapa peraturan mengenai berapa lama pelaksanaan perawatan/*curing* beton :

- a. SNI 03-2847-2002 mensyaratkan *curing* selama :
1. 7 hari untuk beton normal
 2. 3 hari untuk beton dengan kuat tekan awal tinggi
- b. ASTM C – 150 mensyaratkan *curing* untuk
1. Semen tipe I, waktu minimum *curing* selama 7 hari
 2. Semen tipe II, waktu minimum *curing* selama 10 hari
 3. Semen tipe III, waktu minimum *curing* selama 3 hari
 4. Semen tipe IV, waktu minimum *curing* selama 14 hari

Fungsi utama perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari :

1. Kehilangan air-semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*
2. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama
3. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar