

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Beton**

Menurut SNI 2847 - 2013 beton adalah campuran yang terdiri dari semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Sifat dan karakteristik bahan penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat, baik itu beton untuk rumah tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

Beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, maupun pelat lantai pada konstruksi gedung. Beton juga digunakan pada konstruksi bangunan air, seperti bendung, bendungan, saluran air, dan drainase perkotaan. Selain itu pada konstruksi jalan, beton digunakan pada pekerjaan *rigid pavement*. Beton hampir digunakan dalam semua aspek ilmu teknik sipil.

Semakin meningkatnya pemakaian beton maka diperlukan komposisi bahan penyusun yang memenuhi spesifikasi teknis yang ditentukan. Menurut Nawy (1990) parameter-parameter yang mempengaruhi kekuatan beton adalah :

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

#### **2.2 Sifat Beton Segar**

Menurut Tjokrodinuljo (2007) beton segar memiliki beberapa sifat yang digunakan sebagai acuan antara lain:

### 2.2.1 Keleccakan

Keleccakan (*workability*) merupakan kemudahan adukan beton untuk diaduk dalam bejana pengaduk, diangkut dari tempat pengadukan ke lokasi penuangan, dituang dari bejana pengaduk ke cetakan beton, dan dipadatkan setelah beton segar berada dalam cetakan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keleccakan beton segar antara lain :

1. Jumlah air

Semakin banyak air maka beton semakin mudah untuk dikerjakan.

2. Jumlah pasta

Semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya akan lebih tinggi.

3. Gradasi agregat

Apabila gradasi campuran agregat halus dan agregat kasar mengikuti gradasi agregat campuran yang telah disarankan oleh standar, maka adukan beton akan mempunyai keleccakan yang baik sehingga relatif mudah dikerjakan.

4. Bentuk butiran agregat

Pemakaian butir-butir agregat yang berbentuk bulat tampak lebih encer sehingga lebih mudah dikerjakan daripada butir agregat yang bersudut.

5. Besar butir maksimum agregat

Pemakaian butir maksimum agregat yang lebih besar tampak lebih encer sehingga lebih mudah untuk dikerjakan daripada butir maksimum yang ukurannya lebih kecil.

### 2.2.2 Segregation

*Segregation* adalah kecenderungan butiran agregat kasar untuk memisahkan diri dari campuran beton segar karena beton tidak homogen (seragam). *Segregation* dapat dikurangi dengan cara sebagai berikut.

1. Memperbanyak semen *Portland*
2. Mengurangi jumlah air
3. Memperkecil ukuran maksimum agregat
4. Menggunakan agregat kasar yang permukaannya halus

5. Memperkecil tinggi jatuhnya adukan saat penuangan (kurang dari 1 meter)

### 2.2.3 *Bleeding*

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton segar dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini akan membawa semen dan butiran agregat halus, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Peristiwa *bleeding* dipengaruhi oleh: susunan butir agregat, banyaknya air, kecepatan hidrasi, dan proses pemadatan. *Bleeding* dapat dikurangi dengan cara memperbanyak semen, menggunakan air yang sedikit dan menggunakan pasir yang lebih banyak.

## 2.3 Sifat Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki beberapa sifat yang digunakan sebagai acuan seperti berikut ini.

### 2.3.1 Kekuatan Beton

Beton bersifat getas, sehingga memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tariknya rendah. Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

No	Jenis beton	Kuat Tekan (MPa)
1	Beton sederhana	10
2	Beton normal	15 - 30
3	Beton prategang	30 - 40
4	Beton kuat tekan tinggi	40 - 80
5	Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

### 2.3.2 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat menggunakan agregat normal mempunyai berat jenis sekitar 2,3 - 2,4. Jenis beton menurut berat jenis dan pemakaiannya seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

No	Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
1	Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
2	Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
3	Beton normal (biasa)	2,30 – 2,40	Struktur
4	Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

### 2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastinya. Untuk rumus perhitungan modulus elastisitas beton sebagai berikut :

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

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

Keterangan :

$E_c$  = modulus elastisitas beton (MPa)

$W_c$  = berat jenis beton

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

### 2.3.4 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dibandingkan volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras, beton mengalami sedikit penyusutan akibat penguapan air. Bagian yang menyusut adalah pastinya karena agregat

tidak merubah volume. Sedangkan pasta semen yang faktor air semennya semakin tinggi maka semakin besar pula susutannya.

### **2.3.5 Kerapatan Air**

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak bocor, misalnya : pelat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan sebagainya. Beton rapat air (kedap air) adalah beton yang sangat padat sehingga air tidak dapat meresap atau rembes melalui pori-pori di dalam beton. Beton kedap air juga bertujuan untuk mencegah karat pada baja tulungannya.

## **2.4 Bahan Penyusun Beton**

Beton umumnya terdiri dari tiga bahan penyusun utama yaitu agregat, semen, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton. Berikut ini merupakan bahan penyusun beton :

### **2.4.1 Agregat**

Menurut SNI 2847 - 2013 agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton dengan persentase sekitar 60% - 70% dari berat campuran beton (Mulyono, 2019).

#### **2.4.1.1 Agregat Halus**

Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat halus terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering.

#### **2.4.1.2 Agregat Kasar**

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 yang terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

### 2.4.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran kimiawi yang aktif setelah bereaksi dengan air. Fungsi utama semen adalah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Komposisi semen sekitar 10% dari volume beton.

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis :

1. Jenis I (normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang *relative* sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat.
3. Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi, untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat.

### 2.4.3 Air

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

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gram/liter, kandungan garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gram/liter, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gram/liter.

Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodinuljo, 2007). Secara praktis, air yang baik untuk digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Air yang digunakan sebagai campuran beton dapat digunakan juga sebagai media perawatan, dengan syarat air tersebut tidak menimbulkan endapan atau noda yang dapat merusak warna permukaan beton.

## **2.5 Pengujian Bahan Penyusun Beton**

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton bertujuan untuk memahami sifat dan karakteristik bahan penyusun beton, selain itu pengujian bahan juga berfungsi untuk menganalisis dampak dari sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar maupun pada beton yang telah mengeras.

### **2.5.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat**

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh susunan butiran (gradasi) pada agregat halus maupun agregat kasar berdasarkan SNI 03-1968-1990 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji.
2. Satu set saringan untuk agregat halus dengan ukuran 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No.4); 2,36 mm (No.8); 1,18 mm (No.10); 0,60 mm (No.30); 0,30 mm (No. 60); 0,15 (No.100); dan 0,075 mm (No.200).
3. Satu set saringan untuk agregat kasar dengan ukuran 50 mm (2"); 37,5 mm (1 1/2"); 25 mm (1"); 19,10 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); dan 9,5 mm (3/8").
4. Pengguncang saringan mekanis.
5. Oven dengan suhu (110 ± 5) °C.
6. Alat pemisah contoh.
7. Talam.
8. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Langkah-langkah pengujian analisa saringan sebagai berikut.

1. Peralatan dan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu.
2. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
3. Setelah benda uji dikeringkan, lalu ditimbang kembali.
4. Siapkan satu set saringan yang telah disusun dari ukuran yang besar ke ukuran yang kecil.
5. Pasang satu set saringan yang telah diisi benda uji pada mesin pengguncang selama 15 menit.
6. Setelah dikeluarkan dari mesin pengguncang, timbang berat benda uji yang tertahan pada setiap nomor saringan.

### **2.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar**

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air. Pengujian ini mengacu pada SNI 1969:2008 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Timbangan sesuai dengan persyaratan SNI 03-6414-2002 dan dilengkapi peralatan untuk menggantung wadah contoh uji di dalam air.
2. Keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No.6) atau ember dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm.
3. Oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
4. Tangki air yang kedap berfungsi sebagai tempat contoh uji dan wadahnya akan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan.
5. Alat penggantung (kawat).
6. Saringan 4,75 mm (No.4).

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu.

2. Keringkan benda uji dengan oven pada suhu  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.
3. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan (kira-kira  $50 ^\circ\text{C}$ ) kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering oven (A).
4. Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama  $24 \pm 4$  jam.
5. Keluarkan benda uji dari air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air tersebut hilang.
6. Timbang benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya sampai nilai 1,0 gram atau 0,1 persen dari berat contoh (B).
7. Letakkan benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air (C) yang mempunyai kerapatan  $(997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$  pada temperatur  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .
8. Kemudian dihitung

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B - C)} \quad (2.3)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B}{(B - C)} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A - C)} \quad (2.5)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \% \quad (2.6)$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C = berat benda uji di dalam air (gram)

### 2.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan, berat jenis semu, serta penyerapan air pada agregat halus berdasarkan SNI 1970-2008 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain.

1. Timbangan harus sesuai dengan persyaratan SNI 03-6414-2002
2. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
3. Kerucut terpancung.
4. Batang penumbuk.
5. Saringan No.4 (4,75 mm).
6. Oven suhu ( $110 \pm 5$ )°C
7. Thermometer dengan ketelitian pembacaan 1°C.
8. Talam.
9. Bejana tempat air.
10. Pompa hampa udara atau tungku.
11. Saringan dengan ukuran 4,75 mm (No.4).

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu ( $110 \pm 5$ )°C sampai berat tetap. Kemudian basahi dengan air baik dengan cara melembabkan sampai 6 % atau merendam dalam air selama ( $24 \pm 4$ ) jam.
2. Buang air perendam dengan hati-hati, lalu tebarkan agregat diatas talam, keringkan pada aliran udara yang hangat, dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai keadaan jenuh kering permukaan.
3. Periksa keadaan jenuh kering permukaan dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
4. Isi piknometer dengan air sebagian saja, setelah itu masukan benda uji jenuh kering permukaan ( $500 \pm 10$ ) gram. Tambahkan kembali air sampai 90 % kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
5. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
6. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (C).

7. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
8. Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (A).
9. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  (B).
10. Kemudian hitung:

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (2.7)$$

$$\text{Berat jenis jenuh permukaan kering} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (2.8)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (2.9)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \% \quad (2.10)$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

S = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

#### 2.5.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen. Pengujian kadar air agregat sesuai dengan SNI 03-1971-1990 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan adalah.

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
2. Oven dengan suhu sampai  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
3. Talam logam tahan karat untuk mengeringkan benda uji.

Prosedur pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut.

1. Berat talam ditimbang dan dicatat ( $W_1$ )

2. Benda uji dimasukkan ke dalam talam, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya ( $W_2$ ).
3. Berat benda uji dihitung ( $W_3 = W_2 - W_1$ ).
4. Contoh benda uji dikeringkan beserta talam dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ .
5. Setelah kering, contoh benda uji beserta talam ditimbang dan dicatat ( $W_4$ ).
6. Berat benda uji kering dihitung ( $W_5 = W_4 - W_1$ ).
7. Kemudian dihitung :

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100 \% \quad (2.11)$$

Keterangan :

$W_3$  = berat benda uji semula (gram)

$W_5$  = berat benda uji kering (gram)

### 2.5.5 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat yang meliputi perhitungan berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat berdasarkan SNI 03-4804-1998 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut.

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 2 kg untuk contoh agregat halus, dan ketelitian 1 gram kapasitas 20 kg untuk contoh agregat kasar.
2. Batang penusuk.
3. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air.
4. Sekop atau sendok sesuai dengan kebutuhan.
5. Peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar daripada diameter takaran yang dikalibrasi.

Prosedur pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara sebagai berikut.

1. Kondisi padat
  - a. Cara tusuk

- 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk.
- 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti langkah diatas.
- 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
- 7) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
- 8) Hitung berat isi agregat.

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (2.12)$$

- 9) Hitung kadar rongga udara.

$$M_{SSD} = M \left[ 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right] \quad (2.13)$$

Keterangan :

M = berat isi agregat kondisi kering oven ( $\text{kg/m}^3$ )

G = berat agregat dalam penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar ( $\text{m}^3$ )

$M_{SSD}$  = berat isi jenuh kering permukaan ( $\text{kg/m}^3$ )

A = absorpsi (%)

b. Cara ketuk

- 1) Isi agregat dalam penakar dalam tiga tahap sesuai ketentuan.
- 2) Padatkan untuk setiap lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50 kali.
- 3) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.

- 4) Tentukan berat penakar dan isinya sama seperti langkah pada a (6).
  - 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah a (8) dan a (9).
2. Kondisi gembur
- a. Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
  - b. Ratakan permukaan dengan batang perata.
  - c. Tentukan berat penakar dan isinya, dan berat penakar sendiri.
  - d. Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
  - e. Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah pada butir b (5).

### **2.5.6 Pengujian Kadar Lumpur**

Tujuan pengujian ini adalah untuk menghasilkan mutu beton yang baik (kuat tekan tinggi), maka bahan penyusun beton harus memenuhi syarat teknis. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F salah satu syarat teknis adalah agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % berat pasir.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Gelas ukur.
2. Alat pengaduk.

Bahan yang digunakan adalah contoh pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air biasa.

Prosedur Pelaksanaan :

1. Contoh benda uji dimasukan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahkan pada gelas ukur untuk melarutkan lumpur.
3. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
4. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir ( $V_1$ ) dan tinggi lumpur ( $V_2$ ) diukur.
6. Kemudian hitung :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan :

$V_1$  = tinggi pasir (gram)

$V_2$  = tinggi lumpur (gram)

### 2.5.7 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no.12 terhadap berat semula dalam persen. Pengujian keausan agregat berdasarkan SNI 2417:2008 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Mesin abrasi Los Angeles.
2. Saringan no 12 (1,7 mm) saringan saringan lainnya.
3. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
4. Bola bola baja.
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu ( $110 \pm 5$ )°.
6. Alat bantu pan dan kuas.

Benda uji pengujian keausan agregat antara lain :

1. Gradasi A : material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 37,5 mm sampai dengan agregat ukuran butiran 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
2. Gradasi B : material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 19,0 mm sampai dengan agregat ukuran butiran 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
3. Gradasi C : material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 9,5 mm sampai dengan agregat ukuran butiran 4,75 mm. Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.

Prosedur pelaksanaan pengujian abrasi adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dibersihkan dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.

2. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles
3. Mesin diputar dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 RPM dengan jumlah putaran gradasi 500 putaran.
4. Setelah selesai pemutaran, benda uji dikeluarkan dari mesin kemudian disaring menggunakan saringan no. 12 (1,7 mm) dan butiran yang tertahan di atasnya dicuci hingga bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
5. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20.
6. Kemudian hitung :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \quad (2.15)$$

Dengan :

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram)

## 2.6 Rancangan Campuran Beton Normal

Pada dasarnya perencanaan campuran beton bertujuan untuk menghasilkan suatu proposi campuran beton yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dari segi biaya pembuatannya.

Sebelum melakukan perancangan, perlu dipersiapkan dahulu data hasil pengujian bahan penyusun beton. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu dalam penyelesaian perancangan campuran beton.

### 2.6.1 *Dreux Gorisse*

Metode ini disesuaikan dengan nama persentasenya, yaitu oleh Prof. *Georges Dreux* dari Perancis. Menurut *Dreux* (1979), kuat tekan rata-rata pada

umur 28 hari dipengaruhi beberapa parameter, seperti kuat tekan semen, faktor granular, dan perbandingan berat semen terhadap berat air. Berikut langkah-langkah perhitungan campuran beton dengan metode *Dreux*.

### 2.6.1.1 Menghitung Perbandingan Berat Semen terhadap Berat Air

Hubungan antara kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari, faktor granular agregat, kuat tekan semen, dan perbandingan semen terhadap air seperti pada rumus berikut.

$$f'_{cr} = G \times f_{ce} \times \left( \frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (2.16)$$

Keterangan :

- $f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata beton umur 28 hari (MPa)
- G = faktor granular atau faktor kekompakan butiran
- $f_{ce}$  = kuat tekan semen (MPa)
- C = berat semen ( $\text{kg/m}^3$ )
- E = berat air ( $\text{kg/m}^3$ )

Kuat tekan semen diasumsikan 50 MPa berdasarkan penelitian Agustinah (2002). Faktor granular dipengaruhi oleh kualitas butiran dan diameter maksimum butiran agregat seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Faktor Kekompakan Butiran (Faktor Granular)

Kualitas Butiran	Ukuran diameter butiran		
	Kecil ( $D \leq 16 \text{ mm}$ )	Sedang ( $25 \leq D \leq 40 \text{ mm}$ )	Besar ( $D \geq 63 \text{ mm}$ )
Baik sekali	0,55	0,60	0,65
Normal	0,45	0,50	0,55
Dapat dipakai	0,35	0,40	0,45

Sumber : *Dreux*, 1979

Hubungan antara kuat tekan rata-rata dengan kuat tekan beton yang disyaratkan sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.17)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan benda uji pada umur 28 hari (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

Apabila tidak tersedia data hasil pengujian sebelumnya maka besarnya kekuatan tekan beton rencana dapat diperhitungkan seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Peningkatan Kekuatan

<b>Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)</b>	<b>Peningkatan Kekuatan (MPa)</b>
< 21	7
21 – 35	8,5
≥ 35	10

Sumber : Armeyn, 1999

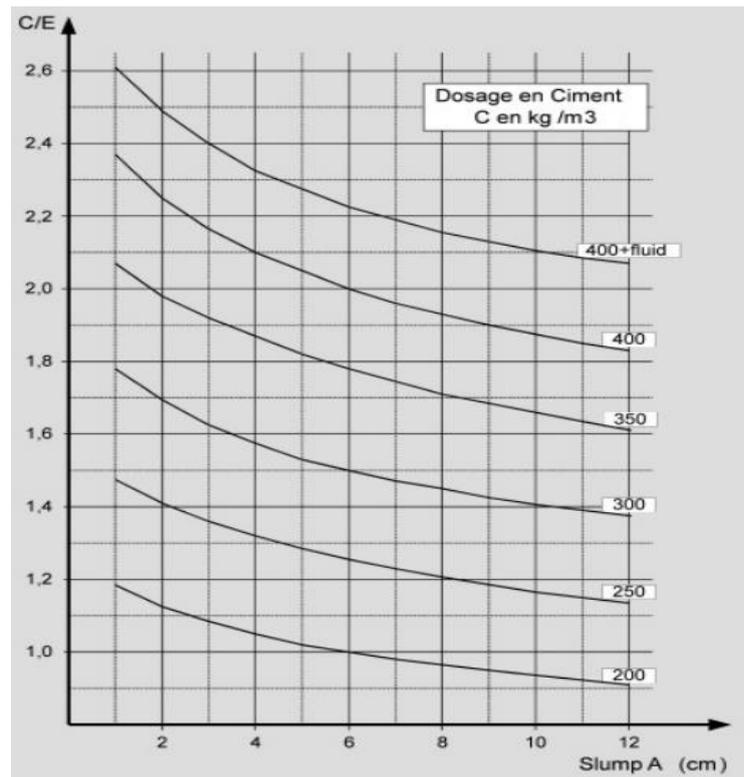
### 2.6.1.2 Menentukan Berat Semen

Setelah diperoleh rasio C/E kemudian menetapkan nilai slump sesuai dengan cara pematatannya seperti pada Tabel 2.5. Jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton dapat ditentukan dengan Gambar 2.1.

Tabel 2. 5 Klasifikasi Plastisitas Beton Berdasarkan Nilai Slump

<b>Plastisitas beton</b>	<b>Slump (mm)</b>	<b>Pemadatan</b>
Sangat kental	0 – 20	Penggetaran sangat kuat
Kental	30 – 50	Penggetaran yang baik
Plastis	60 – 90	Penggetaran normal
Lembek	100 – 130	Tusukan
Encer	≥ 140	Tusukan lemah

Sumber : Dreux, 1979



Gambar 2. 1 Kurva Rasio C/E dan Slump untuk Berat Semen

Sumber : *Dreux*, 1979

### 2.6.1.3 Menghitung Berat Air

Jumlah air (E) diperoleh dengan rumus sebagai berikut

$$E = \frac{C}{(C/E)} \quad (2.18)$$

Keterangan :

E = jumlah air ( $\text{kg/m}^3$ )

C = jumlah semen ( $\text{kg/m}^3$ )

C/E = rasio perbandingan semen terhadap air

Apabila ukuran agregat kasar maksimum tidak sama dengan 25 mm, maka jumlah air perlu dikoreksi dengan menggunakan Tabel 2.6. Agar nilai C/E tetap, maka jumlah semen juga harus dikoreksi seperti jumlah air.

Tabel 2. 6 Koreksi Air

Diameter maksimum Agregat (mm)	Koreksi air (%)
5	+15
10	+9
16	+4
25	0
40	-4
63	-8
100	-12

Sumber : *Dreux*, 1979

#### 2.6.1.4 Menghitung Persentase Agregat

Secara umum, kurva gradasi butiran agregat berupa garis cembung, sedangkan kurva gradasi agregat gabungan (agregat halus dan agregat kasar) untuk beton harus berupa garis cekung. Oleh karena itu, terlebih dahulu menentukan kurva patokan (*reference curve*), yaitu kurva yang sedapat mungkin harus didekati oleh granulometri gabungan antara kedua agregat. Kurva patokan ini merupakan garis bilinear yang menghubungkan titik 0% pada diameter 0,1 mm dan titik 100% pada diameter maksimum (D) dengan titik patah A (x,y).

Absis (x) tergantung dari diameter maksimum agregat yang digunakan.

$$X = \frac{D}{2} \quad \text{untuk } D \leq 25 \text{ mm} \quad (2.19)$$

$$X = \frac{(D-5)}{2} \quad \text{untuk } D > 25 \text{ mm} \quad (2.20)$$

Ordinat (y) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (2.21)$$

Keterangan :

D = diameter maksimum butiran (mm)

K = angka koreksi yang tergantung dari jumlah semen per meter kubik, jenis agregat, dan cara pemadatan.

$K_s$  = angka koreksi jika modulus kehalusan butir agregat halus (Mf) tidak sama dengan 2,5 maka  $K_s = 6 M_f - 15$

Untuk nilai K,  $K_s$ , dan  $K_p$  diperoleh dari hubungan jenis pemadatan, macam butiran, dan dosis semen seperti pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2. 7 Harga - harga K,  $K_s$ , dan  $K_p$

Pemadatan		Lemah		Normal		Kuat	
Macam butiran		Alam	Pecah	Alam	Pecah	Alam	Pecah
Dosis Semen Kg/m <sup>3</sup>	400 + fluid	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+8	+8	+4	+8
Koreksi – $K_s$ : jika $M_f \neq 2,5$ maka menggunakan rumus $K_s = 6M_f - 15$							
Koreksi – $K_p$ : untuk beton yang dipompa $K_p = +5a+10$							

Sumber : *Dreux*, 1979

Untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar, diperoleh dengan menarik garis lurus yang menghubungkan titik 95 % pada kurva agregat halus dan titik 5 % pada kurva agregat kasar. Ordinat titik potong antara garis tersebut dengan kurva patokan merupakan persentase agregat halus dan dari titik potong ini sampai 100 % merupakan persentase agregat kasar.

#### 2.6.1.5 Menentukan Proporsi Agregat dan Semen (Volume Absolut)

Volume absolut merupakan langkah untuk menentukan besarnya proporsi agregat dan semen tiap 1 m<sup>3</sup> beton. Volume absolut tergantung pada kekompakan butiran ( $\gamma$ ), diameter maksimum, dan cara pemadatan. Faktor koreksi sebagai berikut.

1. Untuk campuran pasir alam dan batu pecah, dikoreksi dengan 0,01.

2. Untuk campuran pasir pecah dengan batu pecah, dikoreksi dengan 0,003.
3. Untuk jumlah semen tidak sama dengan 350 kg/m<sup>3</sup>. Beton dikoreksi dengan rumus  $(C - 350)/5000$ .
4. Untuk bahan butiran ringan dikoreksi dengan - 0,03.

Untuk menentukan koefisien kekompakan ( $\gamma$ ) seperti pada Tabel 2.8 dengan hubungan nilai diameter maksimum, kekentalan beton, dan cara pemadatan.

Tabel 2. 8 Harga Koefisien Kekompakan ( $\gamma$ )

Kekentalan Beton	Cara Pemadatan	Koefisien kekompakan ( $\gamma$ )						
		D = 5	D = 10	D = 16	D = 25	D = 40	D = 63	D = 100
Lembek	Tusukan	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pemadatan Lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pemadatan Normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pemadatan Lemah	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pemadatan Normal	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Pemadatan Kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pemadatan Lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pemadatan Normal	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Pemadatan Kuat	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Sumber : *Dreux*, 1979

#### 2.6.1.6 Menghitung Volume Semen, Pasir, dan Kerikil

$$\text{Volume semen} = \frac{\text{Berat semen}}{\text{BJ semen}} \quad (2.22)$$

$$\text{Volume agregat} = 1000 \gamma - \text{Volume semen} \quad (2.23)$$

$$\text{Volume agregat halus} = \% \text{ ag. hls} \times \text{Vol. agregat} \times \text{BJ ag. hls} \quad (2.24)$$

$$\text{Volume agregat kasar} = \% \text{ ag.ksr} \times \text{Vol. agregat} \times \text{BJ ag.ksr} \quad (2.25)$$

#### 2.6.1.7 Menghitung Berat Masing-masing Bahan untuk 1 m<sup>3</sup> Beton

$$\text{Berat semen} = \dots\dots\dots \text{ kg} \quad \text{dari langkah 2.6.1.3}$$

$$\text{Berat air} = \dots\dots\dots \text{ kg} \quad \text{dari langkah 2.6.1.3}$$

$$\text{Berat agregat kasar} = \dots\dots\dots \text{ kg} \quad \text{dari langkah 2.6.1.6}$$

$$\text{Berat agregat halus} = \dots\dots\dots \text{ kg} \quad \text{dari langkah 2.6.1.6}$$

## 2.6.2 SNI 03-2834-2000

Di Indonesia berlaku beberapa standar dalam pembuatan beton, salah satunya metode SNI 03-2834-2000 tentang “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Metode ini mengacu pada metode *Department of Environment* (DOE) yang berasal dari Inggris. Langkah-langkah dari pengerjaan campuran SNI 03-2834-2000 sebagai berikut.

### 2.6.2.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan

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

### 2.6.2.2 Penetapan Nilai Deviasi Standar (Sd)

Dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut.

1. Mewakili bahan – bahan dengan kondisi produksi serta pekerjaan yang serupa.
2. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan  $f^c$  dengan batas nilai 7 MPa dari nilai  $f^{cr}$  yang ditentukan.
3. Minimal terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji yang diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
4. Bila produksi beton hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka menggunakan faktor pengali deviasi standar pada Tabel 2.9.
5. Apabila tidak ada data pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu, maka nilai deviasi standar tidak diperhitungkan. Untuk kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f^{cr}$  harus diambil tidak kurang dari ( $f^c + 12$  MPa).

Tabel 2. 9 Faktor Pengali Deviasi Standar (Sd)

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Tidak ada
15	1,16

<b>Jumlah Pengujian</b>	<b>Faktor Pengali Deviasi Standar</b>
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2834-2000

### **2.6.2.3 Perhitungan Nilai Tambah Margin (M)**

Nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar (Sd) dengan rumus berikut :

$$M = 1,64 \times Sd \quad (2.26)$$

Keterangan :

M = nilai tambah (MPa)

Sd = deviasi standar (MPa)

### **2.6.2.4 Kuat Tekan Rata-rata**

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.27)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

### **2.6.2.5 Menentukan Jenis Semen Portland**

Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I.

### **2.6.2.6 Penetapan Jenis Agregat**

Jenis agregat halus yaitu agregat alami dan agregat kasar menggunakan batu pecah.

### 2.6.2.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan pada :

1. Hubungan kuat tekan dengan faktor air semen yang diperoleh dari pengujian di lapangan. Apabila data hasil penelitian tidak tersedia, untuk pedoman dapat digunakan Tabel 2.10 dan Gambar 2.2.
2. Untuk lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kepad air.

Langkah-langkah dalam menentukan faktor air semen sebagai berikut.

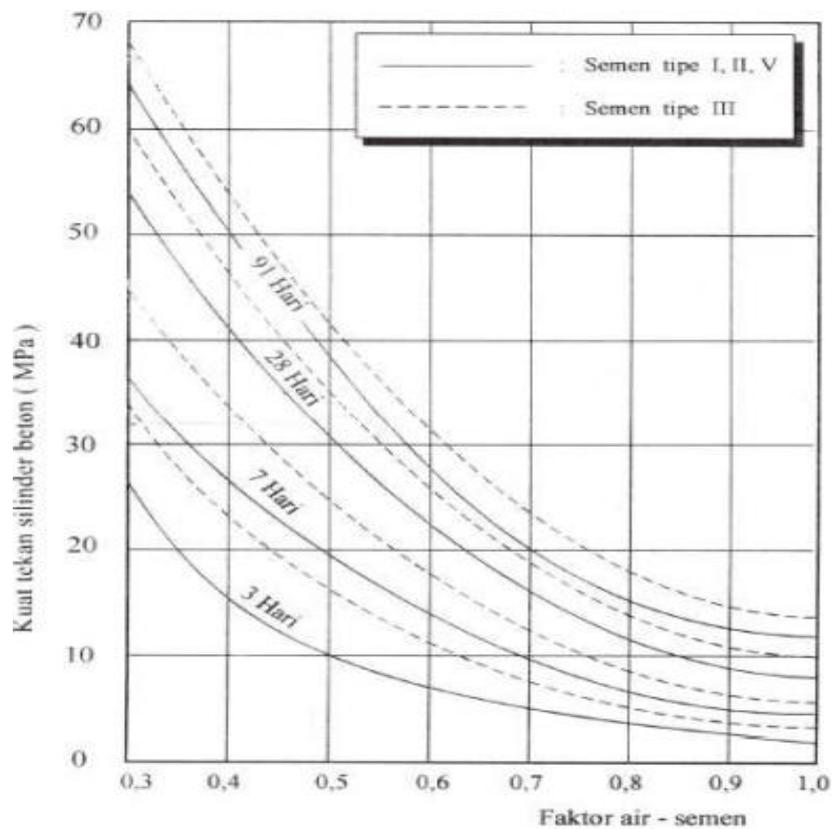
1. Dari Tabel 2.10 tentukan perkiraan nilai kuat tekan beton umur 28 hari pada fas 0,5 dengan indikator jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji.
2. Pada Gambar 2.2, perkiraan nilai kuat tekan beton diplot kemudian tarik garis mendatar hingga memotong garis fas 0,5.
3. Melalui titik potong tersebut, tarik kurva yang proporsional terhadap kurva lengkung yang mengapitnya.
4. Plot nilai kuat tekan rata-rata dari langkah 2.6.2.4, kemudian tarik garis mendatar hingga memotong kurva yang sudah dibuat.
5. Dari titik potong tersebut tarik garis lurus vertikal ke bawah untuk mendapatkan nilai fas yang diperlukan.

Tabel 2. 10 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) dengan Nilai fas dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Beton untuk Benda Uji Silinder

Sumber : SNI 03-2834-2000

### 2.6.2.8 Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah daripada nilai fas dari langkah

2.6.2.7 (hasil perhitungan), maka nilai fas maksimum ini dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2. 11 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Pementonan dan Lingkungan Khusus.

<b>Lokasi</b>	<b>Jumlah Semen Minimum Per m<sup>3</sup> beton (kg)</b>	<b>Nilai Faktor Air Semen Maksimum</b>
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 matahari	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 2.12
Beton kontinu berhubungan :		Tabel 2.13
a. Air tawar		
b. Air laut		

Sumber : SNI 03-2834-2000

Untuk beton yang akan mengalami lingkungan yang mengandung sulfat, maka harus memenuhi Tabel 2.12. Sedangkan beton yang terus berhubungan dengan air harus memenuhi persyaratan pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 12 Faktor Air Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah Mengandung Sulfat

Konsentrasi Sulfat Sebagai SO <sub>3</sub>			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal maksimum agregat (kg/m <sup>3</sup> )			Faktor Air Semen
Dalam Tanah				40 mm	20 mm	10 mm	
Total SO <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> dalam campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l	Sulfat (SO <sub>3</sub> ) Dalam air tanah g/l					
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
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
			Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
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
			Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
1,0 – 2,0	3,1 - 5,6	2,5 - 5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45

Konsentrasi Sulfat Sebagai SO <sub>3</sub>			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal maksimum agregat (kg/m <sup>3</sup> )			Faktor Air Semen
Dalam Tanah				40 mm	20 mm	10 mm	
Total SO <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> dalam campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l	Sulfat (SO <sub>3</sub> ) Dalam air tanah g/l					
Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe V lapisan perlindungan	330	370	420	0,45

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 2. 13 Kebutuhan Semen Minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Jenis Beton	Lingkungan yang Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum (kg/m <sup>3</sup> )	
				Ukuran Maksimum Agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Prategang	Air Tawar	0,50	Semua Tipe I-V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I + Pozolan (15-40%)	340	380
	Air Laut	0,50	Tipe II atau V	290	330
		0,45	Tipe II atau V	330	370

Sumber : SNI 03-2834-2000

### 2.6.2.9 Penetapan Nilai Slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Nilai slump yang diinginkan dapat diperoleh dari Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Penetapan Nilai Slump

Uraian	Slump (cm)
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	5,0 – 12,5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan konstruksi telapak bawah	2,5 – 9,0
Pelat, balok, kolom dan dinding	7,5 – 15,0
Perkerasan Jalan	5,0 – 7,5
Pembetonan masal	2,5 – 7,5

Sumber : PBI, 1971

### 2.6.2.10 Ukuran Maksimum Agregat

Besarnya butir maksimum agregat tidak boleh melebihi :

1. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan (bekisting).
2. Sepertiga dari tebal pelat.
3. Tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Pada penelitian ini menggunakan maksimum agregat dengan variasi ukuran 10 mm, 20 mm, dan 40 mm.

### 2.6.2.11 Nilai Kadar Air Bebas

Penetapan kadar air bebas atau jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan seperti pada Tabel 2.15 berikut ini.

Tabel 2. 15 Perkiraan Kadar Air Bebas

Ukuran besar butir maksimum agregat(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 03-2834-2000

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 :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (2.28)$$

Dengan :  $W_h$  = Jumlah air untuk agregat halus

$W_k$  = Jumlah air untuk agregat kasar

#### 2.6.2.12 Jumlah Semen

Jumlah semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 2.6.2.11) dengan faktor air semen yang paling kecil diantara minimum atau maksimum (langkah 2.6.2.7 atau 2.6.2.8).

#### 2.6.2.13 Jumlah Semen Maksimum

Nilai semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.

#### 2.6.2.14 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 dengan menggunakan Tabel 2.16 di bawah ini.

Tabel 2. 16 Kebutuhan Semen Minimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus.

<b>Lokasi</b>	<b>Jumlah Semen Minimum Per m<sup>3</sup> beton (kg)</b>	<b>Nilai Faktor Air Semen Maksimum</b>
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 matahari	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering Berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 2.12
Beton kontinu berhubungan :		Tabel 2.13
a. Air tawar		
b. Air laut		

Sumber : SNI 03-2834-2000

### 2.6.2.15 Faktor Air Semen yang Disesuaikan

Jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan, maka faktor air semen harus dihitung kembali.

### 2.6.2.16 Susunan Besar Butir Agregat

Berdasarkan gradasi (susunan butiran) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi seperti pada Tabel 2.17. Agregat halus dapat dimasukkan menjadi salah satu dari 4 zona yang ada, yaitu daerah 1, 2, 3, dan 4. Sedangkan penentuan daerah gradasi agregat kasar seperti pada Tabel 2.18 dengan ukuran maksimum agregat 10 mm, 20 mm, atau 40 mm.

Tabel 2. 17 Susunan Butir Agregat Halus

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

Sumber : SNI 03-2834-2000

Keterangan : Zona I = pasir kasar  
 Zona II = pasir agak kasar  
 Zona III = pasir agak halus  
 Zona IV = pasir halus

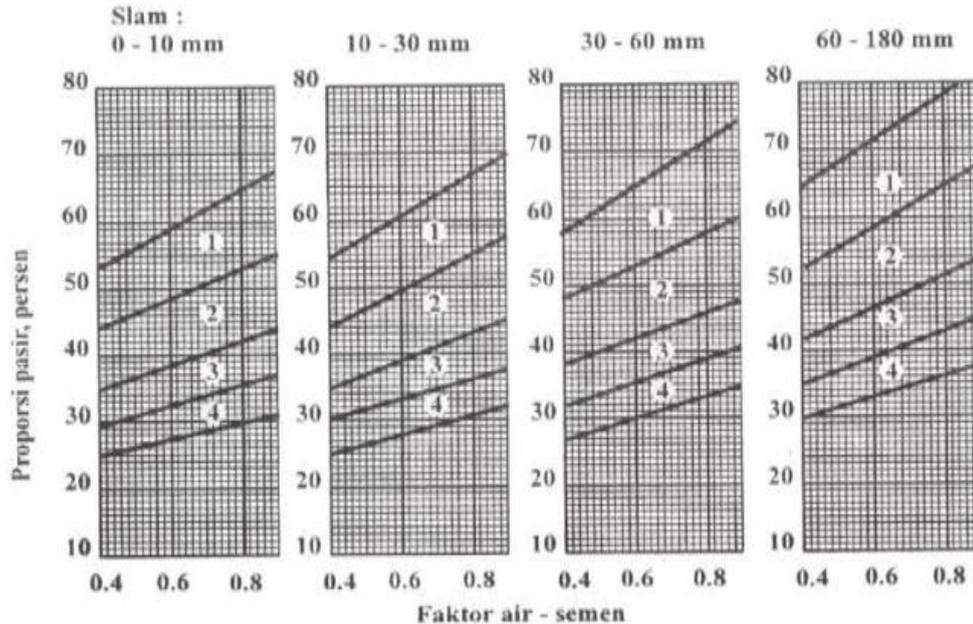
Tabel 2. 18 Persyaratan Batas-batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen butir lolos saringan (%)		
	Ukuran Nominal Agregat (mm)		
	38 – 4,76	19 – 4,76	9,6 – 4,76
38,1	95 – 100	100 – 100	100 – 100
19,0	35 – 70	95 – 100	100 – 100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber : SNI 03-2834-2000

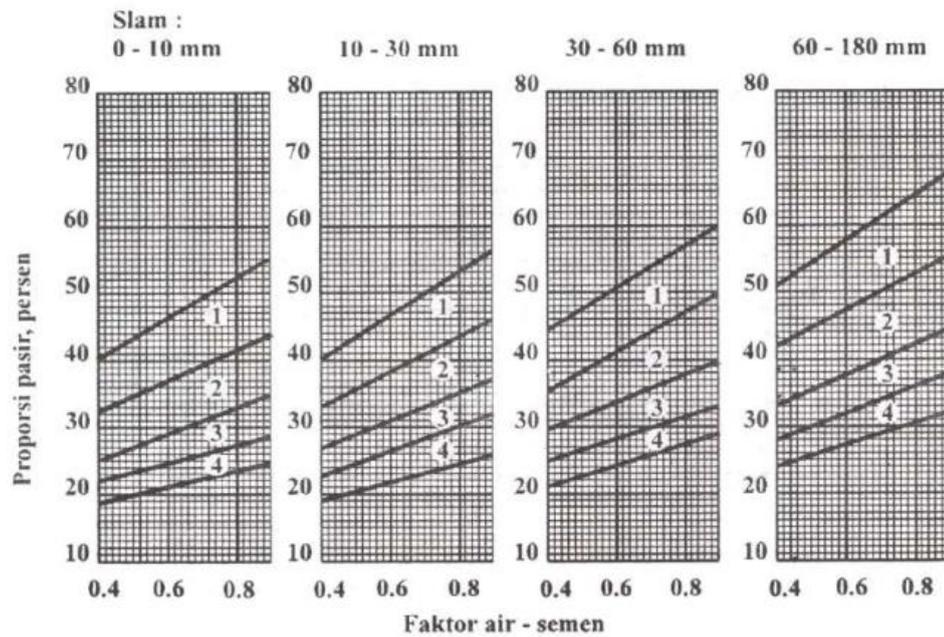
### 2.6.2.17 Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

Perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar dilakukan dengan memperlihatkan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi halus dari gambar di bawah ini.



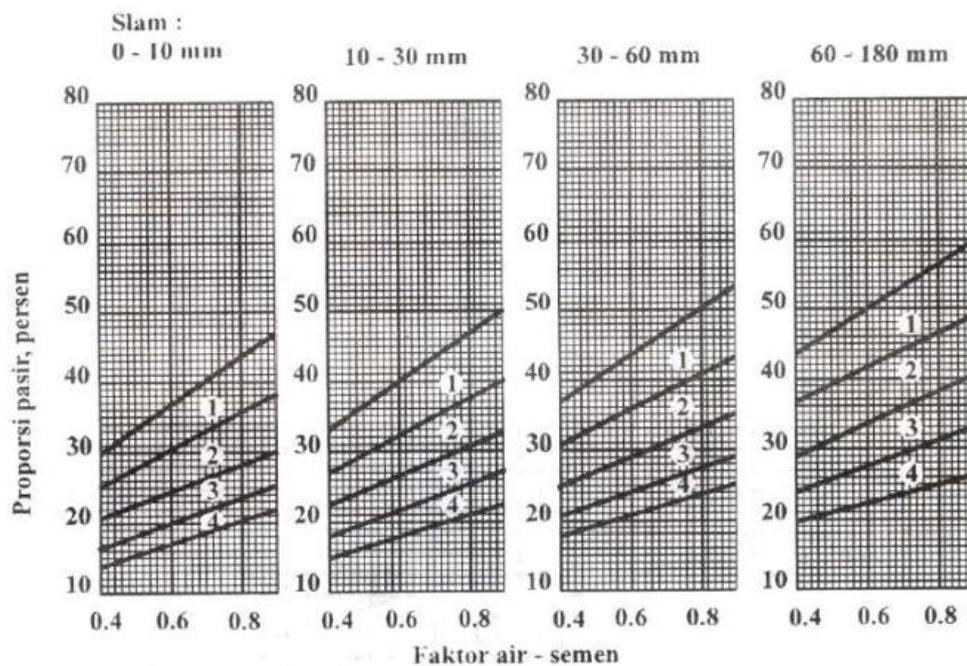
Gambar 2. 3 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 2. 4 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 2. 5 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000

### 2.6.2.18 Berat Jenis Relatif Agregat Campuran/Gabungan

Berat jenis agregat campuran ditentukan dengan rumus :

$$B_{j_{camp}} = \frac{P}{100} \times B_{j_{ag. hls}} + \frac{K}{100} \times B_{j_{ag. ksr}} \quad (2.29)$$

Keterangan :

$B_{j_{camp}}$  = berat jenis agregat campuran

$B_{j_{ag.hls}}$  = berat jenis agregat halus

$B_{j_{ag.ksr}}$  = berat jenis agregat kasar

P = persentase ag. halus terhadap agregat campuran

K = persentase ag. kasar terhadap agregat campuran

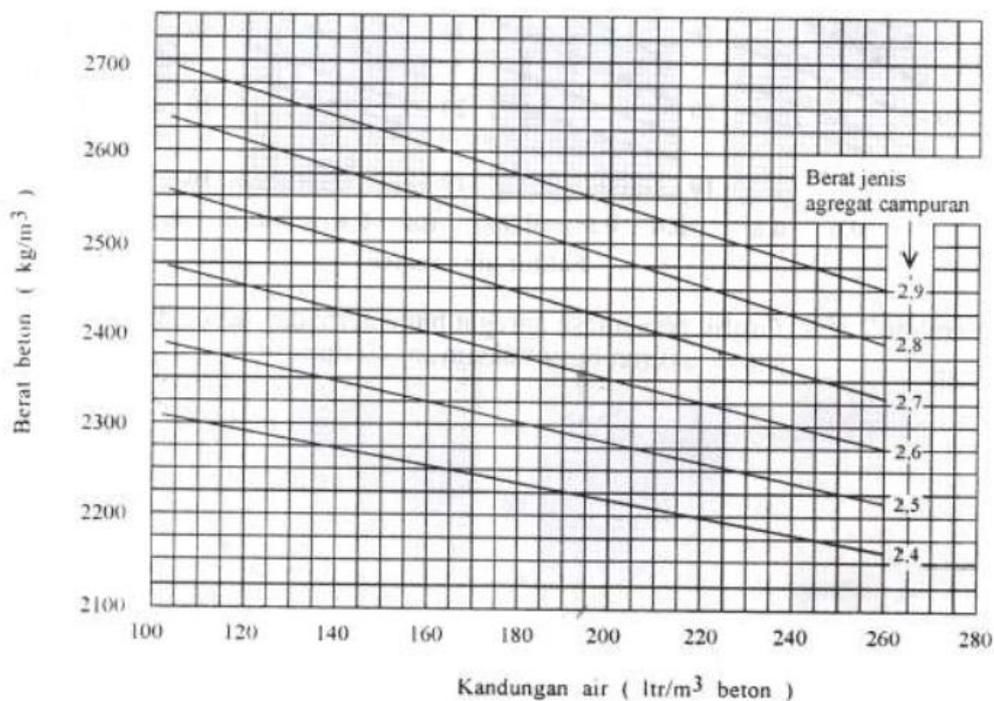
Apabila tidak tersedia data hasil pengujian, berat jenis agregat campuran dapat digunakan nilai di bawah ini :

1. Agregat tak dipecah = 2,5
2. Agregat dipecah = 2,6 atau 2,7

### 2.6.2.19 Berat Isi Beton

Setelah diperoleh data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya, maka berat beton dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut.

1. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 2.6.2.17 dibuat garis miring berat jenis campuran yang paling dekat dengan garis miring pada Gambar 2.6.
2. Kebutuhan air yang diperoleh pada langkah 2.6.2.11 dimasukkan pada sumbu horizontal dalam Gambar 2.6, kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis miring yang dibuat di atas.
3. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat isi beton.



Gambar 2. 6 Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran, dan Berat Beton.

Sumber : SNI 03-2834-2000

#### 2.6.2.20 Berat Agregat Campuran/Gabungan

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

$$W_{agr.camp} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (2.30)$$

Keterangan :

$W_{agr.camp}$  = kadar agregat campuran (kg)

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

$W_{air}$  = kebutuhan air (liter)

$W_{semen}$  = kebutuhan semen (kg)

#### 2.6.2.21 Kebutuhan Agregat Halus (Pasir)

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

$$\text{Wagr.hls} = \frac{P}{100} \times \text{Wagr.camp} \quad (2.31)$$

Keterangan :

Wagr.hls = kebutuhan agregat halus (kg)

Wagr.camp = kebutuhan agregat campuran (kg)

P = persentase agregat halus terhadap campuran (%)

#### 2.6.2.22 Kebutuhan Agregat Kasar (Kerikil)

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

$$\text{Wagr.ksr} = \text{Wagr.camp} - \text{Wagr.hls} \quad (2.32)$$

Keterangan :

Wagr.ksr = kebutuhan agregat kasar (kg)

Wagr.hls = kebutuhan agregat halus (kg)

Wagr.camp = kebutuhan agregat campuran (kg)

#### 2.6.2.23 Koreksi Proporsi Campuran Beton

Dalam perhitungan di atas, kondisi agregat halus dan agregat kasar dianggap keadaan jenuh kering muka. Sehingga di lapangan, yang pada umumnya kondisi agregat tidak dalam keadaan jenuh kering muka, maka harus dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Untuk rumus koreksi proporsi campuran beton sebagai berikut.

$$\text{Air} = B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (2.33)$$

$$\text{Agregat Halus} = C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \quad (2.34)$$

$$\text{Agregat Kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (2.35)$$

Dengan :

B = jumlah air (kg/m<sup>3</sup>)

- C = jumlah agregat halus ( $\text{kg/m}^3$ )
- D = jumlah agregat kasar ( $\text{kg/m}^3$ )
- Ca = absorpsi air dalam agregat halus (%)
- Da = absorpsi air dalam agregat kasar (%)
- Ck = kadar air pada agregat halus (%)
- Dk = kadar air pada agregat kasar (%)

### 2.6.3 *Department of Environment (DOE)*

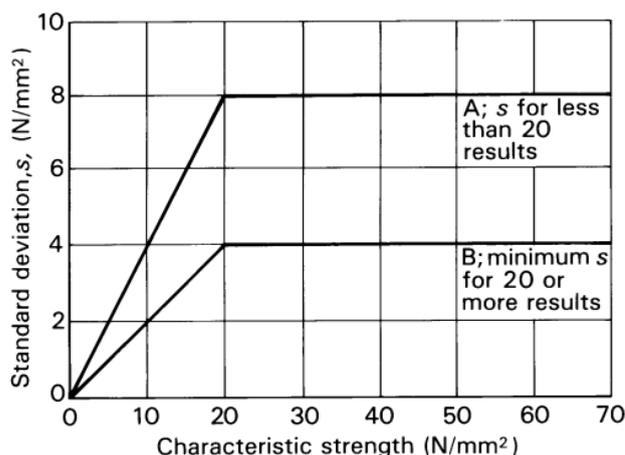
Metode DOE (1988) berasal dari Inggris merupakan pedoman yang dipakai untuk membuat campuran beton normal dengan langkah-langkah sebagai berikut.

#### 2.6.3.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan

Kuat tekan beton ( $f'c$ ) disyaratkan sebesar 25 MPa.

#### 2.6.3.2 Penetapan Nilai Deviasi Standar ( $s$ )

Apabila data hasil pengujian sebelumnya kurang dari 20 buah, maka standar deviasi menggunakan garis A pada Gambar 2.7. Sebaliknya, jika data pengujian terdiri dari 20 atau lebih, maka nilai deviasi standar diperoleh dari garis B.



Gambar 2. 7 Deviasi Standar

Sumber : DOE, 1988

#### 2.6.3.3 Menghitung Nilai Margin

Nilai margin dihitung berdasarkan nilai deviasi standar ( $Sd$ ) dengan rumus berikut:

$$M = k \times Sd \quad (2.36)$$

Keterangan :

M = nilai tambah (MPa)

k = nilai konstanta

Sd = deviasi standar (MPa)

Nilai konstanta berhubungan dengan besarnya persentase kecacatan dengan rincian sebagai berikut.

k untuk 10 % kecacatan = 1,28

k untuk 5 % kecacatan = 1,64

k untuk 2,5 % kecacatan = 1,96

k untuk 1 % kecacatan = 2,33

#### 2.6.3.4 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata

Kuat tekan beton rata-rata dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.37)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai margin (MPa)

#### 2.6.3.5 Menghitung Rasio Air Semen

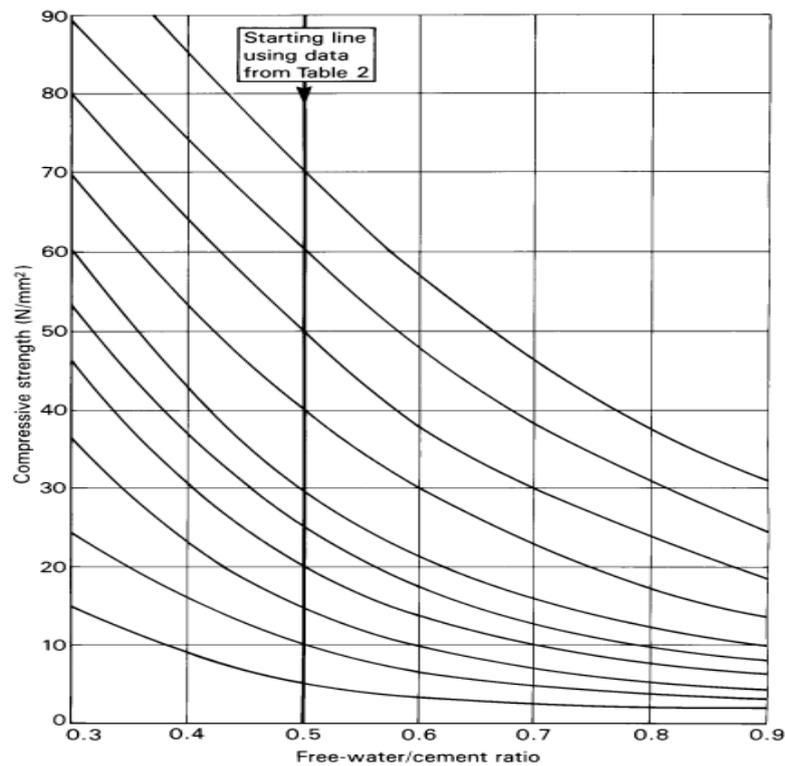
Rasio air semen merupakan perbandingan massa air bebas terhadap semen dalam campuran beton dengan kondisi agregat pada jenuh kering permukaan. Nilai perkiraan kuat tekan terhadap rasio air semen ditentukan pada Tabel 2.19 dengan hubungan kelas kekuatan semen, tipe agregat kasar, serta umur beton. Kemudian nilai kuat tekan ini diplotkan pada Gambar 2.8 dengan menarik garis ke kanan pada nilai kuat tekan sampai garis lengkung umur beton, setelah itu tarik garis ke bawah, sehingga diperoleh nilai rasio air semen. Nilai rasio air semen hasil perhitungan

kemudian dibandingkan dengan rasio air semen maksimum, dari kedua nilai tersebut yang diambil adalah nilai yang lebih rendah.

Tabel 2. 19 Perkiraan Kuat Tekan dengan Rasio Air Semen 0,5

Kelas Kekuatan Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (N/mm <sup>2</sup> )			
		Pada Umur (hari)			
		3	7	28	91
42,5	Batu tak dipecah	22	30	42	49
	Batu pecah	27	36	49	56
52,5	Batu tak dipecah	29	37	48	54
	Batu pecah	34	43	55	61

Sumber : DOE, 1988



Gambar 2. 8 Rasio Air Semen

Sumber : DOE, 1988

### 2.6.3.6 Menghitung Kadar Air Bebas

Untuk menentukan kadar air bebas digunakan Tabel 2.20 dengan hubungan nilai slump, waktu getar, ukuran maksimum agregat, dan tipe agregat.

Tabel 2. 20 Perkiraan Kadar Air Bebas

Ukuran maksimum agregat (mm)	Tipe Agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30-60	60-180
		Waktu getar (detik)			
		> 12	6 - 12	3 - 6	0 - 3
10	Batu tidak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tidak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tidak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : DOE, 1988

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 :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_f + \frac{1}{3} W_c \quad (2.38)$$

Keterangan :

$W_f$  = kebutuhan air untuk agregat halus

$W_c$  = kebutuhan air untuk agregat kasar

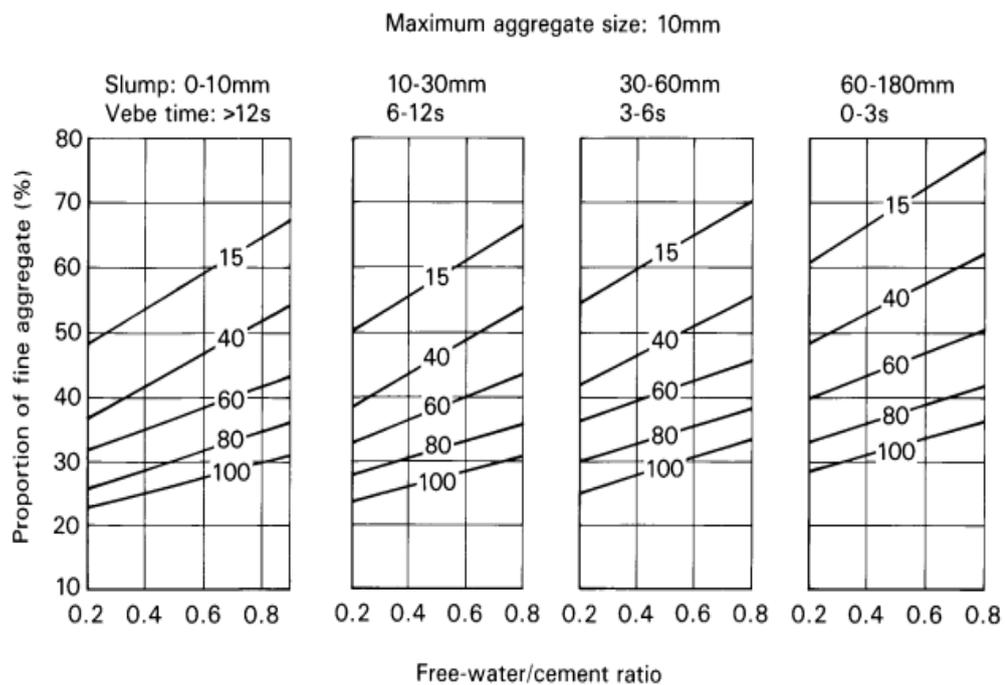
### 2.6.3.7 Menghitung Kadar Semen

Jumlah semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air pencampur (langkah 2.6.3.6) dengan rasio air semen (langkah 2.6.3.5). Jumlah semen hasil perhitungan harus dikoreksi terhadap nilai minimum atau maksimum yang ditentukan. Jika jumlah hasil perhitungan jumlah semen di bawah nilai minimum, maka nilai minimum ini harus dimodifikasi dan rasio air semen pada langkah 2.6.3.5 dikurangi, sehingga akan menghasilkan kuat tekan rata-rata yang lebih tinggi dari kuat tekan yang disyaratkan.

Apabila metode desain menunjukkan kandungan semen yang lebih tinggi dari batas maksimum yang ditentukan, maka besar kemungkinan spesifikasi tersebut tidak dapat dipenuhi secara bersamaan pada persyaratan kekuatan dan kemampuan kerja dengan bahan yang dipilih. Sehingga langkah yang dilakukan yaitu mengubah tipe atau kelas kekuatan dari semen, jenis dan ukuran maksimum agregat, tingkat kemudahan pengerjaan beton, dan bahan tambah pengurang air.

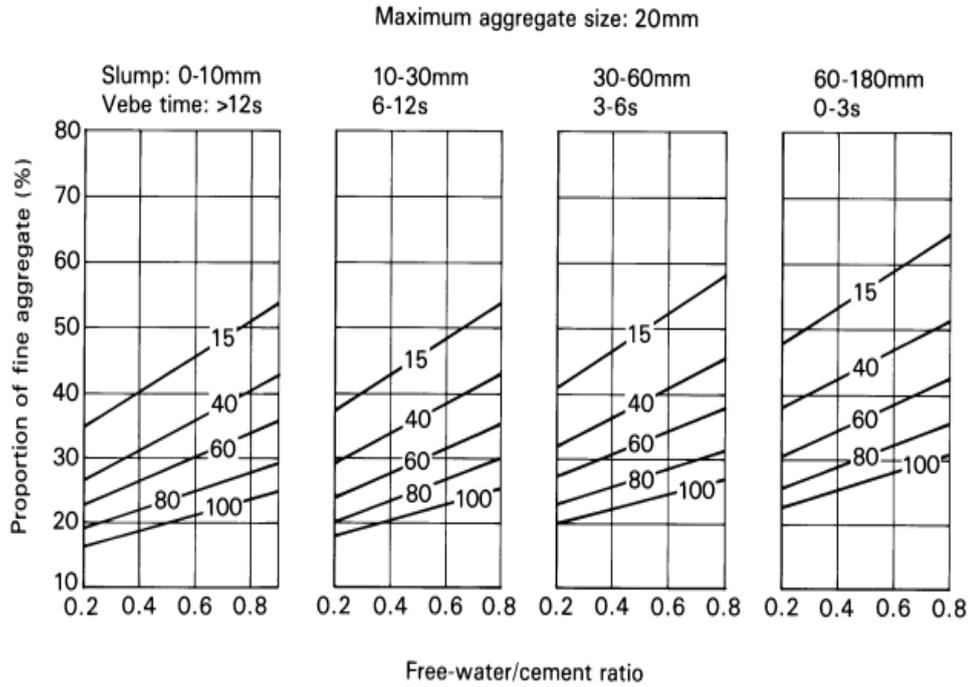
### 2.6.3.8 Menghitung Kadar Total Agregat

Perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Untuk menghitung kadar total agregat digunakan Gambar 2.9, Gambar 2.10, dan Gambar 2.11 dengan hubungan ukuran maksimum agregat kasar, nilai slump, waktu getar, gradasi dari agregat halus, serta rasio air semen yang digunakan.



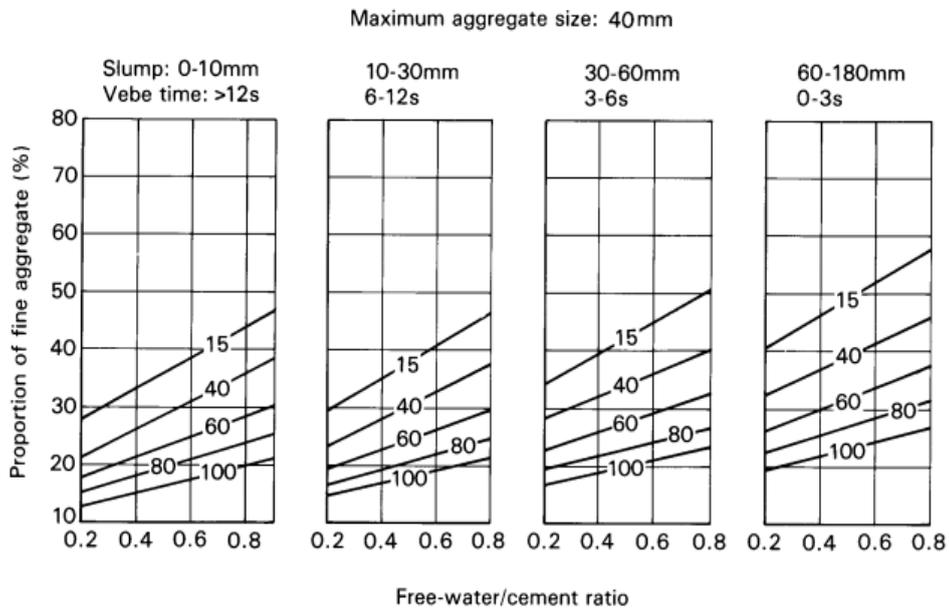
Gambar 2. 9 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

Sumber : DOE, 1988



Gambar 2. 10 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

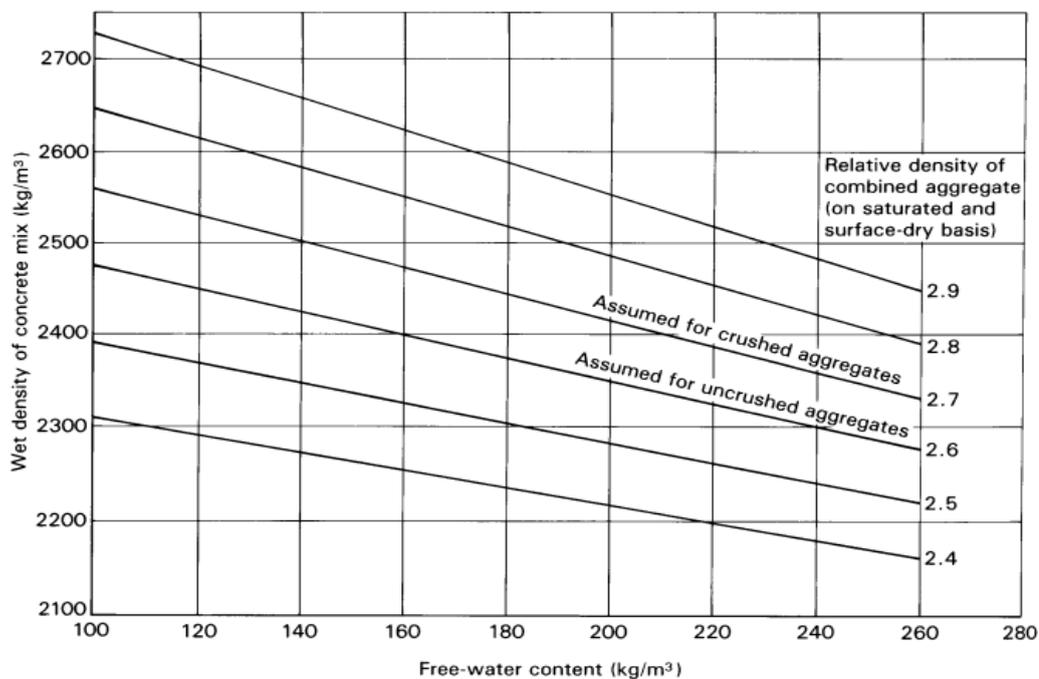
Sumber : DOE, 1988



Gambar 2. 11 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

Sumber : DOE, 1988

Kemudian untuk memperkirakan besarnya berat isi beton digunakan Gambar 2.12 (DOE, 1988) dengan hubungan kadar air bebas dan berat jenis agregat campuran. Nilai berat jenis campuran apabila tidak tersedia menggunakan 2,6 untuk agregat tidak dipecah dan 2.7 untuk agregat pecah.



Gambar 2. 12 Berat Isi Beton

Sumber : DOE, 1988

Maka kadar total agregat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$W_{agr.total} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (2.39)$$

Dengan :

$W_{agr.total}$  = kadar agregat campuran (kg)

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

$W_{air}$  = jumlah air (kg)

$W_{semen}$  = jumlah semen (kg)

### 2.6.3.9 Menghitung Kadar Agregat Halus dan Agregat Kasar

Kadar agregat halus dihitung dengan cara mengalikan persen agregat halus terhadap kadar agregat campuran.

$$\text{Wagr.hls} = \frac{P}{100} \times \text{Wagr.total} \quad (2.40)$$

Dengan :

Wagr.hls = kadar agregat halus (kg)

Wagr.total = kadar agregat campuran (kg)

P = persentase agregat halus terhadap campuran (%)

Kadar agregat kasar merupakan selisih antara kadar agregat campuran dengan kadar agregat halus seperti rumus berikut ini.

$$\text{Wagr.ksr} = \text{Wagr.total} - \text{Wagr.hls} \quad (2.41)$$

Dengan :

Wagr.ksr = kadar agregat kasar (kg)

Wagr.hls = kadar agregat halus (kg)

Wagr.total = kadar agregat campuran (kg)

## 2.6.4 SNI 7656:2012

Metode campuran beton SNI 7656:2012 tentang “Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa”. Metode ini mengacu pada ACI 211. 1-91 yang berasal dari Amerika. Langkah-langkah dari pengerjaan campuran beton metode SNI 7656:2012 sebagai berikut.

### 2.6.4.1 Menetapkan Nilai Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ ) yang Direncanakan

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton ( $f'_c$ ) sebesar 25 MPa. Direncanakan untuk konstruksi kolom yang berada di dalam ruangan dan beton yang dibuat tanpa tambahan udara.

#### 2.6.4.2 Menetapkan Deviasi Standar

Nilai deviasi standar diperoleh apabila fasilitas produksi beton telah mempunyai catatan hasil uji. Data hasil pengujian yang dijadikan sebagai dasar perhitungan standar deviasi harus :

- a. Mewakili material, prosedur kontrol kualitas, dan kondisi serupa, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dilakukan lebih ketat.
- b. Mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan pada kisaran 7 MPa.
- c. Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlah sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian.

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji yang memenuhi syarat di atas, tetapi mempunyai catatan uji sebanyak 15 sampai 29 hasil pengujian secara berurutan, maka deviasi standar ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar yang dihitung dan faktor modifikasi pada Tabel 2.21.

Tabel 2. 21 Faktor Modifikasi Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi
Kurang dari 15	Gunakan Tabel 2.22
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 2847:2013

#### 2.6.4.3 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata Perlu

Kekuatan tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton apabila tersedia data standar deviasi untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan  $f'_c \leq 35$  MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_s \quad (2.42)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_s - 3,5 \quad (2.43)$$

Kekuatan tekan rata-rata perlu untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan sebesar  $f'_c > 35$  MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_s \quad (2.44)$$

$$f'_{cr} = 0,90 f'_c + 2,33 s_s \quad (2.45)$$

Dengan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata perlu (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

$s_s$  = deviasi standar (MPa)

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji kekuatan di lapangan untuk menghitung deviasi standar, maka kekuatan rata-rata perlu dihitung sesuai dengan Tabel 2.22.

Tabel 2. 22 Kuat Tekan Rata-rata apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

<b>Kuat Tekan yang Disyaratkan (MPa)</b>	<b>Kuat Tekan Rata-rata Perlu (MPa)</b>
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,1 f'_c + 5,0$

Sumber : SNI 2847:2013

#### 2.6.4.4 Menentukan Nilai Slump

Nilai slump merupakan indikator untuk menentukan tingkat kekentalan dan kemudahan kerja dari beton segar. Apabila nilai slump tidak ditentukan, maka nilai slump dapat diperoleh berdasarkan Tabel 2.23 untuk berbagai tipe pekerjaan konstruksi. Nilai slump untuk metode pemadatan dengan tusukan maka perlu ditambah 25 mm.



Air (kg/m <sup>3</sup> ) untuk ukuran nominal maksimum agregat batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
Kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber : SNI 7656:2012

#### 2.6.4.7 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/(c+p) yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada Tabel 2.25.

Tabel 2. 25 Hubungan Rasio Air Semen dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari (MPa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber : SNI 7656:2012

#### 2.6.4.8 Menghitung Kadar Semen

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air pencampur (langkah 2.6.4.6) dengan rasio air semen (langkah 2.6.4.7).

#### 2.6.4.9 Menghitung Kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat

kasar per satuan volume beton seperti pada Tabel 2.26 dengan hubungan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir agregat halus.

Tabel 2. 26 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : SNI 7656:2012

#### 2.6.4.10 Menghitung Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat atau metode berdasarkan volume absolut.

##### 1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton seperti pada Tabel 2.27 digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2. 27 Perkiraan Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m <sup>3</sup> )	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m <sup>3</sup> )	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber : SNI 7656:2012

## 2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan yang telah diketahui seperti air, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

### 2.6.4.11 Penyesuaian terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Umumnya agregat berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang di berada di dalam ataupun di permukaan agregat. Besarnya jumlah air tersebut yang harus ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu jumlah air dikurang air yang terserap oleh agregat.

$$\text{Agregat halus} = C + \left[ (D_a) \frac{C}{100} \right] \quad (2.46)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + \left[ (D_k) \frac{D}{100} \right] \quad (2.47)$$

$$\text{Air} = B - \left[ (D_a - C_a) \frac{C}{100} \right] - \left[ (D_k - C_k) \frac{D}{100} \right] \quad (2.48)$$

Keterangan :

B = jumlah air (kg/m<sup>3</sup>)

C = jumlah agregat halus ( $\text{kg/m}^3$ )

D = jumlah agregat kasar ( $\text{kg/m}^3$ )

Da = kadar air agregat halus (%)

Dk = kadar air agregat kasar (%)

Ca = penyerapan agregat halus (%)

Ck = penyerapan agregat kasar (%)

### 2.6.5 American Concrete Institute (ACI)

Metode campuran ACI 211. 1-91 tentang “*Standar Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*”. Dalam rancangan campuran beton dengan ACI 211. 1-91 menggunakan Sistem Satuan Internasional. Berikut merupakan langkah-langkah dari perhitungan campuran beton dengan metode ACI 211. 1-91 :

#### 2.6.5.1 Menentukan Nilai Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ ) yang Direncanakan

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) ditetapkan sebesar 25 MPa untuk bangunan kolom yang berada di dalam ruangan tanpa tambahan udara.

#### 2.6.5.2 Menetapkan Nilai Standar Deviasi

Nilai standar deviasi diambil berdasarkan data penelitian terdahulu, apabila data tersebut tidak tersedia, maka nilai standar deviasi ditentukan dari Tabel 2.28.

Tabel 2. 28 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan	Mutu Pelaksanaan (MPa)		
	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil ( $< 1000 \text{ m}^3$ )	$4,5 < sd \leq 5,5$	$5,5 < sd \leq 6,5$	$6,5 < sd \leq 8,5$
Sedang ( $1000 - 3000 \text{ m}^3$ )	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 5,5$	$5,5 < sd \leq 7,5$
Besar ( $> 3000 \text{ m}^3$ )	$2,5 < sd \leq 3,5$	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 6,5$

Sumber : Mulyono, 2019

### 2.6.5.3 Menghitung Nilai Margin (M)

Nilai tambah (margin) dihitung berdasarkan nilai deviasi standar (Sd) dengan rumus berikut:

$$M = 1,64 \times Sd \quad (2.49)$$

Keterangan :

M = nilai tambah (MPa)

Sd = deviasi standar (MPa)

### 2.6.5.4 Menghitung Kuat Tekan Rata-Rata pada Umur 28 hari

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

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.50)$$

Keterangan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

### 2.6.5.5 Menentukan Nilai Slump

Apabila nilai slump tidak ditetapkan, maka dapat digunakan nilai slump pada Tabel 2.29 untuk berbagai tipe pekerjaan konstruksi. Nilai slump untuk metode pemadatan dengan tusukan maka perlu ditambah 25 mm.

Tabel 2. 29 Nilai Slump yang Dianjurkan untuk Berbagai Konstruksi

Tipe konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25

Tipe konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : ACI 211. 1-91

#### 2.6.5.6 Menentukan Ukuran Agregat Kasar Maksimum

Pada penelitian ini menggunakan agregat kasar maksimum ukuran 10 mm, 20 mm, dan 40 mm.

#### 2.6.5.7 Menentukan Kadar Air dan Kadar Udara

Untuk perkiraan kadar air dan kadar udara dalam campuran beton untuk berbagai nilai slump dan ukuran maksimum agregat batu pecah dengan beton tanpa tambahan kadar udara seperti pada Tabel 2.30.

Tabel 2. 30 Perkiraan Kadar Air dan Kadar Udara dalam Campuran Beton

Air (kg/m <sup>3</sup> ) untuk ukuran nominal maksimum agregat batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25 - 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 - 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 - 175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber : ACI 211. 1-91

#### 2.6.5.8 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/(c+p) yang diperlukan ditentukan oleh syarat kekuatan dan faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada Tabel 2.31.

Tabel 2. 31 Hubungan Rasio Air Semen dan Kekuatan Beton Umur 28 Hari

Kekuatan beton umur 28 hari (MPa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber : ACI 211. 1-91

#### 2.6.5.9 Menghitung Kadar Semen

Kadar semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air pencampur (langkah 2.6.5.7) dengan rasio air semen (langkah 2.6.5.8).

#### 2.6.5.10 Menghitung Kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat kasar per satuan volume beton seperti pada Tabel 2.32.

Tabel 2. 32 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : ACI 211. 1-91

### 2.6.5.11 Menghitung Kadar Agregat Halus

Untuk menentukan agregat halus dapat digunakan melalui dua cara yaitu metode berdasarkan berat atau metode berdasarkan volume absolut.

#### 1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan berat beton segar seperti pada Tabel 2.33 berdasarkan dari ukuran maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang diperoleh dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2. 33 Perkiraan Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m <sup>3</sup> )	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber : ACI 211. 1-91

2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan penyusun yang telah diketahui seperti air, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

#### 2.6.5.12 Penyesuaian terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Pada umumnya agregat berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang di berada di dalam ataupun di permukaan agregat. Besarnya jumlah air yang ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu dengan cara mengurangi jumlah air dengan air yang terserap oleh agregat.

$$\text{Agregat halus} = C + \left[ (D_a) \frac{C}{100} \right] \quad (2.51)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + \left[ (D_k) \frac{D}{100} \right] \quad (2.52)$$

$$\text{Air} = B - \left[ (D_a - C_a) \frac{C}{100} \right] - \left[ (D_k - C_k) \frac{D}{100} \right] \quad (2.53)$$

Keterangan :

B = jumlah air ( $\text{kg/m}^3$ )

C = jumlah agregat halus ( $\text{kg/m}^3$ )

D = jumlah agregat kasar ( $\text{kg/m}^3$ )

Da = kadar air agregat halus (%)

Dk = kadar air agregat kasar (%)

Ca = penyerapan agregat halus (%)

Ck = penyerapan agregat kasar (%)

Pada Tabel 2.34 disajikan perbandingan dari metode *Dreux Gorisse*, SNI 03-2834-2000, DOE, SNI 7656:2012, dan ACI 211.1-91 dilihat dari segi parameter yang digunakan.

Tabel 2. 34 Analisis Perbandingan Metode *Dreux Gorisse*, SNI, DOE, dan ACI

	<i>Dreux Gorisse</i>	<b>SNI 03-2834-2000</b>	<b>DOE</b>	<b>SNI 7656:2012</b>	<b>ACI 211. 1-91</b>
<b>Standar Deviasi</b>	Langsung menentukan peningkatan kekuatan atau nilai margin	Diperhitungkan apabila tersedia data hasil pengujian pada masa lalu seperti pada Tabel 2.9	Diperhitungkan apabila tersedia data hasil pengujian pada masa lalu seperti pada Gambar 2.7	Diperhitungkan apabila ada data hasil pengujian masa lalu seperti Tabel 2.21, apabila tidak tersedia ditentukan dari Tabel 2.22	Diperhitungkan apabila tersedia data hasil pengujian masa lalu, apabila tidak tersedia maka ditentukan dari Tabel 2.28
<b>Slump</b>	Ditentukan dari Tabel 2.5 berdasarkan plastisitas beton	Ditentukan dari Tabel 2.14 dengan hubungan tipe konstruksinya	Ditentukan dari Tabel 2.20 dengan hubungan waktu getar	Ditentukan dari Tabel 2.23 dengan hubungan tipe konstruksinya	Ditentukan dari Tabel 2.29 dengan hubungan tipe konstruksinya
<b>Ukuran maksimum agregat</b>	Digunakan untuk menentukan faktor granular, koreksi air, dan persentase agregat	Sebagai parameter untuk menentukan besarnya kadar air dan persentase agregat	Sebagai parameter untuk menentukan besarnya kadar air dan persentase agregat	Untuk menentukan kadar air, kadar udara, volume agregat kasar, dan berat beton	Untuk menentukan kadar air, kadar udara, volume agregat kasar, dan berat beton

	<i>Dreux Gorisse</i>	<b>SNI 03-2834-2000</b>	<b>DOE</b>	<b>SNI 7656:2012</b>	<b>ACI 211. 1-91</b>
<b>Kadar air</b>	Diperoleh dari hasil pembagian kadar semen dengan nilai C/E	Ditentukan dari Tabel 2.15 dengan parameter nilai slump, ukuran agregat kasar maksimum, dan jenis agregat	Ditentukan dari Tabel 2.20 dengan parameter nilai slump, waktu getar, ukuran agregat kasar maksimum, dan jenis agregat	Ditentukan dari Tabel 2.24 dengan hubungan nilai slump dan ukuran agregat kasar	Ditentukan dari Tabel 2.30 dengan hubungan nilai slump dan ukuran agregat kasar
<b>Kadar udara</b>	Tidak diperhitungkan	Tidak diperhitungkan	Tidak diperhitungkan	Ditetapkan dari Tabel 2.24 untuk menentukan besarnya kadar udara dalam volume beton	Ditetapkan dari Tabel 2.30 untuk menentukan besarnya kadar udara dalam volume beton

	<i>Dreux Gorisse</i>	<b>SNI 03-2834-2000</b>	<b>DOE</b>	<b>SNI 7656:2012</b>	<b>ACI 211. 1-91</b>
<b>Faktor air semen (fas)</b>	Pada metode Dreux tidak menghitung fas, tetapi menghitung rasio C/E (perbandingan jumlah semen dibagi jumlah air)	fas ditentukan dari Tabel 2.10 dan Gambar 2.2 dengan hubungan kuat tekan beton, umur beton, dan bentuk benda uji	fas ditentukan dari Tabel 2.19 dan Gambar 2.8 dengan hubungan kuat tekan beton dan umur beton	Ditentukan dari Tabel 2.25 dengan hubungan kuat tekan dan beton dengan atau tanpa udara	Ditentukan dari Tabel 2.31 dengan hubungan kuat tekan dan beton dengan atau tanpa udara
<b>Kadar semen</b>	Ditentukan dari Gambar 2.1 dengan hubungan C/E dan nilai slump	Diperoleh dari hasil pembagian kadar air dengan fas	Diperoleh dari hasil pembagian kadar air dengan fas	Diperoleh dari hasil pembagian kadar air dengan fas	Diperoleh dari hasil pembagian kadar air dengan fas
<b>Modulus Halus Butir</b>	Digunakan untuk menentukan besarnya persentase agregat	Tidak diperhitungkan	Tidak diperhitungkan	Digunakan untuk menentukan volume agregat kasar per satuan volume beton	Digunakan untuk menentukan volume agregat kasar per satuan volume beton

	<i>Dreux Gorisse</i>	<b>SNI 03-2834-2000</b>	<b>DOE</b>	<b>SNI 7656:2012</b>	<b>ACI 211. 1-91</b>
<b>Perkiraan kadar agregat</b>	Untuk menentukan kadar agregat digunakan analisis granulometri	Untuk menentukan persentase agregat diperoleh dari Gambar 2.3 , 2.4 , 2.5 dengan parameter nilai slump, fas, zona agregat halus dan ukuran maksimum agregat	Untuk menentukan persentase agregat diperoleh dari Gambar 2.9, 2.10, 2.11 dengan parameter nilai slump, waktu getar, fas, batas gradasi agregat halus dan ukuran maksimum agregat	Untuk agregat kasar, ditentukan dari Tabel 2.26 dengan hubungan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir Untuk agregat halus, ditentukan atas dasar berat beton dari Tabel 2.27 dan atas dasar volume absolut	Untuk agregat kasar, ditentukan dari Tabel 2.32 dengan hubungan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir Untuk agregat halus, ditentukan atas dasar berat beton dari Tabel 2.33 dan atas dasar volume absolut

## 2.7 Pengujian Slump

Pengujian slump merupakan salah satu cara untuk mengukur kelecakan beton segar serta untuk memperkirakan tingkat kemudahan pengerjaan beton segar untuk diaduk dalam *concrete mixer*, diangkut dari lokasi pengadukan ke lokasi pencetakan, dituang ke dalam cetakan, dan dipadatkan dengan cara tusukan. Pengujian slump dilakukan berdasarkan SNI 1972:2008 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Cetakan dari logam dengan tebal 1,5 mm berbentuk kerucut terpancung dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
3. Pelat logam yang permukaannya kokoh, rata, dan kedap air.
4. Sendok cekung.
5. Mistar.

Benda uji yang digunakan adalah contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

Cara pengujian slump sebagai berikut.

1. Cetakan dan pelat dilap menggunakan kain basah.
2. Letakan cetakan di atas pelat.
3. Isi cetakan dengan beton segar dalam tiga lapis, tiap lapis berisi 1/3 isi cetakan dan ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan.
4. Setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan, kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas, seluruh pengujian mulai dari pengisian beton segar sampai cetakan diangkat harus selesai dalam waktu 2,5 menit.
5. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji, lalu ukurlah slump dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

## 2.8 Pembuatan dan Perawatan Beton di Laboratorium

Metode ini mencakup cara pembuatan benda uji beton di laboratorium sesuai dengan *mix design* yang ditentukan dengan tujuan untuk mendapatkan benda uji di laboratorium yang memenuhi syarat. Pembuatan dan perawatan beton di laboratorium berdasarkan SNI 2493-2011 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Cetakan silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
2. Batang penusuk.
3. Palu karet.
4. Alat penggetar.
5. Alat uji slump.
6. Wadah adukan untuk benda uji.
7. Peralatan saringan basah.
8. Alat uji kadar udara.
9. Timbangan.
10. Pengaduk beton.

Bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air ditimbang sesuai dengan *mix design* yang direncanakan.

Cara pembuatan beton sebagai berikut.

1. Sebelum mulai pengadukan, masukkan agregat kasar dan sebagian air pencampur ke dalam *mixer*. Hidupkan pengaduk lalu tambahkan agregat halus, semen, dan seluruh sisa air saat kondisi mesin berputar. Apabila penambahan bahan tersebut, tidak dapat dilakukan saat mesin berputar, maka *mixer* dapat dihentikan terlebih dahulu. Beton diaduk kembali setelah semua bahan dimasukkan ke dalam *mixer* selama 3 menit, kemudian 3 menit berhenti, dan dilanjutkan 2 menit diaduk sampai merata. Selama berhenti, *mixer* harus ditutup rapat. Agar tidak terjadi segregasi, sisa adukan dibersihkan dan diaduk kembali dengan sekop sampai adukan merata.

2. Pilih bagian campuran beton yang akan digunakan dalam pengujian untuk pencetakan benda uji yang mewakili perbandingan dan kondisi sesungguhnya. Apabila beton tidak sedang diaduk atau diambil contoh uji, maka tutup kembali untuk menghindari penguapan.
3. Ukur nilai slump masing-masing campuran beton.
4. Apabila nilai slump sudah memenuhi nilai yang disyaratkan, aduk kembali beton segar yang ada di wadah dengan sekop supaya tidak terjadi segregasi, lalu pindahkan benda uji dengan sekop ke dalam cetakan dalam tiga lapis, tiap lapis berisi  $1/3$  isi cetakan dan ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan. Setelah selesai penusukan, bagian luar dipukul – pukul secara ringan dengan palu karet agar lubang udara tertutup.
5. Untuk benda uji silinder, selesai dipadatkan permukaannya diratakan dengan batang penusuk bila kekentalannya memungkinkan dan dengan roskam apabila kekentalannya tidak memungkinkan. Permukaan silinder dapat diberi lapisan tipis dari pasta semen *Portland* sebagai perata.
6. Untuk menghindari penguapan air dari beton segar, tutup benda uji dengan pelat (yang tidak menyerap dan tidak reaktif); lembaran plastik yang kuat, awet, dan kedap air; atau goni basah dapat digunakan sebagai lembaran penutup.
7. Buka benda uji dari cetakan setelah  $24 \pm 8$  jam.
8. Rendam benda uji ke dalam air suhu  $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  mulai dari benda uji dilepaskan dari cetakan hingga pengujian kuat tekan dilakukan. Kondisi perawatan juga dapat dilakukan dengan cara merendam beton di dalam air kapur jenuh atau disimpan di ruangan lembab. Benda uji harus dijaga dari tetesan air atau aliran air.

## 2.9 Kuat Tekan

Kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas dikenal dengan istilah kuat tekan. Kuat tekan beton menentukan kualitas dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki seiring dengan semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019).

### 2.9.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodinuljo (2007) kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

1. Umur beton

Kuat tekan beton akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Laju kenaikan kuat tekan beton mula – mula cepat, semakin lama maka laju kenaikan itu semakin lambat setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

2. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dengan berat semen di dalam campuran beton. Nilai fas umumnya berkisar 0,4 sampai 0,6. Semakin tinggi nilai fas menunjukkan adukan beton semakin encer dan nilai kuat tekan semakin menurun.

3. Kepadatan

Kuat tekan beton akan berkurang apabila kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga – rongga udara sehingga kuat tekannya menjadi rendah.

4. Jumlah pasta semen

Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butiran agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butiran agregat terisi penuh dengan pasta semen dan seluruh permukaan agregat terselimuti pasta semen.

5. Jenis semen

Semen Portland untuk campuran beton terdiri dari beberapa tipe, misalnya cepat mengeras dan sebagainya sehingga mempengaruhi terhadap kuat tekan betonnya.

6. Sifat agregat

Sifat agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya kekasaran permukaan, bentuk agregat, dan kuat tekan agregat.

### 2.9.2 Pengujian Kuat Tekan

Metode ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dirawat di laboratorium maupun di lapangan. Pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 1974:2011 sebagai berikut.

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. *Compression Testing Machine* (CTM).
2. Timbangan.

Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut.

1. Ambil benda uji dari bak perendam lalu bersihkan dengan kain lembab.
2. Benda uji diukur dan ditimbang.
3. Letakkan benda uji pada mesin kuat tekan secara sentris, setelah itu mesin uji dinyalakan.
4. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan, tipe kehancuran, dan kondisi visual benda uji.
5. Kemudian hitung :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2.54)$$

Keterangan :

$f_c$  = kuat tekan beton (MPa atau N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = gaya tekan aksial (N)

$A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 2.10 Penelitian Terdahulu

Pada Tabel 2.35 disajikan perbandingan penelitian yang akan dilakukan dengan beberapa penelitian sebelumnya dilihat dari segi parameter yang digunakan.

Tabel 2. 35 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilakukan

Keterangan	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Alkhaly (2016)	Widyawati (2011)	Santoso (2017)	Zain (2017)	Nur Azizah (2023)
<b>Judul</b>	Perbandingan Rancangan Campuran Beton Berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 pada Mutu Beton 20 MPa	Studi Kuat Tekan Beton Ringan Metoda Rancang Campur <i>Dreux Gorisse</i>	Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012	Pengaruh Variasi Diameter Maksimum Agregat dalam Campuran terhadap Kekuatan Tekan Beton	Perbandingan Desain Campuran Beton Normal antara Metode <i>Dreux Gorisse</i> , SNI 03-2834-2000, dan SNI 7656:2012 Menggunakan Variasi Ukuran Agregat Kasar
<b>Kuat Tekan Beton Rencana</b>	20 MPa	17,5 MPa	25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa	-	25 MPa

Keterangan	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Alkhaly (2016)	Widyawati (2011)	Santoso (2017)	Zain (2017)	Nur Azizah (2023)
Metode Campuran	SNI 03-2834-2000 SNI 7656:2012	<i>Dreux Gorisse</i>	SNI 03-2834-2000 SNI 7656:2012	ACI 211. 1-91	<i>Dreux Gorisse</i> SNI 03-2834-2000 SNI 7656:2012
Jenis Beton	Beton normal	Beton ringan	Beton normal	Beton normal	Beton normal
Tinjauan Penelitian	Jumlah material dan kuat tekan	Kuat tekan	Jumlah material dan kuat tekan	Kuat tekan	Jumlah material, nilai ekonomis, dan kuat tekan
Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	ALWA	Batu pecah	Batu pecah	Batu pecah
Ukuran Maksimum Agregat	20 mm	20 mm	20 mm	8 mm, 16 mm, dan 31,5 mm	10 mm, 20 mm, dan 40 mm
Ukuran Benda Uji	150 mm x 300 mm	150 mm x 300 mm	150 mm x 300 mm	150 mm x 300 mm	150 mm x 300 mm
Jumlah Benda Uji	10 buah	15 buah	36 buah	15 buah	81 buah

<b>Keterangan</b>	<b>Penelitian Terdahulu</b>				<b>Penelitian yang Dilakukan</b>
	<b>Alkhaly (2016)</b>	<b>Widyawati (2011)</b>	<b>Santoso (2017)</b>	<b>Zain (2017)</b>	<b>Nur Azizah (2023)</b>
<b>Umur Pengujian Kuat Tekan</b>	28 hari	3, 7, 14, dan 28 hari	7, 14, dan 28 hari	28 hari	7, 14, dan 28 hari
<b>Hasil Penelitian</b>	Nilai kuat tekan dengan metode SNI 7656:2012 lebih tinggi dibanding SNI 03-2834-2000. Kedua SNI tersebut menghasilkan nilai slump yang baik.	Hasil kuat tekan yang diperoleh pada pengujian 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari berturut-turut adalah 9,38 MPa; 7,86 MPa; 13,30 MPa; dan 20,59 MPa.	Perkembangan kuat tekan pada umur 7 dan 14 hari menggunakan SNI 7656:2012 lebih tinggi 5,33% pada umur 7 hari dan 2 % pada umur 14 hari dibandingkan SNI 03-2834-2000.	Semakin kecil diameter maksimum agregat dalam campuran beton maka semakin besar nilai kuat tekan beton.	-