

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium PT. Azka Sejahtera.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen pada penelitian ini adalah membuat benda uji dengan bentuk balok dengan komposisi pembuatan betonnya menggunakan campuran limbah karet sol sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 4%, 8%, 12% dengan pembanding beton normal tanpa campuran limbah karet sol. Pengujian beton ini dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Beton yang digunakan adalah beton $f'c = 25$ Mpa.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Adapun data-data yang diperlukan untuk melengkapi kebutuhan dalam penelitian ini yaitu diperoleh dari :

1. Literatur

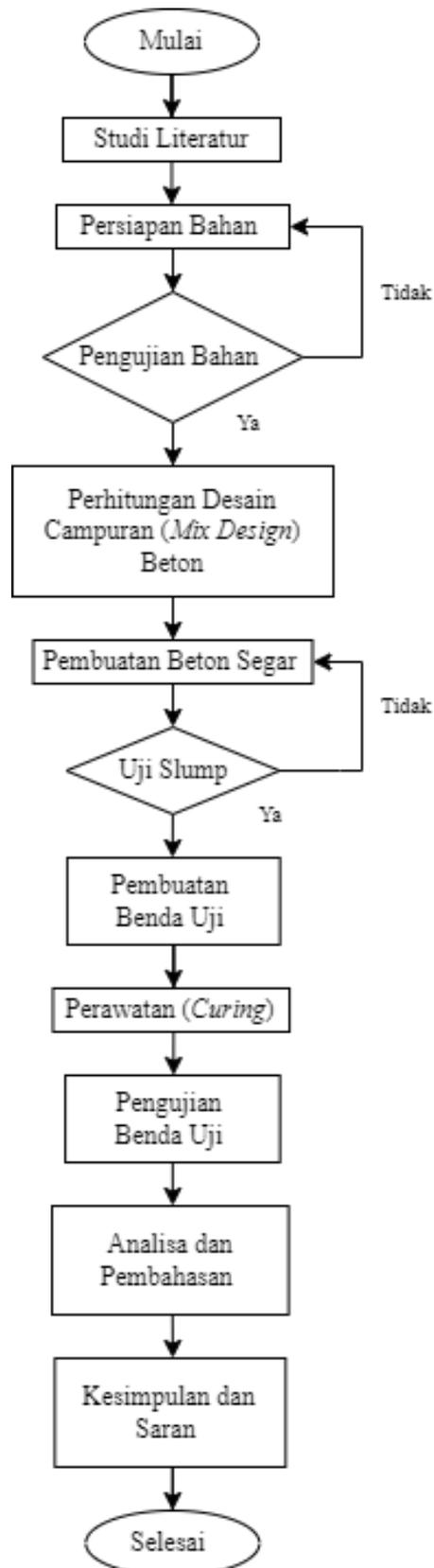
Mencari dan mempelajari buku-buku literatur dan jurnal tentang teknologi beton dan pengujiannya. Peraturan-peraturan yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ACI (American Concrete Institute), ASTM (American Society for Testing and Material) dan BS (British Standard). Dalam studi literatur, diperoleh teori-teori yang dapat membantu untuk melengkapi laporan ini.

2. Praktek di Laboratorium

Data yang dibutuhkan adalah data hasil dari uji kuat tekan dan kuat lentur yang diperoleh dari melakukan pengujian di laboratorium.

3.4 Alur Penelitian

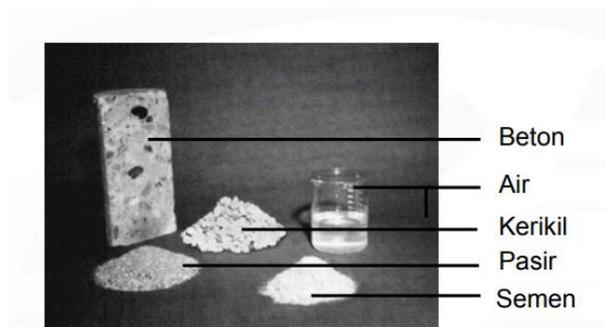
Secara garis besar, tahapan penelitian yang dilaksanakan di laboratorium dapat dilihat pada bagan berikut ini :



Gambar 3.2 Alur Penelitian

3.5 Persiapan Bahan

Persiapan bahan-bahan atau material penyusun beton merupakan langkah pertama yang harus dilakukan pada saat melakukan penelitian di laboratorium.



Sumber : Wijaya Karya

Gambar 3.3 Material utama pembentuk beton

Berikut ini adalah bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini :

1. Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengisi dan pengikat pada campuran beton. Pada penelitian ini semen yang digunakan yaitu semen portland tipe I.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar atau batu pecah yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm.

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir cor dan sebelum melakukan pembuatan beton, dilakukan penyaringan untuk menentukan zona pasir.

4. Air

Air yang digunakan yaitu air yang berasal dari Laboratorium PT. Azka Sejahtera.

5. Limbah Karet Sol

Limbah karet sol yang digunakan adalah sebagai material substitusi/pengganti agregat kasar dengan persentase tertentu.

3.6 Persiapan Peralatan

Dalam pembuatan beton menggunakan beberapa alat-alat yang tersedia di PT. Azka Sejahtera *Ready Mix* dan juga menggunakan bahan-bahan yang sudah

dipersiapkan sebelumnya agar terlaksananya proses pembuatan beton yang baik.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Saringan
saringan berfungsi untuk menyaring sampel untuk mengetahui modulus halus dan gradasi perbutir pada agregat.
2. Timbangan
Timbangan berfungsi untuk menimbang berat sampel agar sesuai dengan yang dibutuhkan.
3. Sekop
Sekop berfungsi untuk memindahkan bahan-bahan dan mengaduk campuran beton.
4. *Concrete Mixer*
Berfungsi untuk mengaduk semua bahan supaya tercampur merata.
5. Sendok spesi
Berfungsi untuk mencampur atau memasukkan adonan beton ke dalam cetakan.
6. Cetakan
Cetakan yang digunakan pada penelitian ini berbentuk balok.
7. Bak Air
Berfungsi untuk merendam benda uji yang sudah dilepas dari cetakan.
8. Mesin Pengujian Beton
Sebagai alat untuk menguji kekuatan beton keras.

3.7 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui apakah agregat kasar dan halus yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi untuk pembuatan benda uji. Semen yang digunakan tidak diuji, karena semen tersebut telah dianggap memenuhi spesifikasi sesuai ketentuan, sedangkan untuk limbah karet sol pemeriksaan karakteristik hanya dilakukan terhadap analisis saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, kadar air dan berat volume. Pemeriksaan karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

3.7.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar.

Cara pelaksanaan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

- a. Timbangan dan neraca
- b. Satu set saringan : 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No 4 (4,75 mm); No 8 (2,36 mm); No 16 (1,18 mm); No 30 (0,600 mm); No 50 (0,300 mm); No 100 (0,150 mm); No 200 (0,075 mm).
- c. Oven
- d. Alat pemisah contoh
- e. Mesin mengguncang saringan
- f. Talam-talam
- g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya

2. Benda uji

- a. Agregat halus
- b. Agregat kasar

3. Prosedur pengujian

Urutan proses dalam penyajian ini adalah sebagai berikut :

- a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
- b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

4. Perhitungan

Hitunglah persentase benda berat uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

3.7.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25 °C. Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25 °C. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25 °C. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut :

3.7.2.1 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat Kasar

1. Peralatan
 - a. Keranjang kawat
 - b. Tempat air
 - c. Timbangan
 - d. Oven
 - e. Alat pemisah contoh
 - f. Saringan no 4 (4,75 mm)
2. Benda uji
Agregat yang tertahan saringan no 4 (4,75 mm)
3. Prosedur pengujian
 - a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.

- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang (Bk).
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- e. Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj).
- g. Letakkan benda uji didalam keranjang goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (Ba).

4. Perhitungan

- a. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

$$\frac{Bk}{Bj - Ba}$$

- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

$$\frac{Bj}{Bj - Ba}$$

- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$\frac{Bk}{Bk - Ba}$$

- d. Penyerapan

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \cdot 100\%$$

Keterangan :

Bk = berat jenis uji kering oven (gram)

Bj = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

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

3.7.2.2 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

1. Peralatan

- a. Timbangan
- b. Piknometer
- c. Kerucut perpancung
- d. Batang penumbuk
- e. Saringan no 4 (4,75 mm)
- f. Oven
- g. Pengukur suhu
- h. Talam
- i. Bejana tempat air
- j. Pompa hampa udara
- k. Desikator

2. Benda uji

Agregat yang lewat saringan no 4 (4,75 mm)

3. Prosedur pengujian

- a. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu (110 ± 5) °C sampai berat tetap.
- b. Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
- c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.

- e. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C.
- f. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- g. Timbang piknometer berisi air dan benda uji
- h. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- i. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (Bk).
- j. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu 25 °C (B).

4. Perhitungan

- a. Berat jenis curah $\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$
- b. Berat jenis jenuh kering permukaan $\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$
- c. Berat jenis semu $\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$
- d. Penyerapan $\frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$

Keterangan :

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

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

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

3.7.3 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menemukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Cara pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

- a. Timbangan
 - b. Oven
 - c. Talam
2. Benda uji
 - a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
 3. Prosedur pengujian
 - a. Timbang dan catatlah berat talam (W_1).
 - b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2).
 - c. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)
 - d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu 110 ± 5 °C sampai beratnya tetap.
 - e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4)
 - f. Hitunglah berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$)
 4. Perhitungan

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

Keterangan :

W_3 = berat benda uji semula (gram)

W_5 = berat benda uji kering (gram)

3.7.4 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu beton semen hidrolik atau adukan. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Cara pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. Batang penusuk

- c. Alat penakar berbentuk silinder
 - d. Sekop atau sendok
2. Benda uji
- a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
- a. Kondisi padat
 - 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
 - 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk.
 - 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25 x tusukan.
 - 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
 - 8) Hitung berat isi agregat dengan rumus :

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad \text{atau} \quad M = (G-T) \times F$$
 - 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus :

$$M_{SSD} = M \{1 + (A/100)\}$$
 - b. Kondisi gembur
 - 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebih dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
 - 2) Ratakan permukaan dengan batang perata.
 - 3) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar sendiri.
 - 4) Catat beratnya.
 - 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah di atas.
4. Perhitungan
- a. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad \text{atau} \quad M = (G-T) \times F$$

Keterangan :

M = berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dan penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar (m^3)

F = faktor penakar (m^3)

- b. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$M_{\text{SSD}} = M \{1 + (A/100)\}$$

Keterangan :

M_{SSD} = berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m^3)

M = berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

3.7.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

Cara pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

- a. Gelas ukur
- b. Alat pengaduk

2. Benda uji

Sampel pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air

3. Prosedur pengujian

- a. Sampel benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- b. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
- c. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
- d. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
- e. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur.

4. Perhitungan

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

Keterangan :

V_1 = tinggi pasir (mm)

V_2 = tinggi lumpur (mm)

3.7.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Mesin abrasi Los Angeles merupakan alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu.

Tujuan analisis pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

Cara pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

a. Mesin abrasi Los Angeles

Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28") panjang dalam 508 mm (20"), silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu, di bagian dalam silinder terdapat bilah naja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5").

b. Saringan No 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.

c. Timbangan

d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1 \frac{27}{32}$ ") dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram

e. Oven

f. Alat bantu pan dan kuas

2. Benda uji

a. Agregat kasar

3. Prosedur pengujian

- a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut :
 - 1) Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
 - 2) Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - 3) Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No 4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - 4) Cara D : Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No 8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - 5) Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - 6) Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
 - 7) Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- b. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles.
- c. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran gradasi A, B, C dan D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, F dan G adalah 1000 putaran.
- d. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No 12 (1,70 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- e. 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.

4. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm) (gram)

3.8 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun ini ditentukan melalui sebuah perhitungan (*mix design*). Metode dalam menentukan proporsi campuran pada penelitian ini digunakan standar sesuai SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

Perhitungan ini dilakukan dengan berdasarkan kekuatan tekan rencana serta workabilitas yang digunakan. Dua indikator ini sangat kontradiktif, dimana kekuatan beton akan meningkat jika penggunaan air pada pencampuran rendah. Namun demikian, workabilitas yang dicapai juga rendah sehingga sulit dikerjakan. Sebaliknya, jika workabilitas yang direncanakan tinggi, jumlah air yang digunakan tinggi sementara kuat tekan yang dihasilkan menjadi rendah.

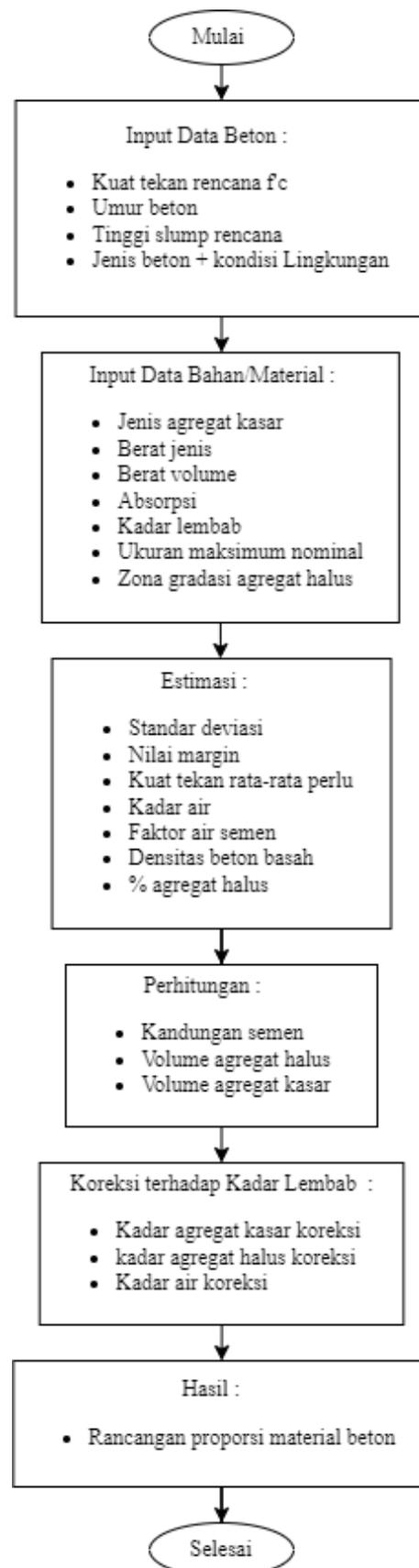
Pemilihan agregat juga mempengaruhi sifat pengerjaan beton. Butiran yang besar akan menyebabkan segregasi, sedangkan butiran yang kecil menyebabkan kuat tekan beton yang rendah.

Sifat-sifat beton dapat direncanakan berdasarkan sifat material penyusunnya. *Mix design* adalah pemilihan bahan penyusun beserta proporsinya. Proporsi campuran beton harus menghasilkan beton yang memenuhi persyaratan berikut :

1. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen).
2. Keawetan terhadap pengaruh-pengaruh serangan agresif lingkungan (durabilitas).
3. Ketentuan tekan karakteristik atau kekuatan tekan minimum yang dikehendaki (*Compressive strength*).

4. Harga adukan harus ekonomis.

Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain Metode DOE yang dikembangkan oleh *Department of Environment* di Inggris dan Metode ACI (*American Concrete Institute*). Metode rancangan campuran dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI 03-2834-2000 “Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal”. Secara garis besar metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel. Berikut adalah prosedur perancangan campuran beton.



Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2017

Gambar 3.4 Prosedur perancangan campuran beton

3.8.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Disyaratkan

Kuat tekan beton yang disyaratkan sesuai dengan persyaratan perencanaan dan kondisi setempat pada umur 28 hari, yaitu kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5%. Kuat tekan yang direncanakan pada penelitian ini yaitu 25 Mpa. Berikut ini merupakan mutu beton dan penggunaannya :

Tabel 3.1 Mutu beton dan penggunaannya

Jenis Beton	f'_c (MPa)	Uraian
Mutu tinggi	$f'_c \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.
Mutu sedang	$20 \leq f'_c < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu rendah	$15 \leq f'_c < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar
	$f'_c < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

Sumber : Spesifikasi Umum 2018

3.8.2 Deviasi Standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya.

Tabel 3.2 Nilai standar deviasi

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	S_d (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0

Tidak terkendali	8,4
------------------	-----

Jika pelaksana mempunyai catatan dan hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu jumlah data hasil uji minimum 30 buah (satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data uji kurang dari 30, maka dilakukan koreksi dengan suatu faktor pengali nilai deviasi standar.

Tabel 3.3 Faktor pengali deviasi standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Tidak boleh
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2834-2000 : Tabel 1

Jika pelaksana tidak mempunyai catatan hasil pengujian serupa pada masa yang lalu/bila data hasil uji kurang dari 15 buah, maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 Mpa.

Pada penelitian ini, karena pengujian yang akan dilakukan merupakan pengujian pertama kali, maka standar deviasi tidak ada atau dapat diambil nilai dengan pengendalian yang jelek senilai 7 Mpa.

3.8.3 Nilai Tambah (Margin)

Penelitian ini merupakan pengujian pertama kali, maka tidak ada rekan pengujian, maka dapat langsung ditetapkan nilai tambah/margin sebesar 12 Mpa. Apabila dihitung menurut rumus :

$$M = 1,64 \times S_r = 1,64 \times 7 = 11,48 \sim 12 \text{ Mpa}$$

Dengan :

M : nilai tambah/margin

1,64 : tetapan statistik yang nilainya tergantung persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S_r : deviasi standar rencana

3.8.4 Kuat Tekan Rata-rata

Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan di hitung menurut rumus berikut :

$$f_{cr}' = f_c' + M = 25 + 12 = 37 \text{ Mpa}$$

Dengan

f_{cr}' : kuat tekan rata-rata (Mpa)

f_c' : kuat tekan yang disyaratkan (Mpa)

M : nilai tambah (Mpa)

3.8.5 Jenis Semen

Menurut SNI 2049-2015 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 tipe. Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I. Berikut fungsi pemakaian sesuai dengan tipe semen portland

Tabel 3.4 Tipe semen dan fungsinya

Tipe Semen	Syarat Penggunaan	Pemakaian
I	Kondisi biasa, tidak memerlukan persyaratan khusus	Perkerasan jalan, gedung, jembatan biasa dan konstruksi tanpa serangan sulfat
II	Serangan sulfat konsentrasi sedang	Bangunan tepi laut, dam, bendungan, irigasi dan beton massa
III	Kekuatan awal tinggi	Jembatan dan pondasi dengan beban berat
IV	Panas hidrasi rendah	Pengecoran yang menuntut panas hidrasi rendah dan diperlukan <i>setting time</i> yang lama
V	Ketahanan yang tinggi terhadap sulfat	Bangunan dalam lingkungan asam, tangki bahan kimia dan pipa bawah tanah

3.8.6 Jenis Agregat

Penetapan jenis agregat pada penelitian ini yaitu agregat kasar berupa batu pecah (kerikil) dan alami (pasir) untuk agregat halus.

3.8.7 Faktor Air Semen Bebas

Untuk menentukan nilai faktor air semen bebas dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

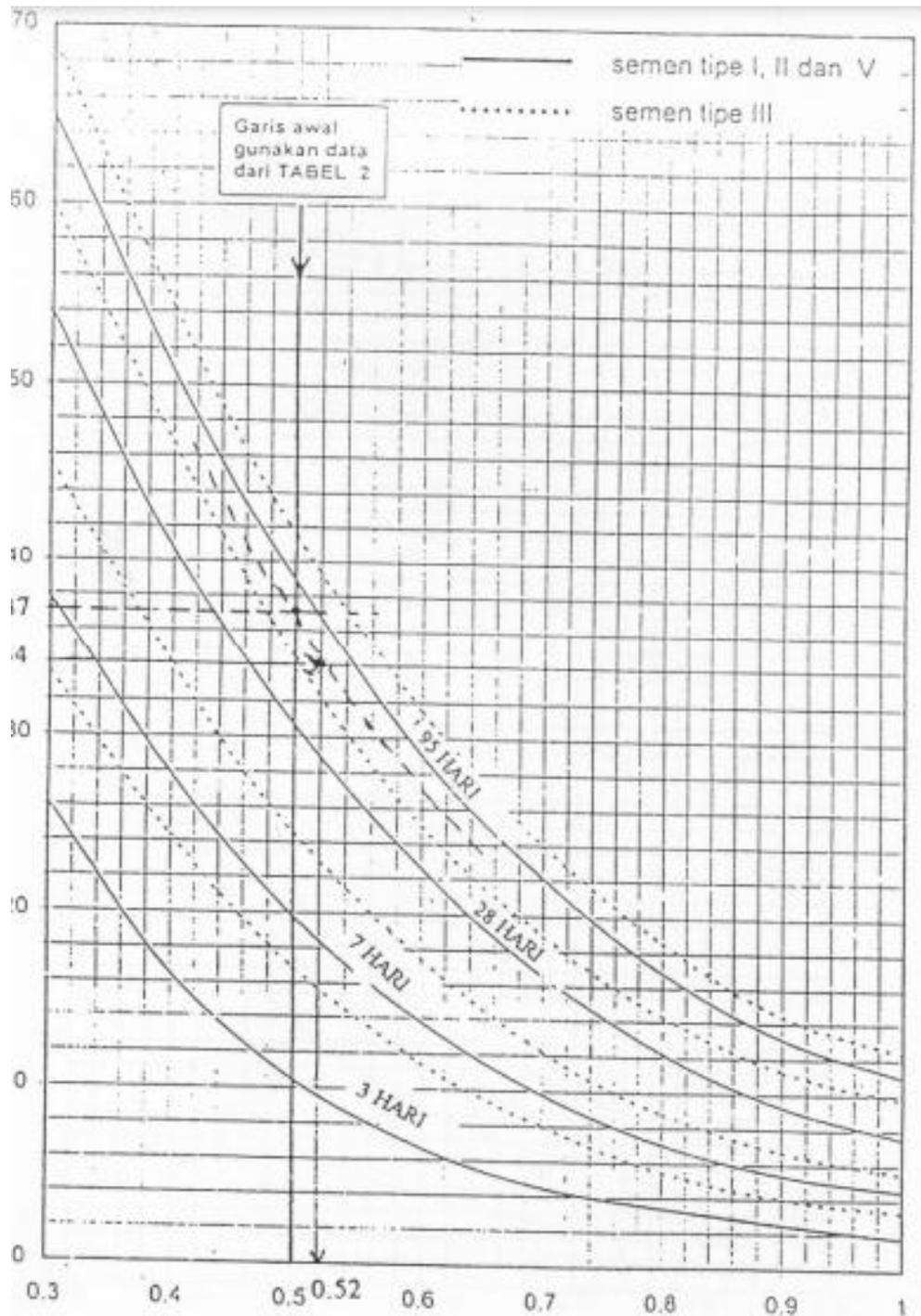
1. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel 2 sesuai dengan jenis semen dan agregat yang akan dipakai.
2. Lihat grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik 2 untuk benda uji berbentuk kubus.
3. Tarik tegak lurus keatas melalui fas 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang di dapat dari poin 1.
4. Tarik lengkung melalui titik pada poin 3 secara proporsional.
5. Tarik garis mendatar melalui kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan poin 4.
6. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan fas yang diperlukan.

Tabel 3.5 Perkiraan kekuatan tekan (Mpa) beton dengan faktor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber : SNI 03-2834-2000 : Tabel 2

Pada tabel diatas disesuaikan dengan jenis tipe semen yaitu semen portland tipe I dan jenis agregat kasar yaitu batu pecah serta umur rencana 28 hari dengan bentuk benda uji silinder dan didapat kuat tekan senilai 37 Mpa pada fas 0,5.



Sumber : SNI 03-2834-2000 : Grafik 1

Gambar 3.5 Grafik 1 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Pada grafik diatas sumbu X sebagai fas dan sumbu Y sebagai kuat tekan silinder (Mpa). Berikut adalah langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tarik secara vertikal nilai fas 0,5 sesuai dengan nilai pada tabel 2.

2. Kemudian tarik secara horizontal nilai kuat tekan silinder 37 Mpa ke kanan sampai berpotongan dengan nilai fas 0,5.
3. Setelah berpotongan kemudian dibuat garis parabola sesuai pada gambar parabola yang digambar baru. Setelah didapat garis parabola, kemudian gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan $f'_{cr} = 37$ Mpa.
4. Kemudian tarik secara horizontal dari f'_{cr} sampai menyentuh parabola yang dibuat.
5. Kemudian tarik kebawah secara tegak lurus sampai menyentuh nilai fas dan kemudian dibaca nilai fas yang dicari.
6. Pada penelitian ini didapat nilai faktor air semen bebas yaitu 0,5

3.8.8 Faktor Air Semen Maksimum

Faktor air semen maksimum dan jumlah semen minimum pada pengujian ini diambil jenis pembetonan, beton di luar ruangan bangunan keadaan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung sehingga fas maks = 0,60 dan jumlah semen minimum yaitu 325 kg/m^3 . Karena fas maks lebih besar dari fas bebas maka fas bebas yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.6 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi ---	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 matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	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		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 03-2834-2000: Tabel 4

3.8.9 Nilai Slump

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

Tabel 3.7 Penetapan nilai slump

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

3.8.10 Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan yaitu maks 20 mm. Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut :

1. $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
2. $\frac{1}{3}$ ketebalan pelat lantai, ataupun
3. $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan, kawat-kawat, bundel tulangan, tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

3.8.11 Kadar Air Bebas

Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat dan slump yang diinginkan. Kebutuhan air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen, bukan untuk peresapan air.

Tabel 3.8 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

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

Sumber : SNI 03-2834-2000 : Tabel 3

Dari tabel di atas karena agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan batu pecah), dengan ukuran agregat 20 mm dan nilai slump 60 – 180 mm. Didapat jenis batuan alami 195 (Wh) dan batu pecah 225 (Wk). Kadar air bebas dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k = \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 = 205 \text{ kg/m}^3$$

Dengan :

Wh : jumlah air untuk agregat halus

Wk : jumlah air untuk agregat kasar

Catatan : untuk temperatur di atas 20 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambahkan air sebanyak 5 liter/m³ adukan beton. Untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambahkan air kira-kira 10 liter/m³ beton.

3.8.12 Kadar Semen

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

$$\text{Jumlah semen} = \frac{205}{0,5} = 410 \text{ kg/m}^3$$

3.8.13 Kadar Semen Maksimum

Nilai kadar semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya, bila tidak dituangkan maka dapat diabaikan.

3.8.14 Kadar Semen Minimum

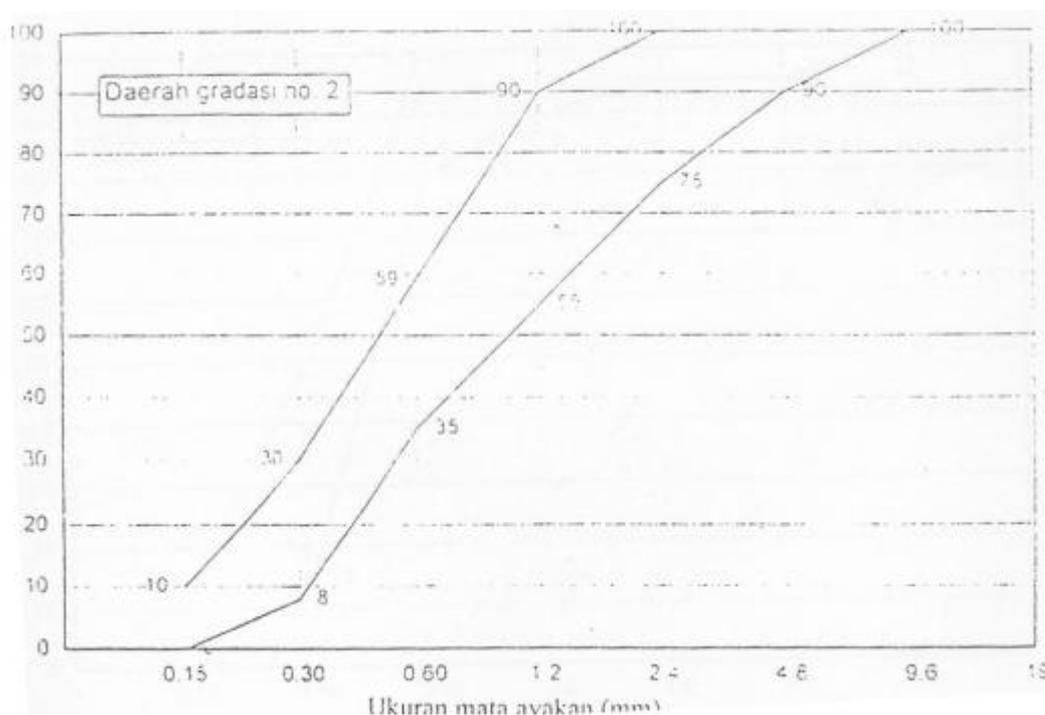
Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air laut. Kadar semen minimum ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada tabel sebelumnya, diperoleh kadar semen minimum yaitu 325 kg/m³.

3.8.15 Faktor Air Semen Disesuaikan

Faktor air semen disesuaikan hanya dihitung jika ada perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi kadar semen minimum ataupun maksimum. Pada penelitian ini, kadar semen yang akan digunakan adalah kadar semen berdasarkan hasil perhitungan, sehingga tidak perlu adanya faktor air semen disesuaikan atau dengan kata lain fas yang digunakan yaitu 0,5.

3.8.16 Susunan Besar Butir Agregat Halus

Susunan besar butir agregat halus adalah daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan gradasi (hasil analisis saringan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi didasarkan atas grafik gradasi. Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berada pada daerah gradasi/zona 2.



Sumber : SNI 03-2834-2000 : Grafik 4

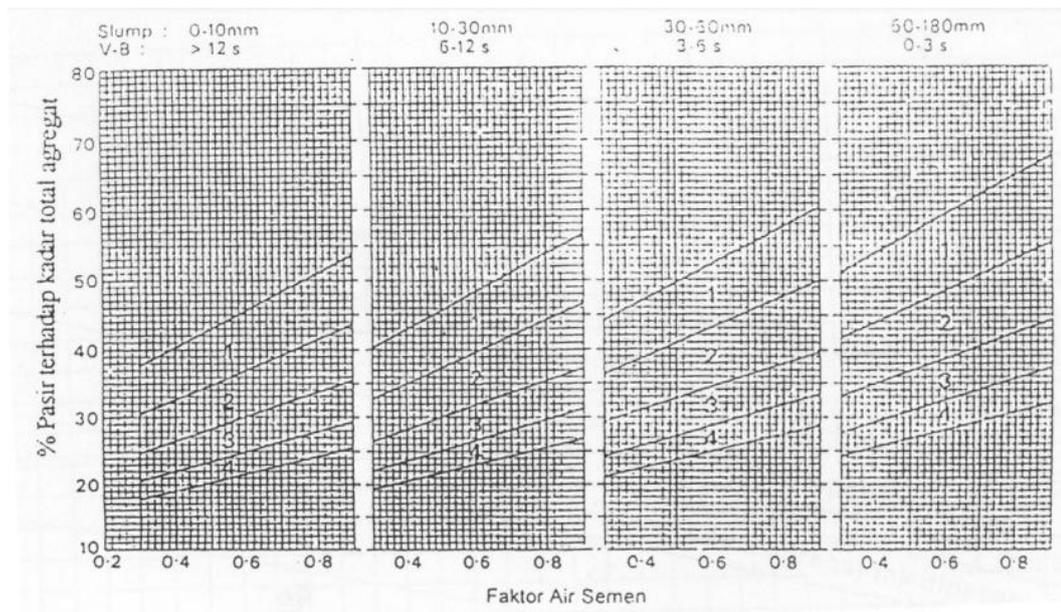
Gambar 3.6 Grafik 4 Batas gradasi pasir (sedang) No 2

3.8.17 Persentase Agregat Halus

Persentase agregat halus diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, fas dan daerah gradasi agregat

halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

Pada penelitian ini, agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm, sehingga digunakan grafik 14, kemudian berdasarkan nilai slump yang telah ditentukan yaitu 60 – 180 mm, dengan nilai fas yang digunakan yaitu 0,5 dan daerah gradasi agregat halus gradasi 2, maka persen agregat halus dapat ditentukan.



Sumber : SNI 03-2834-2000 : Grafik 14

Gambar 3.7 Grafik 14 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Berdasarkan grafik di atas, dari nilai fas 0,5 tarik garis vertikal hingga memotong dua buah kurva daerah gradasi 2, lalu tarik garis horizontal maka didapatkan persen agregat halus rerata.

$$\text{Persen agregat halus} = \frac{37 + 46}{2} = 41,5 \%$$

3.8.18 Berat Jenis Relatif

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$B_j \text{ camp} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ ag hls} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ ag ksr} = \frac{41,5}{100} \times 2,61 + \frac{58,5}{100} \times 2,64 = 2,63$$

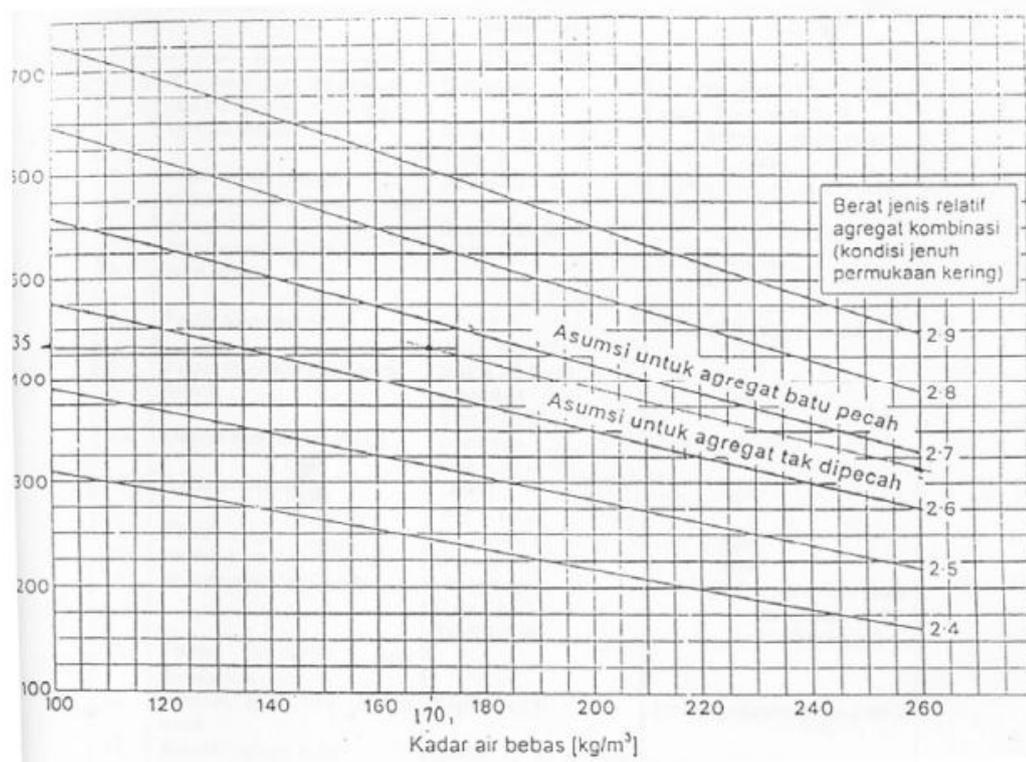
Dengan

$B_j \text{ camp}$: berat jenis agregat campuran

- Bj ag hls : berat jenis agregat halus (hasil uji properties/bahan)
 Bj ag ksr : berat jenis agregat kasar (hasil uji properties/bahan)
 P : persentase agregat halus terhadap agregat campuran
 K : persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

3.8.19 Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton menggunakan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya. Berat isi beton ditentukan menggunakan grafik di bawah, dengan sumbu X adalah kadar air bebas dan sumbu Y adalah berat isi beton.



Sumber : SNI 03-2834-2000 : Grafik 16

Gambar 3.8 Grafik 16 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan

Berdasarkan grafik di atas berat isi beton dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Buat kurva berat jenis agregat gabungan = 2,63 secara proporsional pada grafik
2. Kemudian tarik garis secara vertikal dari kadar air bebas = 205 kg/m³ sampai menyentuh kurva Bj agregat gabungan yang telah dibuat

3. Selanjutnya tarik garis secara horizontal, sehingga didapat berat isi beton = $2362,1 \text{ kg/m}^3$

3.8.20 Kadar Agregat Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat isi beton per meter kubik di kurangi kadar semen dan kadar air bebas. Kadar agregat gabungan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kadar Ag Gab} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2362,1 - 410 - 205 \\ &= 1747,1 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

3.8.21 Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus adalah persentase fraksi pasir dikalikan jumlah agregat campuran, dan merupakan jumlah pasir yang diperlukan. Kebutuhan agregat halus diperoleh dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halus. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar ag hls} = \% \text{ ag hls} \times \text{kadar ag gab} = 41,5 \% \times 1747,1 = 725,05 \text{ kg/m}^3$$

3.8.22 Kadar Agregat Kasar

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus. Kadar agregat kasar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kadar ag ksr} &= \text{kadar ag gab} - \text{kadar ag hls} \\ &= 1747,1 - 725,05 \\ &= 1022,05 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

3.8.23 Koreksi Campuran

Setelah perancangan campuran selesai, perlu diingat bahwa proporsi yang didapat adalah proporsi yang mempunyai basis kondisi agregat tertentu. Metode DOE memakai basis kondisi agregat jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

Saat pelaksanaan di lapangan, kondisi agregat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi apa adanya atau tidak jenuh kering muka, sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat. Untuk melakukan koreksi penyesuaian rancangan campuran diperlukan data kadar air

dan resapan agregat. Koreksi harus dilakukan minimum satu kali per hari. Proporsi campuran disesuaikan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Semen, tetap} = B_1 = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= B_2 - (C_m - C_a) \times \frac{B_3}{100} - (D_m - D_a) \times \frac{B_4}{100} \\ &= 205 - (2,83 - 2,25) \times \frac{725,05}{100} - (1,73 - 1,54) \times \frac{1022,05}{100} \\ &= 198,89 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= B_3 + (C_m - C_a) \times \frac{B_3}{100} \\ &= 725,05 + (2,83 - 2,25) \times \frac{725,05}{100} \\ &= 729,24 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat kasar} &= B_4 + (D_m - D_a) \times \frac{B_4}{100} \\ &= 1022,05 + (1,73 - 1,54) \times \frac{1022,05}{100} \\ &= 1023,97 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dengan :

B_1 : berat semen (kg/m^3)

B_2 : berat air (kg/m^3)

B_3 : berat agregat halus (kg/m^3)

B_4 : berat agregat kasar (kg/m^3)

C_m : kadar air agregat halus (%)

C_a : resapan agregat halus (%)

D_m : kadar air agregat kasar (%)

D_a : resapan agregat kasar (%)

3.9 Pembuatan Beton Segar

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan di lapangan, pencampuran bahan-

bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar. Cara pengolahan ini akan menentukan kualitas dari beton yang akan dibuat. Adapun tahapan dalam pelaksanaan meliputi :

3.9.1 Persiapan

Sebelum pelaksanaan penuangan beton dilaksanakan, hal-hal yang dilakukan adalah membersihkan semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan beton, membersihkan cetakan benda uji dan melapisi cetakan tersebut dengan minyak mineral untuk memudahkan pembukaan benda uji.

3.9.2 Penakaran (*Batching*)

Proses untuk mengukur proporsi dan material beton sebelum dimuat ke dalam pengaduk (*mixer*). Besarnya proporsi masing-masing bahan didapat dari perencanaan campuran (*mix design*). Proses penakaran yang paling akurat adalah dengan menimbanginya.

3.9.3 Pengadukan (*Mixing*)

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran/pengadukan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Pengadukan ini dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecikan yang cukup (tidak cair tidak padat), dan tampak campurannya homogen. Pemisahan butir-butir seharusnya tidak boleh terjadi selama proses pengadukan ini.

Umumnya yang dimasukkan cenderung agregat kasar dulu, kemudian semen, lalu agregat halus. Air ditambahkan terakhir. Alasannya, waktu hopper dijungkirkan untuk mengeluarkan isinya, bahan yang masuk pertama akan keluar belakangan. Oleh karenanya lebih baik jika agregat kasar dapat mendorong agregat halus dan semen yang ada di depannya. Pada umumnya, pencampuran dimulai dengan memasukkan sedikit air terlebih dahulu sebelum material yang lain dimasukkan. Sisa air ditambahkan setelah semua material masuk.

Metode pengadukan dapat dibedakan menjadi dua yaitu manual dan mesinal. Pengadukan manual dilakukan dengan tangan, sedangkan pengadukan dengan mesin memanfaatkan bantuan alat aduk seperti molen atau batching plant. Pengadukan harus dilakukan cukup lama untuk mendapatkan campuran yang seragam. Waktu pencampuran tergantung jenis pengaduk. Lama pencampuran dapat berkisar dari 30 detik sampai 3 menit.

Alat yang digunakan dalam pengadukan pada penelitian ini yaitu *drum mixer* yang mempunyai kombinasi bilah (*blade*) dan bentuk drum yang memungkinkan pertukaran material dari ujung ke ujung sejajar sumbu rotasi maupun gerakan menyebar.

3.9.4 Pengecoran (*Placing*)

Pengecoran beton adalah proses menuangkan beton segar dari alat pengangkut ke dalam cetakan, karat yang terdapat pada baja penguat harus dihilangkan, cetakan harus dibersihkan dan ceceran material beton yang telah mengeras akibat pengangkutan sebelumnya harus dibersihkan.

Pengecoran yang baik harus dapat menghindari terjadinya pemisahan perubahan bentuk cetakan atau pergeseran baja penguat dalam cetakan, maupun terjadinya hubungan yang jelek antara lapisan-lapisan pengecoran beton. Segera setelah dilakukan pengecoran, beton harus dipadatkan dengan memakai alat pemadat yang dapat digerakkan dengan tangan atau vibrator.

Hal-hal yang perlu diperhatikan selama pengecoran :

1. Beton yang akan dicorakan harus pada posisi sedekat mungkin dengan acuan untuk mencegah terjadinya segregasi yang disebabkan pemuatan kembali atau dapat mengisi dengan mudah seluruh acuan.
2. Tingkat kecepatan pengecoran beton harus diatur agar beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengisi dengan mudah ke dalam sela-sela.
3. Beton yang telah mengeras sebagian atau yang seluruhnya tidak boleh dipergunakan untuk pengecoran.
4. Beton yang telah dikotori oleh bahan lain tidak boleh dituangkan ke dalam struktur.
5. Adukan beton harus dituang secara terus-menerus (tidak terputus) agar diperoleh beton yang seragam dan tidak terjadi garis batas.

6. Permukaan cetakan yang berhadapan dengan adukan beton harus diolesi minyak agar beton yang terjadi tidak melekat dengan cetakannya.
7. Selama penuangan dan pemadatan harus dijaga agar posisi cetakan maupun tulangan tidak berubah.
8. Pengecoran tidak boleh dilakukan pada waktu turun hujan.

3.9.5 Pemadatan (*Compacting*)

Setelah beton segar diaduk, diangkut, dituangkan, beton masih mengandung udara dalam bentuk rongga udara. Pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara sebanyak mungkin dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu pelakatan yang baik antara beton dengan permukaan baja tulangan atau bahan lain yang ikut di cor. Pemadatan dilakukan dengan sebelum terjadinya *initial setting time* pada beton.

Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Pemadatan dengan tangan

Cara pemadatan biasa dengan tangan dapat dilakukan dengan jalan menusuk-nusuk menggunakan alat yang tepat, seperti balok besar dan tongkat baja.

2. Pemadatan dengan mesin getar

Mesin getar dalam (*intern vibro*) kadang-kadang disebut dengan poker (tongkat) atau vibrator (mesin getar) yang dapat dicelupkan ke dalam beton.

3.9.6 Pekerjaan Akhir (*Finishing*)

Pekerjaan *finishing* dimaksudkan untuk mendapatkan sebuah permukaan beton yang rata dan mulus. Pekerjaan ini biasanya dilakukan pada saat beton belum mencapai *final setting time*, karena pada masa ini beton masih dapat dibentuk. Alat yang digunakan biasanya ruskam, jidar dan alat perata lainnya.

3.10 Pengujian Beton Segar (*Slump*)

Campuran beton segar dapat dikatakan mempunyai sifat baik bila memenuhi persyaratan utama campuran yaitu mampu memberikan kemudahan pekerjaan (*workability*), yaitu bila campuran tersebut tetap bertahan seragam ketika berlangsung proses pengangkutan, pengecoran dan pemadatan.

Kelecekan (*workability*) adalah kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan. Tidak ada cara yang bisa langsung mengukur suatu kemudahan. Dulu kelecekan diukur secara visual saja, yaitu dengan kategori kaku (*stiff*), lecek (*workable*) dan plastis. Beton segar yang kaku berbentuk seperti tanah yang lembab, dan beton segar yang plastis berbentuk seperti lumpur tebal.

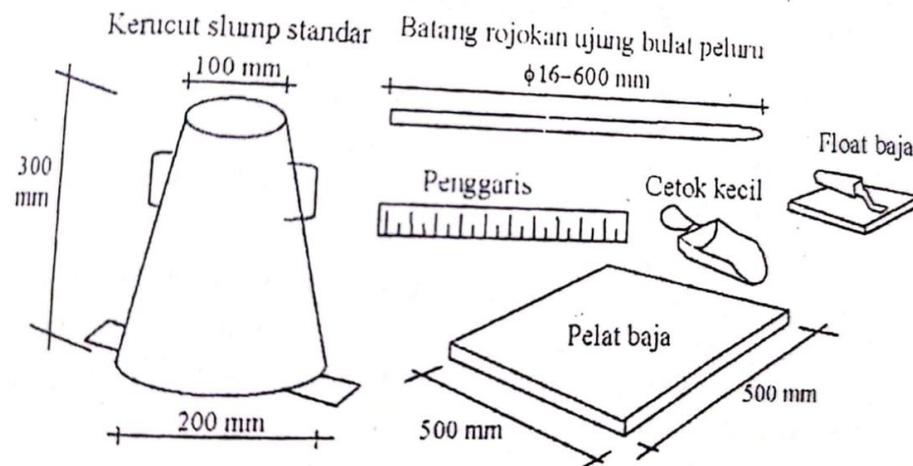
Namun karena kelecekan memegang peran penting dalam kualitas beton, kini kelecekan secara praktis diuji baik di lapangan maupun di laboratorium. Ada dua macam cara pendekatan, yaitu memberi pengaruh tertentu dan mengukur perubahan bentuk pada beton segar yang diakibatkannya atau sebaliknya. Pengaruh tersebut bisa secara statis dan dinamis.

Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. Uji slump merupakan pengujian paling sederhana dan yang paling sering digunakan. Karena kelecekan beton segar sering diidentikkan dengan slumpnya. Cara pelaksanaan pengujian slump adalah sebagai berikut :

3.10.1 Peralatan

Untuk melaksanakan pengujian slump diperlukan peralatan sebagai berikut :

1. Cetakan dari logam tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (*cone*) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibulatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat
3. Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air
4. Sendok cekung tidak menyerap air
5. Mistar ukur



Sumber : Nugraha, 2007

Gambar 3.9 Peralatan untuk pengujian slump

3.10.2 Benda Uji

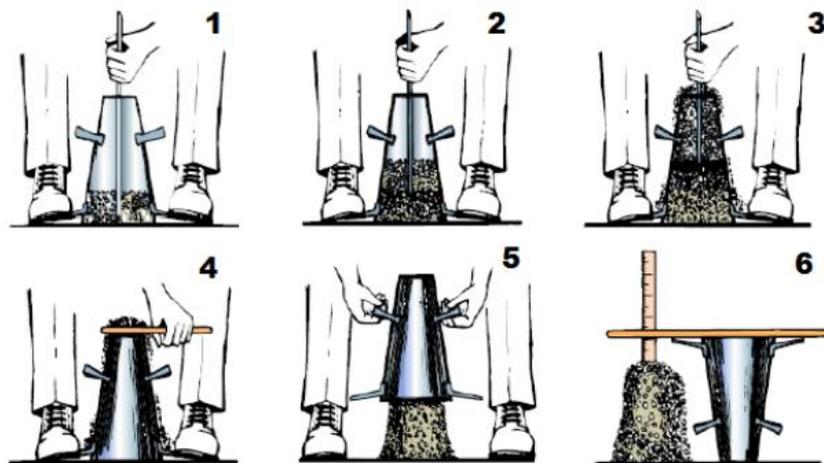
Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

3.10.3 Cara Pengujian

Untuk melaksanakan pengujian slump beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Basahilah cetakan dan pelat dengan kain basah
2. Letakan cetakan di atas pelat dengan kokoh
3. Isilah cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis. Tiap lapis berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan. Setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Tongkat harus masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukan lapisan tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
4. Segela setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan. Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas. Seluruh pengujian mulai dari pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit.

5. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji. Ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.



Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2017

Gambar 3.10 Pengujian slump beton

3.10.4 Pengukuran Slump

Pengukuran slump harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama dan dilaporkan hasil rata-rata (dalam satuan cm).

3.11 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini proses pencampuran dilakukan dengan *Concrete Mixer* (mesin pengaduk beton) dimana untuk mendapatkan mutu beton yang baik, pelaksanaan dilapangan harus baik dan benar. Berikut adalah jenis beton dan sampel yang dibuat :

Tabel 3.9 Jenis beton dan jumlah sampel yang dibuat

No	Jenis Beton	Umur Beton				Jumlah
		7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	
1.	Beton Normal	3	3	3	3	12
2.	Beton dengan tambahan limbah karet sol 4%	3	3	3	3	12
3.	Beton dengan tambahan limbah karet sol 8%	3	3	3	3	12

4.	Beton dengan tambahan limbah karet sol 12%	3	3	3	3	12
Jumlah Benda Uji						48

3.12 Perawatan (Curing)

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab. Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting time*, 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 dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

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

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup (sekitar 12 liter per sak semen) untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang karena menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relatif cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% daripada yang tidak dirawat. Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya.

Perawatan beton ini dapat dilakukan dengan perendaman atau penguapan (*steam*) serta dengan menggunakan membran. Pemilihan cara mana yang digunakan semata-mata mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari :

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

Untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, tutup benda uji segera setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih dengan pelat yang tak menyerap dan tidak reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet dan kedap air. Benda uji dibuka dari cetakan 24 jam \pm 8 jam setelah pencetakan. Kecuali bila ada persyaratan lain, semua benda uji dirawat basah pada temperatur 23 °C \pm 1,7 °C mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus pada lingkungan bebas getaran. Perawatan benda uji kuat lentur sesuai dengan perawatan benda uji kuat tekan, kecuali selama penyimpanan untuk masa minimum 20 jam segera sebelum pengujian benda uji harus direndam dalam cairan jenuh kapur pada 23 °C \pm 1,7 °C. Saat terakhir masa perawatan, antara waktu benda uji dipindahkan dari perawatan sampai pengujian diselesaikan, pengeringan benda uji harus dihindarkan.

3.13 Pengujian Benda Uji

Pengujian beton keras dimaksudkan untuk mengevaluasi kesesuaian dengan hasil rancangan. Pengujian beton keras antara lain uji kuat tekan (*compression test*), uji kuat lentur beton.

3.13.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton melalui benda uji silinder dengan umur pengujian tertentu, dan pengaruhnya terhadap konstruksi nantinya dengan cara mengevaluasi kekuatannya. Apabila mutu pelaksanaan beton tepat dan benar, maka didapat mutu beton sesuai yang diinginkan.

3.13.1.1 Peralatan

1. Mesin penguji
2. Timbangan
3. Satu set alat pelapis

3.13.1.2 Prosedur Pengujian

1. Benda uji diletakan pada mesin tekan secara sentris
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik

3. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan
4. Catat tipe kehancuran dan kondisi visual benda uji beton

3.13.1.3 Perhitungan

Hitung kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata. Nyatakan hasil dengan membulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 Mpa.

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A}$$

Dengan

P : gaya tekan aksial (N)

A : luas penampang melintang benda uji (mm²)

3.13.2 Pengujian Kuat lentur

Kuat lentur beton dengan sistem pembebanan dua titik adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus smubu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah, dinyatakan dengan *Mega Pascal* (Mpa) gaya per satuan luas.

Pengujian ini bermaksud untuk menentukan kekuatan lentur contoh benda uji melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan.

3.13.2.1 Peralatan

1. Mesin penguji yang dilengkapi dengan dua buah blok tumpuan dan satu buah blok beban
2. Timbangan

3.13.2.2 Prosedur Pengujian

1. Hidupkan mesin uji yang telah disiapkan
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian
3. Atur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatan 8 kg/cm² sampai 10 kg/cm² tiap menit

5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejutan
6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji
7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya
8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah

3.13.2.3 Perhitungan

1. Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat ($\frac{1}{3}$ jarak perlatakan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus

$$\sigma_l = \frac{P.L}{b.h^2}$$

2. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar $\frac{1}{3}$ jarak perlatakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan, maka kuat lentur dihitung dengan rumus

$$\sigma_l = \frac{P.a}{b.h^2}$$

Dengan

σ_l : kuat lentur benda uji (Mpa)

P : beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)

L : jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

3. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar $\frac{1}{3}$ jarak perlatakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan