

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Beton ini didapatkan dengan cara mencampurkan agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dari air, dengan semen portland atau semen hidrolis yang lain, kadang-kadang menggunakan bahan tambahan (*additive*) dengan sifat kimiawi ataupun perbandingan fisikal dengan perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengkeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara air dan semen (Mulyono, 2019).

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 kg/m^3 sampai dengan 2500 kg/m^3 dan dibuat dengan menggunakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk masa yang padat, kuat, dan stabil (SNI 7656:2012).

Menurut Mulyono (2019) beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibanding materi struktur yang lain, diantaranya yaitu:

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
2. Biaya pemeliharaan yang kecil.
3. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
4. Mampu memikul beban yang berat.

Disamping keunggulan diatas, beton juga sebagai struktur mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan :

1. Bentuk yang telah dibuat, sulit di ubah.
2. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 (kubik).
3. Beton mempunyai kekuatan tarik yang rendah, sehingga mudah retak.

4. Kualitasnya sangat tergantung dengan cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
5. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau didaur ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

2.2 Sifat Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki beberapa sifat yang dimiliki beton dan sering dipergunakan untuk acuan diantaranya yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Kekuatan

Beton bersifat getas sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Oleh karena itu kuat tekan beton sangat berpengaruh pada sifat yang lain. Adapun kuat tekan beton menurut kuat tekannya dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Beton Menurut Kuat Tekannya.

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15-30 MPa
Beton prategang	15-30 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

2.2.2 Berat Jenis

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dan agregat pada akhirnya akan menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton. Adapun berat jenis yang digunakan dijabarkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Berat Jenis Beton.

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

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

2.2.3 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Persamaan modulus elastisitas beton dapat diambil sebagai berikut.

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \quad 2.1$$

Keterangan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

f_c = Kuat tekan beton (MPa)

2.2.4 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dari pada volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras beton mengalami sedikit penyusutan karena penguapan air. Bagian yang susut adalah pastanya karena agregat tidak merubah volume. Oleh karena itu semakin besar pastanya semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya.

2.2.5 Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu beton diharapkan dapat rapat air (kedap air) agar tidak bocor, misalnya plat atap, dinding basement dan sebagainya. Selain itu juga untuk mencegah terjadinya karat pada baja tulangan, diperlukan beton yang rapat air. Beton rapat air (kedap air) ialah beton yang sangat padat sehingga air tidak dapat meresap ke dalamnya atau rembes melalui pori-pori dalam beton.

2.2.6 Ketahanan terhadap ausan dan kejut

Pada bangunan tertentu sering beton (beton khusus) diharapkan dapat tahan terhadap ausan, abrasi atau erosi, misalnya pada lapisan perkerasan jalan raya, landasan pesawat udara, permukaan bendung, dinding dan dasar saluran air, dasar terjunan air, dan lain sebagainya.

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan menentukan besarnya mutu beton. Agregat untuk beton adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70 % volume beton sehingga dapat pengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk besar butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

2.3.1.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Agregat kasar ialah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4,75 mm.

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syarat tersebut adalah:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
2. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %, apabila kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

2.3.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang didapat dari pelapukan batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari pemecahan batu yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar.

Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syarat tersebut adalah :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5 %, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.
4. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
5. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Menurut Tjkrodimulyo (2007) beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan agregat untuk pekerjaan campuran beton, antara lain:

1. Bentuk agregat

Bentuk agregat dipengaruhi dua sifat, yaitu kebulatan dan sferikal. Kebulatan atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Sedangkan sferikal adalah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir. Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada

setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi : agregat bulat, bulat sebagian, bersudut, panjang dan pipih.

2. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada dasarnya tekstur permukaan dapat dibedakan menjadi : sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkristal, berpori, dan berlubang-lubang. Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang menyebabkan kehalusan permukaan agregat.

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat dan massa air dengan volume yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah yaitu, berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

4. Berat satuan dan kepadatan

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m^3 . Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya ialah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbuka.

5. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum butiran agregat biasanya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, 40 mm.

6. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi dari butiran agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi maka akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya sedikit dengan kata lain kemampuannya tinggi.

7. Kadar Air Agregat

Kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu benar-bener tidak berair atau dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, yaitu butir-butir agregat kering permukaanya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya.
- c. Jenuh kering muka, yaitu tidak air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah yaitu butir-butir mengandung banyak air di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah air.

Keadaan jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry, SSD*) lebih dipakai sebagai standar, karena merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak mengurangi dan menambah air dalam pastinya, dan kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD dari pada kering tungku.

8. Kekuatan dan Keuletan Agregat

Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat disebabkan dua hal yaitu karena terdiri bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat kuat.

2.3.2 Semen Portland

Semen portland adalah bahan hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982), gips disini berfungsi sebagai penghambat pengikatan antara semen dan air.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat yang akan mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Persentase kandungan semen dalam beton yaitu 10 % dari berat campuran beton, walaupun hanya 10 % tapi semen sangat penting karena semen berfungsi untuk mengikat agregat halus dan agregat kasar pada beton.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland terbagi dalam 5 jenis yaitu:

1. Jenis I :Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak menggunakan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lain.
2. Jenis II :Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Jenis III :Semen portland yang dalam penggunaannya kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV :Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Jenis V :Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

2.3.3 Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen, dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30 % dari berat semen (Tjokrodinuljo, 2007) . Air adalah campuran beton yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang tidak merata.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat standar yang telah ditentukan. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syaratnya adalah :

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gr/liter.
4. Tidak mengandung klorida (C_1) lebih dari 0,5 gr/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 0,5 gr/liter.

2.4 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mendapatkan *mix design*. Pengujian bahan bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam bahan

tersebut sesuai dengan peraturan. Pemeriksaan karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian bahan penyusun beton :

2.4.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

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 (3 /8"); 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 kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.
2. Benda uji
 - a. Agregat halus.
 - b. Agregat kasar.
3. Prosedur pengujian
 - a. Peralatan dan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu.
 - b. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - c. Setelah benda uji dikeringkan, lalu ditimbang kembali.
 - d. Siapkan satu set saringan yang telah disusun dari ukuran yang besar ke ukuran yang kecil.
 - e. Pasang satu set saringan yang telah diisi benda uji pada mesin pengguncang selama 15 menit.

- f. Setelah dikeluarkan dari mesin pengguncang, timbang berat benda uji yang tertahan pada setiap nomor saringan.

4. Perhitungan

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

2.4.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

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 :

2.4.2.1 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. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu.
 - c. Keringkan benda uji dengan oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

- d. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan (kira-kira 50 °C) kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering oven (A).
- e. Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- f. Keluarkan benda uji dari air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air tersebut hilang.
- g. Timbang benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya sampai nilai 1,0 gram atau 0,1 persen dari berat contoh (B).
- h. Letakkan benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air (C) yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur (23 ± 2) °C.

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B - C)} \quad 2.2$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B}{(B - C)} \quad 2.3$$

$$\text{Berat jenis Semu} = \frac{A}{(A - C)} \times 100 \% \quad 2.4$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \quad 2.5$$

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).

2.4.2.2 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 $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Kemudian basahi dengan air baik dengan cara melembabkan sampai 6 % atau merendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
 - b. 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.
 - c. 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.
 - d. Isi piknometer dengan air sebagian saja, setelah itu masukan benda uji jenuh kering permukaan (500 ± 10) gram. Tambahkan kembali air sampai 90 % kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
 - e. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
 - f. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (C).
 - g. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
 - h. Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (A).
 - i. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (B).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad 2.6$$

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

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad 2.8$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \% \quad 2.9$$

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 dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.4.3 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. Berat talam ditimbang dan dicatat (W_1).

- b. Benda uji dimasukkan ke dalam talam, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (W_2).
 - c. Berat benda uji dihitung ($W_3 = W_2 - W_1$).
 - d. Contoh benda uji dikeringkan beserta talam dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C.
 - e. Setelah kering, contoh benda uji beserta talam ditimbang dan dicatat (W_4).
 - f. Berat benda uji kering dihitung ($W_5 = W_4 - W_1$).
4. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_3} \times 100 \% \quad 2.10$$

Keterangan :

W_3 = berat benda uji semula (gram).

W_5 = berat benda uji kering (gram).

2.4.4 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 :

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad 2.11$$

- 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus :

$$MSSD = M \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad 2.12$$

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.

2.4.5 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. Contoh 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

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \times 100 \% \quad 2.13$$

Keterangan :

V_1 = tinggi pasir (mm).

V_2 = tinggi lumpur (mm).

2.4.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

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 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. Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
 - b. Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - c. Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No 4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - d. Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No 8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - e. Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - f. Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
 - g. Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
3. Prosedur pengujian
- a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut :
 - b. Benda uji dibersihkan dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
 - c. Benda uji dan bola bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles.
 - d. Mesin diputar dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 RPM dengan jumlah putaran gradasi 500 putaran.
 - e. 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.
 - f. 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

$$\text{Keausan} = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \% \quad 2.14$$

Keterangan :

a = berat benda uji semula (gram).

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

2.5 Desain Campuran Beton 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 beton metode SNI 7656:2012 sebagai berikut.

2.5.1 Menetapkan Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Direncanakan

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton (f'_c) sebesar 20 MPa. Direncanakan untuk konstruksi jalan dan plat jembatan dan beton yang dibuat tanpa tambahan udara.

2.5.2 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 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Modifikasi Deviasi Standar

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

Sumber : SNI 2847:2013

2.5.3 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.

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad 2.15$$

$$f'_{cr} = f'c + 2,33 s_s - 3,5 \quad 2.16$$

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

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad 2.17$$

$$f'_{cr} = 0,90 f'c + 2,33 s_s \quad 2.18$$

Keterangan :

f_{cr}' = kuat tekan rata-rata (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 2.4.

Tabel 2.4 Kuat Tekan Rata-rata apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

Kuat Tekan yang Disyaratkan, f'_c (MPa)	Kuat tekan rata-rata perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 < f'_c < 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,10 f'_c + 5,0$

Sumber : SNI 2847:2013

2.5.4 Menentukan 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 2.5 di bawah ini :

Tabel 2.5 Penetapan Nilai Slump yang Dianjurkan untuk Berbagai Konstruksi

Pemakaian Beton	Slump (mm)	
	Maks	Min
Pondasi beton bertulang (dinding 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
Perkerasan dan plat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI 7656:2012

2.5.5 Menentukan Ukuran Agregat Kasar Maksimum

Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan agregat kasar ukuran maksimum 20 mm.

2.5.6 Menentukan Kadar Air dan Kadar Udara

Untuk perkiraan kadar air pecampur dan kadar udara untuk berbagai nilai slump dan ukuran agregat maksimum batu pecah dengan beton tanpa tambahan udara seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perkiraan Kadar Air dan Kadar Udara

Air (kg/m³) untuk ukuran nominal agregat maksimum 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 : SNI 7656:2012

2.5.7 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/(c+p) yang diperlukantidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 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

Kekuatan beton umur 28 hari (Mpa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber : SNI 7656:2012

2.5.8 Menghitung Kadar Semen

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

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air (langkah 2.5.6) dengan rasio air semen (langkah 2.5.7).

2.5.9 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 2.9 dengan hubungan ukuran agregat maksimum dan modulus halus butir agregat halus.

Tabel 2.8 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	0,79	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

2.5.10 Menghitung Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat beton segar atau metode berdasarkan volume absolut seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Perkiraan Berat Beton Segar

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

Sumber : SNI 7656:2012

1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton seperti pada Tabel 2.9 berdasarkan dari ukuran nominal maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

2. Berdasarkan volume absolut

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

2.5.11 Koreksi Campuran

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Umumnya berada dalam kondisi lembab sehingga berat

keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang berada di dalam ataupun dipermukaan agregat. Besarnya jumlah air tersebut yang harus ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu terserap oleh agregat

$$\text{Semen} = A \quad 2.19$$

$$\text{Air} = B - \left[(Da - Ca) \frac{C}{100} \right] - \left[(Dk - Ck) \frac{D}{100} \right] \quad 2.20$$

$$\text{Agregat halus} = C + \left[(Da) \frac{C}{100} \right] \quad 2.21$$

$$\text{Agregat Kasar} = D + \left[(Dk) \frac{D}{100} \right] \quad 2.22$$

Keterangan :

- A = berat semen (kg/m³).
- B = berat air (kg/m³).
- C = berat beton (kg/m³), kering.
- D = berat agregat kasar (kg/m³), kering.
- Da = kadar air agregat halus (%).
- Dk = kadar air agregat kasar (%).
- Ca = resapan agregat halus (%).
- Ck = resapan agregat kasar (%).

2.6 Uji 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 1,6 mm berbentuk kerucut terpancung dengan diameter bagian bawah 200 mm, bagian atas 100 mm, dan tinggi 300 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 $\frac{1}{3}$ 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.

2.7 Perawatan Beton

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

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini dilakukan

minimal selama 7 hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus dan stabilitas dari dimensi struktur.

Perawatan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu sebagai berikut :

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

2.8 Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019).

2.8.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodinuljo (2007) faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton antara lain adalah faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat.

1. 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.

2. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton itu. Kecepatan bertambahnya kuat tekan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh

berbagai faktor, antara lain : fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi nilai fas semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan tekan betonnya.

Menurut Tjokrodinuljo (2007) pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, disebutkan perbandingan kekuatan tekan (desak) beton pada berbagai umur beton seperti disajikan pada tabel 2.10 dibawah ini.

Tabel 2.10 Perbandingan Kekuatan Beton Berbagai Umur

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	90	385
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,120

Sumber : PBI, 1971

3. Jenis Semen

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

4. Jumlah 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. Sifat Agregat

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

2.8.2 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 :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad 2.23$$

Keterangan :

$f'c$ = tegangan tekan beton (MPa).

P = besar beban tekan (N).

A = luas penampang beton, (mm^2).

2.9 Beton Serat

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat yang ditambahkan dapat berupa asbes, Kawat Bendrat, plastik, kawat baja atau serat tumbuh-tumbuhan seperti rami dan ijuk.

Penambahan serat pada adukan beton akan mengakibatkan berkurangnya sifat mudah dikerjakan dan memperkecil terjadinya segregasi. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah terjadinya retak-retak pada beton, sehingga menjadikan beton serat lebih *ductile* (liat) bila dibandingkan dengan beton normal. Jika serat yang dipakai mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi dari beton, misalnya serat baja (*steel fiber*), maka beton serat akan bersifat lebih tahan benturan dan lenturan, sedangkan jika modulus elastisitasnya lebih rendah, misalnya serat *polypropylene* berupa plastik, hanya membuat beton akan lebih tahan benturan saja. Karena sifatnya yang lebih tahan benturan, maka beton serat

sering dipakai pada bangunan hidrolis, landasan pesawat udara, jalan raya, lantai jembatan, dan lain-lain (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut Suhendro (2000) penambahan serat pada beton diharapkan dapat mencegah terjadinya retak-retak rambut yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi ataupun akibat beban. Tertundanya retak-retak yang terlalu dini, mengakibatkan kemampuan beton untuk mendukung tegangan-tegangan (aksial, lentur dan geser) yang terjadi semakin meningkat.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serat ke dalam adukan beton dapat memberikan keuntungan berupa perbaikan beberapa sifat beton (Suhendro, 2000), yaitu :

1. Keliatan/daktilitas, yang berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi.
2. Ketahanan terhadap beban kejut.
3. Ketahanan terhadap tarik dan lentur.
4. Ketahanan terhadap kelelahan.
5. Ketahanan terhadap pengaruh susut.
6. Ketahanan terhadap keausan, selip, dan fragmentasi.

2.9.1 Serat Kawat

Kawat bendrat adalah kawat yang selama ini banyak digunakan sebagai pengikat antara tulangan besi memanjang dan tulangan geser (sengkang). Penambahan serat kawat ke dalam adukan beton adalah untuk mengatasi sifat-sifat kurang baik dari beton. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan tulangan serat pada beton yang disebar merata secara acak (random) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan maupun panas hidrasi (Sorousihan dan Bayasi, 1987).

Menurut Tjokrodimuljo (2007) jika serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dari beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Suhendro (2000) membuktikan bahwa sifat-sifat beton kurang baik dari beton, yaitu getas, praktis tidak mampu

menahan tegangan tarik dan ketahanan yang sangat rendah terhadap beban *impact* dapat diperbaiki dengan menambahkan *fiber* lokal yang terbuat dari potongan kawat pada adukan beton. Selain itu dibuktikan pula bahwa tingkat perbaikan dengan *fiber* lokal tidak banyak berbeda dengan hasil-hasil yang dilaporkan di luar negeri dengan menggunakan *steel fiber*. *Fiber* lokal itu sendiri terdiri dari kawat baja, kawat bendrat, dan kawat biasa. Adapun sifat-sifat dari kawat-kawat tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Sifat-Sifat Berbagai Macam Kawat Yang Digunakan Sebagai Bahan *Fiber* Lokal

No	Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan pada saat putus (%)	<i>Specific Gravity</i>
1	Kawat Baja	23,0	10,5	7,77
2	Kawat Bendrat	38,5	5,5	6,68
3	Kawat Biasa	25,0	30,0	7,70

Sumber : Suhendro, 2000

2.10 Penelitian Terdahulu

2.10.1 Ikhsan Dwipayana Nugraha

Melakukan penelitian tentang “Studi Karakteristik Beton Serat Kawat Bendrat”. Pada penelitian ini menggunakan kawat bendrat berdiameter 0,8 mm yang dipotong dengan panjang 36 mm, 48 mm, dan 60 mm dengan penambahan serat 0,75 % dari volume beton. Selain itu, tujuan dari penelitiannya untuk menganalisis pengaruh penambahan serat kawat bendrat dan menganalisis pengaruh penambahan serat kawat bendrat terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton.

Hasil penelitian telah dibandingkan bahwa kuat tekan pada serat 48 mm mengalami peningkatan tertinggi sebesar 25,12 % dari beton normal. Peningkatan kekuatan juga terjadi pada pengujian tarik belah pada variasi serat 60 mm dengan peningkatan sebesar 32,71 % dibandingkan dari beton normal. Begitu pula pada pengujian kuat lentur, peningkatan kekuatan terbesar terjadi pada variasi serat 60

mm dengan peningkatan sebesar 41,82 % yang dibandingkan dari beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat kawat bendrat pada campuran beton dapat meningkatkan kekuatan pada beton.

2.10.2 Juwarnoko

Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton”. Pada penelitian ini menggunakan komposisi serat kawat bendrat 0 %; 1 %; 2 %; 3 % dari volume beton. Selain itu, tujuan dari penelitiannya untuk mengetahui nilai konsentrasi serat optimum yang menghasilkan nilai kuat tekan, dan kuat tarik belah beton serat kawat bendrat.

Hasil penelitian didapatkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan pada saat penambahan serat dengan konsentrasi 2 % yaitu sebesar 25,59 MPa, kemudian untuk kadar serat 1 % dan 3 % tampak bahwa beton mulai mengalami penurunan kuat tekan, yaitu sebesar 24,48 MPa dan 22,92 MPa. Namun nilai tersebut masih lebih tinggi dari beton normal 20,75 MPa.

Peningkatan tersebut juga terjadi pada kuat tarik belah beton pada saat penambahan serat kawat bendrat dengan konsentrasi 2 %, yaitu sebesar 2,38 MPa, untuk kadar serat 1 % dan 3 % bahwa beton tampak mulai mengalami penurunan kuat tarik belah , yaitu sebesar 2,29 MPa dan 2,14 MPa. Namun nilai penurunan tersebut masih lebih tinggi dari beton normal 1,95 MPa

2.10.3 Surya Hadi

Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Serat Kawat Terhadap Kuat Tekan Beton”. Pada penelitian ini pembuatan beton dilakukan dengan penambahan bahan tambah dari serat kawat berbentuk U dengan ukuran tinggi 20 mm dan lebar bawah 40 mm. Persentase yang digunakan untuk campuran itu adalah 0,25 %, 0,50 % dan 0,75 %. Selain itu, tujuan dari penelitiannya untuk mengetahui pengaruh dari penambahan serat kawat tersebut terhadap kuat tekan beton.

Hasil penelitian yang didapat dari pencampuran beton dengan serat kawat tersebut adalah pengaruh penambahan kawat bendrat bentuk U dapat meningkatkan kuat tekan beton yaitu berturut turut, pada penambahan 0,25 %

sebesar 26,7 MPa, penambahan 0,50 % sebesar 26,89 MPa. Peningkatan kuat tekan beton maksimal dicapai pada variasi 0,75 % (BB-3) sebesar 27,27 MPa, peningkatan kuat tekan tersebut signifikan dibandingkan dengan beton biasa dengan kuat tekan sebesar 27,84 MPa.

2.10.4 Persamaan dan Perbedaan

Tabel 2.12 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	Ikhsan Dwipayana Nugraha	Studi Karakteristik Beton Serat Kawat Bendrat	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Serat Kawat Bendrat) • Serat berupa kawat bendrat lurus 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan (penambahan serat 0,75 % dengan panjang 36 mm, 48 mm, dan 60 mm) • Metode rencana campuran (metode <i>DOE/Development of Environment</i>) • Pengujian Sampel (hanya umur 28 hari)
2.	Juwarnoko	Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Serat Kawat Bendrat) • Serat berupa 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan (Persentase serat yang digunakan sebesar 1 %, 2 %, 3 % dengan panjang serat kawat 7 cm)

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
			kawat bendrat lurus	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari)
3.	Surya Hadi	Pengaruh Penambahan Serat Kawat Terhadap Kuat Tekan Beton	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Serat Kawat Bendrat) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan (Persentase serat yang digunakan sebesar 0,25 % 0,50 % dan 0,75 % dengan panjang serat kawat 8 cm) • Serat berupa kawat bendrat berbentuk U • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari) • Metode rencana campuran (SNI 03- 2834-2000)

2.10.4.1 Perbedaan dengan Ikhsan Dwipayana Nugraha

Perbedaan penelitian Ikhsan Dwipayana Nugraha dengan penelitian ini adalah variasi penambahan serat kawat bendrat (penambahan serat 0,75 % dengan panjang 36 mm, 48 mm, dan 60 mm). Rencana campuran menggunakan metode DOE (*Development of Environment*) dan pengujian sampel dilakukan hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi penambahan serat 0,5 %, 0,75 % dan 1 % dari berat agregat halus dengan diameter 1mm panjang 50 mm. Rencana campuran menggunakan metode SNI 7656:2012 dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.

2.10.4.2 Perbedaan dengan Juwarnoko

Perbedaan penelitian Juwarnoko dengan penelitian ini adalah variasi penambahan serat kawat bendrat (Persentase serat yang digunakan sebesar 1 %, 2 %, 3 % dengan panjang serat kawat 7 cm). Rencana campuran menggunakan metode SNI 03- 2834-2000 dan pengujian sampel dilakukan hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi penambahan serat 0,5 %, 0,75 % dan 1 % dari berat agregat halus dengan diameter 1 mm panjang 50 mm. Rencana campuran menggunakan metode SNI 7656:2012 dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.

2.10.4.3 Perbedaan dengan Surya Hadi

Perbedaan penelitian Surya Hadi dengan penelitian ini adalah variasi penambahan serat kawat bendrat (persentase serat yang digunakan sebesar 0,25 %, 0,50 % dan 0,75% dengan Serat berupa kawat bendrat berbentuk U dan panjang serat kawat 8 cm). Rencana campuran menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dan pengujian sampel dilakukan hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi penambahan serat 0,5 %, 0,75 % dan 1 % dari berat agregat halus dengan diameter 1mm panjang 50 mm. Rencana campuran menggunakan metode SNI 7656:2012 dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari