

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Beton adalah salah satu material yang digunakan untuk struktur teknik sipil. Kualitas beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, cara pengadukan, penguangan, pemadatan dan perawatan proses beton selama masa pemadatan.

Landasan teori ini memuat dasar-dasar teori yang akan dipergunakan untuk merumuskan hipotesis. Landasan teori ini memuat standar atau peraturan yang berlaku meliputi standar bahan penelitian dan pembuatan benda uji.

3.2. Materi Penyusun Beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (*nawy,1985*). Materi penyusun beton terdiri dari campuran Semen Portland (*Portland Cement*), agregat halus, agregat kasar, air dan penambahan serat jika diperlukan. Soroushian dan Bayasi (1987), penambahan serat pada beton akan memperbaiki sifat-sifat beton seperti daktilitas, ketahanan terhadap kejut, tarik dan lentur, kelelahan, pengaruh susutan dan keausan. Ada dua pendekatan untuk menjelaskan mekanisme kerja fiber

- a. Spacing concept

Teori ini menjelaskan bahwa dapat mendekatkan jarak antara serat (*fiber*) dalam campuran beton, maka beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar. Serat (*fiber*) dapat bekerja lebih baik jika berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya *overlapping*. Hal tersebut sangat sulit dicapai karena pada keadaan sesungguhnya dari susunan serat (*fiber*) adalah tidak teratur dan saling *overlap*.

b. Composit Material Concept

Teori ini merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer untuk memperbaiki kuat tarik maupun lentur dari *fiber reinforced concrete*. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama (*first crack strength*). Menurut konsep ini bahan penyusun beton serat diasumsikan saling mengikat sempurna dan bentuk serat menerus (*continuous fiber*).

Materi penyusun beton yang terdiri dari beberapa bahan sebagai berikut,

3.2.1. Portland Cement (PC)

Semen Portland (*Portland Cement*) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mengaluskan klinker–klinker yang terutama terdiri dari silikat – silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah (PUBI 1982), sebagaimana terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Unsur – unsur penyusun utama semen (Tjokrodimulyo, 1995)

Nama Unsur	Simbol	Komposisi Kimia
Trikalsium Silikat	C_3S	$3CaO SiO_2$
Dikalsium Silikat	C_2S	$2CaO SiO_2$
Trikalsium Aluminat	C_3A	$2CaO Al_2O_3$
Tetrakalsium Aluminferrite	C_4AF	$2CaO Al_2O_3 Fe_3O_3$

Berdasarkan PUBLI 1982 sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland dibagi menjadi lima jenis sebagai berikut ini.

- a. Jenis I (*Normal Portland Cement*), semen Portland yang dipakai untuk penggunaan umum dan tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis – jenis lain.
- b. Jenis II (*Modified Portland Cement*), semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III (*High Early Portland Cement*), semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi.
- d. Jenis IV (*Low Heat Portland Cement*), semen Portland yang dalam penggunaan persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- e. Jenis V (*Anti Sulfat Portland Cement*), semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.2.2. Agregat

Agregat butiran mineral alami yang merupakan bahan campuran dalam campuran beton, biasanya terdapat sekitar 60 – 80% volume agregat dalam adukan volume beton. Agregat ini bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh masa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh. Ada dua jenis agregat yang dipakai dalam pembuatan beton yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang lebih besar (Nawy, 1985).

a. Agregat Halus (Pasir Alami atau Buatan)

Pasir adalah butiran-butiran mineral yang dapat melewati ayakan berlubang persegi 5 mm dan tertinggal diatas ayakan 0,075 mm. Pasir dapat berupa pasir alam, sebagai hasil disintegrasi alam dari batu-batuan, atau berupa pasir pecahan batu yang dihasilkan oleh alat *stone crusher*.

Pasir untuk adukan pasangan, adukan plesteran dan *bitument* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Butiran pasir harus tajam dan keras tidak dapat dihancurkan dengan jari.
- Pasir tidak diperbolehkan mengandung lumpur lebih dari 5%.
- Bila dilemparkan ke bahan pakaian tidak merekat.
- Bila digenggam tidak menggumpal.
- Memiliki butiran halus, sedang dan kasar.

- Warna larutan pada pengujian 3% NaOH (*natirum hidroksida*), akibat adanya zat – zat organik tidak boleh lebih tua dari warna larutan normal atau warna air the dengan kepekatan sedang.
 - Bagian yang hancur pada pengujian dengan larutan jenuh NaSO (*satrium sulfat*) tidak boleh lebih dari 10%.
 - Jika dipergunakan untuk adukan dengan semen yang mengandung lebih dari 0,6 alkali dihitung sebagai NaO (*natrium oksida*) pada pengujian tidak boleh menunjukkan sifat reaktif.
 - Keteguhan adukan percobaan dibandingkan dengan adukan pembanding yang menggunakan semen yang sama dan pasir normal tidak boleh lebih kecil dari 5% pada pengujian 1 – 6 hari (SNI NI-7,1979).
- b. Agregat Kasar (Kerikil atau batu pecah)

Disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 4.8 mm (*mulyono,1997:65*) dan lolos saringan 0.25 in. Sifat agregat kasar sangat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahan terhadap disitegrasi beton, cuaca dan efek efek perusak lainnya. Agregat ini harus bersih dari bahan bahan organik dan harus memiliki katan ikatan yang baik dengan semen. Jenis agregat kasar apda umumnya adalah : Batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

3.2.3. Air

Salah satu bahan pembuatan mortar yang paling sering digunakan adalah air. Air dapat menjadikan bahan pembuatan mortar yang lain seperti semen, kapur dan agregat bercampur dalam sebuah adukan mortar. Sifat air yang mudah bereaksi dengan bahan ikat, sehingga proses pengikatan antara bahan-bahan penyusun mortar menjadi lebih cepat dibanding tanpa air. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor semen yang dipakai sulit kurang dari 0.35. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi menurun.

Menurut PUBLI-1982 air yang digunakan untuk mortar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Air harus bersih,
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual,
- c. Tidak mengandung bahan - bahan tersuspensi lebih dari 2 g/lit,
- d. Tidak mengandung garam - garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, Zat organik dsb) lebih dari 15 g/lit. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 ppm, dan senyawa sulfat tidak lebih dari 100 ppm sebagai SO₃,
- e. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.

- f. semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya,
- g. khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut diatas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 50 ppm.

3.2.4. Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah (*Admixture*) adalah bahan selain unsur pokok beton (semen, air, pasir dan kerikil) yang dicampur pada saat proses pengadukan berlangsung, yang bertujuan untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras (Tjokrodimuljo, 1992). Karena bahan tambah digunakan untuk meningkatkan mutu beton maka dalam proses pengerjaannya baik dalam proses pengadukan maupun dalam proses penuangannya perlu dilakukan pengawasan secara ketat, sehingga hasil dari bahan tambah pada beton bisa lebih optimal. Menurut (L.J. Murdock dan K.M. Brook), bahan tambah yang berlebihan dapat menurunkan sekali kekuatan atau sifat-sifat beton yang lain.

3.3. Faktor Air Semen

Faktor Air Semen (*fas*) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor Air Semen (*fas*) sangat mempengaruhi kekuatan beton, kenaikan faktor Air Semen (*fas*) mempunyai pengaruh yang sebaliknya terhadap sifat-sifat beton seperti permeabilitas ketahanan terhadap gaya

dan pengaruh cuaca, ketahanan terhadap abrasi, kekuatan tarik, rayapan, penyusutan dan terutama kuat tekan (*Murdock dan Brook, 1978*)

3.4. Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adonan beton. Hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin tinggi nilai slump berarti semakin cair adonan betonnya, sehingga adonan beton semakin mudah dikerjakan

3.5. Workability

Workability menurut *Newman* mengusulkan sekurang-kurangnya ada tiga buah sifat terpisah (*Murock dan Brook, 1978*)

- a. Kompaktibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga udara dapat di ambil,
- b. mobilitas atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan disekitar baja dan dituang kembali,
- c. stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren dan stabil selama pengerjaan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran dan bahan-bahan utama.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat sifat dalam pengerjaan adonan beton antara lain sebagai berikut:

- a. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adonan beton,

- b. jumlah semen yang digunakan,
- c. penambahan bahan tambahan tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan workability adukan pada factor air semen (*fas*) rendah.

3.6. Serat (*Fiber*)

Dalam penelitian ini menggunakan tambahan serat dengan menggunakan *Kawat Jaring Segi Empat* (strimint). *Kawat Jaring Segi Empat* merupakan kawat yang terbuat dari kawat yang relatif lembut yang dapat digunakan untuk menyaring pasir sebelum dilakukan pencampuran beton. Kawat ini memiliki ukuran atau dimensi yang berbeda-beda. Terdapat *Kawat Jaring Segi Empat* dengan dimensi kecil, sedang dan besar *Kawat Jaring Segi Empat* pasir yang dipergunakan berasal dari pabrik dengan diameter 1 mm. *Kawat Jaring Segi Empat* dipotong 50 mm dan pada ruas di potong 5 mm.

Dipergunakan *Kawat Jaring Segi Empat* (strimint) ini diharapkan serat dapat menahan beban yang diterima beton. Pada saat beton diberi beban maka beton akan terkekang sehingga serat akan mengalami tarik. Pada serat ini juga mempunyai keistimewaan karena *Kawat Jaring Segi Empat* ini mempunyai sirip-sirip yang mencegah serat tercabut dari beton. Namun serat ini juga mempunyai kelemahan yaitu pada proses pengerjaan harus dilakukan pengawasan yang lebih ketat dikarenakan besarnya kemampuan dari serat kawat strimin untuk saling mengikat antar serat pada kait-kaitnya dan sifat adhesi serat yang terbuat dari kawat, sehingga dapat menurunkan kelecakan.

3.7 Kuat Lekat Serat

Kekuatan serat dapat ditentukan berdasarkan kuat lekat serat (bond stress) (Balaguru dkk, 1992). Dikarenakan arah dan penyebaran serat dalam beton tidak teratur maka nilai kekuatan beton serat harus dikalikan faktor efisiensi penyebaran serat (η_e), nilai kelekatan serat dengan beton akibat lekatan yang tidak sempurna dan panjang lekat yang tidak sama, kemungkinan nilainya lebih kecil dari kuat tarik serat. Kekuatan tarik serat dapat dicari dengan persamaan,

$$\sigma_f = 2 \times \tau \times \frac{l_f}{d_f} \quad \text{..... (3.1)}$$

dimana σ_f : tegangan tarik serat
 τ : tegangan lekat (bond stress) pada panjang ujung lekat yang
diperhitungkan $\frac{l_f}{2}$
 l_f : panjang serat
 d_f : diameter serat

Dari rumus 3.1 dapat digunakan untuk mengoreksi kekuatan komposit pada retak pertama dan dinyatakan dengan persamaan

$$\sigma_c = (\sigma_f \times V_f) + (\sigma_m \times V_m) \quad \text{..... (3.2)}$$

$$\text{atau } \sigma_c = (\sigma_f \times V_f) + (\sigma_m \times (1 - V_f)) \quad \text{..... (3.3)}$$

dimana σ_c : kekuatan komposit retak pertama
 V_f : prosentase volume serat
 σ_f : tegangan tarik serat

σ_m : kuat tarik beton maksimum

V_m : prosentase volume beton

Selain itu kekuatan beton serat juga harus dikoreksi dengan faktor efisiensi panjang serat (η_i), dikarenakan panjang serat yang tercabut dari beton tidak seragam panjangnya sebagai akibat penyebaran yang acak (random). Maka persamaan (3.2 dan 3.3) menjadi

$$\sigma_c = \left(2 \times \eta_i \times \eta_e \times V_f \times \frac{l_f}{d_f}\right) + (\lambda \times \sigma_m \times (1 - V_f)) \dots \dots \dots (3.4)$$

dimana η_i : faktor efisiensi orientasi penyebaran serat,
dipakai 0,5 jika $l_f < l_e$ atau
dipakai $\left(1 - \frac{l_e}{2 \times l_f}\right)$ jika $l_f > l_e$
 l_e : panjang efektif serat
 η_e : faktor efisiensi panjang serat tertanam, dipakai 0,41
 λ : koefisiensi tarik beton ($0 \leq \lambda \leq 1$)

3.8 Kuat Desak Beton

Kekuatan tekan beton memiliki kecenderungan untuk bervariasi terhadap satu adukan terhadap adukan lainnya. Besar variasi ini tergantung dari berbagai faktor antara lain, (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1993)

1. Variasi mutu bahan dari satu adukan keadukan berikutnya,
2. variasi cara pengadukan,
3. ketrampilan dan stabilitas pengadukan.

Penghitungan kekuatan tekan beton rata-rata dimaksudkan untuk mencari mutu dari beton dan ukuran dari mutu pelaksanaannya. Namun selain memiliki kemampuan untuk menahan tekan, beton juga mampu menahan kuat tarik dan lentur.

Untuk mendapatkan kuat desak beton tersebut dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak } f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$f'_{cr} = \frac{\sum_i^N f_c}{N} \dots\dots\dots (3.6)$$

keterangan : P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

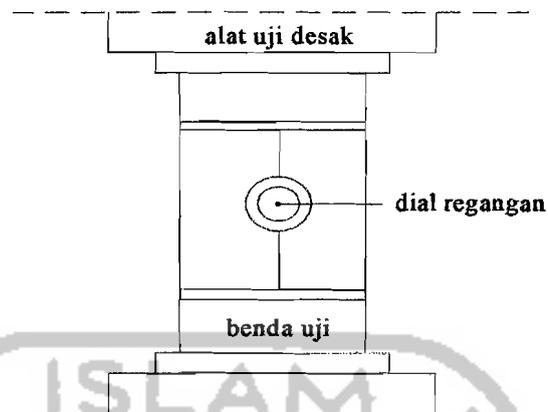
f_c = kuat desak beton masing-masing benda uji (MPa)

f'_{cr} = kuat desak beton rata-rata (MPa)

N = jumlah benda uji

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan desak beton antara lain (Peraturan Pedoman Beton, 1989) :

- a. faktor air semen (FAS),
- b. kekerasan agregat halus dan kasar,
- c. prosedur pemeriksaan mutu untuk pengecoran dan pengangkutan serta pemadatan di lapangan,
- d. umur beton, dan
- e. sifat-sifat tegangan beton juga dipengaruhi oleh kecepatan pembebanan.



Gambar 3.1 Pengujian desak

3.8.1 Tegangan-Regangan

Pengujian ini dilakukan guna mencari modulus elastisitas, modulus kenyal dan kekakuan beton, yang berguna untuk mengetahui tingkat daktilitas beton adapun modulus elastisitas, modulus kenyal dan kekakuan beton adalah sebagai berikut:

a. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah hubungan linier antara tegangan dan regangan yang sangat penting dan banyak digunakan. Kemiringan garis yang melalui titik $0,4 f_c$ didefinisikan sebagai modulus sekan (*secant modulus*), yang lebih umum diambil sebagai modulus elastisitas beton (E_c).

$$\text{Modulus Elastisitas } (E_c) = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan : σ = tegangan pada 0,4 kuat tekan uji (kg/cm^2)
 ϵ = regangan yang dihasilkan dari tegangan

SK SNI 03-2531-2002 menetapkan nilai modulus E_c , ini sebagai nilai variabel yang tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \dots\dots\dots (3.8)$$

b. Modulus Kenyal

Luas daerah di bawah garis sebanding dikenal dengan modulus kenyal.

Secara matematis dapat ditulis dengan rumus :

$$E_k = \frac{1}{2} \times \sigma \times \epsilon \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan : σ = tegangan pada 0,4 kuat tekan uji (kg/cm^2)
 ϵ = regangan yang dihasilkan dari tegangan

c. Kekakuan

Kekakuan beton dapat dicari dengan cara membagi beban pada saat ϵ 0,2 % dengan deformasi yang terjadi. Secara matematis dapat ditulis dengan rumus :

$$K = \frac{P}{\Delta L} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan : P = beban pada saat ϵ 0,2 % (kg)
 ΔL = deformasi (cm)

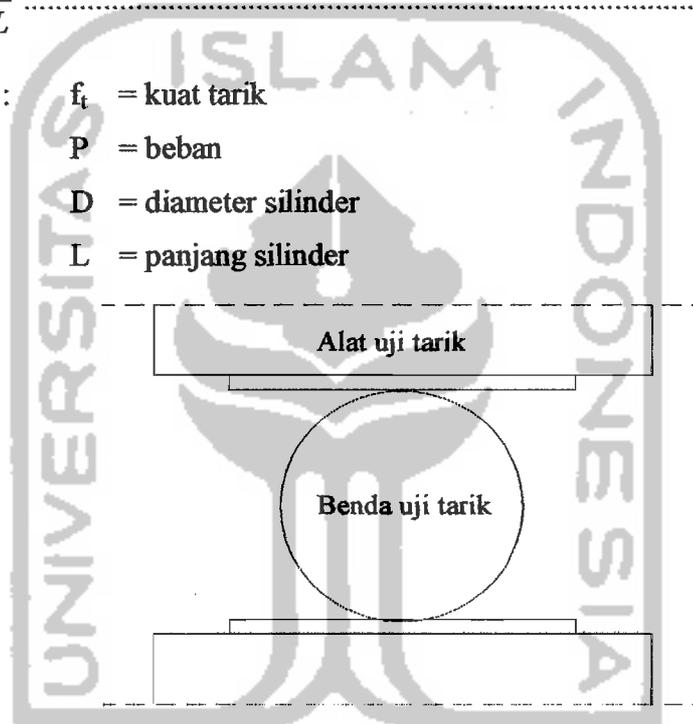
3.9 Kuat Tarik Beton

Kekuatan tarik beton dalam praktek mempengaruhi rambatan terjadinya retak. Kuat tarik beton dapat ditentukan dengan pengujian pecah belah silinder (*Split Cylinder*). Silinder diletakkan pada alat pembebanan dengan posisi rebah. Beban vertikal dikerjakan sepanjang selimut silinder dan secara berangsur-angsur dinaikkan

pembebanannya hingga dicapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horizontal. Kuat tarik beton dapat diketahui dengan membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan : f_t = kuat tarik
 P = beban
 D = diameter silinder
 L = panjang silinder

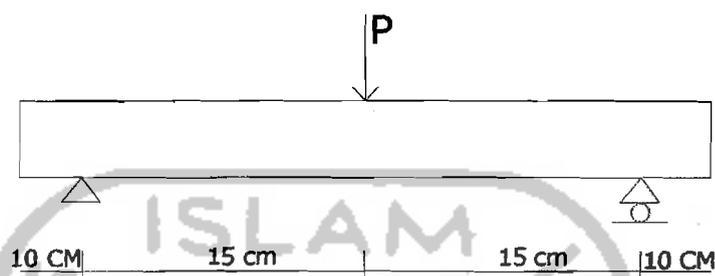


Gambar 3.2 Pengujian Tarik

3.10 Kuat Lentur Beton

Pada pengujian kuat lentur yang dipakai adalah persegi panjang dengan lebar 10 cm, tinggi 10 cm dan panjang 40 cm. Balok diuji pada 2 buah tumpuan dengan jarak antar tumpuan 30 cm. Dalam pengujian kuat lentur ini menggunakan satu buah titik pembebanan yang terletak pada tengah benda uji sehingga didapat momen lentur

yang konstan sehingga diantara titik pembebanan dan terjadi tegangan yang maksimum.



Gambar 3.3 Pengujian Lentur

Adapun parameter kuat lentur beton diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus (SNI 03-2823-1992) :

- a. Untuk benda uji dengan bidang pecah ditengah, antara $\frac{2}{3}$ panjang sampai tengah bentang maka dipakai rumus:

$$\sigma_{lt} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \dots \dots \dots (3.12)$$

- b. untuk benda uji dengan bidang pecah tidak ditengah, antara $\frac{1}{3}$ sampai $\frac{2}{3}$ panjang dari tumpuan maka dipakai rumus 3.13. Jika pecah yang terjadi kurang dari $\frac{1}{3}$ panjang maka sampel dianggap gagal

$$\sigma'_{lt} = \frac{3 \times P \times L}{b \times h^2} \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan

- | | |
|--|-------------------------------|
| σ_{lt} : Kuat lentur | b : Lebar balok (cm) |
| σ'_{lt} : Kuat lentur rata-rata | h : Tinggi balok (cm) |
| P : Beban maksimum (kg) | L : Jarak tumpuan (30 cm) |