

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Salah satu material bangunan yang banyak digunakan untuk struktur teknik sipil adalah beton. Sejalan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat, diupayakan oleh para ahli untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain *workability*, *strength* dan lain-lain. Cara yang ditempuh untuk mendapatkan beton mutu tinggi adalah dengan memperbaiki mutu material pembentuk beton yaitu agregat kasar, air dan semen, selain itu juga diperhatikan perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton, sehingga diperlukan ketelitian untuk menentukan komposisi bahan penyusun beton. Selain itu produksi beton mutu tinggi biasanya menggunakan bahan tambah untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan, sedangkan untuk meningkatkan kemudahan pekerjaan akibat kecilnya rasio air dan bahan ikat digunakan bahan tambah *superplastisizer*.

3.2 Material Penyusun beton

3.2.1 Semen

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1982:3.2-8). Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan (Mulyono, 2003).

Semen bila dicampur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen. Semen tersusun oleh unsur kimia seperti yang terlihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1. Susunan Unsur Semen Biasa

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

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Ada empat macam senyawa kimia penting yang mempengaruhi sifat semen yaitu ikatan dan sifat pengeras semen adalah :

1. Trikalsium Silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂
2. Dikalsium Silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂
3. Trikalsium Aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃
4. Tetrakalsium Aluminiferit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃

Menurut SNI 15-2049-1994, (1994). Semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

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

3.2.2 Air

Di dalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi yang pertama yaitu untuk memungkinkan reaksi kimiawi yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, yang kedua sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang diperlukan untuk melakukan hidrasi hanya sekitar 30 % dari berat semen, kandungan air tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah. Selain itu, kelebihan akan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*). Selaput tipis akibat dari *bleeding* ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. (Kardiyono Tjokrodimulyjo, 1992).

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya adalah pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton, serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum diakai. Adnya garam-garam mangaan, timah, seng, tembaga, dan timah hitam dengan jumlah cukup besar pada air adukan akan menyebabkan pengurangan kekuatan beton. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat-syarat tertentu (Tjokrodimuljo 1992) sebagai berikut:

1. Tidak mengandung Lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung *clorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi akan

tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar beton (Kardiyono Tjokrodimuljo 1992).

Dilihat dari sumber asalnya agregat dibedakan menjadi dua :

1. Agregat yang diperoleh dari deposit yang tersedia di alam, baik yang berupa hasil penggalian maupun yang berasal dari sungai. Dari deposit alam ini ada yang langsung dipakai ada pula yang melalui proses pemecahan dahulu untuk memperoleh gradasi yang diinginkan.
2. Agregat buatan/tiruan biasanya dibuat dari pemecahan bata, genteng ataupun terak dingin yang merupakan hasil sampingan pembakaran bijih besi.

Agregat untuk bahan konstruksi sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan (PUBI, 1992) :

1. Berbutir tajam, kuat dan bersudut.
2. Bersih, tidak mengandung tanah atau kotoran lain.
3. Harus tidak mengandung garam yang tidak menyerap air dari udara.
4. Tidak mengandung zat-zat organis.
5. Bergradasi baik.
6. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali.
8. Untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20% berat keseluruhan.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1991-03, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Batas-batas tercantum dalam tabel 3.2

Tabel 3.2. Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	90 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Keterangan : Daerah I : Pasir kasar
 Daerah II : Pasir agak kasar
 Daerah III : Pasir agak halus
 Daerah IV : Pasir halus

Adapun gradasi kerikil ditetapkan seperti yang tercantum dalam tabel 3.3

Tabel 3.3. Gradasi kerikil

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang terlewatkan	
	Besarnya butir maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95 - 100
10	10 - 35	25 - 55
4,8	0 - 5	0 - 10

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Dalam peraturan tersebut juga ditetapkan gradasi agregat campurannya, yaitu, campuran pasir dan kerikil dengan diameter maksimum 40 mm, 30 mm, 20 mm, dan 10 mm. Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai

modulus halus antara 1,5 sampai 3,8 dan kerikil antara 5 dan 8. Modulus halus butir campuran dihitung dengan rumus (Astanto, 2001) :

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan : W = Persentase berat pasir terhadap berat kerikil
 K = Modulus halus butir kerikil
 P = Modulus halus butir pasir
 C = Modulus halus butir campuran

3.2.4 Bahan Tambah *Superplasticizer (Viscocrete-10)*

Superplasticizer (Viscocrete-10) adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal

Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *Superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai *slump* yang tinggi. Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain:

1. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi.
2. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
3. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.

4. Tidak ada udara yang masuk. Penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan pengurangan *strength* rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga "air content" didalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.
5. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkolesi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer* mempunyai dua fungsi yaitu, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kolesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*.

3.3 Faktor Air Semen

Faktor air semen (*fas*) adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin rendah *fas* menyebabkan air diantara bagian-bagian semen sedikit, Sehingga jarak antara butiran-butiran semen pendek. Akibatnya massa semen menunjukkan lebih berkaitan dan batuan semen mencapai kepadatan tinggi.

3.4 Slump

Pengujian *slump* dirancang di Amerika dipakai secara luas sebagai alat pemeriksa konsistensi beton dilapangan. Pengujian *slump* menggunakan alat berupa corong berbentuk kerucut dengan tinggi 300 mm, diameter dasar 200 mm, diameter atas 100 mm, adukan beton dimasukkan dan dipadatkan kedalam corong

secara bertahap, kemudian dicatat penurunannya setelah corong diangkat. Nilai *slump* merupakan pedoman untuk mengetahui tingkat kelecakan (keenceran) suatu adukan beton. Makin besar nilai *slump* berarti makin encer suatu adukan beton tersebut, sehingga adukan betonnya makin mudah dikerjakan (Kardiyono Tjokrodimuyo, 1992).

3.5 Workability

Istilah *workability* sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah :

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga udaranya diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan disekitar baja dan dituang kembali.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen; koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi *segregasi*/pemisahan butiran dari bahan-bahan utamanya.

(L.J Murdock dan K.M Brook, 1991).

3.6 Modulus Elastis

Menurut perkembangan SK.SNI sesuai dengan perkembangan teknologi beton diberbagai negara penggunaan beton ringan semakin meluas. Sehingga penetapan nilai Modulus Elastisitas Beton (E_c), digunakan rumus empiris yang menyertakan kerapatan (*density*) atau berat beton (SK-SNI-T-15-1990-03).

$$E_c = 0.043 W_c^{1.50} \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan: E_c = Modulus Elastisitas Beton tekan (MPa)
 W_c = Berat isi beton (kg/m^3) – (1500 – 2500 kg/m^3)
 F_c' = kuat tekan beton (MPa)

Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi $\pm 23 \text{ kN/m}^3$, maka :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(3.3)$$

Modulus elastis beton normal merupakan fungsi dari kuat desak beton :

$$E_c = \frac{f}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3.4)$$

keterangan : E_c = Modulus Elastisitas Beton tekan (MPa)
 ε = Regangan yang dihasilkan dari tegangan 0,4 σ
 f = Tegangan pada 0,4 kuat tekan uji

3.7 Kuat Tekan Beton

Sifat paling penting dari beton pada umumnya ialah kuat tekan, kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain baik (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992).

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya desak tertentu. Pada umumnya beton yang baik adalah beton yang mempunyai kuat desak yang tinggi. Karena mutu beton hanya ditinjau dari kuat desaknya saja. Umur beton berpengaruh pada kuat desak (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992).

Pengukuran kuat tekan beton dilakukan dengan membuat benda uji pada saat pengadukan beton berlangsung. Benda beton uji berupa selinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, benda uji ini kemudian ditekan dengan mesin penekan sampai pecah. Beban tekan maksimum yang memecahkan itu dibagi dengan luas penampang selinder maka diperoleh nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan dinyatakan dalam MPa atau kg/cm^2 dihitung dengan rumus sebagai berikut (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992) :

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

keterangan : f_c' = kuat tekan masing-masing benda uji

P = beban maksimum

A = Luas penampang benda uji

Nilai uji yang diperoleh dari setiap benda uji akan berbeda, karena beton merupakan material yang heterogen, yang kekuatannya dipengaruhi oleh proporsi campuran, bentuk dan ukuran, kecepatan pembebanan, dan oleh kondisi lingkungan pada saat pengujian. Dari kuat tekan masing-masing benda uji kemudian dihitung kuat tekan beton rata-rata (f_{cr}') dengan persamaan (Ari Novrizaldi, 2006).

$$f_{cr}' = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} fc(i)}{N} \dots\dots\dots(3.6)$$

keterangan : f_{cr}' = kuat tekan beton rata-rata
 fc = kuat tekan masing-masing benda uji (MPa)
 N = jumlah semua benda uji yang diperiksa

3.8 Kuat Tarik Beton

Nilai kekuatan tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap peningkatan kuat tekan beton hanya memberi sedikit peningkatan kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton berkisar 9–15% dari kuat tekannya (Istimawan Dipohusodo 1994).

Nilai kuat tarik beton sulit ditentukan, suatu pendekatan yang umum dilakukan digunakan nilai yang disebut Modulus of Rupture (f_r) ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian balok beton polos (tanpa tulangan), sebagai kuat tarik beton sesuai teori elastisitas.

Untuk beton normal, modulus rupture : $f_r = 0.70 \sqrt{fc'}$ (3.7)

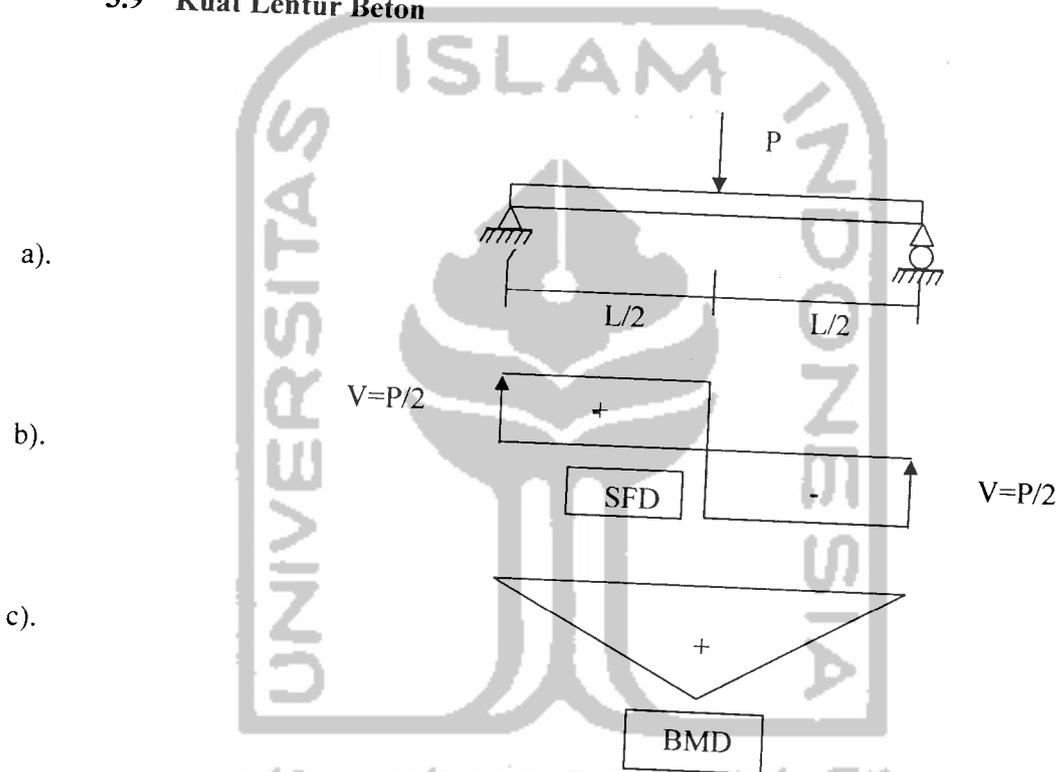
Kuat tarik didapatkan dari hasil pengujian, dengan uji pembelahan selinder-selinder oleh suatu desakan ke arah diameternya. Secara terperinci cara ini diuraikan pada British Standard – 1881 : 1970 (Murdock dan Brook, 1986), kekuatan tarik dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_1 = \frac{2P}{\pi d} \dots\dots\dots (3.8)$$

keterangan: f_1 = Kuat tarik (N/mm²)
 P = baban maksimal yang diberikan dalam (N)
 l = panjang dari selinder dalam (mm)
 d = diameter dalam (mm)

(SK-SNI-T-15-1991-03).

3.9 Kuat Lentur Beton

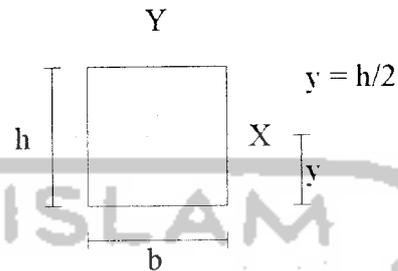


Gambar 3.1 gaya lintang dan momen

Keterangan : a. balok dengan satu beban
 b. diagram SFD
 c. diagram BMD

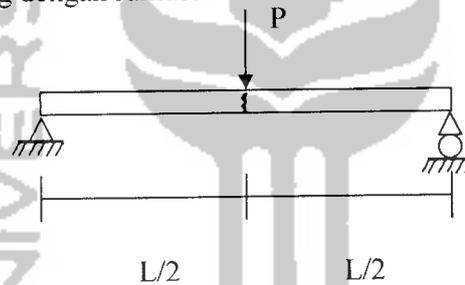
momen lentur $M = \frac{P L}{2 2} \dots\dots\dots (3.9)$

Tegangan lentur dalam balok berhubungan dengan momen lentur (M) dan momen inersia (I) dari tampang balok.



Gambar 3.2. Bentuk penampang balok

Untuk benda uji dengan bidang pecah ditengah bentang tumpuan ke titik tengah, dihitung dengan rumus:



Gambar 3.3 balok dengan 1 beban titik dan retak di beban titik

Dan nilai tegangan lentur dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_{lt} = M.y/I \dots\dots\dots(3.10)$$

$$I = (1/12) b.h^3 \dots\dots\dots(3.11)$$

$$y = h/2 \dots\dots\dots(3.12)$$

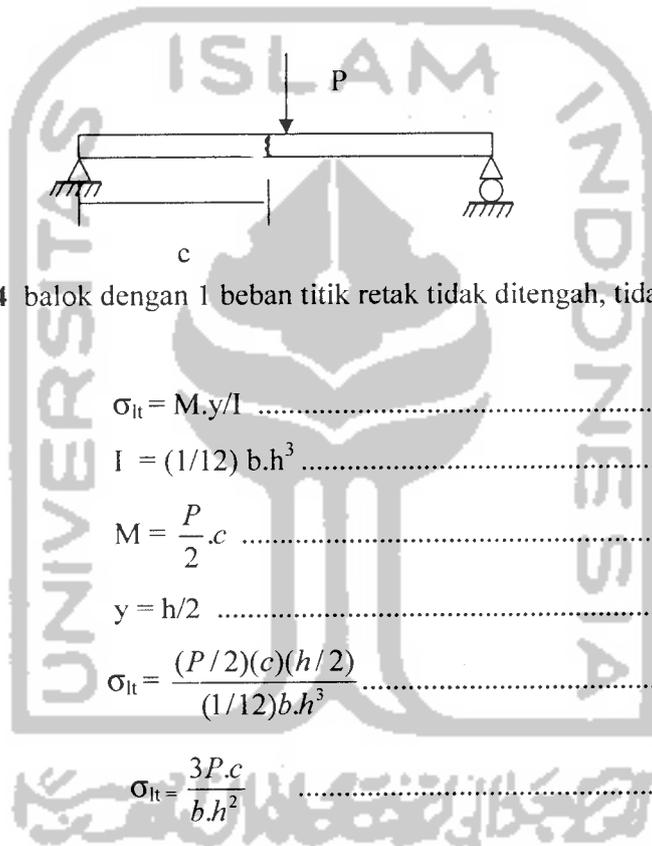
dengan substitusi persamaan dan kedalam persamaan didapat :

$$\sigma_{lt} = \frac{(P/2)(L/2)(h/2)}{(1/12)b.h^3} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\sigma_{lt} = \frac{3P.L}{2b.h^2} \dots\dots\dots(3.14)$$

keterangan: σ_{lt} = Kuat lentur
 P = beban (gaya)
 L = jarak antara tumpuan
 b = lebar tampang balok
 h = tinggi tampang balok
 y = jarak garis netral ke titik yang ditinjau
(SK-SNI M-08-1991-03)

Untuk benda uji dengan bidang pecah tidak ditengah dan simpangan pecah tidak lebih dari 10% dari tumpuan ke titik tengah, dihitung dengan rumus:



Gambar 3.4 balok dengan 1 beban titik retak tidak ditengah, tidak lebih dari 10%

$$\sigma_{lt} = M.y/I \dots\dots\dots(3.15)$$

$$I = (1/12) b.h^3 \dots\dots\dots(3.16)$$

$$M = \frac{P}{2}.c \dots\dots\dots(3.17)$$

$$y = h/2 \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\sigma_{lt} = \frac{(P/2)(c)(h/2)}{(1/12)b.h^3} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\sigma_{lt} = \frac{3P.c}{b.h^2} \dots\dots\dots(3.20)$$

keterangan : σ_{lt} = Kuat lentur
 P = beban (gaya)
 c = jarak rata-rata bidang pecah ketumpuan terdekat
 b = lebar tampang balok
 h = tinggi tampang balok

3.10 Metode Perencanaan Adukan Beton

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode “ *The British Mix Design Method* ” atau lebih dikenal di Indonesia dengan cara *DOE (Department Of Environment)*. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari (f_c')

Kuat tekan beton ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat di lapangan. Kuat beton yang disyaratkan adalah kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah hanya 5% saja dari nilai tersebut.

2. Menetapkan nilai deviasi standar (S_d)

Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilainya.

- a. Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 buah benda uji, maka nilai deviasi standar diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan seperti tabel 3.4 :

Tabel 3.4 Tingkat Pengendalian Pekerjaan

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	S_d (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

- b. Jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton serupa minimal 30 buah silinder yang diuji kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari. maka jumlah data dikoreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali pada tabel 3.5 :

Tabel 3.5 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah data	30	25	20	15	<15
Faktor pengali	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

- 3 Menghitung nilai tambah margin (M)

$$M = k \cdot Sd$$

Keterangan : M = nilai tambah
K = 1,64
Sd = standar deviasi

Rumus di atas berlaku jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton yang diuji kuat tekannya pada umur 28 hari. Jika tidak mempunyai data pengalaman pembuatan beton atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 benda uji, nilai M langsung diambil 12 MPa.

- 4 Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

Rumusnya :

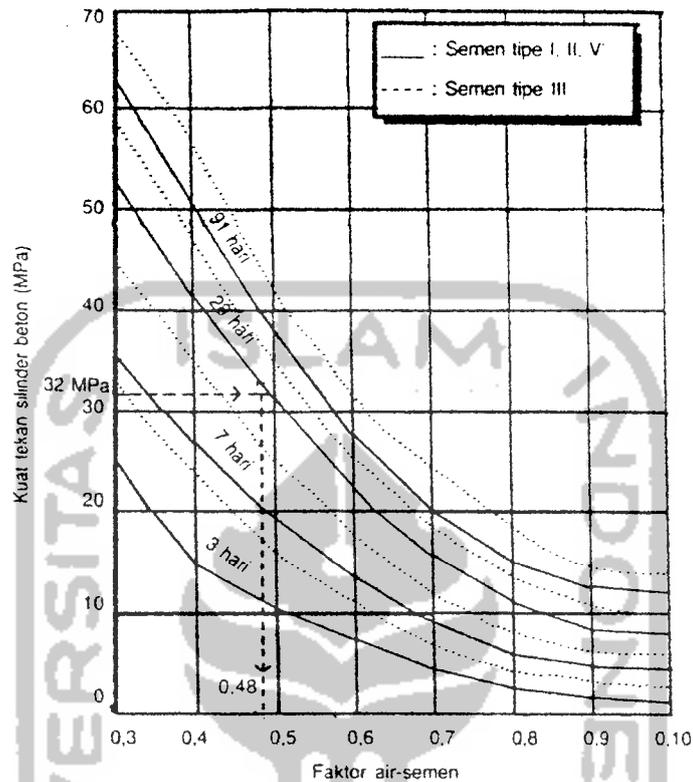
$$f'_{cr} = f'_c + M$$

Keterangan : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata
 f'_c = kuat tekan yang disyaratkan
M = nilai tambah

- 5 Menetapkan jenis semen
6 Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)
7 Menetapkan faktor air semen

Cara menetapkan faktor air semen diperoleh dari nilai terendah ketiga cara.

a) *Cara Pertama:*



Gambar 3.5. Grafik Faktor Air Semen

Misal, kuat tekan selinder ($f_{cr} = 32$ MPa) pada saat umur beton 28 hari. Jenis semen tipe I atau garis utuh. Caranya tarik garis lurus dan memotong 28 hari didapatkan faktor air semen (Gambar 3.5)

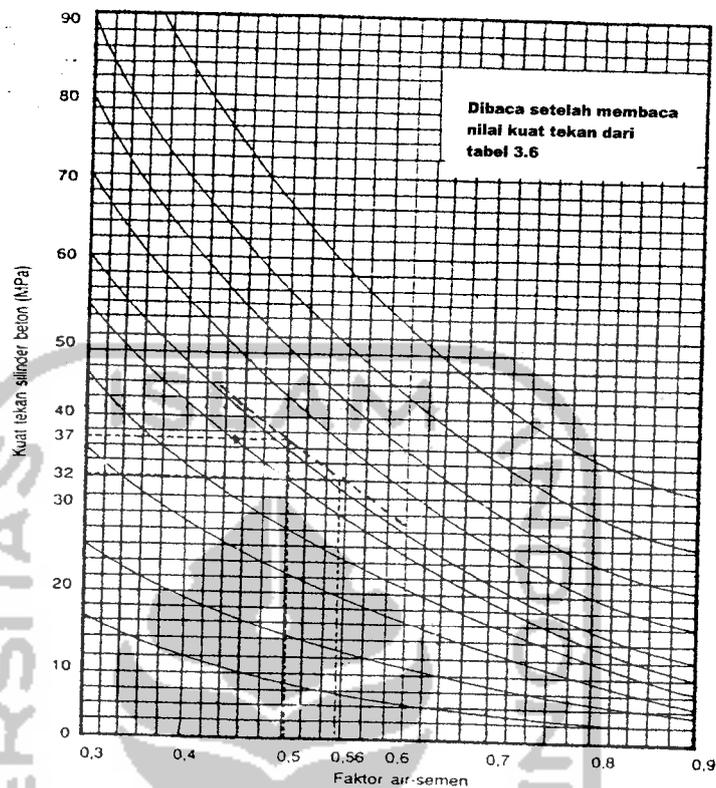
b) *Cara Kedua*

Diketahui jenis semen I, jenis agregat kasar batu pecah. Kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari, maka gunakan tabel 3.6 :

Tabel 3.6 Nilai Kuat Tekan Beton

Jenis semen	Jenis agregat kasar (kerikil)	Umur Beton			
		3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
IV	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48

Dari tabel di atas diperoleh nilai kuat tekan = 37 MPa, yaitu jenis semen I, kerikil batu pecah dan umur beton 28 hari. Kemudian, dengan faktor air semen 0,5 dan $f'_{cr} = 37$ MPa, digunakan grafik penentuan faktor air semen dibawah ini. Caranya, tarik garis ke kanan mendatar 37, tarik garis ke atas 0,5 dan berpotongan pada titik A. Buat garis putus-putus dimulai dari titik A ke atas dan ke bawah melengkung seperti garis yang di atas dan di bawahnya.



Gambar 3.6 Grafik Mencari Faktor Air Semen

c) *Cara Ketiga :*

Dengan melihat persyaratan untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dan untuk beton bertulang terendam air. Dengan cara ini diperoleh :

1. Untuk pembetonan di dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non korosif = 0,60.
2. Untuk beton yang berhubungan dengan air tanah, dengan jenis semen tipe I tanpa pozzolan untuk tanah mengandung SO_3 antara 0,3 – 1,2 maka *fas* yang diperoleh = 0,50.
3. Untuk beton bertulang dalam air tawar dan tipe semen I yaitu faktor air semennya = 0,50.

Dari ketiga cara di atas ambil nilai yang terendah.

8. Menetapkan faktor air semen maksimum

Cara ini didapat dari ketiga cara di atas ambil nilai faktor air semen yang terkecil.

9. Menetapkan nilai *slump*

Nilai *slump* didapat sesuai dari pemakaian beton, hal ini dapat diketahui dari tabel 3.7

Tabel 3.7 Penetapan Nilai Slump (cm)

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang koison, struktur dibawah 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

10. Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum (kerikil).

11. Menetapkan jumlah kebutuhan air

Untuk menetapkan kebutuhan air per meter kubik beton digunakan tabel 3.9.

Tabel 3.8 Tabel Kebutuhan Air per Meter Kubik Beton (liter)

Besarnya maks kerikil (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Dalam tabel di atas, bila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai memiliki jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k$$

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

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. Menetapkan kebutuhan semen

$$\text{Berat semen per meter kubik} = \frac{\text{Jumlah air yang dibutuhkan}}{\text{Faktor air semen maksimum}}$$

13. Menetapkan kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan berdasar tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Kebutuhan Semen Minimum

Berhubungan dengan	Tipe semen	Kandungan semen min. Ukuran maks agregat (mm)	
		40	20
Air tawar	Semua tipe I-V	280	300
Air payau	Tipe + pozolan (15-40%) atau S.P pozolan	340	380
	Tipe II atau V	290	330
Air laut	Tipe II atau V	330	370

14. Menetapkan kebutuhan semen yang sesuai

Untuk menetapkan kebutuhan semen, lihat langkah I (kebutuhan semen dan kebutuhan semen minimumnya), maka yang dipakai harga terbesar diantara keduanya.

15. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen

Jika jumlah semen pada langkah I dan m berubah, maka faktor air semen berubah yang ditetapkan dengan :

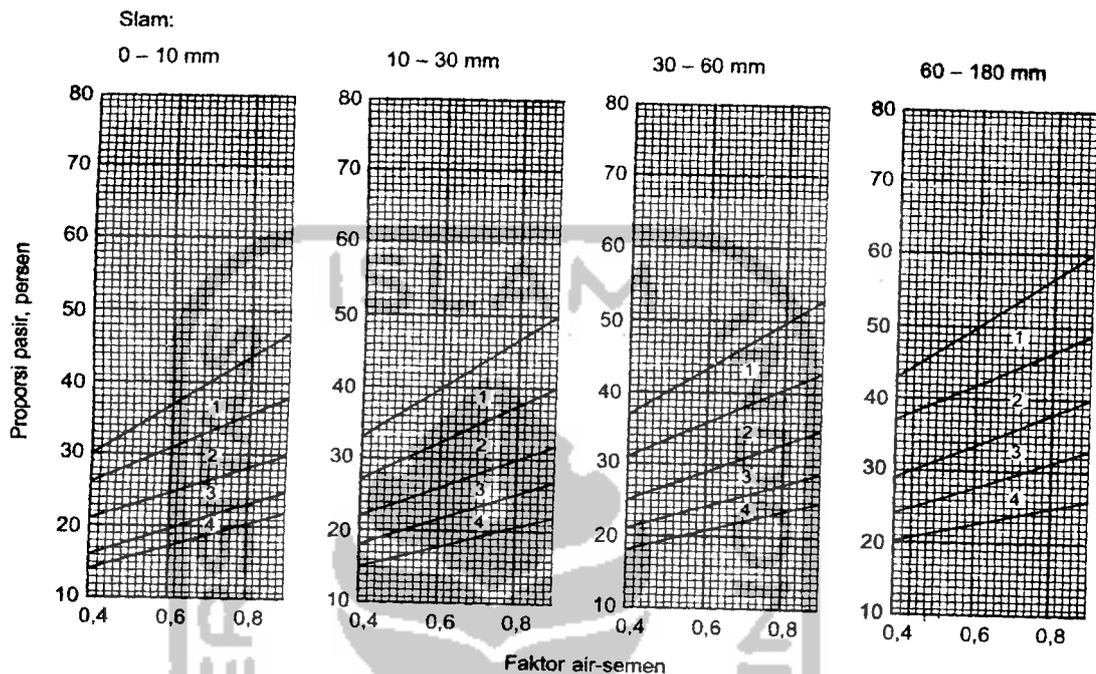
- a) Jika akan menurunkan faktor air semen, maka faktor air semen dihitung lagi dengan cara jumlah air dibagi jumlah semen minimum.
- b) Jika akan menaikkan jumlah air lakukan dengan cara jumlah semen minimum dikalikan faktor air semen.

16. Menentukan golongan pasir

Golongan pasir ditentukan dengan cara menghitung hasil ayakan hingga dapat ditemukan golongannya.

17. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil.

Untuk menentukan perbandingan antara pasir dan kerikil dapat dicari dengan bantuan grafik dibawah ini. Dengan melihat nilai slump yang direncanakan, ukuran butir maksimum, zona pasir, dan faktor air semen



Gambar 3.7. Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan Untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm

18. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

- Jika tidak ada data, maka agregat alami (pasir) diambil 2,7 dan untuk kerikil (pecahan) diambil 2,7.
- Jika mempunyai data, dihitung dengan rumus :

$$B_j \text{ campuran} = (P/100) \times B_j \text{ pasir} + (K/100) \times B_j \text{ kerikil}$$

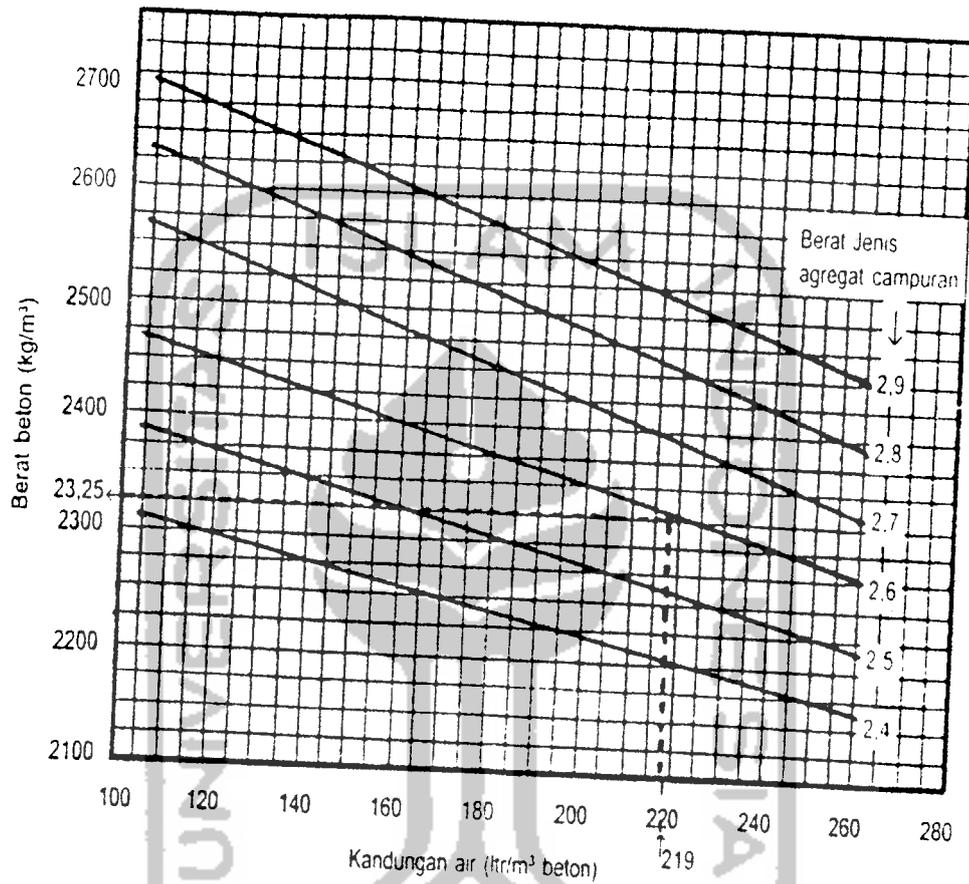
Diketahui : B_j campuran = berat jenis campuran

P = persentase pasir terhadap agregat campuran

K = persentase kerikil terhadap agregat campuran

19. Menentukan berat beton

Untuk menentukan berat beton digunakan data berat jenis campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik, setelah ada data, kemudian dimasukkan kedalam gambar 3.8 :



Gambar 3.8. Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Beton

Misalnya, jika berat jenis campuran 2,6

Kebutuhan air tiap meter kubik = 219

Caranya, tentukan angka 219 dan tarik garis keatas memotong garis berat jenis 2,6 dan tarik garis ke kiri, dan temukan berat jenis betonnya 2325 kg/m³.

20. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

Berat pasir + berat kerikil = berat beton – kebutuhan air – kebutuhan semen.

21. Menentukan kebutuhan pasir

Kebutuhan pasir = kebutuhan pasir dan kerikil x persentase berat pasir.

22. Menentukan kebutuhan kerikil

Kebutuhan kerikil = kebutuhan pasir dan kerikil – kebutuhan pasir.

3.11 Pengadukan Beton

Untuk mencapai mutu beton yang baik maka bahan-bahan penyusun beton yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus yang kemudian diikat dengan semen lalu berinteraksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan rata. Pengadukan beton dapat dilakukan dengan cara :

1. Tangan, dilakukan bila jumlah beton yang dibuat sedikit, dan tidak diinginkan suara berisik yang ditimbulkan oleh mesin.
2. Mesin, dilakukan bila jumlah beton yang dibuat dalam jumlah yang banyak. Lamanya waktu pengadukan tergantung pada kapasitas isi mesin pengaduk, jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan susun, dan slump beton, pada umumnya tidak kurang dari 1,5 menit semenjak dimulainya pengadukan, dan hasil adukannya menunjukkan susuna dan warna yang merata.