

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Salah satu material yang banyak digunakan untuk struktur teknik sipil adalah beton. Beton didapat dari campuran semen *Portland*, agregat dan air pada perbandingan tertentu. Sifat-sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, seperti cara pengadukan, penguangan, pemadatan dan perawatan beton selama proses pengerasannya. Seiring dengan perkembangan teknologi kebutuhan masyarakat yang terus meningkat, para ahli mengupayakan cara untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain : *workability*, *strength*, *durability*, dan *permeability*.

3.3.1 Bahan beton

3.2.1 Air

Di dalam campuran beton air mempunyai dua fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan yang kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir, dan semen agar memudahkan percetakan (Murdock dkk, 1981). Adapun air yang memenuhi syarat antara lain (Tjokrodimuljo, 1992) :

1. kejernihan warna,
2. tidak mengandung klorida (cl) lebih dari 0,5 gr/lt,
3. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lt,
4. tidak mengandung lumpur dan benda-benda terapung lainnya yang dapat terlihat secara visual,
5. tidak mengandung bahan perusak seperti fosfat, minyak, asam, alkali dan bahan-bahan organis atau garam, dan
6. khusus untuk pembuatan beton, air untuk perawatan tingkat keasamannya tidak boleh $pH > 6$, dan tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur.

3.2.2 Agregat

Umumnya pasir yang digali di dasar sungai cocok digunakan untuk pembuatan beton, pasir ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai dan karena terjadi pelapukan akhirnya membentuk butir-butir halus. Produksi penggalian pasir dan kerikil akan dipisah-pisahkan dengan ayakan dalam 3 kelompok, yaitu:

1. kerikil kasar (lebih besar dari 30 mm),
2. kerikil beton (antara 5 mm sampai 30 mm), dan
3. pasir beton (lebih kecil dari 5 mm).

Disamping bahan agregat diperoleh galian alami (hampir langsung dapat digunakan untuk beton) dapat juga diperoleh dengan pemecahan formasi batuan tertentu dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*). Ada dua jenis agregat :

1. agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari *blast-furnace*) dan,
2. agregat halus (pasir alami dan buatan).

Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada pastanya. Desain campuran beton biasanya diikuti sub-desain campuran agregat, pasta semen, dan mortar. Meskipun demikian bila dikehendaki kekuatan beton yang tinggi, diperlukan juga agregat yang kuat agar kekuatannya tidak lebih rendah dari pastanya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimum.

Pemukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurva tegangan-regangan tekan beton, dan terhadap kekuatan betonnya.

Adapun Neville (1975) mengatakan, bahwa sekitar tiga per empat beton ditempati agregat, agregat yang lemah tidak dapat menghasilkan beton yang kuat karena kekuatan agregat sangat menentukan kekuatan beton. Selain itu sifat-sifat agregat juga mempengaruhi kaewetan dan penampilan struktur beton.

Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pemakaian butir agregat besar menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit berarti porinya sedikit pula. Namun karena butir-butinya besar mengakibatkan luas permukaannya lebih sempit, dan ini berakibat lekatan antara pasta semen dan agregatnya kurang kuat, dan karena butirannya besar dapat menghalangi susutan pasta, dan ini berakibat retakan-retakan kecil pada pasta sekitar butirannya. Hal ini dapat memperlemah kekuatan beton. (Tjokrodimulyo, 1992).

3.2.3 Semen

Semen Portland merupakan bahan bubuk halus yang mengandung kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Komponen terbesar penyusun semen adalah kapur (60%-65%). Semen Portland dibuat dengan membakar bahan dasar semen dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Kemudian klinker tersebut digiling halus menjadi semen dan ditambahkan *gypsum*. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen bila dicampur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen. (PUBI, 1982).

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesive dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus, material berwarna abu-abu yang terutama terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Bahan mentah utama untuk membuat semen Portland adalah batu kapur yang mengandung CaO_3 , dan tanah liat atau endapan batuan yang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 (Winter dkk, 1993).

Menurut Salmon (1994), semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Dalam *The Oxford Word Encyclopedia* (2003), dijelaskan bahwa semen bubuk yang terdiri dari campuran *calcium silicates* dan *aluminates* yang dibuat dalam keadaan halus pada permukaan bentuknya, agar melekat satu sama lain.

3.2.4 *Superplasticizer*

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan tambah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan kedalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar “menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan yang lain seperti menghemat energi”.

Superplasticizer atau SP merupakan salah satu jenis *admixture* yang disebut juga water-reducer, digunakan untuk meminimalkan kandungan air campuran pada beton (Ramachandran, 1979). *Superplasticizer* merupakan bahan tambah penting untuk menghasilkan beton mutu tinggi (Gagne, 1996). Penggunaan *superplasticizer* memberikan perbaikan di dalam penanganan, penempatan, pemadatan dan *finishing* beton secara teknikal memiliki berbagai kelebihan pada nilai ekonomi (Singh dkk, 1992).

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Alternatif lain, bahan ini dapat meningkatkan kekuatan beton karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama (Murdock dkk, 1991).

Pengaruh *superplasticizer* akan meningkatkan kinerja beton segar berupa peningkatan workabilitas dan kekuatan beton terhadap gaya desak dan gaya geser. Biasanya dengan penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan nilai slump antara 17,5-22,5 cm, maka dari itu bahan ini cocok untuk pemakaian adukan beton pada struktur berkekuatan tinggi. 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 (Murdock ddk, 1991).

Superplasticizer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sikament-NN. Sikament-NN banyak digunakan sebagai bahan tambah/*admixture* dalam bangunan teknik sipil, seperti bangunan pondasi, pier jembatan, tembok, bangunan kedap air, dan sebagainya. Sikament-NN merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk meningkatkan *workability* pada pasta beton tanpa terjadi

bleeding dan *segregation*. Sikament-NN mampu mereduksi air dari 20 hingga 40% (Buku petunjuk penggunaan Sikament-NN)

3.2.5 Faktor Air-Semen (fas)

Faktor air-semen merupakan rasio perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin rendah perbandingan air terhadap semen, semakin tinggi kuat tekan beton. Kenaikan fas mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat beton seperti permaabilitas, ketahanan terhadap gaya dan cuaca, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan kuat desak.

Hubungan antara faktor air-semen (fas) dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams pada tahun 1919 sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{A}{B^{1,5x}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan :

f_c' = kuat tekan beton

X = fas (yang semula dalam proporsi volume)

A,B = konstanta.

Dengan demikian, hubungan antara air-semen (fas) adalah semakin besar faktor air-semennya maka akan semakin rendah kuat tekan betonnya. Jika dilihat dari persamaan diatas semakin kecil faktor air-semen maka semakin tinggi kuat desak beton, tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan pepadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat (Tjokrodimulyo, 1995).

3.2.6 Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat pengerjaan beton segar. Menurut Tjokrodimuljo (1992), Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain :

1. jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan,
2. penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton makin mudah cara pengerjaannya. Workabilitas terdiri dari tiga hal yang terpisah, (Murdock ddk, 1991):

1. kompaktibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan,
2. mobilitas atau kemudahan beton dapat mengalir kedalam cetakan,
3. stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan butiran dari bahan lainnya.

Peningkatan kekuatan beton terjadi seiring dengan waktu. Pada proses pembuatan beton terjadi reaksi hidrasi antara semen dan air. Reaksi ini membutuhkan waktu sampai tercapai kekuatan tertinggi yang bisa dicapai. Reaksi hidrasi akan terhenti bila tidak ada lagi tersedia semen dan air yang memungkinkan terjadinya reaksi.

Perhitungan struktur mensyaratkan kekuatan beton berdasarkan pada kekuatan yang dicapai beton pada umur 28 hari. Karena kekuatan beton yang meningkat seiring dengan waktu maka dapat diperhitungkan berdasarkan kekuatan beton pada umur yang lebih awal.

3.3 Kuat Desak Beton

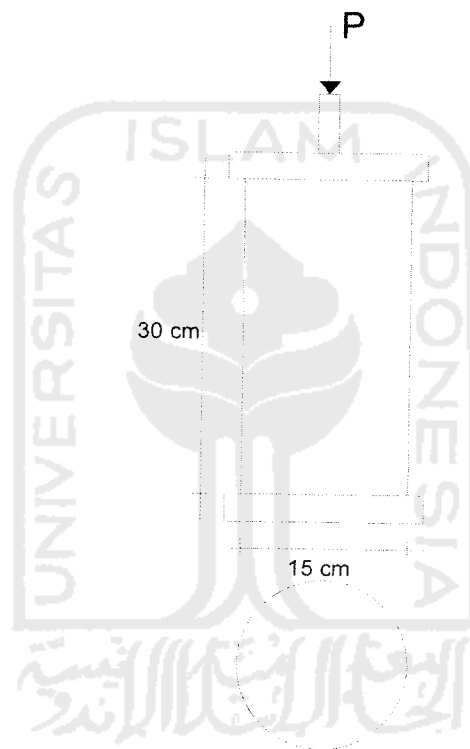
Pengujian kuat desak beton (f^c) pada umur 28 hari sesuai SK SNI T-1991-03 dengan kekuatan rencana $f^c = 35$ MPa.

$$f^c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.2)$$

f^c = Kuat tekan beton (N/mm², MPa);

P = Beban tekan (N);

A = Luas permukaan bidang tekan (mm²).



Gambar 3.1 Pengujian kuat tekan beton

3.4 Kuat Tarik-Belah

Winter dkk, (1993) mengemukakan pada umumnya kegunaan yang terbaik dari beton adalah penamfaatan kekuatannya, namun demikian kekuatan tarik juga memegang peranan penting dalam berbagai hal. Kekuatan tarik bagaimanapun ditentukannya, ternyata tidak berkorelasi baik dengan kuat tekan f^c . Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. (Nawy, 1998).

Perhitungan kuat tarik belah dari benda uji dihitung sampai dengan ketelitian 0,05 Mpa menurut SK SNI M-60-1990-03 dengan menggunakan rumus

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(3.3)$$

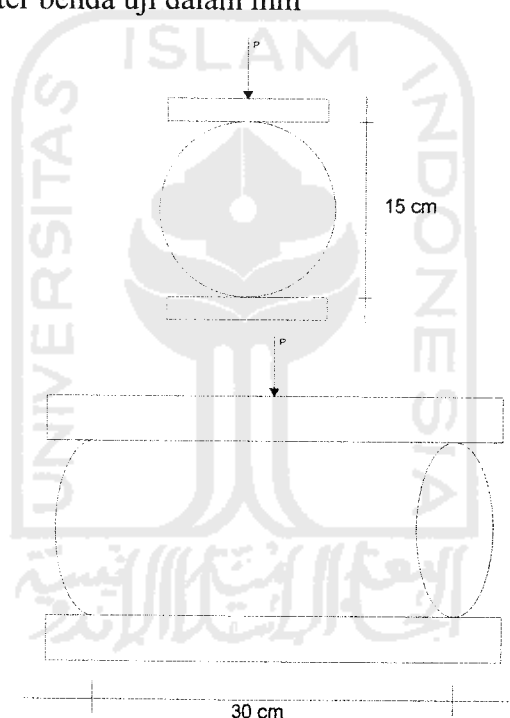
dimana :

f_{ct} = kuat tarik-belah (N/mm², MPa)

P = beban uji maksimum (beban belah/hancur) yang ditunjukkan mesin tekan dalam N

L = panjang benda uji dalam mm

D = diameter benda uji dalam mm



Gambar 3.3 Pengujian kuat tarik-belah beton selinder

Dipohusodo, (1994) mengemukakan bahwa nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil dari nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9–15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Untuk beton normal nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali adalah $0,56\sqrt{f'_c}$.

3.4 Kuat Geser

Metode pengujian kuat geser ini dilakukan berdasarkan metode yang sedang dikembangkan oleh Ilham (2004), persamaan menentukan kuat geser langsung:

$$f_{sh}' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$f_{sh}' = \frac{P}{2.A} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$f_{sh}' = \frac{P}{2x(b.h)} \dots\dots\dots (3.6)$$

f_{sh}' = kuat geser balok beton (N/mm², MPa);

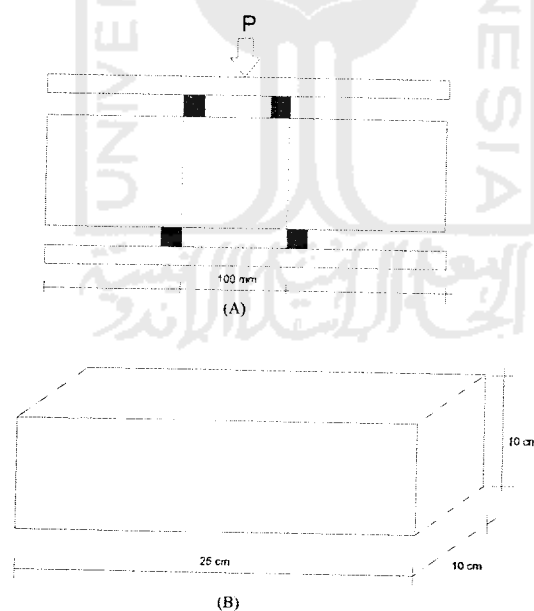
P = beban tekan maksimum (N);

A = luas permukaan bidang geser (mm²);

luas bidang geser adalah luas penampang patah

b = lebar balok (mm);

h = tinggi balok (mm).



Gambar 3.2 (A) pengujian kuat geser balok beton
(B) benda uji geser

Menon dkk, (1993) mengatakan bahwa kuat geser berkisar antara 10-20% dari kuat tekannya. Dalam ASTM menyebutkan bahwa kuat geser berkisar

$\frac{1}{6} \sqrt{f'c}$ dari nilai kuat tekannya. Dalam berbagai literatur kekuatan geser ditulis mulai dari 20% sampai 80% dari kekuatan tekan, dalam hal ini terjadinya kombinasi geser langsung dan tekan. Tegangan geser biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah beton mengalami kegagalan tarik diagonal (Nawy, 1990).

3.6 Kuat Lentur

Kuat lentur beton menurut SK SNI M-06-1996-03 (1996) adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam MPa gaya tiap satuan luas.

Jackson, (1983) mengatakan bahwa kekuatan lentur bervariasi mulai dari 9,13% sampai 19,09% dari kuat tekan selinder beton atau 11%-23% dari kuat tekan kubus beton.

Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada didaerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan :

$$f_{lt} = \frac{M.c}{I} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{dimana, } M = \frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{3} L = \frac{1}{6} P \cdot L \dots\dots\dots(3.8)$$

$$c = \frac{1}{2} h \dots\dots\dots(3.9)$$

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \dots\dots\dots(3.10)$$

Sehingga,

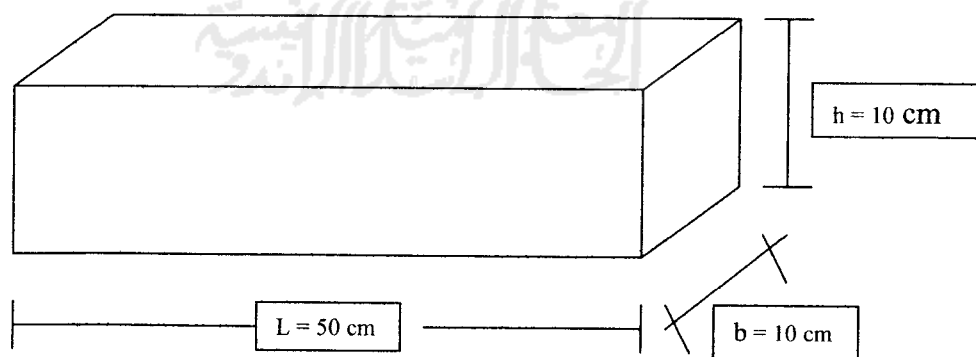
$$f_{lt} = \frac{\left\{ \left(\frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{3} L \right) \left(\frac{1}{2} \cdot h \right) \right\}}{\left(\frac{1}{12} b \cdot h^3 \right)} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$f_{lt} = \frac{\frac{1}{12} P \cdot L \cdot h}{\frac{1}{12} b \cdot h^3} \dots\dots\dots(3.11)$$

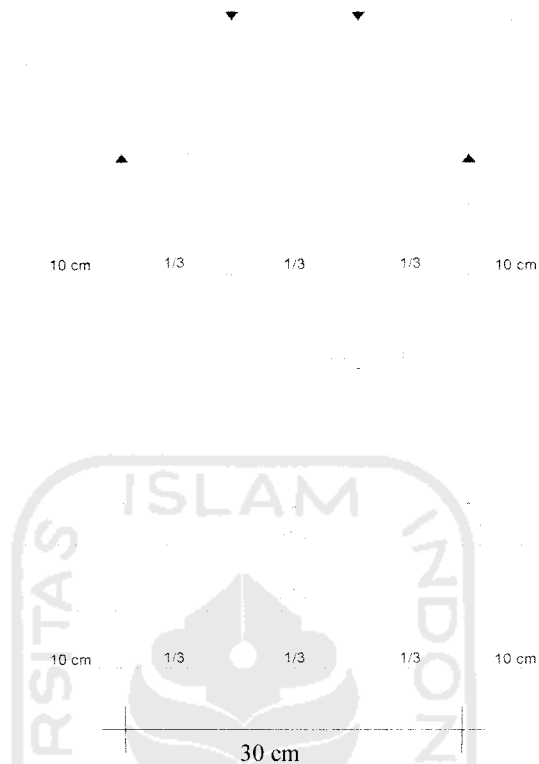
$$f_{lt} = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :

- f_{lt} = tegangan lentur (N/mm^2 , MPa);
 M = momen yang bekerja pada balok (N.mm)
 c = jarak serat terluar terhadap garis netral, baik didaerah tekan maupun tarik (mm)
 P = beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji;
 L = jarak antara 2 garis perletakan (mm);
 b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm);
 h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm);



Gambar 3.4 a Benda uji kuat lentur balok beton



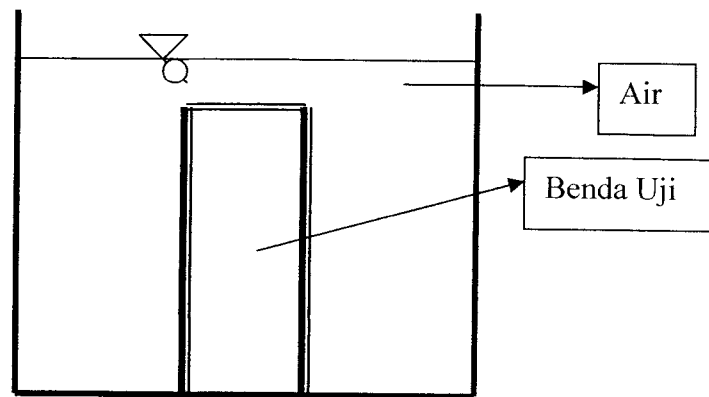
Gambar 3.4b Pengujian kuat lentur balok beton

3.7 Permeabilitas beton

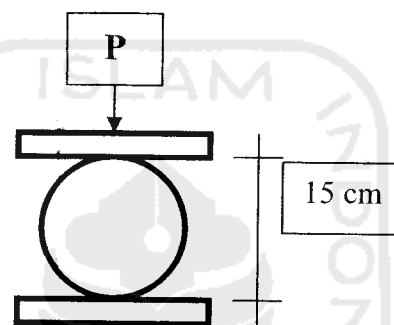
Permeabilitas beton merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi *durability* beton, yaitu keadaan dimana beton lebih *impermeable* atau kedap air, sehingga beton tidak dapat meneruskan air. Uji permeabilitas beton ada dua macam : uji aliran (*flow test*) dan uji penetrasi (*penetration test*). Dalam penelitan ini uji permeabilitas yang digunakan adalah dengan uji penetrasi.

Murdock, dkk (1991) mengatakan bahwa untuk mendapatkan beton padat dan kedap air, perbandingan air-semen harus direduksi seminimal mungkin sejauh kemudahan pengerjaan masih konsisten untuk dipadatkan tanpa terjadi pemisahan. Faktor lain yang mempengaruhi kedekatan beton adalah :

1. mutu dan porositas agregat
2. umur beton, kedekatan air berkurang seiring dengan bertambahnya umur
3. gradasi agregat harus dipilih dengan baik
4. perawatan merupakan faktor yang berpengaruh



Gambar 3.5a Perendaman beton dalam air



Gambar 3.5b Pengujian permeabilitas beton

3.7 Metode Perancangan Campuran Beton

Dalam penelitian ini Metode perancangan campuran beton menggunakan metode DOE (*Development Of Environment*) atau lebih dikenal cara inggris. Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku SK SNI T-15-1990-03. Dalam perencanaan cara ini digunakan tabel-tabel dan grafik. Langkah-langkah perancangan campuran adukan beton cara DOE adalah sebagai berikut :

1. menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada umur 28 hari
2. menetapkan nilai deviasi standar (sd)

Tabel 3. 1 Hubungan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dengan sd

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	Standar deviasi, sd (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

3. menghitung nilai tambah margin (M)

$$M = K \cdot sd \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana, M = Nilai tambah margin

$$K = 1,64$$

sd = Standar deviasi

4. menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr}')

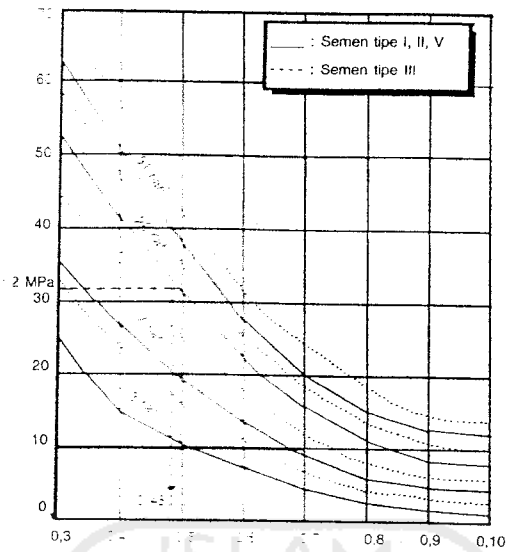
$$f_{cr}' = f_c' + M \dots \dots \dots (3.15)$$

dimana, f_{cr}' = Nilai tambah margin

$$f_c' = 1,64$$

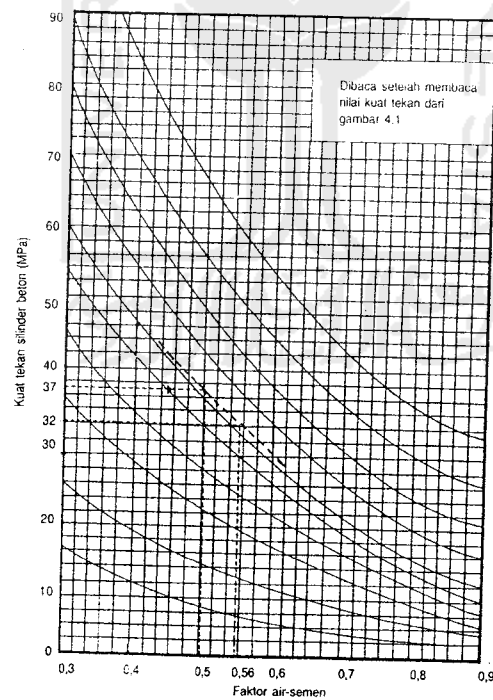
sd = standar deviasi

5. menetapkan jenis semen
 6. menetapkan jenis agregat
 7. menetapkan faktor air semen (f_{as})



Sumber : Triono Budi Astanto, (2001)

Gambar 3.6 Hubungan fas dan kuat tekan rata-rata selinder pada beton.



Gambar 4.2. Grafik mencari faktor air semen.

Sumber : Triono Budi Astanto, (2001)

Gambar 3.7 Grafik mencari faktor air-semen (fas)

Tabel 3. 2 Persyaratan Faktor Air-Semen Maksimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non-korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52
Beton di luar ruang bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	Lihat tabel 3.3
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.4

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3.3 Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Fas maksimum
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (g/l)			
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	0,50
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II atau V	0,55
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	0,45
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	0,45

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 4 Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air semen
Air tawar	Semua tipe I – V	0,50
Air payau	Tipe I + Pozolan (15 - 40%) atau S.P. Pozolan	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

8. menetapkan faktor air-semen (*fas*) maksimum
9. menetapkan nilai *slump*

Tabel 3. 5 Penetapan Nilai *Slump* (cm)

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

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

10. menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum
11. menetapkan kebutuhan air

Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air per meter kubik Beton (liter)

Besar ukuran maks kerikil (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (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

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

$$A = 0,67A_h + 0,33A_k \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana, A = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus nya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. menetapkan kebutuhan semen

$$\text{kebutuhan semen} = \frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan (langkah 11)}}{\text{Faktor air - semen maksimum (langkah 8)}} \dots\dots(3.17)$$

13. menetapkan kebutuhan semen minimum

Tabel 3. 7 Kebutuhan Semen Minimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Kebutuhan semen minimum(kg/m ³ beton)
Beton di dalam ruang bangunan : a. keadaan keliling non-korosif b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	275
Beton di luar ruang bangunan : a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275
Beton yang masuk ke dalam tanah : a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	325 Lihat tabel 3.9
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.8

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 8 Kebutuhan Semen Minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

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

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 9 Kandungan Semen Minimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

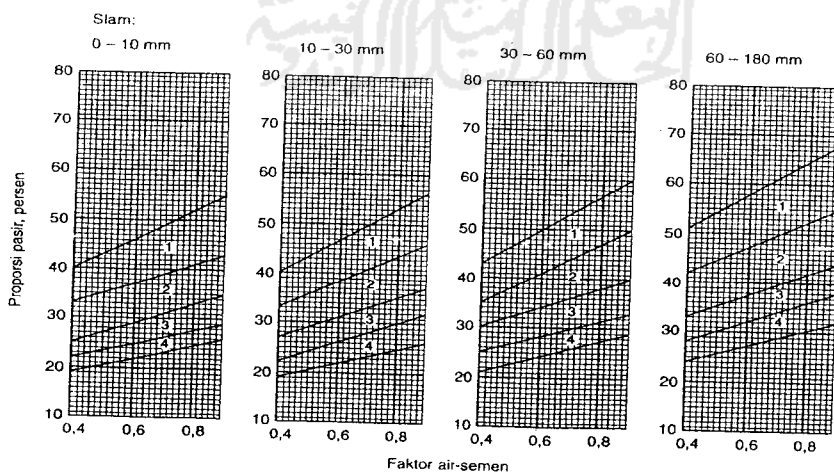
Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis Semen	Kand. Semen min. (kg/m ³)		
Dalam tanah		SO ₃ dlm air tnh (g/l)		Ukuran maks. Agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dlm camp air : tanah = 2 : 1 (g/l)			40	20	10
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	280	300	350
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	290	330	380
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	270	310	360
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II atau V	250	290	340
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	340	380	430
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	290	330	380
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V	330	370	420
			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	330	370	420

Sumber :Tjokrodimulyo, 1992

- 14. menetapkan kebutuhan semen yang sesuai
- 15. penyesuaian jumlah air atau faktor air semen (*fas*)

$$\text{Faktor air semen} = \frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan}}{\text{kebutuhan semen}} \dots\dots\dots(3.18)$$

- 16. menentukan daerah gradasi agregat halus (pasir)



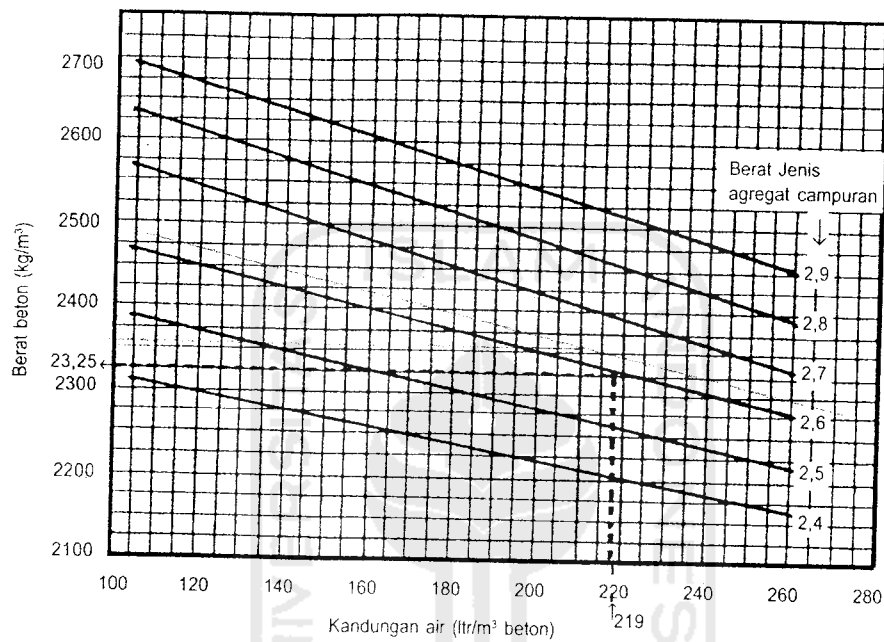
Sumber : Triono Budi Astanto, (2001)

Gambar 3.8 Grafik Persentase Agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20mm

- 17. menentukan perbandingan pasir dan kerikil
- 18. menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

$$B_j \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ pasir} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ kerikil} \dots\dots\dots(3.19)$$

- 19. menentukan berat jenis beton



Sumber : Triono Budi Astanto, (2001)

Gambar 3.9 Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton.

- 20. menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

$$\text{brt pasir} + \text{brt kerikil} = \text{brt beton} - \text{kebutuhan air} - \text{kebutuhan semen} \dots(3.20)$$

- 21. menentukan kebutuhan pasir

$$\text{kebutuhan pasir} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} \times \text{persentase brt pasir} \dots(3.21)$$

- 22. menentukan kebutuhan kerikil

$$\text{kebutuhan kerikil} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} - \text{kebutuhan pasir} \dots\dots(3.22)$$

3.8 Hipotesis

Hubungan antara kuat tekan beton dengan fas adalah semakin sedikit fas maka kekuatan beton akan meningkat, tetapi akan sulit pada saat proses pengerjaannya seperti pengecoran, pemadatan dan penuangan, hingga perawatan karena beton akan keropos. Dengan pengurangan jumlah air dan penambahan dosis *superplasticizer* yang optimum kedalam campuran beton akan meningkatkan kinerja beton antara lain *workability*, *strength* dan *permeability*.

