

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Beton terbuat dari bahan semen portland, air, agregat (agregat kasar dan halus) dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SK-SNI T-15-03, 1991). Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Pasta semen mengikat pasir dan agregat kasar. Rongga di antara bahan-bahan kasar diisi oleh bahan-bahan halus, sehingga harus ada perbandingan optimal antara agregat-agregat campuran tersebut agar pembentukan beton dapat dimanfaatkan oleh seluruh material (Gideon Kusuma, 1993).

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (semen, agregat, dan air) yang ditambah pada adukan beton saat atau selama pencampuran berlangsung, dengan tujuan untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambah/*additive* yang digunakan sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia. Kekuatan, keawetan, dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan-bahan dasar penyusunnya tersebut di atas, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan (Tjokrodinuljo, 1992).

Beton yang baik mempunyai kuat tekan tinggi, kuat lekat agregat yang tinggi, kedap air, tahan aus, tahan cuaca, tahan zat-zat kimia, susutan pengerasannya kecil dan elastisitasnya tinggi (Astanto, 2001). Pembuatan beton tidak hanya sekedar mencampur bahan dasar untuk memperoleh massa plastis, tetapi beton yang baik harus memenuhi performa yang diisyaratkan dalam kondisi plastis (masih dalam bentuk adukan atau beton segar) juga dalam kondisi mengeras. Beton harus *workable* atau dapat diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa mengalami *bleeding* (pemisahan pasta semen dari adukan) dan

segregasi (pemisahan agregat kasar dari adukan). Hal ini karena segregasi maupun *bleeding* mengakibatkan beton yang dihasilkan akan jelek. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama/awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susutnya kecil) (Tjokrodimujo, 1992).

3.2 Materi Penyusun Beton

Sifat-sifat beton ini tergantung pada proporsi campuran, kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran. Uraian tentang bahan-bahan pembentuk beton adalah sebagai berikut.

3.2.1 Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah (PUBI-1982). Bahan baku pembentuk semen adalah kapur (CaO) dari batu kapur, Silika (SiO₂) dari lempung dan Alumina (Al₂O₃) dari lempung (Nawy,1990).

Komposisi kandungan kimia dalam beton paling banyak adalah CaO dan SiO₂, untuk kandungan senyawa lain dapat dilihat pada *Tabel 3.1*.

Tabel 3.1 Susunan unsur semen biasa

Bahan Dasar	Rumus Kimia	% dalam PC
kapur	CaO	60-65
silika	SiO ₂	17-25
alumina	Al ₂ O ₃	3-8
besi oksida	Fe ₂ O ₃	0.5-6
magnesia	MgO	0.5-4
sulfur	SO ₃	1-2
soda/potash	Na ₂ O + K ₂ O	0.5-1

Sumber : Tjokrodimujo, 1992

Ketika semen dicampur dengan air, timbullah reaksi kimia antar unsur-unsur tersebut dengan air (hidrasi semen). Reaksi ini menghasilkan senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan (Murdock dan Brook,1991).

Menurut PUBI (1982) semen portland di Indonesia dibagi menjadi 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 dan panas hidrasi yang sedang.
- 3) Jenis III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis IV, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang merupakan bahan pengisi dalam campuran beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60 % sampai 80 % volume agregat. Agregat ini bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh masa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar (Nawy, 1990). Nawy (1990) membagi agregat kedalam dua jenis agregat, yaitu:

1. Agregat kasar (kerikil dan batu pecah), apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton, keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus memiliki ikatan yang baik dengan semen. Jenis agregat kasar yang umum adalah batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat (baja pecah, barit, magnetit, dan limonit).
2. Agregat halus (pasir alami dan buatan), ukurannya bervariasi antara ukuran no. 4 % dan 100 % saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus

bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat seperti berikut ini (Tjokrodimuljo, 1992).

1. Bersih dari unsur organik.
2. Keras.
3. Bebas dari sifat penyerapan secara kimia.
4. Tidak bercampur dengan tanah liat atau lumpur.
5. Distribusi atau gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan yang berlaku.

Sifat yang paling penting dalam suatu agregat (batu-batu, kerikil dan pasir) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu dingin dan agresinya kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (Murdock dan Brook, 1991).

Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Batas-batas jenis pasir tercantum dalam *Tabel 3.2*.

Tabel 3.2 Gradasi pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran 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	95-100
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 : Tjokrodimuljo, 1992

Keterangan:

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

Untuk agregat kerikil ditetapkan seperti pada *Tabel 3.3* berikut ini.

Tabel 3.3 Gradasi kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan	
	Berat 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 : Tjokrodumuljo, 1992

Indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir (MHB). Menurut Ilsey (1942), MHB adalah jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan (38, 19, 9.6, 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3 dan 0.15 mm), kemudian nilai tersebut dibagi dengan seratus. Makin besar nilai MHB menunjukkan bahwa makin besar/kasar butir-butir agregatnya. Umumnya pasir mempunyai modulus halus 1,5 sampai 3,8 dan kerikil antara 5 sampai 8. Untuk agregat campuran nilai MHB biasa dipakai sekitar 5 – 6 (Mulyono, 2004). Hubungan ketiga nilai MHB tersebut dihitung dengan *Persamaan 3.1*.

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

Dengan W : Persentase berat pasir terhadap berat kerikil
 K : Modulus halus butir kerikil
 P : Modulus halus butir pasir
 C : Modulus halus butir campuran.

3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting dan paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan (Tjokrodumuljo, 1992).

Air yang digunakan untuk campuran beton biasanya sesuai yang dipakai untuk air minum. Untuk menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 persen biasanya digunakan air suling (Astanto, 2001).

Air yang mengandung kotoran akan memperlama waktu ikatan awal adukan dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun. Air laut mengandung 3,5% garam. Garam-garam itu dapat menyebabkan kekuatan beton turun sampai 20%, sehingga air laut tidak boleh digunakan dalam campuran adukan beton. Demikian pula dengan air buangan industri dan air yang mengandung gula, karena air buangan industri mengandung asam dan alkali sedangkan kandungan gula dalam air akan memperlambat ikatan awal adukan beton (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut Astanto (2001), ada beberapa persyaratan air sebagai pencampur konstruksi beton, antara lain :

1. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
2. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung zat organik, asam, dan garam-garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.

Air juga digunakan untuk perawatan beton, pemadaman kapur, adukan pasangan, dan adukan plesteran. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak mengandung lumpur, minyak, benda terapung yang dapat dilihat secara visual, asam-asam, garam-garaman, zat-zat organik atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan atau baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum (PUBI-1982).

3.2.4 Bahan Tambah

3.2.4.1 Definisi dan Jenis Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan lain selain air, agregat dan semen, sebagai tambahan dalam adukan beton untuk mengubah sifat-sifat beton sesuai dengan keinginan (Astanto, 2001). Bahan tambah biasanya digunakan untuk memperbaiki

5. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

3.2.4.3 *Superplasticizer*

Superplasticizer (SP) adalah bahan tambah kimia yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai tingkat yang cukup besar. Bahan ini dapat digunakan untuk menghasilkan beton mengalir tanpa terjadinya pemisahan yang tidak diinginkan (*bleeding* dan segregasi) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar. Bahan ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama (Murdock dan Brook, 1991).

Menurut Ramachandran (1979), SP merupakan salah satu bahan tambah yang termasuk dalam kelas bahan tambah pengurang air (*water-reducers*) yang digunakan untuk membuat kebutuhan air dalam campuran menjadi lebih rendah. *Superplasticizer* dikenal sebagai *water-reducers* tingkat tinggi dan secara kimiawi berbeda dengan *water-reducers* yang normal, karena mampu mengurangi air sampai 30 persen. Pencampuran SP dalam jumlah besar dapat mengakibatkan efek yang tidak diinginkan, seperti pada penempatan/*setting*, isi udara, *bleeding*, segregasi dan karakteristik pembekuan. Menurut Nawy (1990), dosis yang disarankan untuk penggunaan SP adalah sampai 1% sampai 2% dari berat semen, karena bila berlebihan dapat menimbulkan berkurangnya kuat tekan.

Superplasticizer yang dipakai pada penelitian ini adalah SP dengan merek Sikament-NN yang diproduksi oleh PT.Sika Indonesia. Menurut *Technical Data Sheet* dari PT.Sika Indonesia (2005), Sikament-NN adalah *superplasticizer* cair yang sangat efektif untuk dua fungsi, yaitu dapat menghasilkan beton segar yang mengalir dan dapat sebagai bahan pengurang air untuk menghasilkan kekuatan awal dan kekuatan *ultimate* yang tinggi. Berat jenis Sikament-NN adalah 1,16-1,18 kg/liter dan dosis yang diberikan untuk penambahan Sikament-NN adalah 0,6-1,5% dari berat semen atau 300-750 cc per 50 kg semen. Data lebih lengkap

dari Sikament-NN dapat dilihat pada *Lampiran G* tentang data teknis Sikament-NN dari PT.Sika Indonesia.

3.3 Faktor Air-Semen

Faktor air-semen (*fas*) atau *water-cement ratio* (*w/c*) adalah perbandingan berat air terhadap 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, 1991).

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai *fas*, mutu beton menjadi semakin rendah, karena semakin tinggi kandungan airnya ataupun semakin rendah kandungan semennya. Namun nilai *fas* yang semakin rendah tidak selalu berarti kuat tekan beton makin tinggi, ada batas-batas dalam hal ini. Nilai *fas* yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan dan pemadatan yang pada akhirnya dapat menjadikan mutu beton menurun. Umumnya nilai *fas* minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004).

3.4 *Slump*

Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*)/plastisitas dan kohesif dari beton segar (SK-SNI-M-12-1989-F). *Slump* merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan beton. Tingkat kelecakan ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin besar nilai *slump* berarti semakin cair adukan betonnya dan akan lebih mudah mengalir, sehingga semakin mudah dikerjakan.

Besarnya nilai *slump* dapat diketahui melalui pengujian *slump* yang dilakukan pada saat pengadukan beton. Menurut SK-SNI-M-12-1989-F tentang metode pengujian *slump*, pengujian dilakukan terhadap beton segar yang mewakili

campuran beton, dan hasil pengujian tersebut digunakan dalam perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembeconan.

3.5 Workabilitas

Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan pada beton segar. Besarnya nilai/tingkat workabilitas beton segar tergantung pada besarnya nilai *slump* campuran, semakin besar nilai *slump* semakin besar pula tingkat workabilitasnya. Beton dengan workabilitas yang baik mempunyai keuntungan dalam penempatan yang cepat dan mudah (Ramachandran, 1979).

Newman (1965) mengusulkan bahwa agar workabilitas didefinisikan pada sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara 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.

3.6 Berat Jenis

Berat jenis adalah Rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama pada suhu yang sama. Menurut SK SNI tahun 1989 ada tiga macam keadaan berat jenis, yaitu:

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*), adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25⁰ C.
2. Berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry/SSD*), yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25⁰ C.

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25 °C.

Dalam pengujian, berat jenis berhubungan dengan penyerapan air agregat, yaitu perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen.

Persamaan yang digunakan untuk mencari berat jenis dalam keadaan SSD atau dalam keadaan jenuh kering permukaan, menurut SK SNI M-09-1989-F (Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar, 1989) dan SK SNI M-10-1989-F (Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus, 1989) adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis agregat kasar.

$$B_{jSSD} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana : B_{jSSD} = berat jenis agregat kasar dalam keadaan SSD (gr/cm^3)
 B_j = berat agregat kasar dalam keadaan SSD (gr)
 B_a = berat agregat kasar SSD di dalam air (gr)

2. Berat jenis agregat halus.

$$B_{jSSD} = \frac{500}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana : B_{jSSD} = berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD (gr/cm^3)
 B = berat piknometer berisi air (gr)
 B_t = berat agregat halus dan air dalam piknometer (gr)
 500 = berat agregat halus dalam keadaan SSD (gr)

3.7 Perencanaan Campuran Beton

Dalam penelitian kali ini digunakan metode “*The British Mix Design Method*” (Astanto, 2001) atau lebih dikenal di Indonesia dengan cara *DOE* (*Department of Environment*). Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari (f_c').
2. Menetapkan nilai deviasi standar (S_d), ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standar.
 - 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 pada **Tabel 3.4** di bawah ini.

Tabel 3.4 Tingkat pengendalian mutu pekerjaan dan standar deviasi

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	S_d (MPa)
Memuaskan	2.8
Sangat baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7.0
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 (**Tabel 3.5**).

Tabel 3.5 Faktor pengali deviasi standar

Jumlah data	30,0	25,00	20,00	15,00	<15
Faktor pengali	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

3. Menghitung nilai tambah margin (M).

$$M = K \cdot S_d \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan : M = nilai tambah

$$K = 1,64$$

S_d = 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 N langsung diambil 12 MPa.

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}).

$$f'_{cr} = f_c + M \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata

f_c = kuat tekan yang disyaratkan

M = nilai tambah

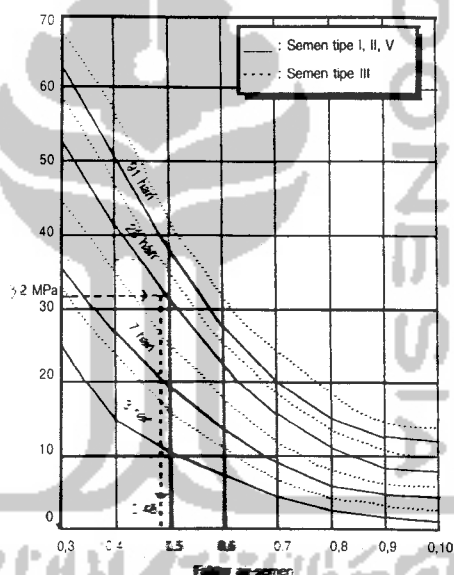
5. Menetapkan jenis semen.

6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil).

7. Menetapkan faktor air semen.

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

Cara Pertama:



Gambar 3.1 Hubungan faktor air-semen dengan kuat tekan rata-rata

Misal, kuat tekan silinder ($f'_{cr} = 32$ MPa) dan 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, yaitu 0,48. jadi fas cara pertama = 0,48.

(*Gambar 3.1*).

Cara Kedua:

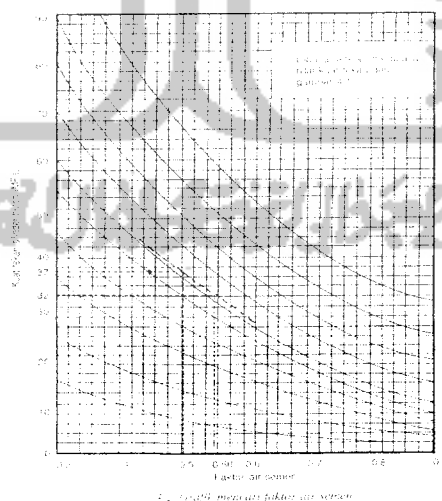
Diketahui jenis semen I, Jenis agregat kasar batu pecah. Kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari, maka digunakan tabel nilai kuat tekan beton (**Tabel 3.6**).

Tabel 3.6 Nilai kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0,50

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
III	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

Dari tabel di atas, nilai kuat tekan = 37 MPa, jenis semen I, kerikil batu pecah dan umur beton 28 hari. Kemudian, dengan fas = 0,5 dan $f'_{cr} = 37$ Mpa, digunakan grafik di bawah ini (**Gambar 3.2**). 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. Sekarang dengan $f_{cr} = 32$ tarik ke kanan memotong garis putus yang dibuat tadi di B dan tarik garis ke bawah maka diperoleh fas yang baru, yaitu = 0,56.

**Gambar 3.2** Grafik mencari faktor air semen

Cara Ketiga :

Dengan melihat persyaratan untuk berbagai pembetonan dan lengkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dan untuk beton bertulang terendam air. Dengan menetapkan kegunaan beton untuk:

- a. Untuk pembetonan di dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non korosif = 0,60.
 - b. 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.
 - c. Untuk beton bertulang dalam air tawar dan tipe semen I yaitu fas-nya = 0,50.
8. Menetapkan faktor air-semen maksimum.
Didapat dari ketiga cara di atas dengan mengambil nilai fas yang terendah.
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 3.8** dan dilanjutkan dengan perhitungan.

Tabel 3.8 Kebutuhan air per meter-kubik beton

Besarnya ukuran 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 :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k \dots\dots\dots(3.6)$$

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

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. Menetapkan kebutuhan semen.

$$\text{kebutuhan semen} = \frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan (langkah 11)}}{\text{Faktor air semen maksimum (langkah 8)}} \dots\dots\dots(3.7)$$

13. Menetapkan kebutuhan semen minimum.

Kebutuhan semen minimum ditetapkan berdasarkan pada *Tabel 3.9*.

Tabel 3. 9 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	275
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	
Beton di luar ruang bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275

14. Menetapkan kebutuhan semen yang sesuai.

Digunakan kebutuhan semen terbesar dari langkah 12 dan Langkah 13

15. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen, jika jumlah semen pada langkah 13 dan 14 berubah, maka faktor air semen berubah yang ditetapkan dengan :

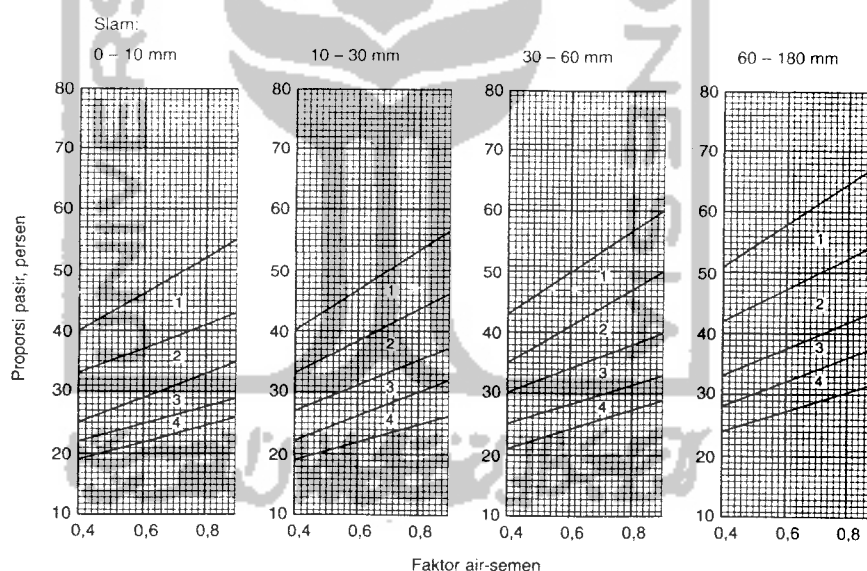
- a. Jika akan menurunkan faktor air semen, maka faktor air semen dihitung lagi dengan cara jumlah air dibagi jumlah semen minimum.
- b. Jika akan menaikkan jumlah air lakukan dengan cara jumlah semen minimum dikalikan faktor air semen.

16. Menentukan golongan pasir.

Golongan pasir ditentukan dengan cara menghitung hasil ayakan hingga dapat ditemukan golongannya (dari pemeriksaan bahan).

17. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil.

Untuk menentukan perbandingan pasir dan kerikil dicari dengan bantuan grafik di bawah ini. Dengan melihat nilai slump yang diinginkan, ukuran butir maksimum, zona pasir, faktor air-semen.



Gambar 3.3 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

18. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil.

- a. Jika tidak ada data, maka agregat alami (pasir) diambil 2,7 dan untuk kerikil (pecahan) diambil 2,7.

- b. Jika mempunyai data, dihitung dengan rumus :

$$Bj-cm = (P/100) \times Bj \text{ pasir} + (K/100) \times Bj \text{ kerikil} \dots\dots\dots(3.8)$$

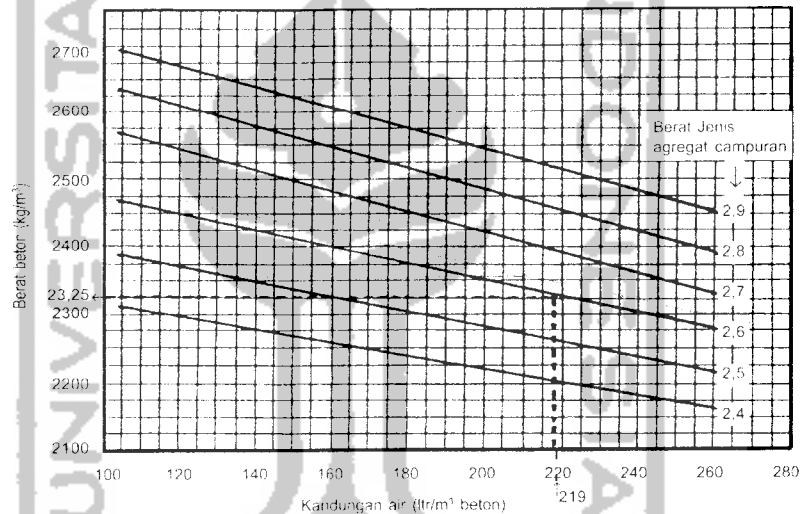
Dengan : Bj-cm = berat jenis campuran

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 kebutuhan dan kebutuhan air tiap meter kubik, setelah ada data, kemudian dimasukkan dalam grafik beton di bawah ini



Gambar 3.4 Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton

20. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir} + \text{berat kerikil} &= (\text{berat beton}) - (\text{keb. air}) - (\text{keb. semen}) \\ &= \text{langkah 19} - \text{langkah 11} - \text{langkah 12} \dots\dots\dots(3.9) \end{aligned}$$

21. Menentukan kebutuhan pasir.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir} &= (\text{kebutuhan pasir dan kerikil}) \times (\text{persentase berat pasir}) \\ &= \text{Langkah 20} \times \text{Langkah 17} \dots\dots\dots(3.10) \end{aligned}$$

22. Menentukan kebutuhan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan kerikil} &= (\text{kebutuhan pasir dan kerikil}) - (\text{kebutuhan pasir}) \\ &= \text{Langkah 20} - \text{Langkah 21} \dots\dots\dots(3.11) \end{aligned}$$

3.8 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 di aduk dengan benar dan rata. Cara pengadukan beton (Tjokrodimuljo, 1992):

1. Pengadukan dengan tangan, dilakukan bila jumlah beton yang dibuat sedikit, dan tidak di inginkan suara berisik yang ditimbulkan oleh mesin.
2. Pengadukan dengan mesin, dilakukan bila jumlah beton dibuat dalam jumlah banyak. Lamanya waktu pengadukan tergantung pada kapasitas mesin pengaduk, jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan susun, dan slump beton, umumnya tidak kurang dari 1,5 menit sejak dimulainya pengadukan, dan hasil adukannya menunjukkan susunan dan warna yang merata.

3.9 Perawatan Beton

Menurut Nawy (1990), kondisi perawatan yang baik dapat dicapai dengan menggunakan salah satu metode dibawah ini:

1. Beton dibasahi terus menerus dengan air.
2. Beton direndam didalam air.
3. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan tahan air.
4. Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton basah.
5. Perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dan kondisi pabrik, seperti pipa dan balok pracetak, dan tiang atau girder pracetak. Temperatur perawatan uap ini sekitar 150°F. Lamanya perawatan biasanya 1 hari, sementara kalau menggunakan cara lain sekitar 5 sampai 7 hari.

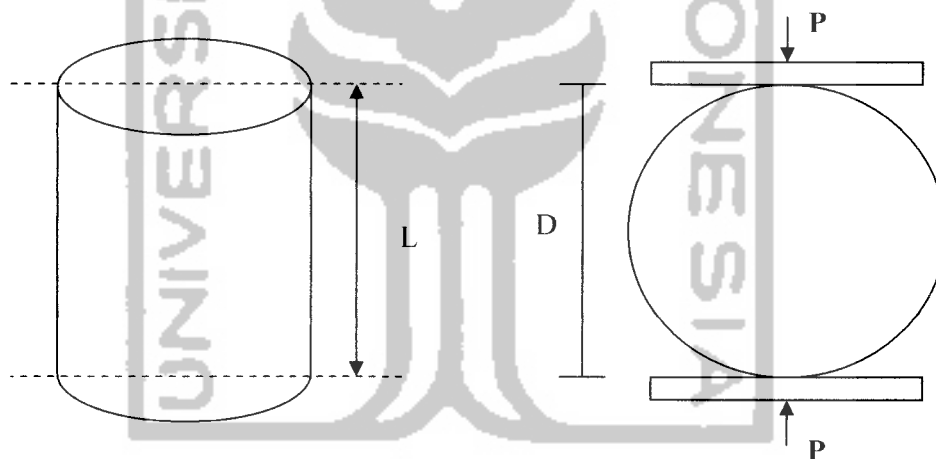
3.10 Kuat Tarik Beton

Nilai kuat desak dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus, setiap peningkatan kuat tekan beton hanya memberikan sedikit peningkatan kuat tariknya. Nilai kuat tarik bahan beton normal berkisar 9 - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Kekuatan tarik beton sering kali diukur berdasarkan pendekatan yang umum dilakukan, yaitu dengan menggunakan nilai modulus tarik (*modulus of rupture*), nilai ini sedikit lebih besar dari nilai kuat tarik sesungguhnya, yang saat ini lebih sering ditentukan oleh kekuatan belah silinder beton (Wahyudi dan Rahim, 1997). SNI T-15-1991-03 Pasal 3.2.5 menetapkan bahwa besarnya nilai modulus tarik untuk beton normal adalah sebagai berikut :

$$f_{tr} = 0,70\sqrt{f'c} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana, f_{tr} = Kuat tarik beton (N/mm²; MPa)

$f'c$ = Kuat tekan beton (N/mm²; MPa)



Gambar 3.5 Silinder uji kuat tarik beton dan metode pengujiannya

Kuat tarik dapat ditentukan melalui pengujian *split cylinder* (pecah belah silinder) seperti **Gambar 3.5** di atas. Benda uji silinder diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian ditekan dengan beban merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder (Dipohusodo, 1994). Besarnya nilai kuat

tarik-belah dari benda uji dihitung menggunakan *Persamaan 3.13* di bawah ini (SK SNI M-60-1990-03).

$$f_{tr} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana, f_{tr} = Kuat tarik beton (N/mm² ; MPa)

P = Beban uji maksimum/beban belah (N)

D = Diameter silinder uji (mm)

L = Panjang silinder uji (mm)

3.11 Kuat Lentur Beton

Menurut Dipohusodo (1994), untuk balok dari sembarang bahan homogen (serba-sama) dan elastik berlaku rumus lendutan sebagai berikut :

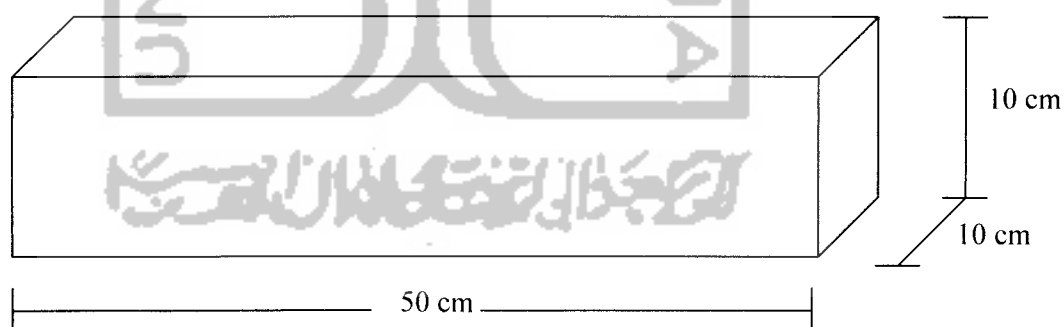
$$f_{ll} = \frac{M.c}{I} \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana, f_{ll} = Tegangan lentur (N/mm² ; MPa)

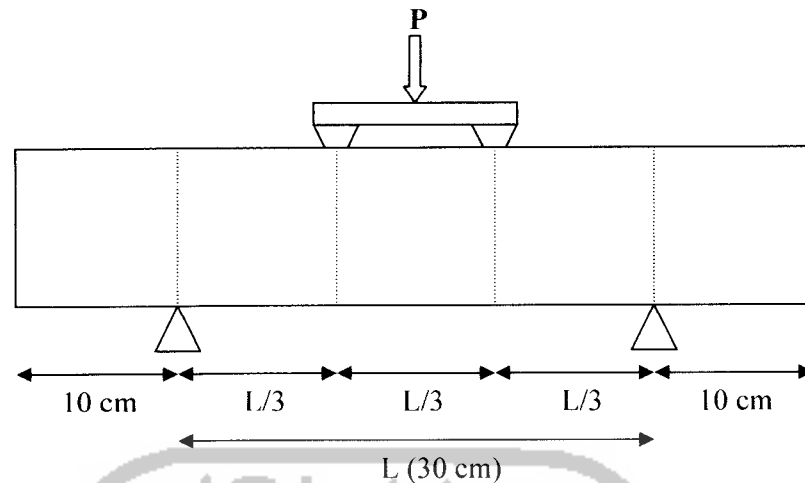
M = Momen yang bekerja pada balok (Nmm)

c = Jarak serat terluar terhadap garis netral, baik di daerah tekan maupun tarik (mm)

I = Momen inersia penampang balok terhadap garis netral (mm⁴)



Gambar 3.6 Balok uji kuat lentur



Gambar 3.7 Pengujian kuat lentur

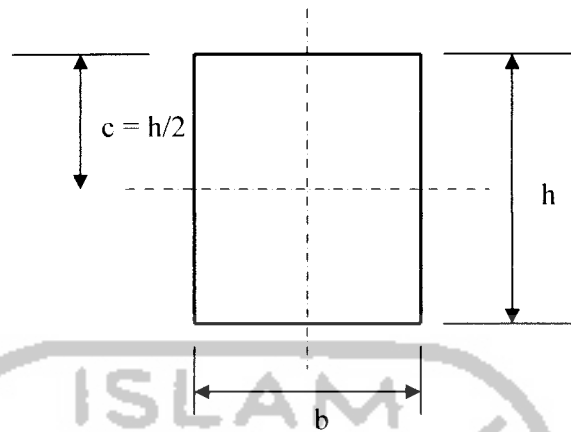
Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam megapascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Sumbu panjang benda uji adalah garis yang melalui pusat berat benda uji pada arah panjangnya (SK-SNI-M-06-1996-03). Pada penelitian ini panjang bentang (L) antara dua titik perletakan adalah 30 cm. Nilai kuat lentur beton berkisar antara 11 - 23% dari kuat tekan kubus beton (N.Jackson, 1983).

Menurut rumus lendutan Dipohusodo (1994) pada *Persamaan 3.14* di atas tegangan lentur dalam balok berhubungan dengan momen lentur (M) dan momen inersia (I) dari tampang balok. Perhitungan kuat lentur dengan penjabaran rumus lentur *Persamaan 3.14* di atas dan juga menurut SK-SNI-M-06-1996-03 untuk pembebanan dua titik adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{3} \dots\dots\dots(3.15)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \dots\dots\dots(3.16)$$

Jarak serat terluar terhadap garis netral (c) dan bentuk penampang balok uji dapat dilihat pada **Gambar 3.8** berikut ini.



Gambar 3.8 Bentuk penampang balok uji

Dengan mensubstitusikan **Persamaan 3.15**, **Persamaan 3.16** dan persamaan pada **Gambar 3.8** pada **Persamaan 3.14**, maka didapat rumus kuat lentur sebagai berikut:

$$f_u = \frac{\left(\frac{P L}{2}\right) \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12} b h^3} \dots \dots \dots (3.17)$$

$$f_u = \frac{P L}{b h^2} \dots \dots \dots (3.18)$$

dimana, f_u = Kuat lentur benda uji (kg/cm^2 ; MPa)

P = Beban maksimum (kg)

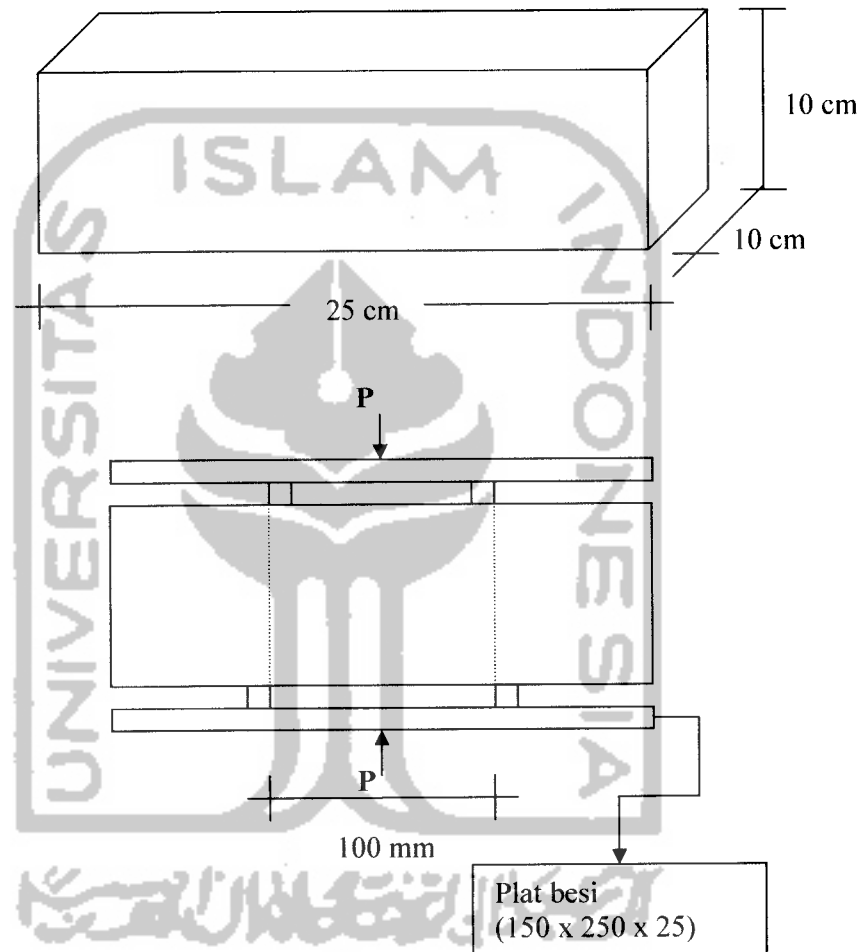
L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (cm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horisontal (cm)

h = Tinggi benda uji atau lebar tampang lintang patah arah vertikal (cm)

3.12 Kuat Geser Beton

Untuk kuat geser murni belum terdapat standar pengujian yang baku baik di Indonesia maupun pada skala Internasional. Dalam penelitian ini akan dipakai metode pengujian geser langsung berikut benda ujinya berdasarkan hasil kajian Ilham (2004). Untuk menentukan kuat geser langsung digunakan suatu metode pengujian geser langsung beton yang tampak seperti pada **Gambar 3.9** berikut ini.



Gambar 3.9 Balok uji kuat geser beton dan metode pengujiannya

Tujuan pengujian kuat geser beton adalah untuk memperoleh besarnya tegangan geser dari balok beton setelah mendapatkan pembebanan. Berdasarkan

pada beberapa penelitian, kekuatan beton pada geser murni didapatkan antara 10-20% dari kuat tekan (Pillai dan Menon, 1993). Hasil penelitian yang dilakukan Ilham (2004) mendapatkan bahwa besar kuat geser beton sebesar 8-13 % dari kuat tekan, dan persamaan umum yang digunakan untuk menentukan kuat geser langsung adalah melalui persamaan berikut ini.

$$f'_{sh} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.19)$$

Dapat dilihat dari **Gambar 3.9** di atas bahwa metode pengujian kuat geser beton menurut Ilham (2004) menggunakan dua titik tumpuan beban, sehingga di dalam benda uji akan terdapat dua luasan bidang yang tergeser. Dengan adanya dua luasan bidang yang tergeser tersebut, maka persamaan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$f'_{sh} = \frac{P_{maks}}{2A} \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana, f'_{sh} = Kuat geser (N/mm² ; MPa)
 P_{maks} = Beban maksimum (N)
 A = Luas bidang geser (mm²)

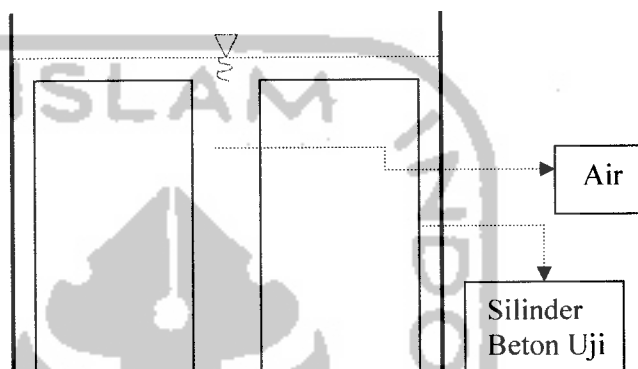
3.13 Permeabilitas Beton

Salah satu faktor yang mempengaruhi durabilitas beton adalah permeabilitas beton, yaitu kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Macam uji permeabilitas yang lazim dilakukan antara lain permeabilitas terhadap ion klorida, terhadap udara dan terhadap air. Uji permeabilitas air dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu uji serapan permukaan, uji penyerapan air, uji kecepatan aliran air dan uji kapilaritas (Sugiharto H., Tjong W.F., Surya A. dan Wibowo K., 2004).

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian permeabilitas air statis (tanpa tekanan), yaitu benda uji direndam sampai 28 hari untuk mendapatkan kedalaman resapan air dan kecepatan resapan airnya. Kedalaman penetrasi air ke dalam benda uji menunjukkan tingkat permeabilitas beton. Penentuan besar nilai tingkat permeabilitas beton ditunjukkan melalui pengukuran kedalaman resapan air ke

dalam benda uji selama 60 menit perendaman, dimana benda uji tersebut dalam keadaan kering oven.

Pengukuran kedalaman resapan ini didapat setelah dilakukan pembelahan benda uji seperti pada pengujian *split cylinder* (uji pecah belah seperti pada **Gambar 3.5**). Setelah benda uji terbelah, pengukuran dilakukan dengan mengukur kedalaman resapan air yang masuk ke dalam beton. Kedalaman resapan air dinyatakan dalam cm atau mm, dan kecepatan resapan air dinyatakan dalam satuan cm/menit atau mm/detik.



Gambar 3.10 Perendaman benda uji permeabilitas beton