

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen, dan air. Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengesem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti-batu (wikipedia, 2006). Menurut Wang dan Salmon (1993) kekuatan beton tergantung dari banyak faktor yaitu proporsi dari campuran, kondisi temperatur, dan kelembaban dari tempat dimana campuran diletakkan dan mengeras.

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat kasar dan halus yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metoda pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya (Dipohusodo, 1994).

Untuk membuat beton yang baik, dalam arti memenuhi persyaratan yang ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton segar yang baik dan beton keras yang dihasilkan juga baik. Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, dapat diangkut, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi *segregasi* (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan). Hal ini karena *segregasi* maupun *bleeding* mengakibatkan beton yang dihasilkan akan jelek. Sedangkan beton keras

yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama/awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susutnya kecil) (Tjokrodinuljo, 1994).

3.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan elemen struktur yang kekuatannya dipengaruhi oleh bahan-bahan penyusunnya. Untuk membuat beton yang baik diperlukan bahan-bahan dengan persyaratan khusus dan perhitungan yang tepat. Bahan-bahan penyusun beton tersebut antara lain :

3.2.1 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang mengisi hampir 78% dari volume beton. Ada dua jenis agregat, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) (Astanto, 2001). Menurut Nawy (1990), pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dengan agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatan dengan pasta semen, porositas, dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (Murdock dan Brook, 1991). Menurut peraturan SK SNI T-15-1990-03 (1990), Kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Batas-batas daerah gradasi tercantum dalam **tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lolos 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

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

Adapun gradasi kerikil ditetapkan seperti yang tercantum dalam **tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lolos Ayakan	
	Diameter 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

Indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8 dan untuk kerikil antara 5 sampai 8. Modulus halus butir campurannya dihitung dengan rumus : (Astanto, 2001)

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

dimana, W= Prosentase berat pasir terhadap berat kerikil

K = Modulus halus butir kerikil

P = Modulus halus butir pasir

C = Modulus halus butir campuran

3.2.2 Semen Portland (*Portland Cement/PC*)

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu (Nawy, 1990).

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran-butiran agregat (Astanto, 2001). Semen tersusun oleh unsur kimia seperti terlihat dalam **tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Susunan Unsur Semen Biasa

Oksida	Persen
Kapur (CaO)	60 – 65
Silica (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/potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

Dalam bentuk senyawa kimia, semen sebagian besar mengandung :

1. trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂,
2. dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂,
3. trikalsium aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃,
4. trikalsium aluminat (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃.

Semen portland menurut PUBI (1982) dibagi menjadi lima jenis antara lain :

Jenis I : semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.

Jenis II : semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.

dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Sifat-sifat beton yang diperbaiki itu antara lain kecepatan hidrasi (waktu ikatan), kemudahan pengerjaan (*workability*), dan kekedapan terhadap air (Tjokrodimuljo, 1994).

Dalam SK SNI S-18-1990-03 (1990) tentang spesifikasi bahan tambahan untuk beton disebutkan bahwa bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi lima jenis antara lain :

1. bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan itu diperoleh adukan dengan faktor air-semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada factor air-semen biasa,
2. bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton,
3. bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton,
4. bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton,
5. bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

3.2.5 *Superplasticizer*

Menurut Ramachandran (1979), *superplasticizer* adalah salah satu jenis bahan campuran (*admixture*) pengurang air itu digunakan untuk beton dengan kebutuhan air yang lebih rendah. Keuntungan dasar *superplasticizer* meliputi:

1. workabilitas beton tinggi, menghasilkan penempatan yang mudah tanpa mengurangi jumlah semen dan kekuatan;
2. beton mutu tinggi dengan workabilitas normal tetapi jumlah air yang lebih rendah; dan
3. campuran beton dengan lebih sedikit semen tetapi workabilitas dan kekuatan normal.

Bila ditambahkan pada beton, *superplasticizer* mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai pada tingkat yang lebih besar. Bahan-bahan ini digolongkan sebagai sarana "mengalir" tanpa terjadinya pemisahan yang tak diinginkan. Bahan ini dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama (Murdock dan brook, 1991).

3.3 Berat Jenis

Berat jenis adalah Rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama pada suhu yang sama. Persamaan yang digunakan untuk mencari berat jenis dalam keadaan SSD menurut SK SNI M-09-1989-F (1989) dan SK SNI M-10-1989-F (1989) adalah :

1. Berat Jenis Agregat Kasar

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

dengan : B_j = Berat jenis agregat kasar dalam keadaan SSD (gr/cm^3)

B = Berat agregat kasar dalam keadaan SSD (gr)

B_a = Berat agregat kasar dalam air (gr)

2. Berat Jenis Agregat Halus

$$B_j = \frac{B}{B_p + B - B_t} \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan : B_j = Berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD (gr/cm^3)

B = Berat agregat halus dalam keadaan SSD (gr)

B_p = Berat agregat halus dan volume air dalam vicnometer (cc)

B_t = Berat vicnometer dan air (cc)

3.4 Faktor Air-Semen (Fas)

Faktor air-semen dinyatakan dalam perbandingan berat air terhadap berat semen dalam campuran. Pengontrolan ketat perlu diberikan terhadap faktor air-semen dan persentase udara dalam campuran. Kekuatan beton pada umur tertentu bergantung pada perbandingan berat air dan berat semen dalam campuran, semakin kecil faktor air-semen semakin tinggi kekuatan beton (Nawy, 1990)

Kenaikan faktor air-semen mempunyai pengaruh sebaliknya terhadap sifat-sifat beton. Beton yang mempunyai faktor air-semen minimal dan cukup untuk memberikan *workabilitas* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik. (Murdock dan Brook, 1991)

3.5 Workabilitas

Sifat mudah dikerjakan (*workabilitas*) 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 mudah dikerjakan (*workabilitas*) beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat mudah dikerjakan (*workabilitas*) antara lain : (Tjokrodimuljo, 1994).

1. jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air dipakai makin mudah beton itu dikerjakan,
2. penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya,
3. gradasi campuran pasir dan kerikil,
4. pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton,
5. pemakaian butir maksimum yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan,
6. cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda.

3.6 Pengadukan Beton

Proses pencampuran bahan-bahan dasar beton (pasir, kerikil, semen, dan air) dalam perbandingan yang baik disebut proses pengadukan beton. Pengadukan dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecakan yang cukup, dan tampak campurannya juga homogen. Proses pengadukan dapat dilakukan dengan mesin ataupun tangan (Tjokrodinuljo, 1992).

Menurut Murdock dan Brook (1991) mencampur beton dengan mesin hasilnya hampir seragam. Pencampuran dengan tangan harus dikerjakan dengan sempurna, suatu bidang yang bersih harus dipilih sebagai tempat untuk mencampur. Warna dan keseragaman beton merupakan ukuran yang paling baik dari efisiensi campuran.

3.7 Metode Perancangan Komposisi Campuran Beton

Metode perancangan campuran adukan beton yang dipakai adalah metode perancangan menurut cara Inggris. Perancangan adukan beton cara Inggris ini tercantum dalam *Design of Normal Concrete Mixes* telah menggantikan cara *Road Note No. 4* sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan cara DOE (*Department Of Environment*). Dalam perencanaan cara ini digunakan tabel-tabel dan grafik-grafik. Langkah-langkah perancangan campuran adukan beton cara DOE adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan 28 hari.
2. Menetapkan nilai deviasi standar (sd).
 - a). Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standar.

Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 benda uji, maka nilai deviasi standar diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan pada **tabel 3.4** dibawah ini

Tabel 3.4 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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

- b). Jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton serupa minimum 30 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 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

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

3. Menghitung nilai tambah Margin (M)

$$M = K \times Sd \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

M = Nilai tambah

K = 1,64

Sd = Standar deviasi

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

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

Keterangan :

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata

f'_c = Kuat tekan yang disyaratkan

M = Nilai tambah

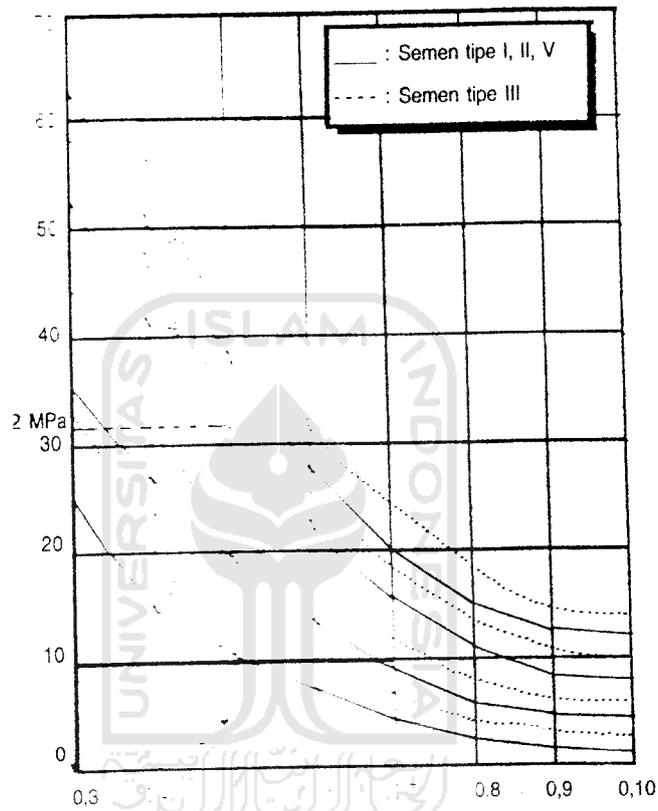
5. Menetapkan jenis semen

6. Menetapkan jenis agregat

7. Menetapkan faktor air-semen

Cara menetapkan faktor air-semen diperoleh dari nilai terendah tiga cara.

Cara pertama : Tarik garis lurus dan memotong umur beton pada tabel 3.1 didapatkan faktor air-semen



Gambar 3.1 Hubungan faktor air-semen dengan kuat tekan rata-rata silinder beton (sebagai perkiraan nilai fas)

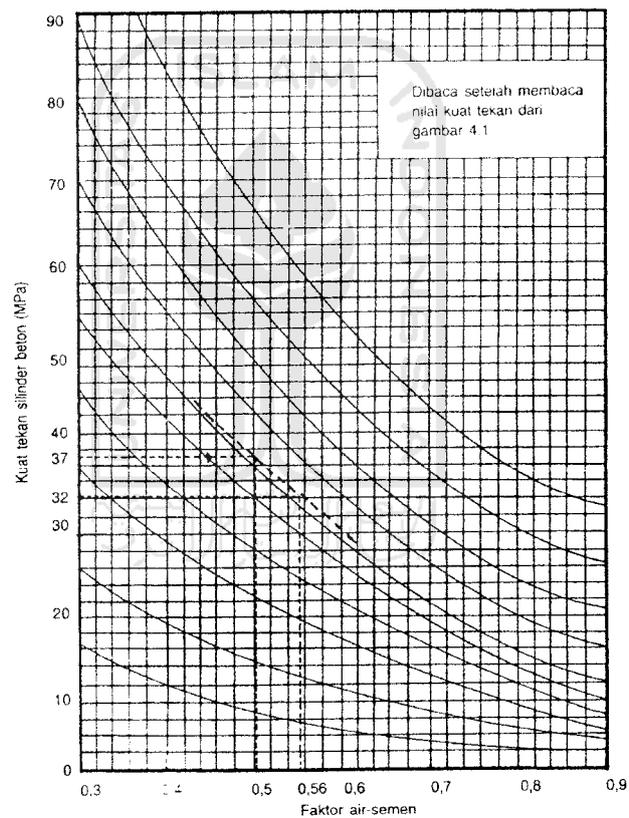
Cara kedua : Diketahui jenis semen, jenis agregat kasar. Kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari maka digunakan **tabel 3.6** dibawah ini.

Tabel 3.6 Perkiraan kuat tekan beton (Mpa) dengan faktor air semen 0,50

Jenis Semen	Jenis Agregat kasar (kerikil)	Umur beton (hari)			
		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 diatas diperoleh nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari dengan faktor air-semen 0,5. gunakan grafik dibawah ini.

**Gambar 3.2** Grafik mencari faktor air-semen

Caranya, tarik garis kekanan mendatar sesuai kuat tekan rencana, tarik garis keatas 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 pada langkah 4, tarik ke kanan memotong garis putus yang dibuat tadi di B dan tarik garis ke bawah maka diperoleh faktor air-semen yang baru.

Cara Ketiga : Dengan melihat persyaratan untuk berbagai pembeconan dan lengkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat untuk beton bertulang terendam air.

Tabel 3.7 Persyaratan Faktor Air-Semen Maksimum untuk Berbagai Pembeconan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembeconan	Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non-korosif	
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,60
Beton di luar ruang bangunan :	0,52
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 3.9
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.8

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

Tabel 3.8 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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

Tabel 3.9 Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Fas maks
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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

8. Menetapkan faktor air-semen

Faktor air-semen yang dipakai adalah faktor air-semen terendah dari ketiga cara dalam langkah 7.

9. Menetapkan nilai Slump

Tabel 3.10 Penetapan nilai slump

Pemakaian Beton	Maksimal	Minimal
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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

10. Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum

11. Menetapkan kebutuhan air

Untuk menetapkan kebutuhan air per meter kubik digunakan **tabel 1.6** di bawah ini dan dilanjutkan dengan perhitungan :

Tabel 3.11 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya Ukuran maks (mm)	Jenis batuan	Slump			
		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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

Tabel 3.12 Penentuan kebutuhan air berdasarkan agregat

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

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

12. Menetapkan kebutuhan semen

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan :

$$\text{Berat Semen} = \frac{\text{Jumlah air yang dibutuhkan (langkah 11)}}{\text{Faktor air - semen maksimum (langkah 8)}} \dots\dots\dots (3.6)$$

13. Menetapkan kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan lewat tabel antara lain untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korotif, air payau dan air laut.

Tabel 3.13 Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan Lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	Kebutuhan Semen min
Beton di dalam ruang bangunan : c. keadaan keliling non-korosif d. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	275
Beton di luar ruang bangunan : c. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
d. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah : c. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
d. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	Lihat tabel 3.14
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.15

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

Tabel 3.14 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				Ukuran maks. Agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dlm camp air : tanah = 2 : 1 (g/l)	SO ₃ dlm air tnh (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
			Tipe II atau V	330	370	420
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	330	370	420

Sumber : (Triono Budi Astanto, 2001)

Tabel 3.15 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 : (Triono Budi Astanto, 2001)

14. Menentukan kebutuhan semen yang dipakai

Digunakan kebutuhan semen terbesar dari langkah 12 dan Langkah 13

15. Menentukan golongan pasir

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

Dalam SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi 4 daerah yaitu

Daerah I = Pasir kasar

Daerah II = Pasir agak kasar

Daerah III = Pasir agak halus

Daerah IV = Pasir halus

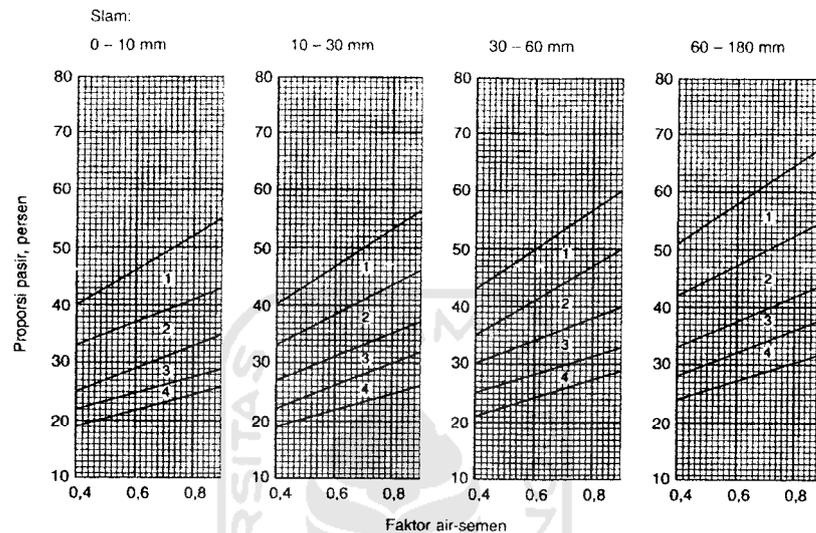
Tabel 3.16 Gradasi Pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
48	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
0,5	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)

16. 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

17. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

$$B_j \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ pasir} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ kerikil} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

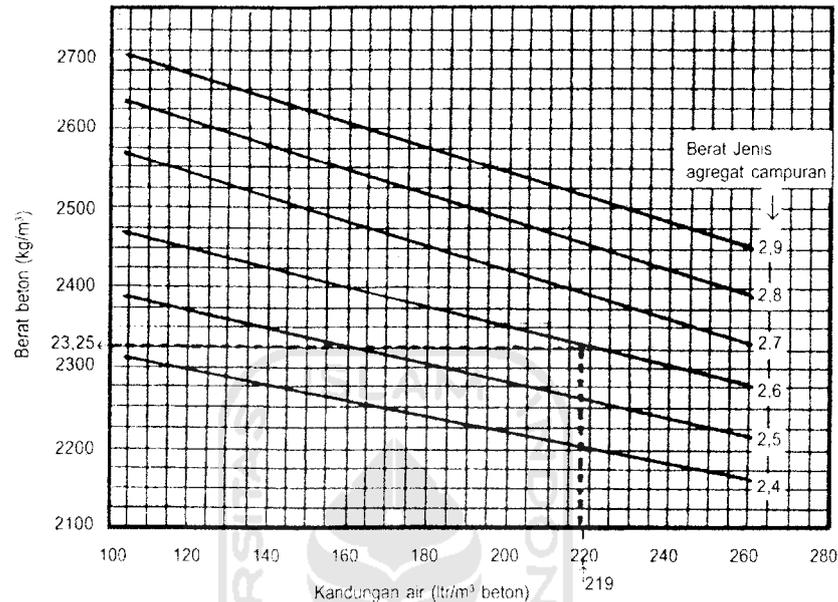
B_j campuran = Berat jenis campuran

P = Persentase pasir terhadap agregat campuran

K = Persentase kerikil terhadap agregat campuran

18. 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

19. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

$$\text{berat pasir} + \text{berat kerikil} = \text{berat beton} - \text{kebutuhan air} - \text{kebutuhan semen}$$

..... (3.8)

20. Menentukan kebutuhan pasir

$$\text{kebutuhan pasir} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} \times \text{persentase berat pasir}$$

..... (3.9)

21. Menentukan kebutuhan kerikil

$$\text{kebutuhan kerikil} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} - \text{kebutuhan pasir}$$

..... (3.10)

3.8 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik-belah benda uji silinder beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan (SK SNI M-06-1990-03). Menurut Jackson (1983), kekuatan tarik-belah silinder berbeda-beda dari 5% sampai 13% dari kuat tekan kubus beton atau 4,15% sampai 10,79% dari kuat tekan silinder beton. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan $0,5-0,6\sqrt{f'_c}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai $0,57\sqrt{f'_c}$. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength* diperhitungkan sebagai berikut : (Dipohusodo, 1994).

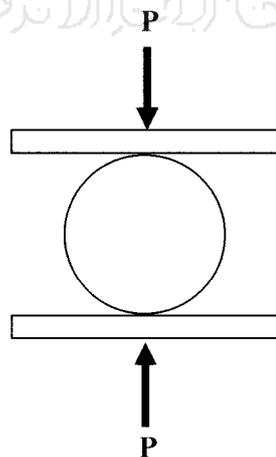
$$f'_{ir} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots (3.11)$$

dengan, f'_{ir} = Kuat tarik (N/mm², Mpa)

P_{maks} = Beban pada waktu belah (N)

D = Diameter silinder (mm)

L = Tinggi silinder (mm)



Gambar 3.5 Pembebanan kuat tarik beton

3.9 Kuat Geser Beton

Menurut Pillai dan Menon (1993), kekuatan beton di dalam geser murni sekitar 10-20 persen dari kuat tekannya. Nilai-nilai yang lebih rendah menyatakan usaha-usaha untuk memisahkan pengaruh-pengaruh gesekan dari geseran-geseran sebenarnya (Ferguson, 1986). Persamaan yang dipakai untuk untuk menentukan kuat geser adalah :

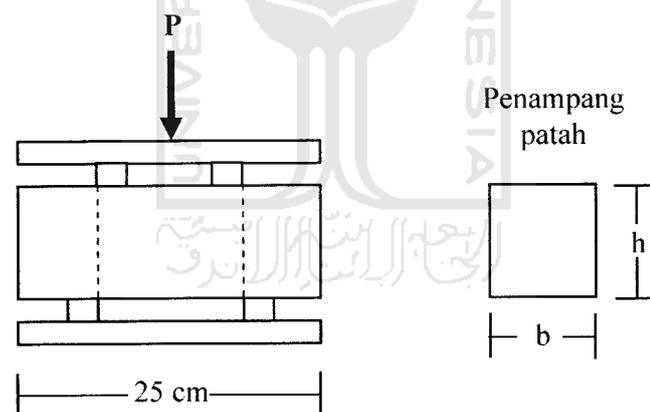
$$f'_{sh} = \frac{P_{maks}}{2A} \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan, f'_{sh} = Kuat geser (N/mm², Mpa)

P_{maks} = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang geser (mm²)

Luas bidang geser adalah luas penampang patah

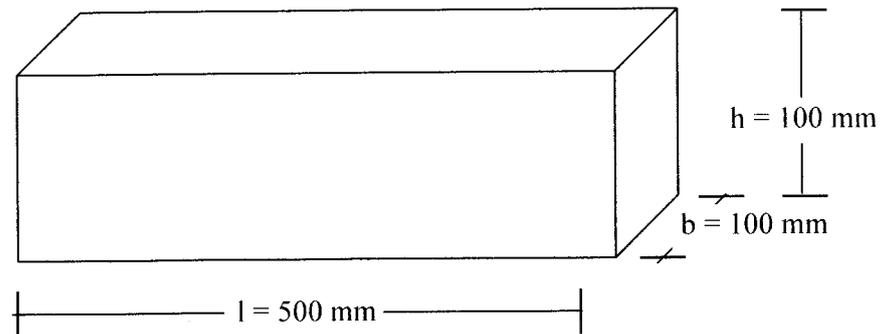


Gambar 3.6 Pembebanan kuat geser beton

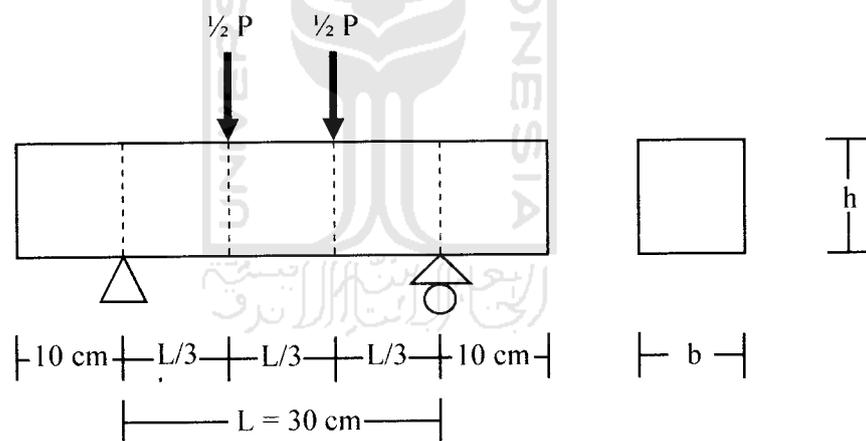
3.10 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton menurut SK SNI M-06-1996-03 (1996) adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan 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), menyebutkan bahwa kekuatan lentur bervariasi dari 11% sampai 23% dari kuat tekan kubus beton atau 9,13% sampai 19,09% dari kuat tekan silinder beton,



Gambar 3.7a Benda uji kuat lentur beton



Gambar 3.7b Pembebanan kuat lentur beton

Dengan menggunakan prinsip keseimbangan statika dapat ditentukan besar momen dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban. Perhatian lebih lanjut tentunya menentukan kemampuan balok tersebut untuk menahan beban dengan cara memperhitungkan tegangan-tagangan

yang timbul di dalamnya. Untuk balok dari sembarang bahan homogen (serba sama) dan elastik berlaku rumus lenturan sebagai berikut : (Dipohusodo , 1994)

$$f_u' = \frac{M \cdot c}{I} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana, $M = \frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{3} L = \frac{1}{6} P \cdot L \dots\dots\dots (3.14a)$

$$c = \frac{1}{2} \cdot h \dots\dots\dots (3.14b)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \dots\dots\dots (3.14c)$$

Sehingga, $f_u' = \frac{(\frac{1}{6} P \cdot L) \cdot (\frac{1}{2} h)}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} \dots\dots\dots (3.15a)$

$$f_u' = \frac{\frac{1}{12} P \cdot L \cdot h}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} \dots\dots\dots (3.15b)$$

$$f_u' = f_u = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots (3.15c)$$

dimana, f_u' = Tegangan lentur (N/mm², Mpa)

M = Momen yang bekerja pada balok (N mm)

c = Jarak serat terluar terhadap garis netral, baik di daerah tekan maupun tarik (mm⁴)

I = Momen inersia penampang balok terhadap garis netral

P = Beban yang bekerja pada balok (N)

L = Jarak antar tumpuan (mm)

b = Lebar balok (mm)

h = Tinggi balok (mm)]

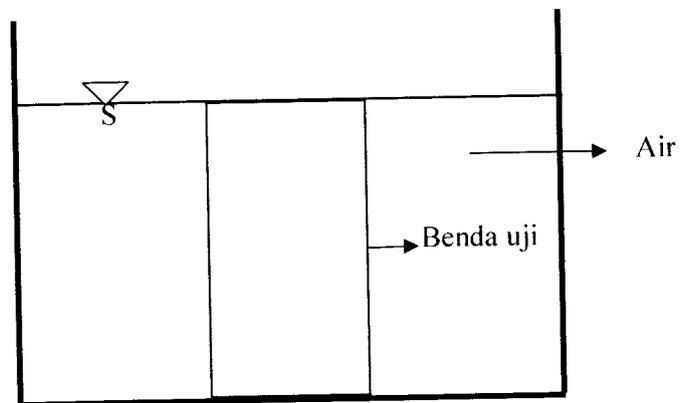
3.11 Permeabilitas Beton

Salah satu faktor yang mempengaruhi durabilitas beton adalah permeabilitas beton, yaitu kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Uji permeabilitas ini terdiri dari dua macam: uji aliran (*flow test*) dan uji penetrasi (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel (Sugiharto, Tjong, Surya, dan Wibowo, 2004). Dalam penelitian ini uji permeabilitas yang dilakukan adalah uji penyerapan air (uji penetrasi).

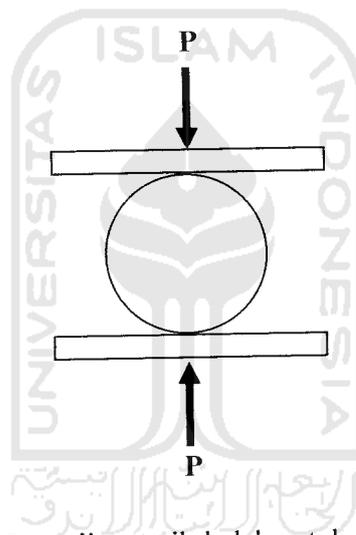
Menurut Murdock dan brook (1991), untuk mendapatkan beton padat dan kedap air, perbandingan air-semen harus direduksi seminimal mungkin sejauh kemudahan pengerjaan masih konsisten untuk dipadatkan tanpa terjadi pemisahan. Faktor lain yang mempengaruhi kekedapan ialah:

1. Mutu dan porositas dari agregat
2. Umur. Kededapan air berkurang dengan berkembangnya umur
3. Gradasi agregat harus dipilih sedemikian, agar dihasilkan beton dengan kemudahan pengerjaan yang baik, dengan air yang minimal gradasi yang kasar dengan banyak pasir, sebaiknya dihindarkan
4. Perawatan merupakan pengaruh yang penting, oleh karenanya perlu untuk membasahi beton terutama selama beberapa hari.

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur kedalaman air yang masuk setelah benda uji dibelah. Benda uji yang dipakai adalah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 3.8a Perendaman benda uji setelah di oven



Gambar 3.8b Pengujian tarik-belah untuk permeabilitas beton