

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Klasifikasi beton berdasarkan kuat desak karakteristik benda uji silinder umur 28 hari adalah sebagai berikut :

1. Normal strength $f_c < 40$ Mpa. (mutu normal)
2. High strength $f_c = 40 - 100$ Mpa. (mutu tinggi).
3. Very high strength = $100 - 150$ Mpa. (mutu sangat tinggi).
4. Ultra high strength > 150 Mpa. (mutu paling tinggi).

Jenis material dasar yang digunakan untuk menghasilkan beton mutu tinggi ini secara prinsip tidak banyak berbeda dengan jenis material dasar yang digunakan untuk memproduksi beton mutu normal. Beton merupakan material komposit yang bersifat sangat heterogen yang terdiri atas unsur-unsur seperti pasta semen, agregat, zona kontak antar agregat – pasta dan rongga-rongga kosong atau voids. Oleh karena itu perilaku beton akan dipengaruhi oleh karakteristik unsur-unsur penyusunnya tersebut. (Suhud, 1999).

Beton mutu tinggi mempunyai sifat-sifat seperti kandungan semen tinggi, rasio air semen rendah, penggunaan agregat yang mutunya lebih kuat,

dan penggunaan bahan tambah mineral atau bahan tambah kimia. (Wahyudi dan Rahim, 1997).

beton merupakan campuran semen portland, pasir, kerikil, dan air. Semen Portland dan air setelah bertemu akan bereaksi, butir-butir semen bereaksi dengan air menjadi gel yang dalam beberapa hari menjadi keras dan saling merekat.

Agregat Yaitu pasir dan kerikil tidak mengalami proses kimia, melainkan hanya sebagai bahan pengisi saja yaitu sebagai bahan yang dilekatkan. Air, semen Portland, dan pasir akan menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) dan dapat dituang kedalam cetakan untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan.

Pasir dan kerikil merupakan agregat sebagai komponen yang dilekat, sementara pasta adalah komponen perekat. Jika agregat direkat menjadi satu maka dinamakan beton. Adukan semen Portland dan air membentuk pasta. Pasta ini berfungsi untuk mengisi pori-pori diantara pasir dan kerikil dan berfungsi sebagai pengikat dalam proses pengerasan akibat ikatan ini antar agregat menjadi saling terikat kompak, kuat dan padat.

Untuk mendapatkan mutu beton yang baik, maka harus dipilih unsur-unsur pembentuk beton yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku serta dalam tahap pelaksanaan pembuatan dan perawatannya harus mendapat perhatian yang baik pula.

Teknologi beton bukanlah teknologi yang statis namun terus berkembang sejalan dengan perkembangan pembangunan khususnya di

bidang konstruksi. Penelitian untuk mendapatkan suatu alternatif baru dalam teknologi beton perlu sekali dilaksanakan. Tujuannya untuk mendapatkan suatu beton dengan kuat desak yang tinggi dengan menggunakan semen yang seefisien mungkin. Penambahan bahan pozzolan merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan kuat desak beton yang baik pada kurun waktu yang lama. Bahan tambah ini dapat membuat beton lebih tahan terhadap garam, sulfat dan air asam. Laju kenaikan kekuatannya lebih lambat daripada beton normal. Pada umur 28 hari kuat tekannya lebih rendah daripada beton normal, namun setelah 90 hari kuat tekannya dapat sedikit lebih tinggi. (Ir. Kardiyono Tjokrodimulyo, M.E.)

Sisa reaksi antara semen dan air menghasilkan senyawa baru yaitu kalsium hidroksida. Air bersih mengalir mengenai beton, lama-kelamaan akan melarutkan kalsium hidroksida $\{Ca(OH)_2\}$. Air yang mengandung CO_2 bereaksi dengan $\{Ca(OH)_2\}$ menghasilkan senyawa $Ca(HCO_3)_2$ yang merupakan salah satu senyawa yang mudah larut dan proses reaksinya akan berulang pada lapisan lebih dalam. Senyawa ini sedikit demi sedikit akan menyerang dan merusak senyawa-senyawa lain dari semen dalam betonnya atau sering disebut korosi beton. Pelarutan dari kalsium hidroksida dapat dicegah dengan diusahakan betonnya rapat dan kalsium hidroksida di ubah menjadi senyawa yang tidak larut (Subakti, 1995).

3.2 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 (PUBLI-1982). Semen merupakan bahan ikat yang apabila dicampur dengan air akan menimbulkan reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen. Reaksi-reaksi ini akan menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. (Kardiyono Tjokrodinuljo).

Reaksi kimia antara semen Portland dengan air menghasilkan senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecenderungan retak pada beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua periode, yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis ke keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai, susunan unsur kimia semen biasa dapat dilihat pada 3.1.

Tabel 3.1. susunan unsur semen tipe I

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
Magnesium, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda/potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

3.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Komposisi agregat kurang lebih 70% dari volume beton, sehingga sifat-sifat beton sangat dipengaruhi oleh sifat agregatnya. Sifat yang penting dari suatu agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan.

Agregat harus mempunyai kestabilan kimiawi, tahan terhadap keausan, dan tahan terhadap pengaruh cuaca. Agregat yang akan digunakan pada adukan beton ada dua seperti berikut ini :

1. Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar mempunyai ukuran butiran antara 5 – 40 mm. Sifat agregat kasar berpengaruh terhadap kekuatan beton sehingga harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, kuat dan bergradasi baik. Agregat kasar dapat diperoleh dari batu pecah, kerikil alami, serta agregat buatan.

2. Agregat halus (pasir)

Agregat halus merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat halus memiliki ukuran butiran antara 0,15 – 5 mm, agregat sangat berperan dalam menentukan kemudahan pengerjaan (“workability”), kekuatan (“strength”), dan tingkat keawetan (“durability”). Agregat halus yang baik adalah yang terbebas dari beberapa bahan organik, lempung dan bahan-bahan lain yang dapat merusak beton. Agregat halus

seharusnya mempunyai butir-butir yang tajam, keras dan butirannya tidak mudah pecah karena cuaca.

3.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Dalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelincir campuran kerikil, pasir, dan semen agar mudah di kerjakan dan dipadatkan. (Murdock dan Brook, 1991).

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen. Tetapi dengan nilai faktor air semen yang kecil, adukan beton akan sulit dikerjakan, maka diberi kelebihan jumlah air yang dipakai sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992).

Persyaratan air yang digunakan dalam adukan beton adalah sebagai berikut :

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

3.5 Filler

Filler adalah bahan berbutir halus yang dipakai sebagai pengisi pada pembuatan campuran beton. Bahan filler dapat berupa debu batu kapur, semen portland, atau bahan lain.

Filler merupakan bagian agregat yang digunakan dalam campuran beton. Pengertian filler itu sendiri yaitu fraksi agregat halus yang berfungsi sebagai butir pengisi dalam pembuatan beton yang lolos saringan no. 200 (0.074 mm).

Penberian filler pada campuran beton mengakibatkan beton mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel filler menempati rongga diantara partikel-partikel yang lebih besar, sehingga ruang diantara partikel-partikel besar menjadi berkurang. Secara umumnya penambahan filler ini dimaksudkan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran beton.

Filler yang akan digunakan pada penelitian ini adalah batu lintang (Kalsit) dari gunung kidul dengan komposisi kandungan kimia dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 komposisi unsur kimia batu lintang (kalsit)

Oksida	Persen
CaCO ₃	99,12 – 99,45
CaO	55,45 – 55,69
HD	3,76 – 4,67
Fe ₂ O ₃	0 – 0,24
TiO ₂	0,19 – 0,23
MgO	0,06 – 0,17
SiO ₂	0 – 0,01

3. Kilap kaca,
4. Agak keras,
5. Ukuran kristal maksimum 2 – 5 cm.

3.6 Perhitungan campuran beton

Pada penelitian ini menggunakan metode DOE (Department of Environment) sebagai metode perancangan beton. Metode ini digunakan karena menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperlihatkan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pekerjaan, keawetan serta kekuatan yang diinginkan. Cara DOE ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan beton menentukan tingkat konsistensi/kekentalan adukan beton.

Tahapan-tahapan perhitungan perancangan campuran beton berdasarkan metode DOE (Triono Budi Astanto, 2001) sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'_c).
Kuat tekan beton ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat di lapangan.
2. Menetapkan nilai deviasi standar (sd)
Standar deviasi 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 pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 tingkat pengendalian mutu pekerjaan .

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	SD (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 minimum 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, dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 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)

$$M = K \cdot S_d \quad (3.1)$$

Keterangan :

M = nilai margin

K = 1,64

Sd = standar deviasi

Rumus diatas 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

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

keterangan :

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

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan

M = nilai tambah

5. Menetapkan jenis semen

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (SII 0013-81) di bagi menjadi 5 jenis .

- a. jenis I, yaitu jenis semen biasa yang cepat mengeras.
- b. jenis II, yaitu jenis semen yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III, yaitu jenis semen untuk struktur yang menuntut kekuatan yang tinggi atau cepat mengeras.
- d. Jenis IV, yaitu jenis semen yang menuntut panas hidrasi yang rendah.
- e. Jenis V, yaitu jenis semen yang sangat tahan terhadap sulfat.

6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)

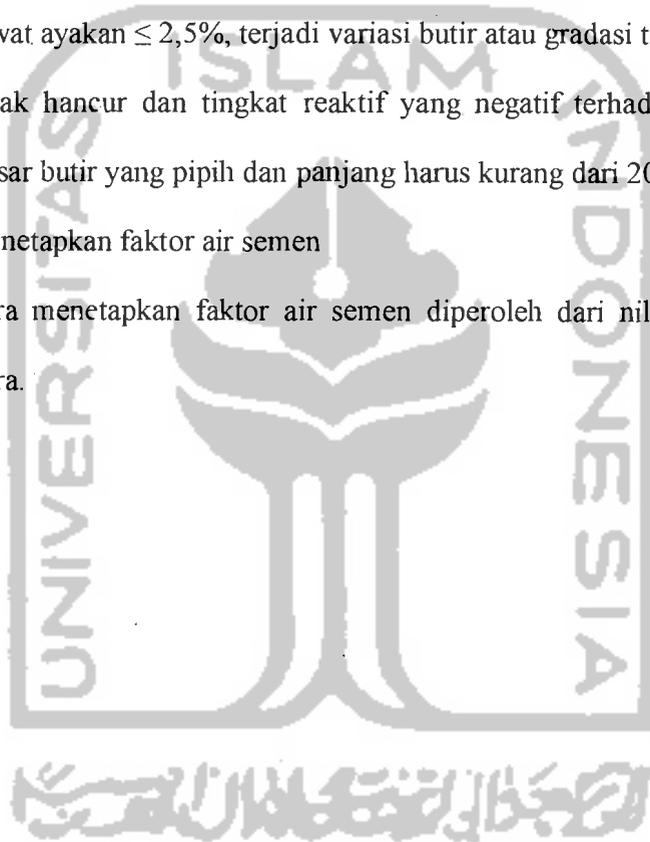
Menurut peraturan SK-SNI- T-15-1990-03 kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak

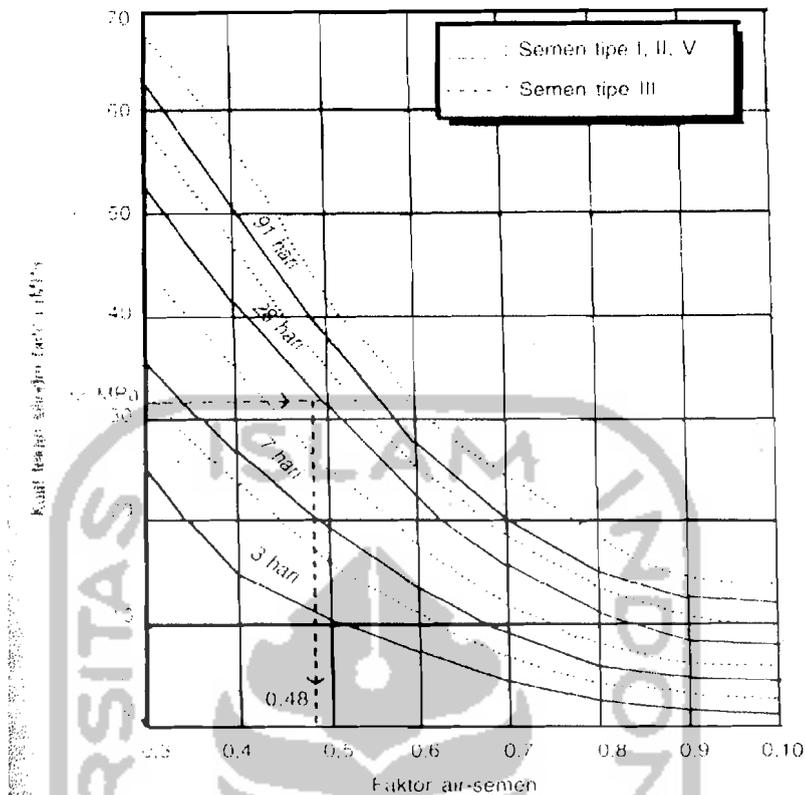
halus, agak kasar dan kasar. Adapun jenis agregat kasar (kerikil) dibedakan menjadi dua, yaitu kerikil alami dan kerikil batu pecah.

Agregat yang baik butirannya tajam, kuat, bersudut dan tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0,075 mm yaitu $\leq 5\%$ bagi pembuatan beton sampai 10 Mpa, dan untuk diatas 10 Mpa atau mutu yang lebih tinggi yaitu tidak mengandung zat organik, kotoran yang lewat ayakan $\leq 2,5\%$, terjadi variasi butir atau gradasi tidak bersifat kekal, tidak hancur dan tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali. Agregat kasar butir yang pipih dan panjang harus kurang dari 20% berat.

7. Menetapkan faktor air semen

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





Gambar 3.1. hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton (Triono Budi Astanto, 2001).

Cara pertama

Misal, kuat tekan silinder ($f'_c = 32$ Mpa) dan pada saat umur beton 28 hari. Jenis semen tipe I atau garis utuh. Caranya tarik garis lurus dan memotong 28 hari di dapatkan faktor air semen, yaitu 0,48. jadi FAS pertama -0,48 dapat dilihat pada gambar 3.1.

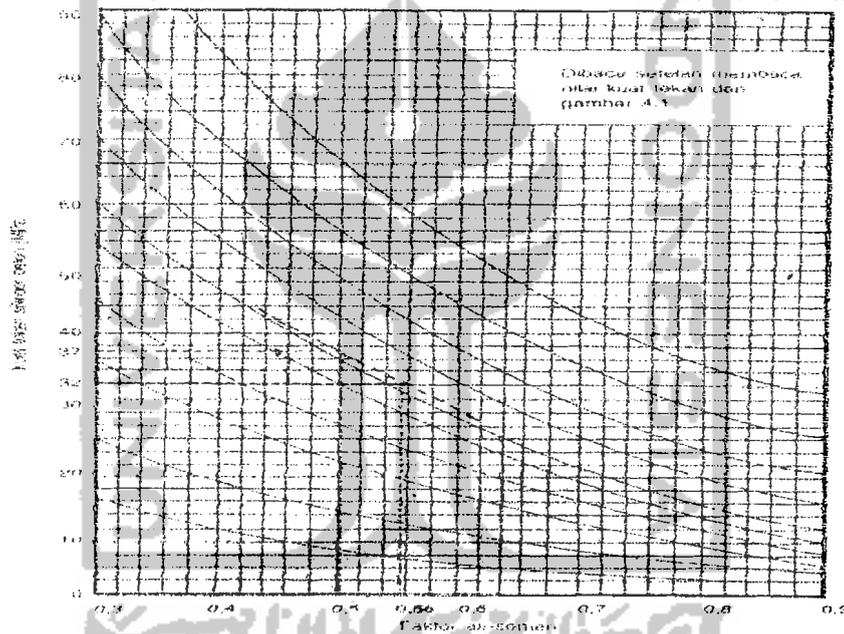
Cara kedua ;

Di ketahui jenis semen I, jenis agregat kasar batu pecah. Kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari, maka digunakan tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan faktor air semen 0,5

Jenis semen	Jenis agregat kasar (kerikil)	Umur beton (hari)			
		3	7	28	91
I, II,	Alami	17	23	33	40
III	Batu pecah	19	27	37	45
	Alami	21	28	38	44
III	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, dengan menggunakan grafik pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Grafik mencari faktor air semen. (Triono Budi Astanto, 2001)

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 ke bawah maka diperoleh faktor air semen yang baru yaitu = 0,56. Jadi FAS kedua = 0,56.

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 . Dapat dilihat pada tabel 3.6, 3.7, dan 3.8.

Dengan cara ini diperoleh :

- 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 pozolan untuk tanah yang 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 faktor air semennya = 0,50.

Dari ketiga cara di atas diperoleh masing-masing 0,6; 0,5; dan 0,5 diambil harga yang terendah yaitu = 0,5 ; maka diperoleh faktor air semennya = 0,5.

Tabel 3.6 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	0,60
b. keadaan keliling non 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 dari tanah	lihat tabel
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	lihat tabel

Tabel 3.7 Faktor Air Semen untuk Beton Bertulang dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air semen
Air tawar	Semua tipe I- V	0,5
Air payau	Tipe I + pozzolan (15-40%) atau S.P. pozzolan	0,45
	tipe II atau V	0,5
Air laut	Tipe II atau V	0,45

Tabel 3.8 faktor Air Semen Maksimum Untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat.

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			jenis semen	FAS maksimal
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran Air : tanah = 2:1			
< 0,2	< 1,0	< 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 S.P pozolan tipe II atau V	0,55
0,5 - 1,0	1,9 - 3,1	1,2 - 2,5	Tipe I dengan pozolan (15-40%) atau semen Portland pozolan tipe II atau V	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

8. Menetapkan faktor air semen maksimum

Dengan cara pertama diperoleh faktor air semen = 0,48

Dengan cara kedua diperoleh faktor air semen = 0,56

Dengan cara ketiga diperoleh faktor air semen = 0,50

Dalam perhitungan, digunakan faktor air semen yang terendah, yaitu 0,48

Tabel 3.9 Penetapan nilai slump (cm)

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat fondasi, dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang		
Kaisan, 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

9. Menetapkan nilai slump

Dari tabel 3.9 untuk balok dan kolom nilai slumpnya antara 7,5 – 15,0.

Penerapan angka di atas memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan, jenis strukturnya, dialirkan dengan pipa terpinpa dan dipadatkan dengan alat getar.

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

Penetapan butir maksimum diperoleh melalui pengayakan dan memperhatikan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan di bawah ini, yaitu:

- a. $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih minimum antar tulangan atau berkas baja tulangan atau tandon prategang atau selongsong.
- b. $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat
- c. $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Untuk penetapan butir maksimum dapat menggunakan diameter maksimum 40 mm, 30 mm, 20 mm, dan 10 mm.

11. Menetapkan kebutuhan air

Untuk menetapkan kebutuhan air per meter kubik beton digunakan tabel

3.10 dan dilanjutkan dengan perhitungan:

Tabel 3.10 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maksimum 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 diatas, bila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai memiliki jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k \quad (3.3)$$

A_h dan A_k dapat ditentukan dengan melihat tabel 3.11

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

Tabel 3.11 adalah untuk menentukan nilai A_h dan A_k

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

12. Menetapkan kebutuhan semen

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan cara =

$\frac{\text{Jumlah air yang dibutuhkan (langkah 11)}}{\text{Factor air semen maksimum (langkah 8)}}$

Factor air semen maksimum (langkah 8)

13. Menetapkan kebutuhan semen minimum

kebutuhan minimum semen ditetapkan lewat tabel 3.12 dan tabel 3.13

antara lain untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan

khusus misalnya lingkungan korotif, air payau, dan air laut.

Tabel 3.12 Kandungan semen minimum untuk beton bertulang dengan air

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

Tabel 3.13 Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			jenis semen	Kand.semen minimum (kg) Ukuran maksimum agregat (mm)		
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		40	20	10
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran Air : tanah =2:1					
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa pozolan (15-40%)	200	300	350
0,2 - 0,5	1,0 - 1,9	0,3 - 1,2	Tipe I tanpa → pozolan Tipe I dengan pozolan (15-40%) atau S.P pozolan	290	330	380
0,5 - 1,0	1,9 - 3,1	1,2 - 2,5	tipe II atau V Tipe I dengan pozolan (15-40%) atau semen Portland pozolan	250 340	290	430 430
1,0 - 2,0	3,1 - 5,6	2,5 - 5,0	tipe II atau V Tipe II atau V	290 330	330	380 420
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	330	370	420

Tabel 3.14 Kandungan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	
Beton di dalam ruang bangunan:	
a. Keadaan keliling nonkorosif	275
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	
Beton di luar ruang bangunan:	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk kedalam tanah (mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti:	325

14. Menetapkan kebutuhan semen yang sesuai

Untuk menetapkan kebutuhan semen lihat langkah 12 (kebutuhan semen dan kebutuhan semen minimumnya; maka harga yang dipakai yang terbesar diantara keduanya).

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. Dapat dilihat pada tabel 3.15.

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

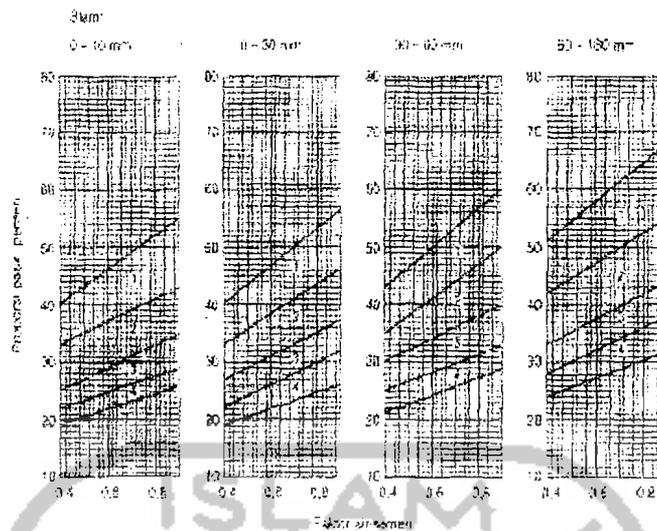
- Daerah I = pasir kasar
 Daerah II = pasir agak kasar
 Daerah III = pasir agak halus
 Daerah IV = pasir halus

Tabel 3.15 Gradasi pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
48,00	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,50	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

17. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil

Untuk menentukan perbandingan pasir dan kerikil dicari dengan bantuan grafik dengan melihat nilai slump yang diinginkan, ukuran butir maksimum, zone pasir, faktor air semen Dapat dilihat pada grafik gambar 3.3. (Triono Budi Astanto, 2001).



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

18. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

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

$$B_j \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ pasir} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ kerikil} \quad (3.4)$$

Keterangan:

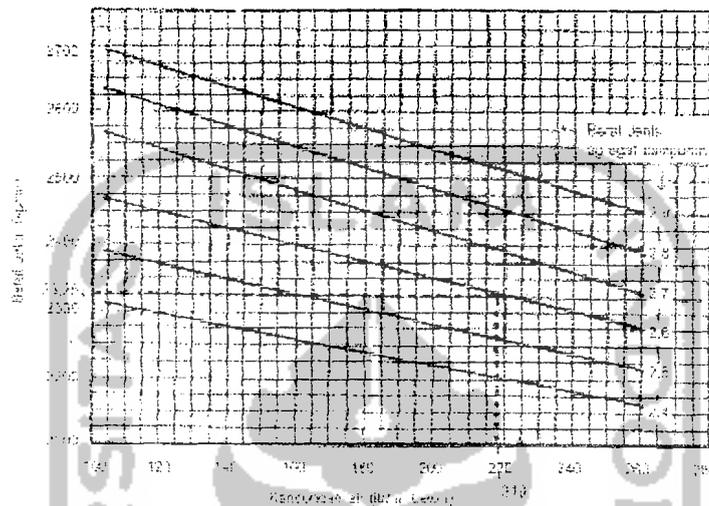
$B_j \text{ Campuran}$ = Berat jenis campuran

P = Presentasi pasir terhadap agregat campuran

K = Presentasi 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 dalam grafik beton pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton. (Triono Budi Astanto, 2001).

20. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

$$\text{Berat pasir} + \text{berat kerikil} = \text{berat beton} - \text{air} - \text{semen} \quad (3.5)$$

21. Menentukan kebutuhan pasir

$$\text{Kebutuhan pasir} = \text{pasir dan kerikil} \times \text{persentasi berat pasir} \quad (3.6)$$

22. Menentukan kebutuhan kerikil

$$\text{Kebutuhan kerikil} = \text{pasir dan kerikil} - \text{pasir} \quad (3.7)$$

Koreksi dilakukan minimal sekali sehari, karena pasir dan kerikil dianggap dalam keadaan jenuh kering, padahal biasanya dilapangan tidak jenuh kering, maka hitungan koreksinya adalah:

$$\text{Air} = A - \left(\frac{A_h - A_1}{100}\right) \times B - \left(\frac{A_k - A_2}{100}\right) \times C \quad (3.8)$$

$$\text{Pasir} = B + \left(\frac{A_h - A_2}{100}\right) \times B \quad (3.9)$$

$$\text{Kerikil} = C + \left(\frac{A_k - A_2}{100}\right) \times C \quad (3.10)$$

Keterangan:

A = Jumlah kebutuhan air (liter/m³)

B = Jumlah kebutuhan pasir (kg/m³)

C = Jumlah kebutuhan kerikil (kg/m³)

A_h = Kadar air sesungguhnya dalam pasir (%)

A_k = Kadar air sesungguhnya dalam kerikil (%)

A₁ = Kadar air pada pasir jenuh kering muka (%)

A₂ = Kadar air pada kerikil jenuh kering muka (%)

Setelah semua perhitungan diatas selesai, dibuat kesimpulannya adalah sebagai berikut:

Untuk 1 m³ beton (dengan berat beton kg) dibutuhkan =

Air =... liter

Semen =... kg (1 sak = 50 kg)

Pasir =... kg

Kerikil =... kg

Untuk 1 adukan (digunakan 1 kantong semen = 50 kg) dibutuhkan =

Air =... liter

Semen = 1 sak = 50 kg)

Pasir =... kg

Kerikil =... kg

Berat 1 kali adukan =... kg

3.7 Tahap perawatan beton

Perawatan beton merupakan perawatan untuk menjamin terjadinya proses terjadinya hidrasi semen berlangsung dengan sempurna dengan menjaga kelembaban permukaan beton. Untuk mempertahankan beton supaya berada dalam keadaan basah selama beberapa hari, maka sampel beton diletakan didalam bak perendaman dan direndam dengan air bersih. Lama' perendaman dalam penelitian ini adalah sampai beton berumur 27 hari dan sehari dikeringkan.

3.8 Kadar air

kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat beton.

Dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$\text{kadar air (W)} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.11)$$

Dimana : W_b = berat beton dalam keadaan basah (kg)

W_k = berat beton dalam keadaan kering (kg)

W = kadar air (%)

3.9 kuat desak beton

Kuat desak beton adalah beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya desak tertentu. Sifat beton lebih baik jika kuat desaknya lebih tinggi, karena mutu beton hanya ditinjau dari kuat desak saja.

Kuat desak beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor selain oleh perbandingan air semen dan tingkat pematatannya, faktor-faktor tersebut dapat dapat disimak dalam uraian berikut ini (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992).

1. Jenis semen dan kualitasnya.

Jenis dan kualitas semen dapat mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas semen.

2. Jenis dan bentuk bidang permukaan agregat.

Pada kenyataannya menunjukkan bahwa penggunaan agregat dengan permukaan kasar akan menghasilkan beton dengan kuat desak yang lebih besar daripada penggunaan agregat kasar dengan permukaan halus.

3. Efisiensi peralatan

Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan dilakukan sebelumnya.

4. Faktor umur.

Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah sesuai dengan umurnya. Pengerasan berlangsung secara terus secara lambat sampai beberapa tahun. Perbandingan kuat desak beton pada berbagai umur dapat dilihat pada tabel 3.16.

Tabel 3.16 Perbandingan kuat desak beton pada berbagai umur untuk benda uji silinder yang dirawat dilaboratorium (DPU, 1989)

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28
Semen portland tipe I	0,46	0,7	0,88	0,96	1,00

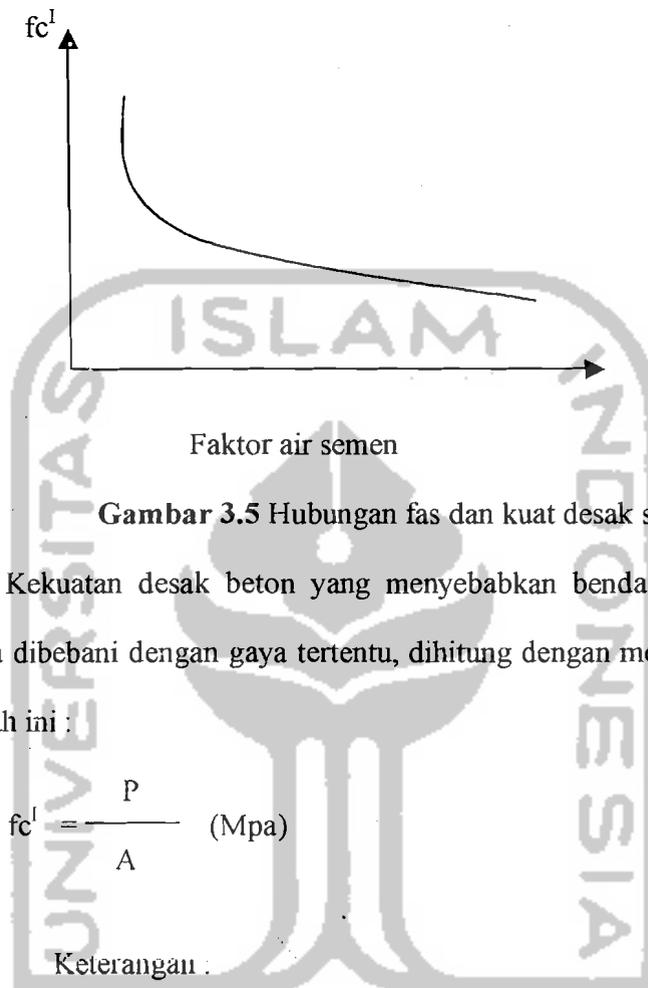
Sesuai dengan bertambahnya umur beton, kecepatan bertambahnya kekuatan beton juga dipengaruhi oleh antara lain faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya (kardiyono Tjokrodimulyo, 1992).

5. Mutu agregat.

Pada kenyataannya kekuatan dan ketahanan aus (abrasi) agregat kasar, besar pengaruhnya terhadap kuat desak beton.

Kekuatan desak beton ditentukan dengan pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama di dalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air terhadap semen, semakin tinggi kekuatan desak beton. Hubungan antara fas dan kuat

desak beton f_c^I dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992)



Gambar 3.5 Hubungan fas dan kuat desak silinder beton

Kekuatan desak beton yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya tertentu, dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$f_c^I = \frac{P}{A} \quad (\text{Mpa}) \quad (3.12)$$

Keterangan :

P = Gaya tekan maksimal, dalam N.

A = Luas bidang tekan benda uji, dalam mm²

f_c^I = Kuat tekan dari masing-masing benda uji, dalam Mpa.

Beton dari hasil pengujian perlu diperiksa dengan perkiraan variasi kuat desak beton dari keseluruhan sampel beton yang telah diuji.

3.10 Kuat tarik beton

Nilai kuat desak dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan desak hanya disertai peningkatan kecil kuat tariknya, yaitu 7 – 10% dari kuat desaknya.

Kekuatan tarik beton adalah suatu sifat yang penting mempengaruhi rambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Pendekatan yang baik untuk menghitung kuat tarik beton f_c^I adalah dengan rumus $0,10 f_c^I < f_c^I < 0,2 f_c^I$ (Nawy, 1985).

Menurut ASTM C496, pada percobaan pembebanan silinder (“the split cylinder”), silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan desak diletakan pada sisinya diatas mesin uji dan beban desak P dikerjakan secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Benda uji silinder akan terbelah dua saat dicapainya kekuatan tarik. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai “split cylinder strength” dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.13)$$

keterangan :

f_{ct} = kuat tarik silinder (Mpa)

P = beban (Kn)

L = panjang silinder (m)

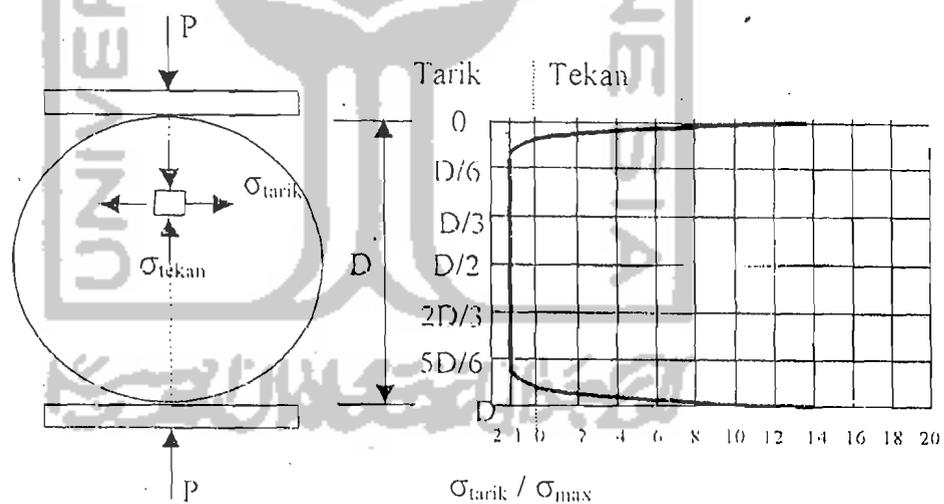
Rumus tersebut berdasarkan teori elastisitas untuk bahan yang homogen dalam pengaruh keadaan tegangan biaksial. Metode pembelahan ini biasa disebut tes basil.

Kekuatan tarik f_{ct} dari percobaan pembelahan silinder telah ditemukan sebanding dengan $\sqrt{f_c}$ sedemikian sehingga diperoleh (Wang dan Salmon, 1993):

$$f_{ct} = 0,5 \sqrt{f_c} \text{ sampai } 0,6 \sqrt{f_c} \text{ (Mpa) untuk beton berbobot biasa.}$$

$$f_{ct} = 0,4 \sqrt{f_c} \text{ sampai } 0,5 \sqrt{f_c} \text{ (Mpa) untuk beton berbobot ringan.}$$

Kekuatan tarik adalah suatu sifat yang lebih bervariasi dibanding dengan kuat desak dan besarnya untuk beton normal berkisar antara 9 sampai 15% dari kekuatan desak (Istimawan Dipohusodo, 1994).



Gambar 3.6 Uji tarik pada pembelahan silinder

Tegangan tarik terdistribusi sepanjang diameter arah vertical dari benda uji. Maka tegangan tertekan sangat besar mendekati akhir dari diameter arah vertical. Tegangan tarik mendekati merata terjadi kurang lebih 2/3 dari benda uji. Setelah itu tegangan beton menurun dibandingkan tekanannya (popovic, 1998).

