

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan koral atau agregat lainnya, dan air (George Winter, Arthur H Nilson, 1993). Sifat beton yaitu kuat desak, kuat tarik, modulus elastis dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan. Sifat-sifat beton ini tergantung pada proporsi campuran, pada kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran, dan perawatan beton.

3.2 Hubungan Silika dan Perubahan Mutu Semen Portland

Menurut Kusnadi, (1985), komposisi silika untuk semen Portland dibatasi dengan menentukan perbandingan *silica ratio* yang didekati dengan persamaan :

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (3.1)$$

Dari persamaan (3.1) tampak bahwa semakin tinggi kandungan silika dalam semen Portland, makin besar nilai SR. Dengan nilai SR yang semakin besar kemungkinan pori-pori dalam campuran beton akan semakin kecil sehingga kuat desak beton meningkat. nilai SR dibatasi: $1,6 < SR < 3,5$ dengan nilai rata-rata 2,0-2,5.

Neville, (1973), mengatakan bahwa penggolongan jenis semen dapat dibedakan menurut komposisi mineral yang dihitung dalam persen berat terhadap semen Portland. Pengurangan /penambahan salah satu unsur kimia semen seperti silika, akan mengubah prosentase senyawa kimia semen Portland. Analisis kimia tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Tricalcium silikat*, C_3S atau $3CaO.SiO_2$

$$C_3S = 4,07 CaO - 7,60 SiO_2 - 6,72 Al_2O_3 - 1,43 Fe_2O_3 - 2,85 SO_3 \quad (3.2)$$

2. *Dicalcium silikat*, C_2S atau $2CaO.SiO_2$

$$C_2S = 2,87 SiO_2 - 0,754 C_3S \quad (3.3)$$

3. *Tricalcium aluminat*, C_3A atau $3CaO.Al_2O_3$

$$C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3 \quad (3.4)$$

4. *Tetracalcium alumino ferrit*, C_4AF atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

$$C_4AF = 3,04 Fe_2O_3 \quad (3.5)$$

Dari persamaan-persamaan di atas akan didapatkan prosentase senyawa kimia dari semen Portland dan juga jenis-jenis semen dapat diketahui, yaitu jenis I, jenis II, jenis III, jenis IV, atau jenis V.

Popovic (1998), hubungan antara komposisi campuran semen dan kekuatan berdasarkan perbedaan umur dapat dilihat dalam persamaan fungsi linier, yang didekati dengan persamaan (3.6)

$$F_c = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \quad (3.6)$$

Dengan : a,b,c,d = koefisien (dapat dilihat pada Tabel 3.1)

C_3S, C_2S, C_3A dan C_4AF = komponen semen (%)

Tabel 3.1 Koefisien untuk persamaan 3.6 (Popovic, 1998)

Senyawa Kinia	Umur						
	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari	3 bulan	1 tahun	2 tahun
C ₃ S	8.5	27.4	40.0	48.8	55.7	61.8	70.7
C ₂ S	0.3	-1.1	-5.1	19.1	62.9	80.6	82.2
C ₃ A	11.3	24.1	58.4	100.1	56.4	85.6	12.5
C ₄ AF	-6.5	-9.8	-0.2	30.8	39.7	39.6	27.2

Dari hasil penelitian **Nurwadji (2000)** diperoleh data komposisi kimia abu ampas tebu setelah dibakar seperti terlihat pada Tabel 3.2

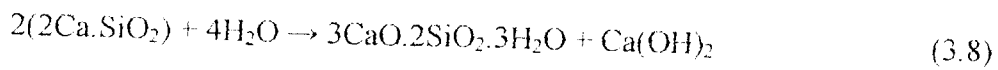
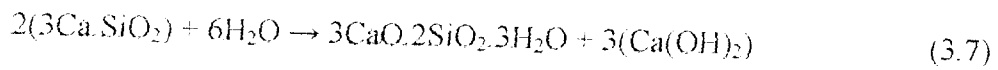
Tabel 3.2 Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu Setelah Dibakar

No	Kandungan Kimia	Abu asal	Dibakar pada temperatur					
			300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
1	SiO ₂	46.017	57.920	58.090	64.110	49.800	45.850	53.900
2	Al ₂ O ₃	16.597	15.120	16.370	15.110	28.590	27.750	17.780
3	Fe ₂ O ₃	5.750	10.540	9.645	5.990	5.745	9.540	11.950
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	68.363	83.580	84.105	85.210	84.135	83.140	83.630
4	Hilang Pijar	18.930	0.440	0.310	0.440	0.003	0.000	0.000
5	CaO	6.303	7.920	7.460	5.810	8.150	9.440	9.110
6	MgO	2.220	3.000	2.870	2.260	3.200	3.950	3.250
7	SO ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	K ₂ O	2.280	2.480	2.790	3.620	1.955	1.590	1.950
9	Na ₂ O	1.583	2.580	2.470	2.660	2.580	2.000	2.060
10	H ₂ O	2.050	0.440	0.090	0.050	0.029	0.030	0.050

3.3 Tinjauan Abu Ampas Tebu sebagai *pozzolan*

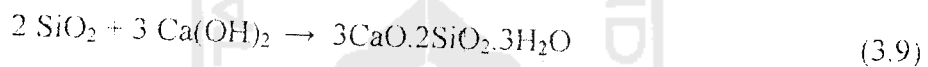
Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh **Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta (BTKL)**, Abu ampas tebu yang dibakar pada temperatur 400°C selama 2 jam kandungan silikatnya mencapai 73,07% sehingga memenuhi standard yang sudah disyaratkan sebagai bahan tambah yaitu 70%.

Menurut Kardiyono, (1989), reaksi hidrasi semen terjadi ketika semen bersentuhan dengan air, reaksinya adalah sebagai berikut:



persamaan (3.7) dan (3.8) menghasilkan gel, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ dan sisa reaksinya adalah kapur bebas, $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Jika abu ampas tebu yang mengandung 73,07% silika, dimasukkan dalam adukan beton, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Persamaan (3.9) menghasilkan gel, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, sehingga penambahan abu ampas tebu mengakibatkan peningkatan jumlah gel dalam adukan beton.

Menurut Popovic, (1998), luas permukaan gel didekati dengan ukuran *gel-space ratio* (X_F) yang dapat dihitung dengan rumus:

$$X_F = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p} \quad (3.10)$$

Dari persamaan (3.10) tampak bahwa semakin besar jumlah gel yang terbentuk maka gel space ratio makin besar. Hubungan antara gel space ratio dan kuat desak beton dihitung dengan rumus:

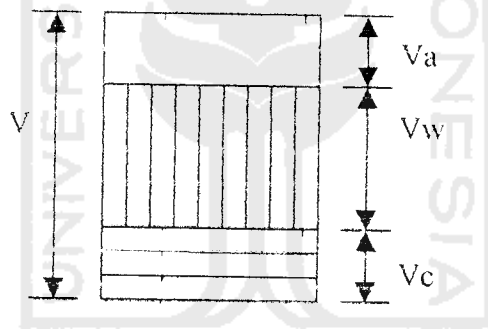
$$f'_c = 29000 \cdot X_F^3 \quad (3.11)$$

Dari persamaan (3.11) tampak bahwa kuat desak beton (f'_c) merupakan fungsi pangkat tiga dari *gel-space ratio* (X_F) sehingga semakin besar *gel-space ratio* (X_F), makin besar kuat desak beton (f'_c)

3.4 Tinjauan Abu Ampas Tebu sebagai Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu ampas tebu yang telah dibakar dan diayak sampai lolos saringan nomor 200 sehingga bahan ini diharapkan dapat mengisi/mengurangi porositas yang terjadi pada adukan beton.

Menurut **Popovic, (1998)**, porositas terbentuk pada saat hidrasi semen berlangsung. Komposisi volume udara, air, dan semen pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.1

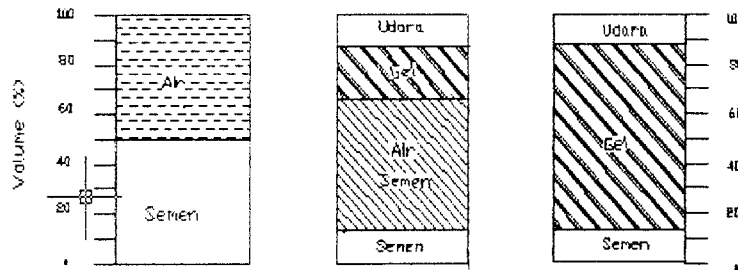


Gambar 3.1 Skema Komposisi Pasta Semen

Dari Gambar 3.1 hubungan antara volume pasta semen (V), volume udara (V_a), volume air (V_w), dan volume semen (V_c) dapat didekati dengan persamaan:

$$V = V_a + V_w + V_c \quad (3.12)$$

Proses pembentukan porositas pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 3.2

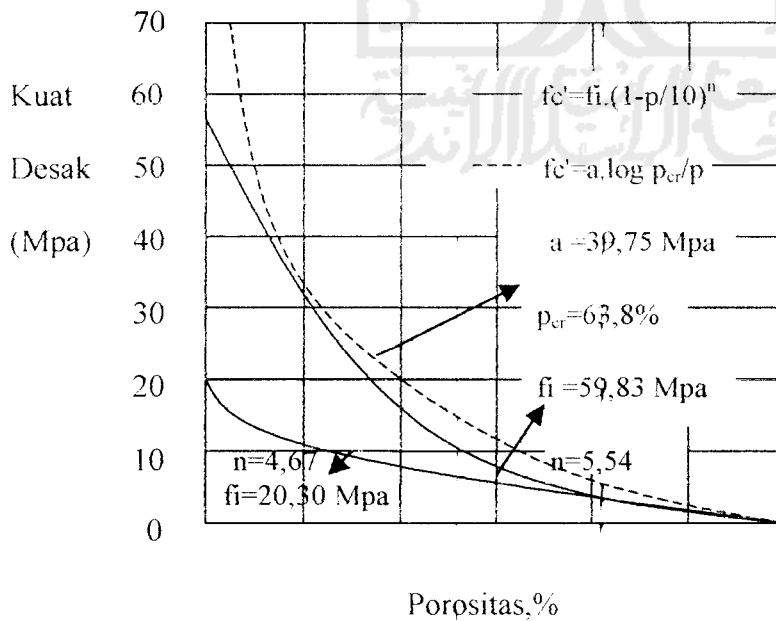


Gambar 3.2 Skema Hidrasi Semen

Dari Gambar 3.2 pada saat hidrasi semen berlangsung, proses pencampuran antara air dan semen menghasilkan gel yang diikuti dengan naiknya air semen ke permukaan (*bleeding*) melalui pori kapiler. Jumlah pori kapiler yang terbentuk dalam hidrasi semen dihitung dalam persen yang didekati dengan persamaan:

$$p = \frac{V_w + V_a + V_p + V_g}{V} \quad (3.13)$$

Porositas merupakan fungsi dari kuat desak beton, hubungan dua parameter tersebut digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Hubungan Kuat Desak dan Porositas

Mengacu dari Gambar 3.3 hubungan kuat desak beton dan porositas didekati dengan persamaan :

$$f'c = f_i \left[1 - \frac{P}{100} \right]^n \quad (3.14)$$

dan

$$f'c = a \log \frac{p_{cr}}{p} \quad (3.15)$$

Dari persamaan (3.14) dan (3.15) tampak bahwa semakin besar porositas (P), kuat desak beton ($f'c$) makin berkurang. Oleh karena itu untuk memperoleh kualitas beton yang baik, pori pada beton harus dikurangi dengan memberikan bahan pengisi (*filler*) yang berukuran sangat kecil.

3.5 Tinjauan Pecahan Genteng Sebagai Agregat Kasar

Limbah genteng adalah hasil dari pembuatan genteng yang mengalami kegagalan atau cacat, berupa pecahan genteng, genteng yang masih mentah dan genteng yang tidak utuh atau rusak. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah genteng yang sudah rusak berupa pecahan genteng dan banyak dijumpai disekitar pabrik pembuatan genteng.

Genteng adalah suatu unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap dan dibuat dari tanah liat dengan atau campuran bahan lainnya, dibakar sampai pada suhu yang cukup tinggi, sehingga tidak hancur apabila direndam dalam air, PUBI, (1982).

Pembakaran genteng dimulai secara perlahan-lahan hingga asap yang keluar tidak berwarna putih dengan suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$. kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C . Suhu ini dipertahankan ± 4 jam dan pada akhirnya suhu diturunkan secara perlahan-lahan agar genteng matang secara merata, Koesmartadi, 1999.

Ide dasar pemakaian pecahan genteng sebagai agregat kasar dalam campuran beton adalah untuk memanfaatkan bahan yang tidak terpakai karena merupakan bahan limbah akibat kegagalan dalam produksi genteng yang nantinya dapat menyebabkan pencemaran tanah. Agregat kasar dari pecahan genteng mempunyai beberapa kelebihan, antara lain dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang cukup tinggi, berat jenis betonnnya ringan (lebih ringan dari beton normal) dan beton yang dihasilkan mempunyai daya hantar panas yang rendah. Sedangkan kekurangan dari agregat jenis ini adalah antara lain keausan dan resapan airnya cukup tinggi, juga kekerasan agregatnya sangat beragam dari mutu pembakaran, **Kardiyono, (1992)**.

Genteng untuk semua tingkat mutu harus tahan terhadap perembesan air. pada pengujian perembesan air, air tidak boleh menetes dari bagian bawah genteng dalam waktu kurang dari 2 jam, **PUBI, (1982)**

3.6 Faktor air semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan duff Abrams (1919), dalam Tjokrodimulyo (1992) sebagai berikut.

$$f'c = \frac{A}{B^{1.5x}} \quad (3.16)$$

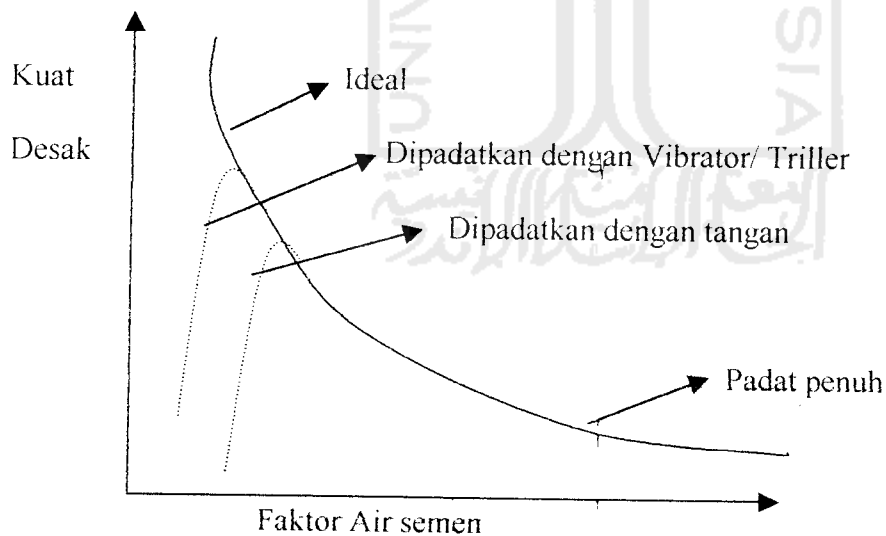
Dengan :

$f'c$ =Kuat desak beton

x =Faktor air semen,dan

A,B=Konstanta

Dengan demikian semakin besar fas maka semakin rendah kuat desak betonnya dan sebaliknya semakin kecil air semen semakin tinggi kuat desak betonnya, akan tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan dalam pemadatan. Sehingga kekuatan beton akan rendah karena menjadi kurang padat, oleh sebab itu ada suatu nilai fas optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Hubungan antara kuat desak beton dengan nilai fas dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Hubungan kuat desak beton dengan nilai *fas* (Tjokrodimulyo, 1992)

3.7 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan berkaitan erat dengan tingkat

kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin besar nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan betonnya semakin mudah dikerjakan. Nilai slump dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Nilai slump untuk berbagai macam struktur (Tjokrodimulyo, 1992)

JENIS STRUKTUR	NILAI SLUMP	
	MINIMUM (cm)	MAKSIMUM (cm)
Pondasi bertulang, dinding, tiang	5	12,5
Tiang pondasi bertulang, caison	2,5	10
Pelat, Balok, Kolom	7,5	15
Beton untuk jalan (pavement)	5	7,5
Beton massa (str. massa yang berat)	2,5	7,5

3.8 Metode perencanaan Adukan beton

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai standart America Concrete Institute (ACI). Salah satu tujuan yang hendak dipakai dengan perencanaan campuran dengan standart ACI adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan. Ukuran derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat pada pengujian slump. Adapun tata cara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut standart ACI adalah sebagai berikut ini.

1. Perhitungan kuat desak beton

Perhitungan kuat desak rerata beton memiliki syarat terhadap nilai margin akibat pengawasan dan jumlah sampel yang ditambahkan pada penjumlahan kuat desak rencana beton sesuai dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c \cdot k \cdot S \quad (3.17)$$

Dengan : f'_{cr} = Kuat desak rata-rata beton.....(Mpa)

f'_c = Kuat desak rencana beton.....(Mpa)

k = tetapan statistik. Untuk Indonesia memakai 5% kegagalan (devectives), maka $k=1,64$ (lihat Tabel 3.4)

s = deviasi standart berdasar Tabel 3.5 dengan angka konversi untuk sampel kurang dari 30 sampel (lihat Tabel 3.6)

Tabel 3.4 Nilai tetapan statistik untuk beberapa keadaan (Tjokrodimulyo,1992)

No	Keadaan	Nilai
01	Untuk 10% defektif	1,28
02	Untuk 5% defektif	1,64
03	Untuk 2,5% defektif	1,96
04	Untuk 1% defektif	2,33

Tabel 3.5 Nilai Deviasi Standart, S (kg/cm²) (Tjokrodimulyo,1992)

Vol. Pekerjaan (m ³)	Mutu Pekerjaan		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil <1000	45<S<55	55<S<65	65<S<85
Sedang 1000-3000	35<S<45	45<S<55	55<S<75
Besar >3000	25<S<35	35<S<45	45<S<65

Tabel 3.6 Faktor pengali untuk data uji kurang dari 30 sampel
(Tjokrodimulyo, 1992)

Jumlah Sampel	Faktor Pengali Standart Deviasi
≥ 30	1,00
25	1,03
20	1,08
15	1,16

2. Menentukan factor air semen (f_{as})

Faktor air semen ditentukan dari nilai terendah antara pengaruh kuat desak rata-rata (Lihat Tabel 3.7) dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan (lihat 3.8)

Tabel 3.7 Hubungan FAS dengan kuat kubus beton umur 28 hari
(Tjokrodimulyo, 1992)

Faktor air semen (FAS)	Perkiraanan Kuat Desak (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3.8 FAS berdasarkan pengaruh tempat elemen (Tjokrodimulyo, 1992)

Kondisi Elemen	Nilai FAS
Beton dalam ruangan bangunan	0,60
a. Keadaan keliling non korosif	
b. Keadaan Keliling Korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton diluar bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk kedalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kontinyu berhubungan dengan	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

3. Menentukan besarnya nilai slump

Nilai slump ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan penggunaan elemen struktur (Tjokrodimulyo, 1992). Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen dapat dilihat pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Tabel nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen
(Tjokrodimulyo, 1992)

Pemakaian jenis elemen	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Dinding pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12.5	5.0
Pondasi telapak tidak bertulang, koison, dan struktur bawah tanah	9.0	2.5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15.0	7.5
Pengerasan jalan	7.5	5.0
Pembetonan massal	7.5	2.5

4. Menentukan jumlah yang dibutuhkan

Jumlah kebutuhan air dalam setiap 1 m^3 campuran adukan beton dapat ditentukan berdasarkan diameter maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 3.10).

Tabel 3.10 Tabel perkiraan kebutuhan air berdasarkan ukuran maksimum agregat nilai slump (Tjokrodimulyo, 1992)

Slump	Ukuran Maksimum (mm)		
	10	20	30
25-50	206	182	162
75-100	226	203	177
150-175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

5. Menghitung kebutuhan semen didasarkan hasil penentuan langkah kedua (didapat nilai f_{as}) dan keempat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan nilai

$$f_{as} = \frac{w_{air}}{w_{semen}} \quad (3.18)$$

Dengan :

f_{as} =Faktor air semen

w_{air} =Berat air

w_{semen} =Berat semen

6. Menetapkan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar didasarkan pada tabel 3.11

Tabel 3.11 Tabel perkiraan kebutuhan agregat kasar per- m^3 beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir pasir (m^3)

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus Halus Butir			
	2.4	2.6	2.8	3.0
10	0.46	0.44	0.42	0.40
20	0.65	0.63	0.61	0.59
40	0.76	0.74	0.72	0.70
80	0.84	0.82	0.80	0.78
150	0.90	0.88	0.86	0.84

7. Menghitung volume agregat halus didasarkan pada pengurangan volume absolut terhadap volume agregat kasar, volume semen, volume air serta prosentase udara yang terperangkap dalam adukan.

3.9 Kuat Tekan Beton Ringan

George Winter dan Arthur, (1993), Beton ringan atau beton struktur beragregat ringan didefinisikan sebagai beton yang pada usia 28 hari mempunyai kekuatan tekan lebih besar dari 2500 Psi dan berat satuannya pada usia 28 hari pada kondisi udara kering tidak melampaui 115 Pcf. Sebagian besar beton ringan dalam struktur mempunyai berat antara 100 dan 110 Pcf. Kekuatan tekan rencana biasanya berkisar antara 3000 – 4000 Psi, tetapi kekuatan yang lebih besar bahkan sampai melampaui 6000 Psi yang dapat diperoleh dengan membuat proporsi campuran yang sesuai.

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia, (1971), dengan menganggap nilai-nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss) dan hanya 5% benda uji yang mengalami penyimpangan maka kekuatan beton karakteristik (σ'_{bk}) dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,64 s \quad (3.19)$$

Dari persamaan (3.19) σ'_{bm} merupakan kuat desak beton rata-rata benda uji yang dihitung dengan rumus :

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma'_{bi}}{N} \quad (3.20)$$

mengacu dari persamaan (3.19) standar deviasi (s) dapat diketahui dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\sigma'_{hi} - \sigma'_{hm})^2}{N-1}} \quad (3.21)$$

Dari persamaan (3.21) tampak bahwa semakin besar standar deviasi maka kekuatan beton karakteristik makin kecil.

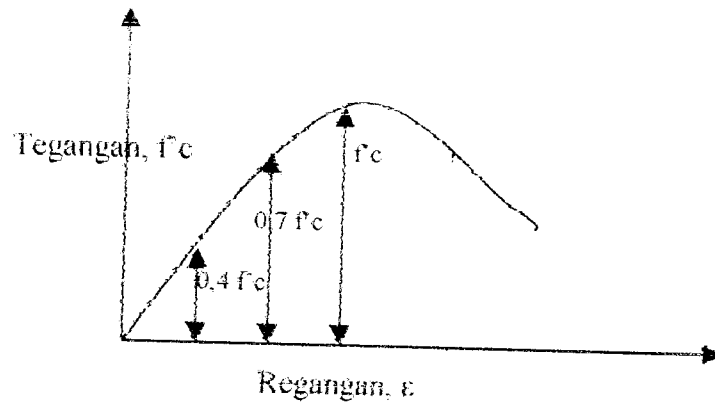
3.9 Modulus Elastis

Kardiyono Tjakrodimulya, (1992), Akibat gaya tekan beton mengalami perubahan bentuk, yaitu memendek. Pada umumnya suatu bahan yang masih kecil perubahan bentuk itu bersifat elastis, artinya jika bebannya kemudian dihilangkan beton akan kembali ke bentuk semula. Dalam hal ini jika besar beban adalah P (Newton), Luas penampang beton adalah A (mm^2), panjang beton semula L_0 (mm), dan perpendekannya sebesar ΔL (mm), maka dapat diperoleh suatu nilai modulus elastis E (kelentingan) dengan rumus :

$$E = (P/A) / (\Delta L / L_0) \quad (\text{Mpa}) \quad (3.22)$$

Jika besar beban tekan P agak besar maka beton akan berubah bentuk (memendek) dengan sifat plastis, yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke bentuk semula walaupun bebannya sudah dihilangkan.

Edward G. Nawy, (2001), Pengetahuan mengenai hubungan tegangan-regangan beton merupakan hal penting dalam mengembangkan analisis dan desain serta prosedur-prosedur dalam struktur beton.



Gambar 3.5 Kurva tegangan-regangan tipikal untuk beton

Gambar 3.5 menunjukkan kurva tegangan-regangan yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan benda uji beton silinder yang dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit. Bagian pertama dari kurva tersebut, hingga mencapai 40 persen dari kuat ultimit f_c , pada dasarnya dapat dianggap linier untuk semua tujuan praktis. Sesudah sekitar 70 persen dari tegangan gagal, material kehilangan sebagian besar kekuatannya sehingga menambah ketidaklinieran diagram. Pada saat beban ultimit, retak sejajar arah pembebanan menjadi sangat terlihat, dan hampir semua silinder (kecuali yang kekuatannya sangat rendah) akan tiba-tiba gagal sesaat setelah itu.

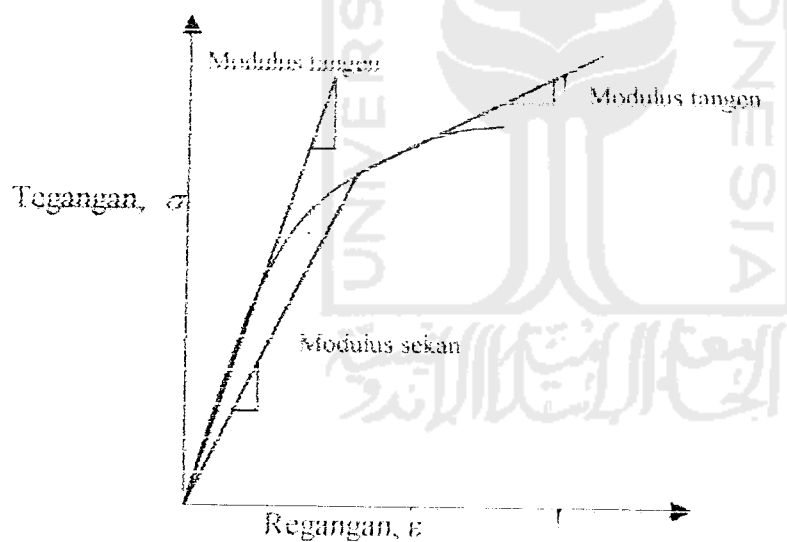
Karena kurva tegangan-regangan yang terlihat dalam Gambar 3.6 berbentuk kurvilinier pada taraf pembebanan yang sangat awal, maka modulus elastisitas young dapat diterapkan hanya pada tangen dari kurva di titik asal. Kemiringan awal dari tangen di kurva didefinisikan sebagai modulus tangen awal, dan modulus tangen di titik lain pada kurva juga dapat saja dibuat. Kemiringan garis lurus yang menghubungkan titik asal dengan tegangan tertentu (sekitar $0,4 f_c$) merupakan modulus elastisitas sekan beton. Nilai ini, yang disebut modulus

elastisitas dalam perhitungan desain, memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis (dapat pulih kembali seluruhnya jika beban dihilangkan), dan bahwa regangan selanjutnya akibat bekerjanya beban disebut rangkak

Standar ACI untuk gedung menyiapkan rumus berikut untuk menghitung modulus elastisitas sekan beton E_c

$$E_c = 33w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \text{ untuk } 90 < w_c < 155 \text{ lb/ft}^3 \quad (3.23)$$

Dimana w_c adalah densitas beton dalam satuan lb/ft^3 ($1 \text{ lb/ft}^3 = 16,02 \text{ kg/m}^3$) dan f'_c adalah kuat tekan silinder dalam psi untuk beton normal



Gambar 3.6 Modulus tangen dan modulus sekan pada beton