

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Dalam bidang ilmu teknologi beton dikenal jenis beton ringan (“Light weight Concrete”). Beton ringan dapat dibuat dengan 3 (tiga) cara (Neville, 1975), yaitu :

1. dengan pemakaian agregat ringan, misalnya agregat kasar yang ringan, agregat halus yang ringan atau keduanya,
2. dengan membuat gelembung-gelembung udara, yaitu dengan pemakaian bahan tertentu yang menyebabkan terjadinya gelembung udara kecil di dalam beton, dan
3. dengan cara tanpa memakai pasir (beton non pasir), sehingga banyak terdapat rongga diantara butir-butir agregat kasar.

Beton ringan mempunyai berat jenis di bawah 2 gr /cm^3 (beton biasa mempunyai berat jenis $2,4 \text{ gr /cm}^3$). Secara kasar beton ringan ini menurut berat jenisnya dapat dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok (Neville, 1975), yaitu :

1. beton ringan dengan berat jenis antara 0,30 sampai $0,80 \text{ gram/cm}^3$ yang biasanya dipakai sebagai bahan isolasi,
2. beton ringan dengan berat jenis antara 0,80 sampai $1,40 \text{ gram/cm}^3$ yang dapat dipakai untuk struktur ringan, dan
3. beton ringan dengan berat jenis antara 1,40 sampai $2,00 \text{ gram/cm}^3$ yang dapat dipakai untuk struktur sedang.

Agregat untuk campuran beton dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, yaitu agregat normal, agregat berat dan agregat ringan. Breksi Batuapung Hijau dengan berat jenis $1,677 \text{ gr/cm}^3$ maka termasuk dalam kategori agregat ringan.

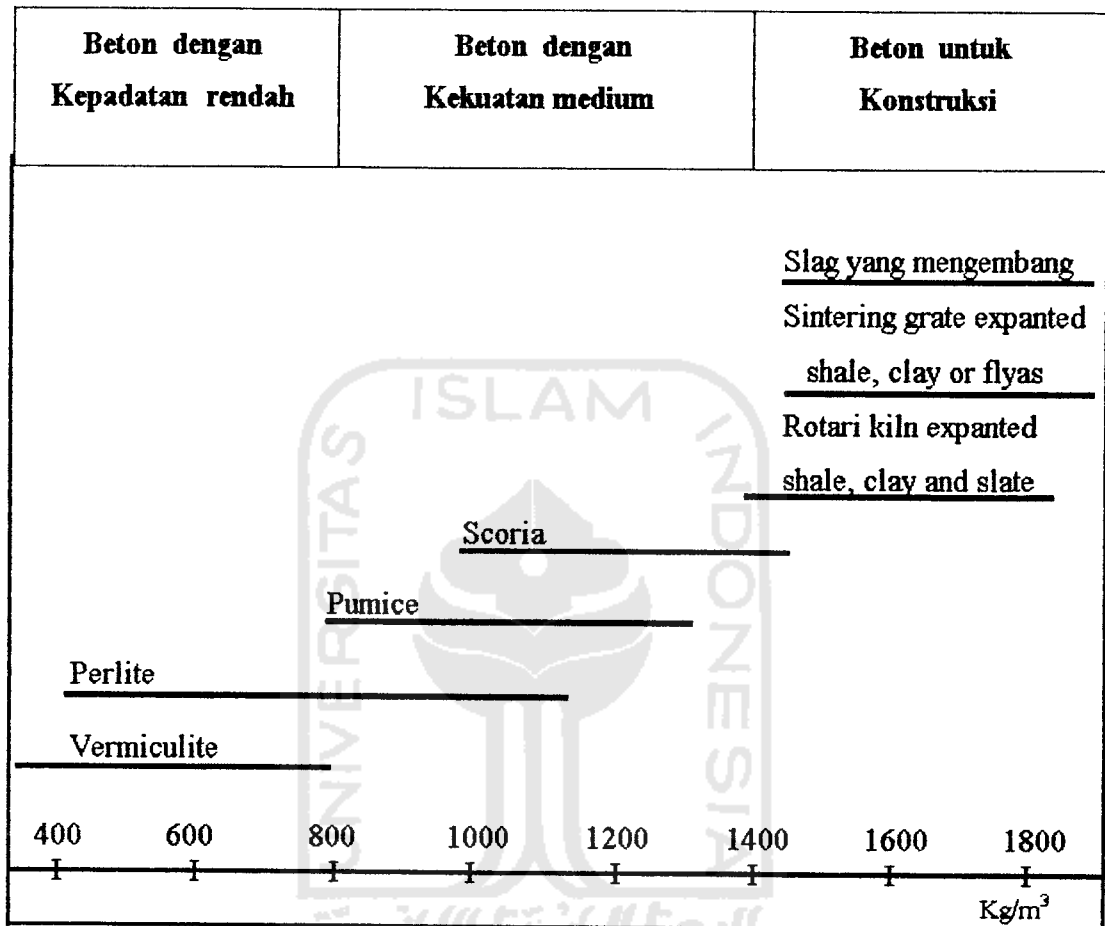
Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yang biasanya dibuat untuk non struktural, akan tetapi dapat pula untuk beton struktural bila kuat tekan yang dihasilkan lebih dari 170 kg/cm^2 pada umur 28 hari dengan berat jenis $1,4-1,8 \text{ gr/cm}^3$ dan beton ringan untuk bahan isolasi atau dinding penyekat mempunyai kuat tekan antara $7-70 \text{ kg/cm}^2$ dengan berat jenis kurang dari $0,8 \text{ gr/cm}^3$ (Neville, 1975).

Menurut Nilson dan George (1993), agregat ringan dibedakan dalam dua kelompok, yaitu agregat alam dan agregat buatan. Yang termasuk agregat alam diantaranya batuapung ("pumice"), "scoria", "vulkanic cinder", "perlite", "vermiculite". Sedangkan yang termasuk agregat buatan antara lain "LECA", "Aglite", "Fly Ash" dan "Foamed Slag".

Menurut Tjokrodimulyo (1992), beton dengan agregat ringan mempunyai kuat tarik rendah, modulus elastisitas rendah, serta rayapan dan susutan lebih tinggi.

Hal-hal yang penting dan mendasar pada penelitian beton ringan meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas dan gradasi agregat dengan teori dan formula yang biasa digunakan akan diuraikan dalam sub bab tersendiri setelah gambar 3.1 mengenai perkiraan berat jenis dan penggolongan agregat beton ringan.

Berat jenis beton ringan dalam pembuatannya dipengaruhi oleh berat jenis agregatnya. Berat jenis beton ringan yang dihasilkan dari berbagai jenis agregat ringan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Perkiraan berat jenis dan penggolongan agregat beton ringan (ASTM -621).

3.2 Kuat Tekan Beton

Kuat beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Umumnya sifat beton lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi karena mutu beton biasanya hanya ditinjau pada kuat tekannya saja.

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

1. Jenis semen dan kualitasnya.

Jenis semen dan kualitas sangat mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

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.

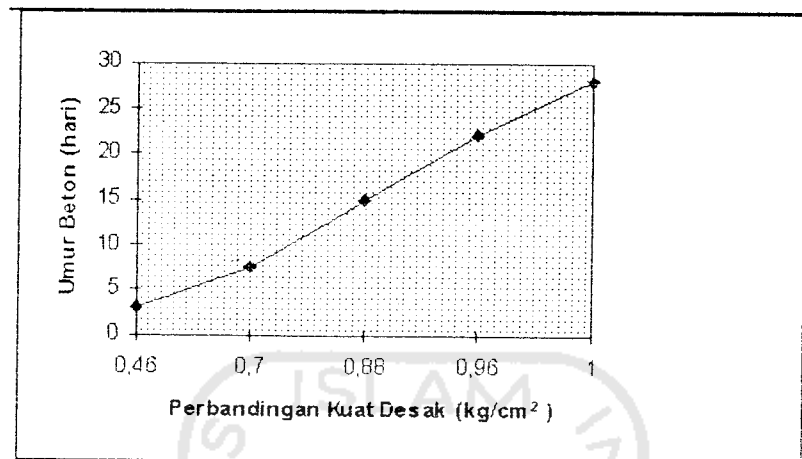
Kehilangan kekuatan sampai sekitar 40 % dapat terjadi bila pengeringan dilakukan sebelum waktunya.

4. Faktor umur.

Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah sesuai dengan umurnya. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun. Perbandingan kuat desak beton pada berbagai umur dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1 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 type I	0,46	0,7	0,88	0,96	1,00



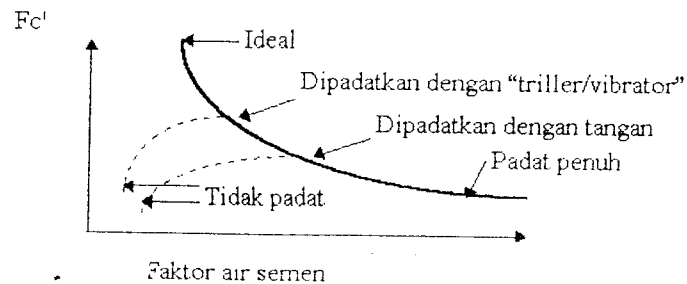
Gambar 3.2 Grafik perbandingan kuat desak beton pada berbagai umur untuk benda uji yang dirawat di Laboratorium.

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

5. Mutu agregat.

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

Kekuatan tekan 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 tekan beton. Hubungan antara fas dan kuat tekan silinder (f_c') dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini (Tjokrodimulyo,1992).



Gambar 3.3 Hubungan fas dan Kuat Tekan Silinder Beton

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

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan : $f'c$ = Kuat desak beton, kg/cm^2
 P = Beban maksimum, kg
 A = Luas penampang benda uji, cm^2

Beton dari hasil pengujian perlu diperiksa dengan perkiraan variasi kuat tekan beton dari keseluruhan sampel beton yang telah diuji. Perkiraan yang lebih baik standar deviasi untuk keseluruhan sampel benda uji dihitung dengan rumus berikut ini:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f'c - f'cr)^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan : S = deviasi standar, kg/cm^2
 $f'c$ = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji, kg/cm^2
 $f'cr$ = kuat tekan beton rata-rata, kg/cm^2
 n = jumlah benda uji

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pelaksanaan pencampuran beton. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar didasarkan pada hasil pengalaman.

Sedangkan untuk menghitung kuat tekan beton yang disyaratkan dipakai rumus sebagai berikut :

$$f'c = f'cr + M \dots\dots\dots(3.3)$$

$$M = k \cdot sd \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan : M = nilai tambah, kg/cm^2

k = 1,64

sd = deviasi standar, kg/cm^2

Untuk memberikan gambaran pengendalian mutu pekerjaan beton, pada tabel 3.2 berikut ini dapat dilihat pedoman yang biasa dipakai di Inggris (Tjokrodimuljo, 1992).

Tabel 3.2. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	sd (kg/cm^2)
Memuaskan	28
Sangat baik	35
Baik	42
Cukup	56
Jelek	70
Tanpa kendali	84

Jika pelaksana tidak mempunyai pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk hasil uji kurang dari 15 buah), maka untuk menentukan nilai karakteristik beton uji, nilai “margin” dapat langsung diambil sebesar 12 MPa (Tjokrodimulyo,1992).

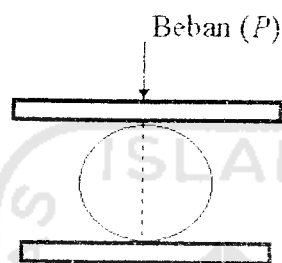
3.3 Kuat Tarik Beton

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan “modulus of rupture”, ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian “split cilinder” yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya (Dipohusodo, 1994).

Kekuatan beton di dalam tarik adalah suatu sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kekuatan tarik beton relatif rendah. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton f'_{ct} adalah dengan rumus $0,10 f'_c < f'_{ct} < 0,2 f'_c$ (Nawy, 1985).

Menurut ASTM C496, pada percobaan pembebanan silinder (“the split-cylinder”), dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya di atas mesin uji dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Benda silinder akan terbelah dua

pada saat dicapainya kekuatan tarik. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai “split cylinder strength” dihitung dengan $2P / [\pi(\text{diameter})(\text{panjang})]$ berdasarkan teori elastisitas untuk bahan yang homogen dalam pengaruh keadaan tegangan biaksial.



Gambar 3.4 Uji Tarik pada Pembelahan Silinder

Metode pembelahan silinder ini biasa disebut tes Brasil.

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

$f_{ct} = 0,5 \sqrt{f_c'}$ sampai $0,6 \sqrt{f_c'}$ untuk beton berbobot biasa,

$f_{ct} = 0,4 \sqrt{f_c'}$ sampai $0,5 \sqrt{f_c'}$ untuk beton berbobot ringan,

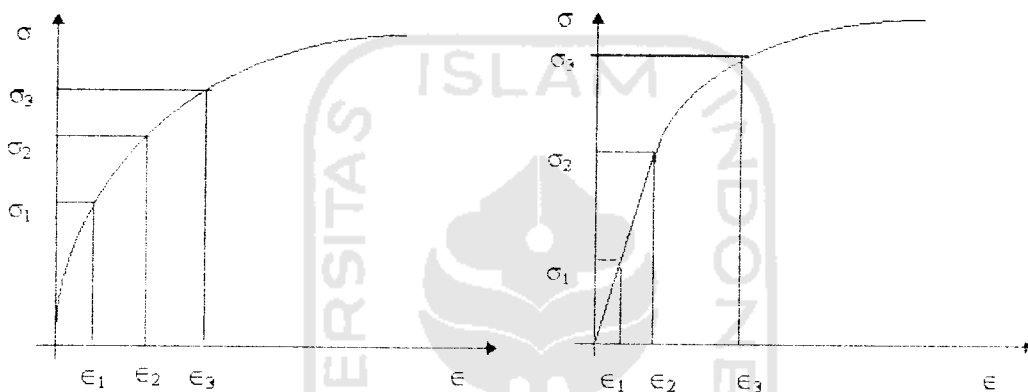
dengan f_c' dan f_{ct} dalam Mpa

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

3.4 Modulus Elastisitas

Menurut Vis dan Kusuma (1995), modulus elastisitas atau modulus Young adalah sebuah konstante bahan yang mempunyai nilai tertentu untuk suatu bahan tertentu.

Tiap bahan mempunyai modulus elastisitas E tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tarik atau beban tekan. Bila nilai E semakin kecil, akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau pemendekan. Grafik hubungan non-linier dan linier tegangan dan regangan ditunjukkan oleh gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5 Hubungan non-linier antara tegangan dan regangan

Gambar 3.6 Hubungan linier antara tegangan dan regangan pada nilai tegangan yang rendah

σ tidak selalu berbanding lurus dengan ϵ . Pada contoh yang diberikan pada gambar 3.5, titik-titik yang dipetakan berturut-turut tidak terletak pada satu garis lurus, sehingga tidak terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. Bahan yang memiliki tegangan dan regangan seperti ini disebut 'elastis non-linier'. Bahan ini jelas tidak mengikuti hukum Hooke sehingga hubungan $\sigma = E \cdot \epsilon$ tidak berlaku. Bahan ini tidak mempunyai modulus elastisitas konstan. Ini berarti bahwa hitungan perencanaan untuk bahan demikian harus menggunakan rumus yang berbeda dengan bahan-bahan elastisitas linier. Gambar 3.6 menunjukkan suatu kesebandingan antara tegangan dan

regangan untuk nilai tegangan yang rendah (di bawah σ_2 pada diagram), tetapi pada tegangan yang tinggi bahan mempunyai kelakuan non-linier. Bahan jenis ini juga mempunyai modulus elastisitas yang tidak konstan (setidak-tidaknya di atas σ_2). Ketidak linear-an diakibatkan oleh formasi retak-retak yang menurunkan kekakuan (Ferguson, 1986).

Modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji (Wang dan Salmon, 1985).

Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50 % dari kekuatan tekan f'_c diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga $1000 f'_c$ oleh Peraturan ACI, akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan ("density") perlu diikutkan. Sebagai suatu hasil dari analisa statistik atas data-data yang tersedia, maka rumus empiris yang diberikan oleh ACI-8.5.1

$$E_c = 0,043 w_c^{1,5} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan : E_c = modulus elastis beton tekan (Mpa)
 w_c = berat isi beton (kg/m^3)
 f'_c = kuat tekan beton (Mpa)

Persamaan (3.4) dapat dipandang sebagai modulus sekan untuk suatu tegangan tekan pada tingkatan beban kerja dan hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$. Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi $\pm 25 \text{ kN}/\text{m}^3$ dapat digunakan nilai $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$.

Persamaan-persamaan di atas merupakan rumus empiris praktis yang tidak selalu bisa digunakan karena modulus elastisitas selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh faktor-faktor lain seperti kelembaban benda uji beton, fas, umur beton dan temperatur (Nawy, 1985).

3.5 Gradasi Agregat

Seperti yang telah disebutkan dalam tinjauan pustaka, 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, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat yang berbutir kasar.

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campuran masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut (Nawy, 1985).

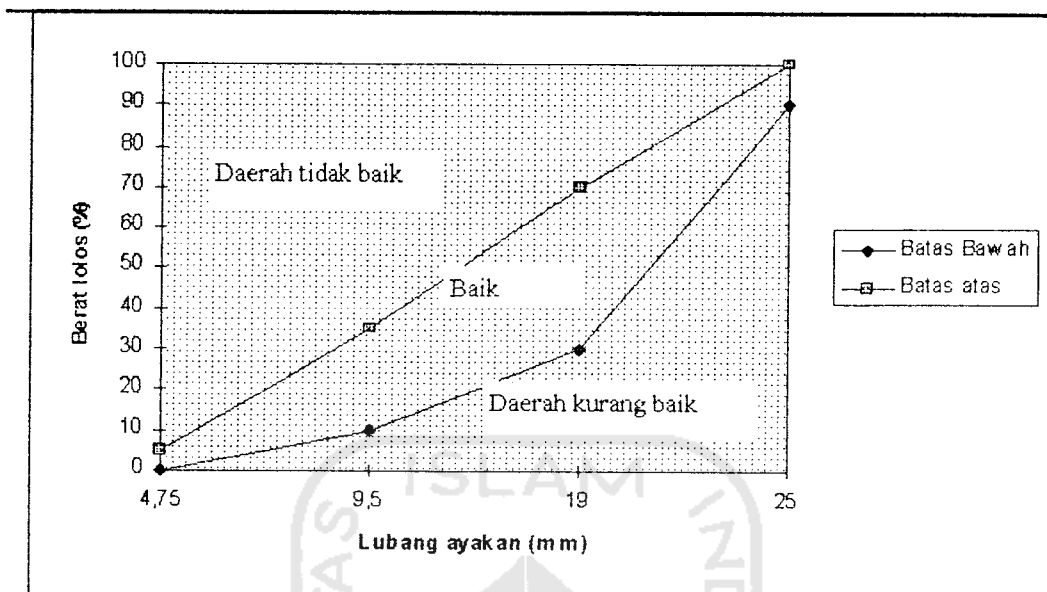
Persyaratan gradasi agregat berbobot ringan untuk beton struktural menurut ASTM C-330 ditunjukkan dalam tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Persyaratan gradasi agregat berbobot ringan untuk beton struktural menurut ASTM C-330.

Ukuran	Prosentase (berat) lewat saringan berlubang bujur sangkar								
	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 μ m	150 μ m
Agregat halus	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar									
25,0 mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
19,0 mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
12,5 mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0,10	-	-	-
9,5 mm	-	-	100	80-100	5-10	0-20	0-10	-	-
Gabungan Agregat halus dan kasar									
12,5 mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
9,5 mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

Agregat ringan dalam campuran beton akan menyerap air yang relatif lebih banyak dibanding dengan agregat beton biasa dan penyerapan itu berlangsung sangat cepat. Pertimbangan ini merupakan suatu landasan yang penting dalam perbandingan campuran beton ringan. Oleh karena itu langkah yang tepat untuk membuat ssd agregat ringan terlebih dahulu sebelum dilaksanakan pencampuran bahan-bahan.

Batas-batas gradasi agregat kasar menurut ASTM standar C33-71a, diperlihatkan dalam grafik berikut ini (Neville, 1975).



Gambar 3.7 Grafik Batas-Batas Gradasi Agregat Kasar Menurut ASTM Standard C33-71a

Menurut Sadjji (1997), gradasi agregat dapat mempengaruhi hal-hal sebagai berikut :

1. Jumlah pemakaian air,
2. Naiknya air kepermukaan beton yang baru dicor (“bleding”),
3. Pengecoran beton,
4. Pemadatan beton,
5. Penyelesaian beton, dan
6. Sifat-sifat beton yang sudah mengeras.

Gradasi yang baik akan dapat menghasilkan “density” maksimum dan minimum “voids” (porositas) dan minimum luas permukaan agregat. Dalam pelaksanaan ketidakseragaman gradasi ini akan mengakibatkan variasi yang cukup besar.

3.5.1 Modulus Halus Butir

Menurut Tjokrodimulyo (1992), modulus-halus-butir (“fineness modulus”) ialah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus-halus-butir (mhb) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus.

Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Adapun mhb kerikil biasanya antara 5 sampai 8.

