

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Dalam struktur teknik sipil terdapat material yang disebut dengan istilah beton. Beton didapat dari campuran antara semen portland, agregat, air, serta bahan tambah dengan perbandingan tertentu.

Perancangan proporsi campuran adukan beton adalah suatu rancangan adukan beton berdasarkan perbandingan bahan susun yang diperhitungkan sesuai mutu beton yang dikehendaki. Perancangan proporsi campuran adukan beton untuk bangunan struktural biasanya direncanakan dengan menggunakan perbandingan berat, sedangkan untuk bangunan non struktural direncanakan dengan menggunakan perbandingan volume.

3.2. Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau bahan tambah yang membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1993).

Beton dapat mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah. Kondisi yang demikian, yaitu rendahnya kuat tarik, pada elemen struktur yang betonnya mengalami tegangan tarik diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga terbentuk suatu struktur komposit, yang kemudian yang dikenal dengan sebutan beton

bertulang. Khusus beton saja yang tidak bertulang disebut beton tanpa tulangan (*plain concrete*). Untuk struktur tertentu yang tidak menginginkan retak tarik pada beton misalnya, dilakukan manipulasi (strategi) dengan memberikan tegangan tekan awal sebelum struktur dibebani, yaitu pada struktur beton prategang (*prestressed concrete*) (Tjokrodimulyo,1992).

3.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat dapat mengisi kurang lebih 70% hingga 75% volume beton atau mortar. Meskipun hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton atau mortarnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton/mortar.

Untuk membedakan jenis agregat yang sering dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat dengan ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedang yang berbutir kecil disebut agregat halus. Sebagai batas antara ukuran butiran yang kasar dan yang halus umumnya diambil 4,8 mm. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus.

3.3.1. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil deintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir batuan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Ukuran

butiran pasir umumnya berkisar antara 0,15 mm dan 4,8 mm. Pasir yang baik adalah apabila butir-butirnya tajam dan kasar, tidak mengandung lumpur lebih 5 %, serta bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.

Pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam (Tjokrodimulyo 1992):

1. Pasir galian, dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut berpori, dan bebas dari kandungan garam.
2. Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus bulat-bulat akibat proses gesekan, sehingga daya lekat antar butir-butir berkurang. Pasir ini paling baik dipakai untuk memplester tembok.
3. Pasir laut diambil dari pantai, butir-butirnya halus dan bulat akibat gesekan. Banyak mengandung garam yang dapat menyerap kandungan air dari udara. Pasir laut tidak baik digunakan sebagai bahan bangunan.

3.3.2. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Ukuran butir kerikil berkisar antara 4,8 mm dan 40 mm. Agregat kasar/ kerikil yang baik adalah apabila butir-butirnya keras dan tidak berpori. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, serta zat-zat yang reaktif alkali. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh

pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Butir-butir yang berbentuk pipih tidak lebih dari 20% dari agregat seluruhnya.

3.4. Semen

Semen yang sering digunakan untuk bahan beton adalah semen *portland* atau semen *pozzolan*. 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 tambahan (PUBI, 1982). Semen *portland* terutama mengandung kalsium dan aluminium silika. Dibuat dari oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO_2) serta aluminium Oksida (Al_2O_3). *Pozzolan* adalah bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen, termasuk daya tahannya terhadap agresi sulfat, air kotor, dan sejenisnya. *Pozzolan* digunakan untuk penambah, atau untuk pengganti sampai dengan 70% semen. Kelemahan bahan ini adalah mereduksi kecepatan pengerasan beton, dengan kata lain semen *Portland pozzolan* menghasilkan panas hidrasi lebih sedikit dari pada semen biasa. Kelebihan jenis semen ini adalah sifat ketahanan terhadap kotoran dalam air baik, sehingga cocok sekali jika dipakai untuk bangunan di laut, bangunan pengairan, dan beton massa. *Pozzolan* dapat terjadi dalam bentuk alamiah, seperti contohnya, abu vulkanis, *scoria* dan batu apung (Murdock dan Brook, 1979).

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat, serta untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Ditinjau dari tujuan pemakaiannya semen *portland* di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis (PUBI, 1982).

Jenis I : Semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Jenis V : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.5. Air

Dalam suatu adukan beton, air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air digunakan untuk menjadi bahan pelincir antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air diperlukan hanya sekitar 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air-semen yang dipakai jarang sekali kurang dari 30 %, selebihnya digunakan sebagai pelincir. Secara umum, air dapat digunakan sebagai bahan pancampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton

yang memakai air suling. Syarat-syarat air yang dapat digunakan sebagai pencampur beton adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/ liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti 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.

3.6. Lumpur

Lumpur adalah berupa tanah atau sejenisnya dengan ukuran butiran lebih kecil dari 0,075 mm, biasanya tercampur pada pasir dan kerikil. Dalam jumlahnya yang cukup banyak dapat mengurangi kekuatan beton. Lumpur pada pasir biasanya berasal dari endapan sungai. Pengaruh lumpur pada beton segar yaitu menghambat proses hidrasi semen. Untuk beton yang mengalami masa perawatan sesaat setelah pencetakan, lumpur dapat menjadi penyebab terbentuknya lapisan yang menyelimuti agregat, sehingga mencegah terjadinya adhesi-semen (Murdock dan Brook, 1979).

3.7. Gradasi

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena

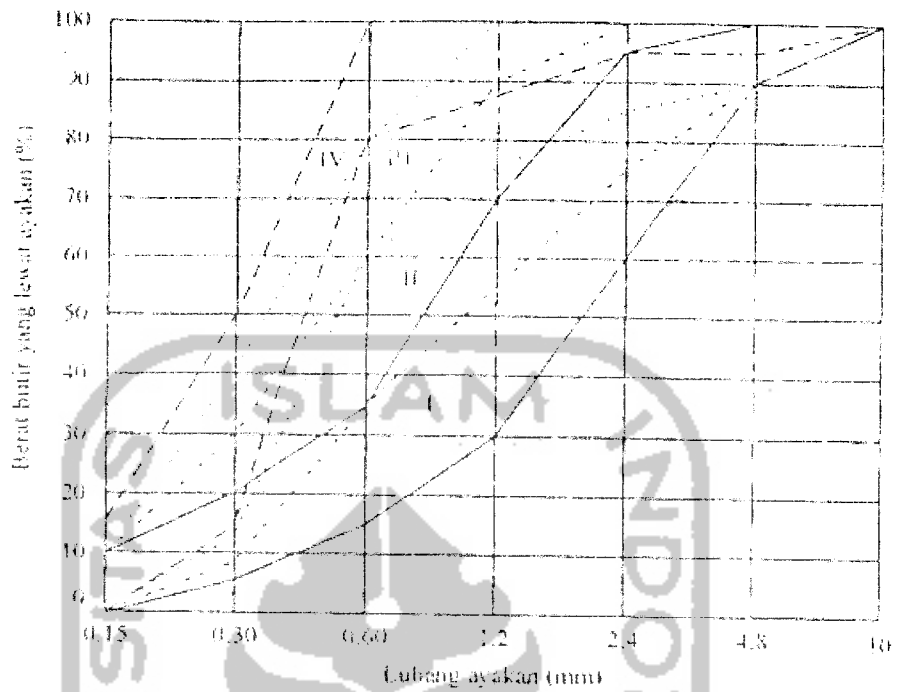
butiran yang kecil mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit dengan kata lain keampatannya tinggi.

Pada agregat untuk pembuatan beton diupayakan suatu butiran yang keampatannya tinggi, karena volume porinya sedikit, sehingga hanya membutuhkan bahan ikat sedikit. Sebagai pernyataan dalam perhitungan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat di dalam suatu ayakan. Secara teoritis gradasi agregat yang terbaik adalah yang didasarkan pada karakteristik butir-butir agregatnya. Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, gradasi pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar sebagaimana tampak pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.1. Sedang untuk gradasi kerikil dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Gradasi Pasir Menurut *British Standard* (Tjokrodimulyo, 1992:41)

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	90-100
1,2	30-70	55-90	75-100	80-100
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

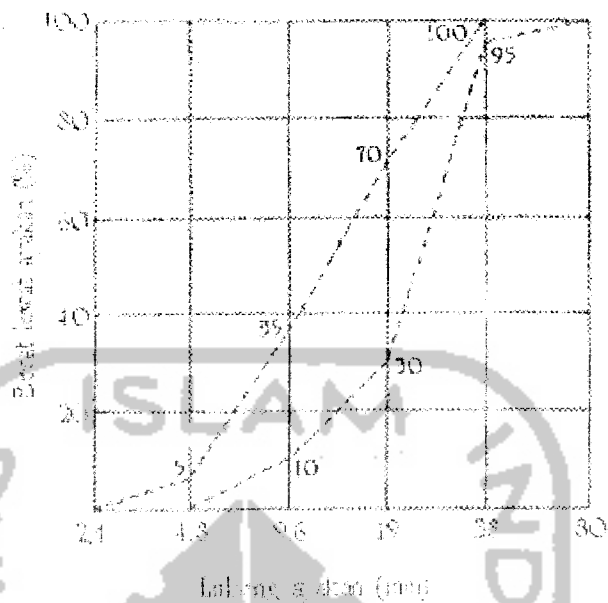
Keterangan: Daerah I : Pasir kasar
 Daerah II : Pasir agak kasar
 Daerah III : Pasir agak halus
 Daerah IV : Pasir halus



Gambar 3.1 Kurva Gradasi Pasir (Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:41)

Tabel 3.2 Gradasi Kerikil Menurut *British Standard* (Tjokrodimulyo, 1992:22)

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan		
	Besarnya butir maksimum		
	40mm	20mm	12,5mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

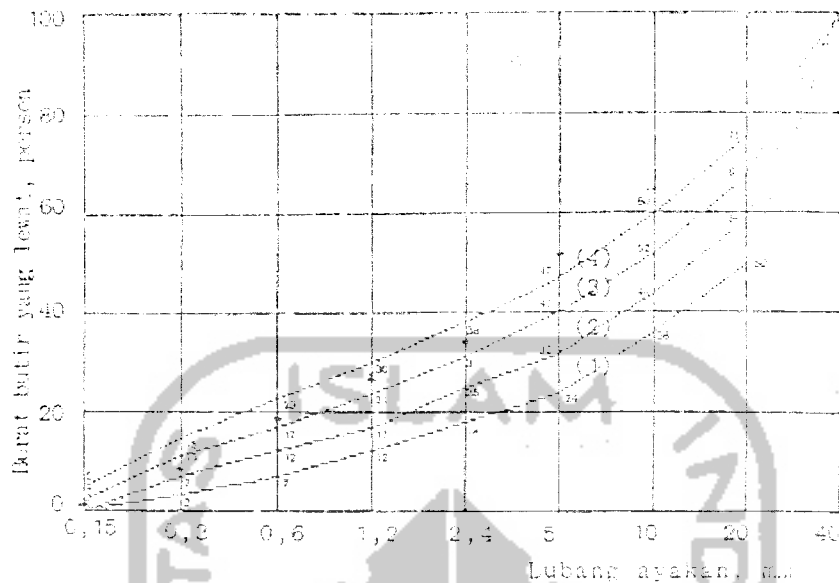


Gambar 3.2 Kurva Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 40 mm
(Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:41)

Untuk campuran beton dengan diameter maksimum 40 mm, gradasi dan kurva agregatnya (campuran pasir dan kerikil) sebagaimana tampak dalam Tabel 3.3 dan Gambar 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Gradasi Campuran Kerikil (Tjokrodimulyo, 1992:22)

Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	50	59	67	75
9,6	36	44	52	60
4,8	24	32	40	47
2,4	18	25	31	38
1,2	12	17	24	30
0,6	7	12	17	23
0,3	3	7	11	15
0,15	0	0	2	5



Gambar 3.3 Kurva Gradasi Standar Agregat Campuran Dengan Butir Maksimum 40 mm
(Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:42)

Dalam adukan beton diperlukan campuran pasir dan kerikil dengan perbandingan sedemikian rupa sehingga gradasi campuran dapat masuk di dalam kurva standar. Untuk mendapatkan nilai perbandingan antara berat pasir dan kerikil yang tepat dapat dilakukan dengan cara coba-coba. Bila hasil gradasi yang diperoleh tidak masuk di dalam kurva standar, maka nilai banding antara pasir dan kerikil diulangi, dengan nilai banding yang lebih baik. Demikian diulang-ulang sehingga diperoleh diagram gradasi yang memenuhi syarat (masuk kurva standar).

3.8. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modullus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus halus butir

diperoleh dari jumlah persen kumulatif butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dibagi seratus. Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Modulus halus butir selain untuk menjadi ukuran kehalusan butir juga dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil, bila akan membuat campuran beton. Nilai modulus halus butir berdasarkan percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai Modulus Halus Butir Agregat (Tjokrodimulyo, 1992:26)

Agregat	Modulus halus butir
Pasir	1,5 - 3,8
Kerikil	5 - 8
Pasir+kerikil	5 - 6,5

Hubungan antara modulus halus butir pasir, modulus halus butir kerikil dan modulus halus bulir campurannya dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan : W = presentase berat pasir terhadap berat kerikil.
 K = modulus halus butir kerikil
 P = modulus halus butir pasir
 C = modulus halus butir campuran

3.9. Perancangan Campuran Adukan Beton (*Mix Design*)

Penelitian ini menggunakan cara *DOE* (*Departement of Environtment*) yaitu suatu perancangan adukan beton cara Inggris. Perencanaan dengan cara *DOE* ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku standar No. SK. SNI. T-15-1990-03, 1993 dengan judul: Tata Cara

Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Dalam perencanaan ini banyak dipergunakan tabel dan grafik.

Langkah-langkah pokok cara *DOE* adalah sebagai berikut:

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu. Kuat tekan beton yang disyaratkan adalah kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5 % saja.

2. Penetapan nilai deviasi standar (Sd)

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan campuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (Sd) ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk pembuatan beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

- a. Jika pelaksana mempunyai catatan data hasil pembuatan beton seupa pada masa yang lalu, maka persyaratannya (selain yang tersebut diatas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan).

Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada Tabel 3.5 berikut ini:

Tabel 3.5 Faktor Pengali Deviasi Standar

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

*) untuk nilai antara dipakai interpolasi

- b. Jika pelaksana tidak mempunyai catatan/pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi syarat tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa (lihat langkah 3).

Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat dilihat pada Tabel 3.6 dibawah ini:

Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	S_d (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

3. Perhitungan nilai tambah, (M)

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa maka langsung diteruskan ke langkah (4).

Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar, maka dilakukan dengan rumus berikut:

$$M = k \times Sd \quad (3.2)$$

dengan M = nilai tambah, MPa
 k = 1,64
 Sd = deviasi standar, MPa

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan. Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus:

$$f'_{cr} = f'_{c} + M \quad (3.3)$$

dengan f'_{cr} = kuat tekan rata-rata, MPa
 f'_{c} = kuat tekan yang disyaratkan, MPa
 M = nilai tambah, MPa

5. Penetapan jenis semen *portland*

Menurut PUBLI 1982 di Indonesia semen *Portland* dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras.

Pada langkah ini ditetapkan apakah dipakai semen biasa ataukah semen yang cepat mengeras.

6. Penetapan jenis agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tak dipecahkan) ataukah agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*).

7. Menetapkan faktor air-semen dengan salah satu dari dua cara berikut:

a. Cara pertama berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat Gambar 3.4.

b. Cara kedua berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air-semen dengan Tabel 3.7 dan Gambar 3.5. Langkah penetapannya dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1) Dari Tabel 3.7 dengan data jenis semen, jenis agregat kasar, dan umur beton yang dikehendaki, dibaca perkiraan kuat tekan silinder beton yang akan diperoleh jika dipakai faktor air-semen 0,50 jenis kerikil maupun umur beton yang direncanakan, maka dapat diperoleh kuat tekan beton seandainya dipakai fas 0,50

2) Pada Gambar 3.5 diplotkan titik A dengan nilai fas 0,50 (sebagai absis) dan kuat tekan beton yang diperoleh dari Tabel 3.7 (sebagai ordinat). Pada titik A tersebut kemudian dibuat grafik baru yang bentuknya sama dengan 2 grafik yang sudah ada di dekatnya. Selanjutnya ditarik garis mendatar dari sumbu tegak di kiri pada kuat tekan rata-rata yang dikehendaki sampai memotong grafik baru tersebut. Dari titik potong itu kemudian ditarik garis ke bawah sampai memotong sumbu mendatar dan dapatlah dibaca nilai faktor air-semen yang dicari.

8. Penetapan faktor air-semen maksimum.

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air-semen maksimum. Penetapan nilai faktor air semen maksimum dilakukan dengan Tabel 3.8.

Jika nilai f_{as} maksimum lebih rendah dari nilai f_{as} dari langkah (7), maka nilai f_{as} maksimum tersebut dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 3.7 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) Dengan Faktor Air-Semen 0,50

Jenis Semen	Jenis agregat kasar	Umur (hari)			
		3	7	28	91
I, II, V	Alami	17	23	22	40
	Batu pecah	19	27	37	45
III	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48

Tabel 3.7.a Faktor Air-Semen Untuk Beton Bertulang Dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air-semen
Air tawar	Semua Tipe I-V	0,50
Air payau	Tipe I + <i>Pozzolon</i> (15-40%)	0,45
	atau S.P <i>Pozzolon</i> Tipe II	
	atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

Tabel 3.7.b Faktor Air-Semen Maksimum Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Tanah Mengandung Sulfat.

Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Fas maks
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air: tanah = 2:1 (gr/ltr)			
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa <i>Pozzolan</i> (15-40%)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa <i>Pozzolan</i>	0,50
			Tipe I dengan <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau semen portland <i>Pozzolan</i> Tipe II atau V	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau semen portland <i>Pozzolan</i> Tipe II atau V	0,45
			Tipe II atau V	0,50
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

Tabel 3.8 Persyaratan Faktor Air-Semen Maksimum Untuk Berbagai Pembedonan Dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembedonan	Fas Maksimum
Beton dalam ruang bangunan:	
a. Keadaan keliling non-korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan kondensasi atau uap air	0,52
Beton di luar ruangan	
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 3.7.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	lihat Tabel 3.7.b

9. Penetapan nilai *slump*

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai *slump* yang besar, adapun pemadatan adukan dengan

alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai *slump* yang agak kecil. Nilai *slump* yang diinginkan dapat diperoleh dari Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.9 Penetapan Nilai *Slump* (cm)

Pemakaian beton	Maks	Min
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
Pengerasn jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

10. Penetapan besar butir agregat maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan berikut:

- a. tiga per empat kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau tendon prategang atau selongsong,
- b. sepertiga kali tebal pelat,
- c. sepertiga jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.

11. Menetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, dan *slump* yang diinginkan, seperti yang disajikan dalam Tabel 3.10 berikut:

Tabel 3.10 Perkiraan Kebutuhan Air Per Meter Kubik Beton (liter)

Besarnya maks. kerikil	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 3.10 apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus:

$$A = 0,67 \times Ah + 0,33 \times Ak \quad (3.4)$$

dengan A = jumlah air yang dibutuhkan, liter/m³
 Ah = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya
 Ak = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. Menghitung berat semen yang diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 11 dengan faktor air-semen yang diperoleh pada langkah 7 dan 8).

13. Kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan Tabel 3.11 untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau atau air laut.

Tabel 3.11 Kebutuhan Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan Dan Lingkungan Khusus

Jenis pembetonan	Semen minimum (kg/m ³ beton)
Beton dalam ruangan	
a. keadaan keliling non-korosif	275
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325
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 ke dalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali tanah	lihat Tabel 3.11.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	lihat Tabel 3.11.b

Tabel 3.11.a Kandungan Semen Minimum Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Tanah Yang Mengandung Sulfat

Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Kandungan semen min (kg/m ³ beton) Ukuran maks agregat (mm) 40 20 10
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air: tanah = 2:1 (gr/ltr)			
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa <i>Pozzolan</i> (15-40%)	80 300 350
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa <i>Pozzolan</i>	290 330 380
			Tipe I dengan <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau semen portland	270 310 360
			<i>Pozzolan</i> Tipe II atau V	250 290 340
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau semen portland	340 380 430
			<i>Pozzolan</i> 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

Tabel 3.11.b Kandungan Semen Minimum Untuk Beton Bertulang Dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Kandungan semen minimum Ukuran maksimum agregat (mm)	
		40	2
Air tawar	Semua tipe I–V	280	300
Air payau	Tipe I + <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau S.P <i>Pozzolan</i>	340	380
	tipe II atau V	290	330
Air laut	Tipe II atau V	330	370

14. Penyesuaian kebutuhan semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari (12) ternyata lebih sedikit dari kebutuhan semen minimum (13) maka dipakai semen pada kebutuhan minimum (yang bernilai besar).

15. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen

Jika jumlah semen mengalami perubahan akibat langkah (14), maka nilai faktor air-semen berubah. Dalam hal ini dapat dilakukan dua cara berikut:

- a. Faktor air-semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

Catatan : cara pertama akan menurunkan faktor air-semen, sedangkan cara kedua akan menaikkan jumlah air yang diperlukan.

16. Penentuan daerah gradasi agregat halus

Berdasarkan gradasinya (hasil analisis ayakan) agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah. Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan dalam Tabel 3.12, yaitu bahwa agregat halus dapat dimasukkan menjadi satu dari 4 daerah (daerah 1, 2, 3, atau 4).

Tabel 3.12 Batas Gradasi Pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	1	2	3	4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	90-100
1,2	30-70	55-90	75-100	80-100
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

17. Perbandingan agregat halus dan agregat kasar

Nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan ini dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air-semen dan daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik pada Gambar 3.6.a, Gambar 3.6.b atau Gambar 3.6.c dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

18. Berat jenis agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$Bj\ camp = \frac{P}{100} \times Bj.agr.hls. + \frac{K}{100} \times Bj.agr.ksr. \quad (3.5)$$

Dengan $Bj\ camp$ = berat jenis agregat campuran
 $Bj.agr.hls$ = berat jenis agregat halus
 $Bj.agr.ksr$ = berat jenis agregat halus terhadap agregat campuran
 P = persentase agregat halus terhadap agregat campuran
 K = persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,60 untuk agregat tak dipecah/alami dan 2,70 untuk agregat pecahan.

19. Penentuan berat jenis beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah (18) dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya, maka dengan grafik pada Gambar 3.7 dapat diperkirakan berat jenis betonnya, yaitu dengan cara berikut ini:

- a. dari berat jenis agregat campuran pada langkah (17) dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada Gambar 3.7,
- b. kebutuhan air yang diperoleh pada langkah (11) dimasukkan dalam Gambar 3.7, untuk selanjutnya dari nilai tersebut ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva di atas (langkah a),
- c. dari titik potong ini kemudian ditarik garis horisontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.

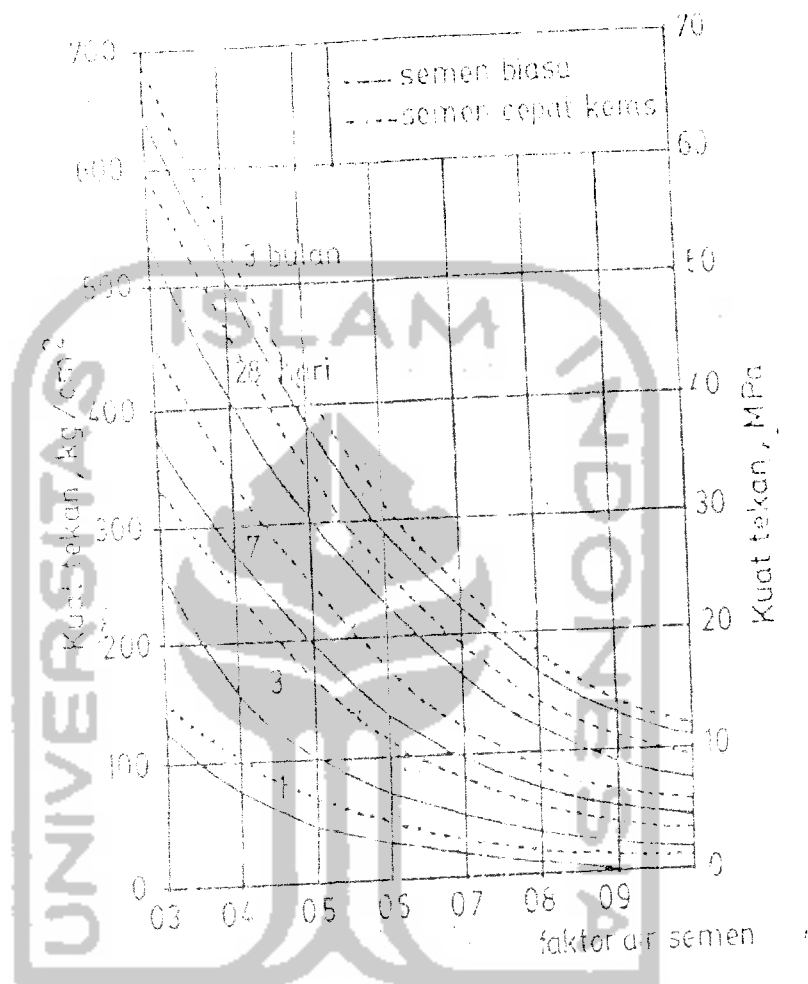
20. Kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

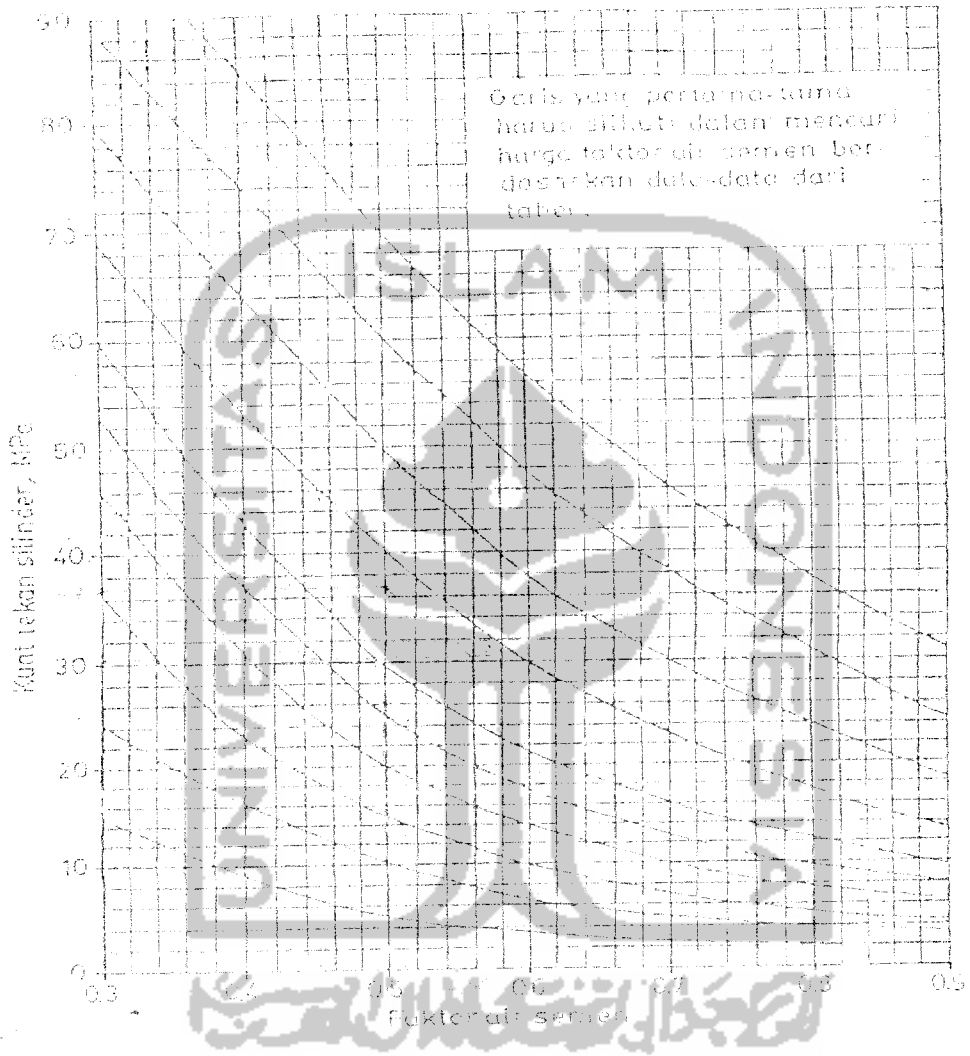
21. Menghitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasar langkah (17) dan (20). Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

22. Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasar langkah (20) dan (21). Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

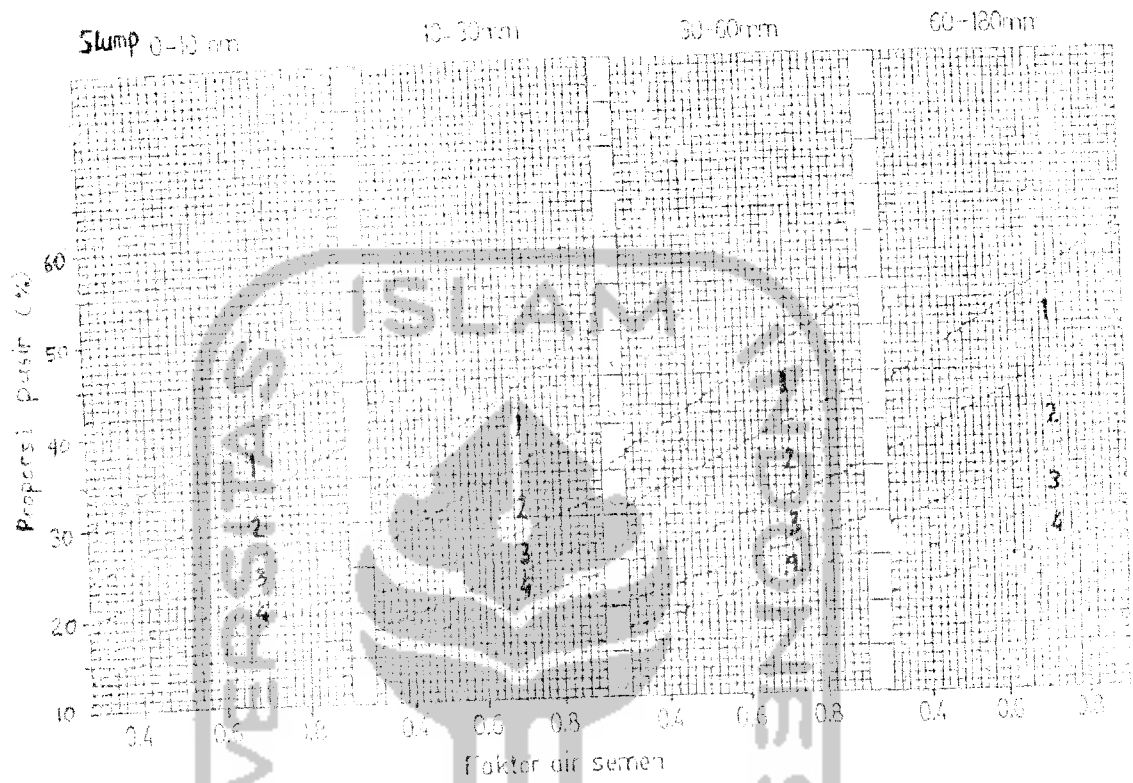




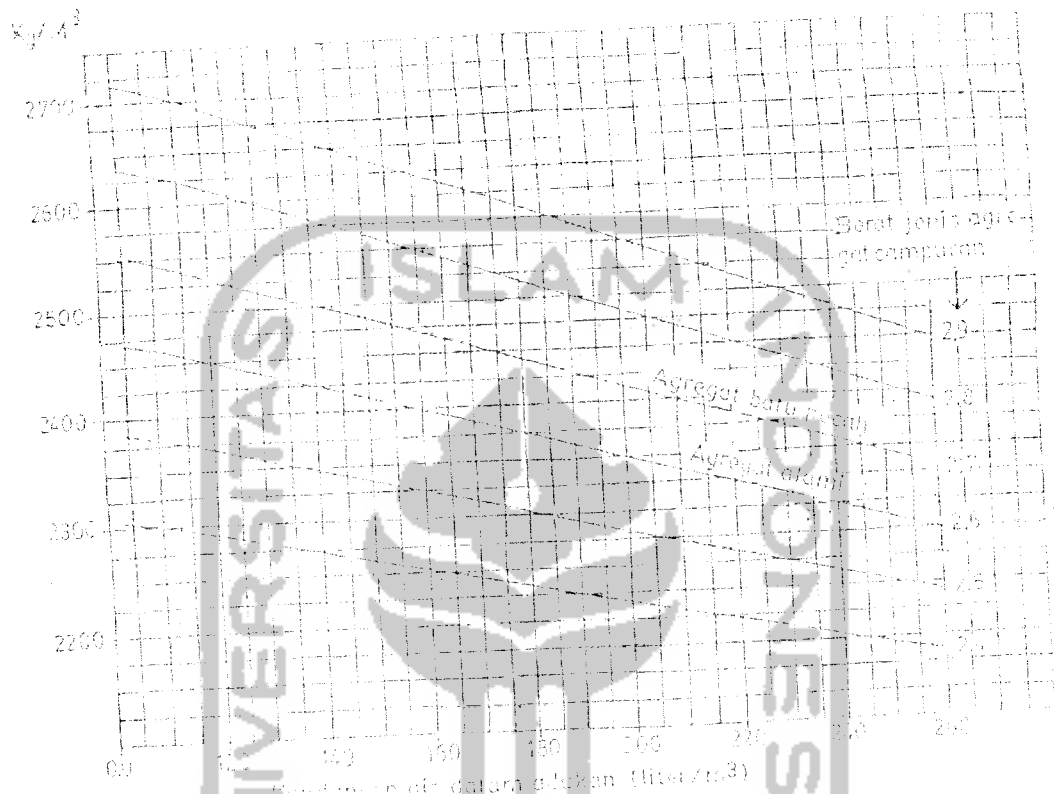
Gambar 3.4 Hubungan Faktor Air Semen Dan Kuat Tekan Rata-Rata Silinder Beton
(Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:96)



Gambar 3.5 Grafik Mencari Faktor Air Semen (Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:97)



Gambar 3.6 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm (Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:99)



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Berat Jenis Beton , Berat Jenis Agregat Campuran Dan Kandungan Air (Reproduksi Tjokrodimulyo, 1992:100)

وَجَدَّكَ وَقَبِيْلَكَ الْبَلَغِيْنَ