

BAB III

LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi mengenai material penyusun beton (semen Portland, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah pozzolan), faktor air semen (*f_{as}*), slump, metode perencanaan adukan beton, kuat tekan beton ringan dan hipoteses yang menjadi landasan teori untuk mencapai tujuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

3.1 Material Penyusun Beton

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki suatu karakteristik yang spesifikasinya terdiri dari beberapa bahan penyusun yang meliputi semen Portland, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah pozzolan sebagai berikut ini.

3.1.1 Semen Portland

Semen portland adalah bahan hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982) yang berupa bubuk halus dengan kandungan kapur, silika dan alumina. Oksida-oksida tersebut beriteraksi satu sama yang lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih

komplek selama proses peleburan. Susunan unsur dalam semen diperlihatkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Susunan unsur dalam semen (Neville, 1975)

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
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda / Potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Dari sekian banyak susunan unsur dalam semen, pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang penting yaitu dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi unsur utama semen portland (Neville, 1975)

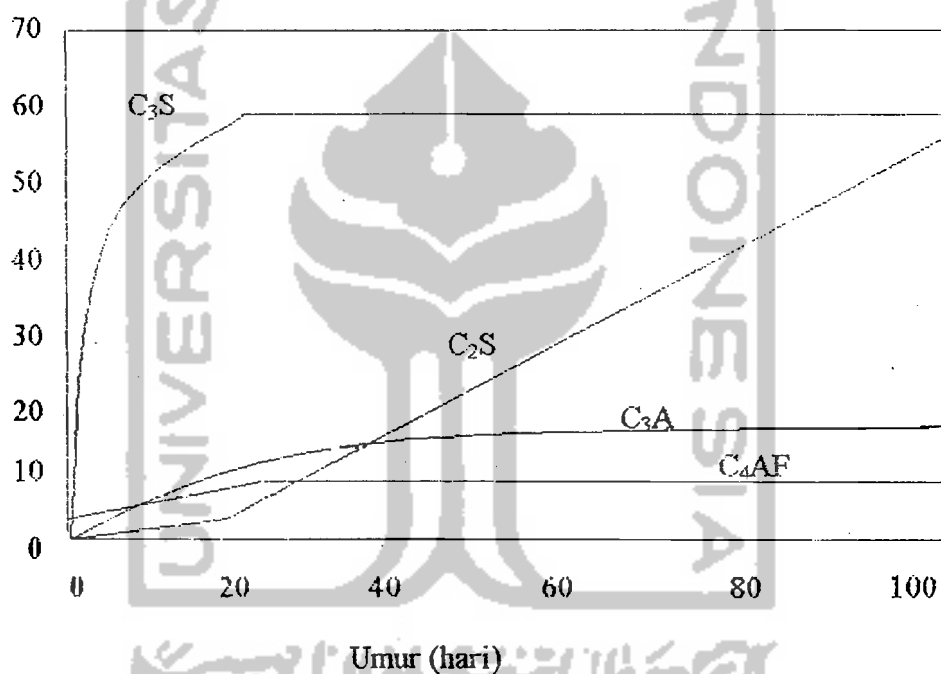
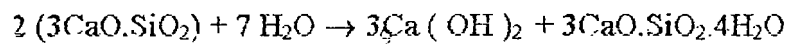
Nama unsure	Komposisi kimia	Simbol
Trikalsium silikat	3 CaO . SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium silikat	2 CaO . SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium aluminat	3 CaO . Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium aluminoforit	4 CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

C_3S dan C_2S merupakan dua unsur utama yang pertama yang menempati kurang lebih 70%-80% dari seluruh proporsi semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodimulyo). Bila semen terkena air, maka C_3S akan segera berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu, unsur ini juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama setelah mencapai umur 14 hari.

C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40% beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur C_3A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10% akan kurang terhadap serangan asam sulfat. Oleh karena itu semen tahan sulfat tidak boleh mengandung unsur C_3A terlalu banyak (maksimum 5% saja). Semen yang terkena asam sulfat (SO_4) di dalam air atau tanah disebabkan karena keluarnya C_3A yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang, sehingga terjadi retak-retak pada beton.

Unsur C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton. Namun sejumlah unsur C_3A dan C_4AF tetap ditambahkan pada semen mengingat pengaruhnya terutama untuk menurunkan temperatur dalam kilang atau tanur pembakaran dan memfasilitasi kombinasi kapur dan silika pada proses produksi semen (Neville, 1975). Untuk lebih jelasnya pengaruh keempat senyawa kimia tersebut terhadap unsur pengerasan semen dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Proses hidrasi pada semen cukup rumit, tidak semua reaksi dapat diketahui secara terperinci. Reaksi dari unsur C_2S dan C_3S adalah sebagai berikut ini (Tjokrodimulyo, 1992).



Gambar 3.1 Hubungan umur dengan kuat tekan pada unsur – unsur semen (Tjokrodimulyo, 1992)

Proses hidrasi pada semen cukup rumit, tidak semua reaksi dapat diketahui hasil utama dari proses reaksi hidrasi di atas adalah $C_3S_2H_3$ yang biasa disebut *tobermorit* yang berbentuk gel dengan sifatnya seperti bahan perekat. Panas hidrasi juga dikeluarkan selama proses berlangsung. Hasil lainnya adalah kapur,

yang merupakan sisa proses tersebut. Kapur bebas ini akan mengurangi kekuatan semen karena kemungkinan larut dalam air, lalu menguap yang menyebabkan porous. Penggunaan bahan pozzolan sebagai bahan tambah pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengikat kapur bebas tersebut, sehingga diharapkan dapat terjadi reaksi penghasil zat perekat yang memperkuat mortar semen.

Semen portland dibuat dengan cara mencampur dan membakar bahan dasar semen dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan (Tjokrodimulyo, 1992). Reaksi kimia antara semen dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai pelepasan panas. Kondisi ini mempunyai resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecenderungan retak pada beton.

3.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 5 mm.

Agregat halus atau pasir dapat berupa pasir alam, sebagai hasil disinteregasi alam dari batuan, atau debu dari hasil pecahan batu yang dihasilkan mesin pemecah batu. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8, makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa semakin besar butir-butir agregatnya. Di dalam penelitian ini digunakan pasir alam sebagai agregat halus dari sungai Boyong, Sleman, Yogyakarta.

3.1.3 Agregat Kasar

Pada agregat kasar harus terpenuhi gradasi yang baik. Apabila butir-butir agregat mempunyai gradasi yang sama atau seragam maka volume pori akan besar, sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kepampatannya tinggi, karena volume porinya sedikit dan ini berarti hanya membutuhkan bahan ikat yang sedikit pula. Untuk itu perlu adanya batas-batas gradasi dari pecahan genteng tersebut. Pada agregat kasar ini pada umumnya mempunyai modulus halus butir diantara 5 sampai 8.

3.1.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting, namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 30% dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Akan tetapi tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta bentuknya porous. Selain itu, kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak kepermukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang

dikenal dengan selaput tipis (*laitance*). *Laitance* ini akan mengurangi kekuatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sumbu yang lemah.

3.1.5 Bahan Tambah Pozzolan

Bahan tambah mineral berupa pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silikon alumina dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium hidrat dan kalsium silika hidrat yang bersifat hidrolis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Menurut ASTM C 618 - 86 mutu pozzolan dibedakan menjadi 3 kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas untuk masing-masing pozzolan adalah sebagai berikut ini (Murduk dan Brook, 1991).

a. Pozzolan kelas N

Yaitu pozzolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan yang dapat digolongkan di dalam jenis ini seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff*, dan abu vulkanik (*pumicete*), dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang memiliki sifat pozzolan yang baik. Abu sekam padi termasuk pozzolan di dalam kelas ini.

b. Pozzolan kelas C

Yaitu jenis *Fly Ash* yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub bitumen batu bara.

c. Pozzolan kelas F

Yaitu jenis *Fly Ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

Adapun sifat-sifat fisik dan kimia pozzolan yang distandarkan ditunjukkan lebih jelas pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Sifat fisik standar pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)

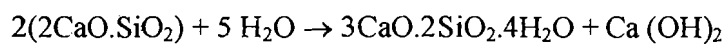
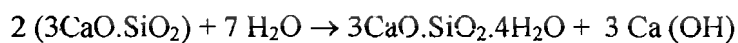
Sifat Fisik Bahan	Kelas Pozzolan		
	N	C	F
Kehalusan : tertahan ayakan no 325 (maksimum)	34	34	34
Pozzolan aktifitas indeks dengan PC pada 28 hari (% min)	75	75	75
Kebutuhan air maksimum (%) dari kontrol	115	105	105

Tabel 3.4. Sifat kimia standar pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)

Sifat kimia Bahan	Kelas Pozzolan		
	N	C	F
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%minimum)	70	50	70
So ₃ (% maksimum)	4	5	5
Na ₂ O (% maksimum)	1,5	1,5	1,5
Kadar kelembaban (% maksimum)	3	3	3
Loss ignition (% maksimum)	10	6	12

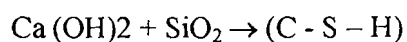
Pozzolan yang ditambahkan pada campuran adukan beton sampai batas tertentu dapat menggantikan semen untuk memperbaiki kecacakan dan menambah ketahanan beton dari serangan kimiawi (Swami,1986). Penambahan bahan pozzolan juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Hal ini karena terjadi reaksi pengikatan kapur bebas, sisa proses hidrasi semen dan air. Dengan bahan pozzolan ini, sisa hasil reaksi hidrasi semen dapat menghasilkan semacam gel yang berfungsi sebagai bahan perekat, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut (Swami,1986).

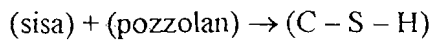
1. Reaksi hidrasi semen



(semen) + (air) → Pasta pengikat + sisa

2. Reaksi pozzolonik





Menurut proses pembentukannya atau asalnya didalam ASTM 593 – 82, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut ini.

1. Pozzolan alam

Adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi.

2. Pozzolan buatan

Adalah jenis pozzolan yang sebenarnya banyak macamnya, baik berupa sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran.

Dalam penelitian ini bahan pozzolan yang dipakai adalah abu sekam padi (*rice husk ash*) yang merupakan hasil dari pembakaran sekam padi. Jika sekam padi dibakar dalam kondisi terkontrol, abu sekam yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran memiliki sifat pozzolonik yang tinggi, karena kandungan silika. Proses pembakaran sekam padi sampai menjadi abu, membantu menghasilkan kimia organik dan meninggalkan silika yang cukup banyak.

Unsur kimia (*inorganik*) pokok abu sekam padi yang menguntungkan kapur bebas membentuk *gel* yang bersifat sebagai bahan pengikat. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Komposisi abu sekam padi (Swami, 1986)

Komposisi kimia	Jumlah (% berat)
SiO ₂	92,15
Al ₂ O ₃	0,41
Fe ₂ O ₃	0,21
CaO	0,41
MgO	0,45
Na ₂ O	0,08
K ₂ O	2,31

Menurut Swami (1986), jika sekam padi dibakar dalam kondisi terkontrol, RHA yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran, mempunyai sifat pozzolan yang tinggi dan baik digunakan dalam campuran pozzolan kapur dan sebagai pengganti semen, karena kandungan silikanya. Sekam padi menghasilkan abu lebih banyak dibandingkan sisa pembakaran tumbuhan lain. Disamping itu, RHA mempunyai kandungan silika yang paling tinggi, berkisar 86,9% - 91,3% (Wen-Hwei, 1986).

3.2 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.

$$f'c = \frac{A}{B^{1/x}} \quad (3.1)$$

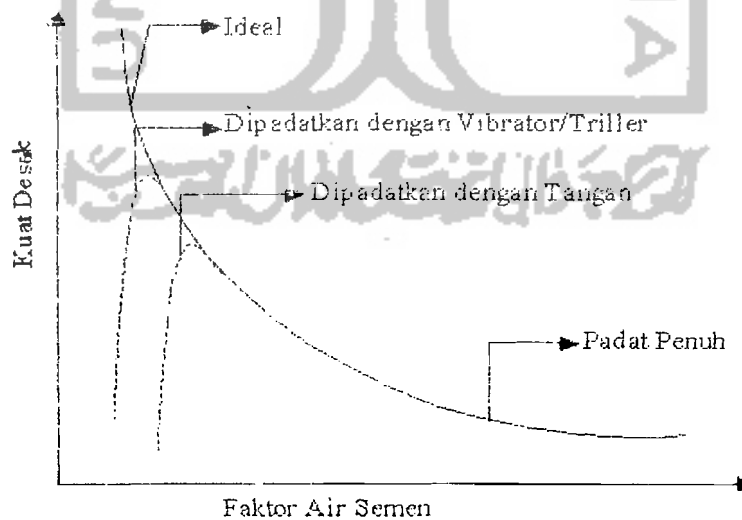
Dimana :

$f'c$ = Kuat desak beton,

x = Faktor air semen, dan

A, B = Konstanta

Dengan demikian semakin besar *fas* maka semakin rendah kuat desak betomnya dan sebaliknya semakin kecil air semen semakin tinggi kuat desak betomnya, 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 3.2



Gambar 3.2 Hubungan antar kuat desak beton dengan nilai *fas*
(Tjokrodimulyo, 1992)

3.3 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecekan suatu adukan beton. Tingkat kelecekan 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 3.6.

Tabel 3.6 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 (<i>pavement</i>)	5	7,5
Beton massa (struktur massa yang berat)	2,5	7,5

3.4 Metode Perencanaan Adukan Beton

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai standar America Concrete Institute (ACI). Salah satu tujuan yang hendak dipakai dengan perencanaan campuran dengan standar 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 standar ACI adalah sebagai berikut ini.

1. Perhitungan kuat desak beton.

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

$$f'_{cr} = f'_c + k \cdot S \quad (3.2)$$

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 faktor $k = 1,64$ (lihat Tabel 3.7).

S = deviasi standar berdasarkan Tabel 3.8 dengan angka konversi untuk sampel kurang dari 30 sampel (lihat Tabel 3.9).

Tabel 3.7 Nilai tetapan statistik untuk beberapa keadaan (Tjokrodimulyo, 1992)

No.	Keadaan	Nilai k
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 3.8 Nilai Deviasi standart, S (kg/cm²) (Tjokrodimulyo, 1992)

Vol. Pekerjaan (m ²)	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 3.9 Faktor pengali untuk data uji kurang dari 30 sampel (Tjokrodimulyo, 1992)

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

2. Menentukan faktor air semen (*fas*)

Faktor air semen ditentukan dari nilai terendah antara pengaruh kuat desak rata-rata (lihat Tabel 3.10) dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan (lihat Tabel 3.11)

Tabel 3.10 Hubungan FAS dengan kuat kubus beton umur 28 hari
(Tjokrodimulyo, 1992)

Faktor air semen (FAS)	Perkiraan Kuat desak (MPa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3.11 FAS berdasarkan pengaruh tempat elemen (Tjokrodimulyo, 1992)

Kondisi Elemen	Nilai FAS
Beton dalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan Keliling Korosif, disebabkan oleh kondensasi atau rap 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 3.12.

Tabel 3.12 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
Pengerasaan jalan	7.5	5.0
Pembetonan massal	7.5	2.5

4. Menetapkan jumlah air yang dibutuhkan

Jumlah kebutuhan air dalam setiap 1 m³ campuran adukan beton dapat ditentukan berdasarkan diameter maksimum agregat dan nilai slump (lihat Tabel 3.13).

Tabel 3.13 Tabel perkiraan kebutuhan air berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (Tjokrodimulyo, 1992)

Slump	Ukuran Maksimum Agregat (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 ke-dua (didapat nilai *fas*) dan ke-empat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan nilai

$$fas = \frac{w_{air}}{w_{semen}} \quad (3.3)$$

Dengan:

fas = Faktor air semen

w_{air} = Berat air

w_{semen} = Berat semen

6. Menetapkan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar didasarkan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 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 yang dibutuhkan

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

3.5 Kuat Tekan Beton Ringan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain oleh perbandingan air - semen dan tingkat pematatannya.

Faktor-faktor tersebut antara lain :

- a. jenis semen dan kualitasnya,
- b. jenis dan lekak - lekuk bidang permukaannya,
- c. faktor umur, dan
- d. mutu agregat.