

BAB III

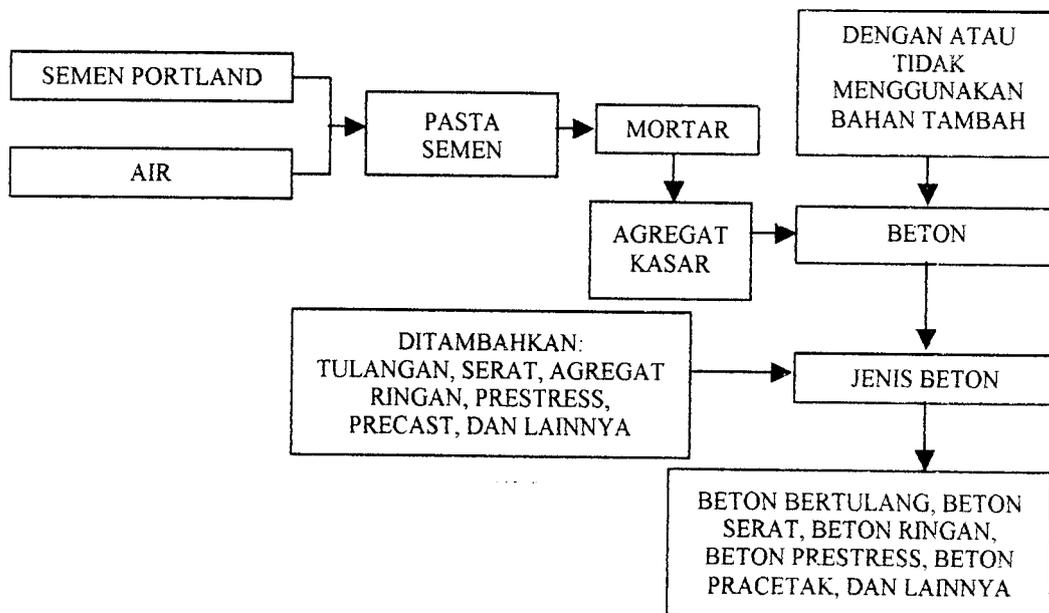
LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Beton kinerja tinggi adalah campuran beton yang dapat menghasilkan kriteria dasar campuran, yaitu kuat tekan, durabilitas, permeabilitas dan workabilitas sehingga perlu adanya prinsip bagaimana menggunakan bahan tambah seperti *superplasticizer*, *silica fume*, *rice husk ash*, atau *fly ash*. Untuk mencapai beton yang bermutu tinggi, campuran tersebut harus diambil optimal, karena kelebihan bahan tambah akan mengakibatkan sifat negatif bagi campuran.

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Banyak parameter yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, di antaranya adalah kualitas bahan-bahan penyusunnya, rasio air-semen (fas) yang rendah dan kepadatan yang tinggi. Beton segar yang dihasilkan dengan memperhatikan parameter tersebut biasanya sangat kaku, sehingga sulit untuk dibentuk atau dikerjakan terutama pada pengerjaan pemadatan. Dengan semakin banyaknya pabrikan yang menghasilkan bahan *admixture* sebagai bahan pengencer dari beton yang berefek mencairkan beton tanpa menambah campuran air dalam beton, maka hal ini tidak menjadi masalah (M.S. Besari, 2003).

Pada prinsipnya campuran beton kinerja tinggi terdiri dari air, batu pecah, pasir, semen, *chemical admixture*, dan *mineral admixture*. Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton. Penambahan material lain akan membedakan jenis beton, misalnya yang ditambahkan adalah tulangan baja akan terbentuk beton bertulang (Mulyono, 2004). Proses terbentuknya beton dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Proses terjadinya beton
(Mulyono, 2004)

3.2 Material Penyusun Beton

3.2.1 Semen

Semen adalah bahan anorganik yang mengeras pada pencampuran dengan air atau larutan garam (Pengetahuan Bahan Teknik, 1992). Menurut Standard Industri (SII-0013-1997), semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah gypsum.

Menurut SNI 15-2049-1994 (1994), semen portland dikelompokkan dalam 5 jenis sebagai berikut.

1. Jenis I : Digunakan untuk penggunaan umum dan tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lain.
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan kekuatan awal tinggi.
4. Jenis IV: Semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Semen portland terutama terdiri dari oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Kandungan dari keempat oksida kurang lebih 95 % dari berat semen dan biasanya disebut *major oxide*, sedangkan sisanya terdiri dari oksida magnesium (MgO) dan oksida lain. Unsur-

unsur pokok yang terdapat dalam semen portland dapat dilihat dalam tabel 3.1 (Nevilla, 1975).

Tabel 3.1 Susunan unsur dalam semen (Nevilla, 1975)

Oksida	Persentase
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

Walaupun demikian, pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting. Keempat unsur itu adalah : (Murdock dan Brook, 1986)

a. Trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama.

b. Dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap perogres peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai 28 hari dan seterusnya. Semen yang mempunyai proporsi dikalsium silikat banyak mempunyai ketahanan terhadap agresi-kimia yang relatif tinggi, penyusutan kering yang relatif rendah, oleh karenanya, merupakan semen portland yang paling awet.

c. Trikalsium alúminat (C_3A) atau $3CaO \cdot Al_2O_3$

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas menyebabkan pengerasan awal, tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanannya terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air-tanah, dan tendensinya sangat besar untuk retak-retak oleh perubahan volume.

d. Tetrakalsium aluminoferrit (C_4AF) atau $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

Adanya senyawa alumino ferrite kurang penting karena tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lainnya.

Contoh komposisi kimia semen portland jenis I hasil uji Ilham, dkk (2003) dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi kimia semen portland jenis I
(Ilham dkk, 2003)

Unsur Kimia	Persen
Silicon dioxide (SiO_2)	19.97
Aluminium oxide (Al_2O_3)	5.39
Ferric oxide (Fe_2O_3)	3.52
Calcium oxide (CaO)	66.14
Magnesium oxide (MgO)	0.45
Sulphur trioxide (SO_3)	-
Potassium oxide (K_2O)	0.52
Phosporus oxide (P_2O_5)	0.07
Sodium oxide (Na_2O)	0.09
Titanium oxide (TiO_2)	0.26
Mangan oxide (MnO)	0.01
Carbon (C)	0.71
Loss of ignition (LOI)	3.75

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengikatan semen adalah.
(Kardiyono, 1992)

1. Kehalusan semen, semakin halus butiran semen akan makin cepat waktu pengikatannya.
2. Jumlah air, pengikatan semen akan semakin cepat bila jumlah air berkurang.
3. Temperatur, waktu pengikatan akan semakin cepat bila suhu udara di sekelilingnya tinggi.
4. Penambahan zat kimia tertentu.

3.2.2 Air

Air merupakan komponen bahan dasar pembuat beton yang penting. Di dalam campuran beton, air mempunyai 2 fungsi. Yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar mudah dikerjakan dan dipadatkan (Murdock dan Brook, 1991).

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 20 - 30 % berat semen. Tetapi dengan faktor air semen yang kecil, adukan beton menjadi sulit dikerjakan. Maka diberikan kelebihan jumlah air yang dipakai sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan turun (Kardiyono, 1992).

Air yang memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai campuran beton adalah air minum, tetapi tidak berarti harus memenuhi persyaratan air minum. Secara umum air yang dipakai untuk mencampur beton ialah air yang bila dipakai

akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % dari kekuatan beton air suling. Kekuatan beton akan turun apabila air pencampur mortar beton tercampur dengan kotoran. Dalam pemakaiannya air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut (Kardiyono, 1992).

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
2. Tidak mengandung klorida (Cl_2) lebih dari 0,5 gram/liter.
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut faktor air semen (*Water Cement Ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mempengaruhi kekuatan beton. (Mulyono, 2003)

3.2.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai pengisi, namun agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. (Kardiyono, 1992)

Besar butiran agregat selalu dibatasi agar tidak terlalu besar, sampai besar butir maksimum, antara lain : (ACI 318, 1989 : 2-1)

1. $1/5$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan,
2. $1/3$ ketebalan pelat lantai, dan
3. $3/4$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat bundel tulangan, atau tendon-tendon pratekan atau selongsong-selongsong.

Gradasi agregat adalah distribusi kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. (Astanto, 2001)

Menurut peraturan SK SNI-T-15-1990-03, kekasaran pasir dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Batas-batasnya tercantum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3.3 Gradasi Pasir (Astanto, 2001; 23)

Lubang Aayakan (mm)	Persen butiran 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	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
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 III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

Umumnya agregat yang digunakan untuk campuran beton terdiri dari 60 % - 75 % dari volume totalnya (Subakti,1995). Agregat yang digunakan dalam *mix design* penelitian ini adalah terdiri dari batu pecah (*crushed stone*) dan pasir. Pada batu pecah terdiri dari partikel yang bersudut dengan tekstur permukaan yang kasar sehingga menyebabkan workabilitas lebih rendah tetapi *strength* yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan *mix* yang sejenis tetapi dengan kerikil (*uncrushed stone*).

Secara umum agregat yang baik untuk pembuatan beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (PBBI, 1971).

1. Harus bersifat kekal.
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % untuk agregat halus dan 1 % untuk agregat kasar.
3. Tidak mengandung bahan-bahan organik dan zat-zat yang reaktif alkali.
4. Harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.

3.2.4 Bahan tambah

a. Abu Sekam Padi (*Husk Rice Ask*)

Menurut ASTM C.125-1995, *Admixture* atau bahan tambah didefinisikan sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton, misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan alain seperti penghematan energi. (Mulyono, 2003)

Menurut ASTM C 618-86, mutu pozzolan dibedakan menjadi 3 kelas, di mana 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 reaktivitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas masing-masing pozzolan ini adalah sebagai berikut, (Murdock dan Brook, 1991) :

a. Pozzolan kelas N

Yaitu pozzolan alam atau hasil pembakaran. Pozzolan yang dapat digolongkan dalam kelas ini seperti tanah diatomik, *apoline cherts* dan *shales, tuff*, serta abu vulkanik, di mana bisa diproses melalui pembakaran yang memiliki sifat pozzolan yang baik.

b. Pozzolan kelas C

yaitu jenis *fly ash* yang mengandung CaO di atas 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 fisika dan kimia pozzolan yang distandarkan ditunjukkan lebih jelas pada tabel 3.4 dan tabel 3.5

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

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

Tabel 3.5 Sifat kimia standar pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)

Sifat kimia bahan	N	C	F
SiO ₃ + 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
<i>Loss ignition</i> (% maksimum)	10	6	12

Menurut proses pembentukan atau asalnya di dalam ASTM 593-82, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut.

1. Pozzolan alam

Adalah bahan alam yang merupakan sedimen 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.

Jika sekam padi dibakar dalam kondisi terkontrol, maka abu sekam yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran memiliki sifat pozzolonik yang tinggi karena kandungan silikanya. Kandungan silika abu sekam padi lebih tinggi daripada *blast furnace slag* maupun abu terbang, dan hampir sama dengan *silica fume* (Sugita dkk, 1992). Abu sekam padi termasuk pozzolan buatan kelas N karena diperoleh melalui proses pembakaran. Pembakaran abu sekam padi membantu

menghilangkan kandungan kimia organik dan meninggalkan silika yang cukup banyak.

Karena keterbatasan alat maka pada penelitian ini abu sekam padi yang digunakan merupakan hasil pembakaran yang tidak terkontrol namun dipilih abu sekam padi yang tidak mengandung banyak karbon (C), ditandai dengan abu sekam padi berwarna abu-abu bersih tidak kehitam-hitaman. Abu sekam padi kemudian dihaluskan sampai lolos saringan 200 (75 μm).

Unsur kimia pokok abu sekam padi yang menguntungkan adalah silika, sebab pada kondisi yang sesuai dapat bereaksi dengan kapur bebas membentuk gel yang bersifat sebagai bahan perekat. Selain itu, pertimbangan lain dari penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pozzolan di negara berkembang sebagai negara penghasil beras adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan dan proses-proses produksinya relatif murah dibandingkan pembuatan semen portland (Swamy, 1986, dikutip dari Cook, 1980). Contoh komposisi kimia abu sekam padi hasil uji Ilham, dkk (2003) dapat dilihat pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Komposisi kimia abu sekam padi
(Ilham dkk, 2003)

Unsur Kimia	Persen
Silicon dioxide (SiO_2)	86,49
Aluminium oxide (Al_2O_3)	0,01
Ferric oxide (Fe_2O_3)	0,91
Calcium oxide (CaO)	0,50
Magnesium oxide (MgO)	0,13
Sulphur trioxide (SO_3)	-
Potassium oxide (K_2O)	2,70
Phosphorus oxide (P_2O_5)	0,69

Sodium oxide (Na ₂ O)	0,05
Titanium oxide (TiO ₂)	0,00
Mangan oxide (MnO)	0,07
Carbon (C)	3,21
Loss of ignition (LOI)	8,83

b. *Superplasticizer*

Salah satu jenis bahan tambah kimia yang dikenal dengan *superplasticizer* sebenarnya tidak berpengaruh langsung pada kekuatan beton. *Superplasticizer* berfungsi untuk meningkatkan *workability* terutama pada penggunaan fas yang rendah. Dengan fas yang semakin kecil dan pemadatan yang sempurna akan menaikkan kekuatan tekan beton. Dengan adanya bahan tambah *superplasticizer* maka beton dengan fas rendah akan mudah dikerjakan sehingga pemadatan dapat dilaksanakan dengan mudah (Nilson dan Winter, 1991).

Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton akan menyebabkan menurunnya kebutuhan air sampai 30 % tanpa menurunkan workabilitas sehingga kekuatan beton bertambah (Subakti, 1995).

Peranan *superplasticizer* pada beton selain sebagai *plasticizer* juga untuk mengurangi penyusutan beton, meningkatkan *surface finishing*, mengurangi permeabilitas, dan kemungkinan untuk tujuan tertentu yang secara ekonomis dapat dipertanggungjawabkan (Ramachandra, 1984, dikutip dari penelitian Subakti).

Kemampuan *superplasticizer* untuk menaikkan *slump* beton tergantung pada dosis, waktu penambahan, faktor air semen, jumlah dan sifat dasar semen, temperatur udara, jumlah dan sifat dasar agregat (Subakti,1995).

Keuntungan pemakaian *superplasticizer* dalam campuran beton sebagai berikut ini (Subakti,1995).

1. Pada pembuatan beton kinerja tinggi umumnya menggunakan fas rendah yang berakibat *workability* dari campuran beton rendah. Dengan penambahan *superplasticizer* pada campuran beton maka dapat meningkatkan *workability* campuran beton tersebut.
2. Dibandingkan dengan campuran beton yang mempunyai fas normal, penambahan *superplasticizer* mempunyai sifat-sifat yang lebih baik.
3. Memperlambat proses hidrasi semen dengan jalan menghambat hidrasi silikat dan hidrasi aluminat sehingga memperlambat *setting time*.

Akan tetapi penggunaan *superplasticizer* yang terlalu banyak dapat mengganggu pengikatan campuran beton sehingga proses hidrasi semen tidak terjadi dengan baik atau tidak sempurna.

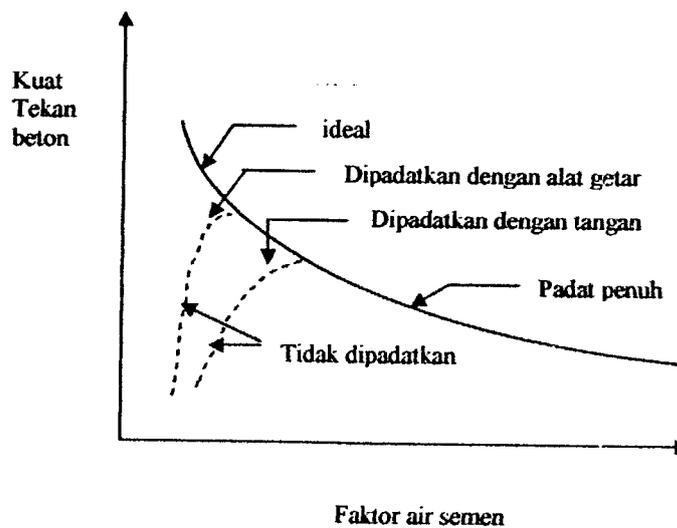
3.3 Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Hubungan faktor air semen (fas) dan kuat desak beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams pada tahun 1919 sebagai berikut (Kardiyono, 1992).

$$f' c = \frac{A}{B^{1.5x}} \quad (3.1)$$

Dimana : $f'c$ = kuat desak beton
 x = faktor air semen
 A,B = konstanta

Dari rumus di atas tampak bahwa semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula (lihat Gambar 3.2). Hal ini terjadi jika faktor air semen terlalu rendah sehingga adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian, ada suatu nilai faktor air semen tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton yang maksimum.



Gambar 3.2 Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan beton
 (Kardiyono, 1992)

3.4 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin besar nilai *slump* berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan (Kardiyono, 1992). Nilai *slump* untuk berbagai macam struktur dapat dilihat pada tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Nilai *slump* berdasarkan penggunaan jenis elemen atau struktur (Kardiyono, 1992)

Pemakaian jenis Elemen/Struktur	Maks (cm)	Min (cm)
▪ Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
▪ Pondasi telapak tidak bertulang dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
▪ Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
▪ Perkerasan jalan	7,5	5,0
▪ Pembetonan massal	7,5	2,5

Pengujian *slump* dirancang di Amerika dan dipakai secara luas sebagai alat pemeriksa konsistensi beton di lapangan. Pengujian *slump* menggunakan alat berupa corong dengan tinggi 300 mm, diameter dasar 200 mm dan diameter atas 100 mm. Nilai *slump* lebih ditentukan oleh jumlah air dalam adukan, sehingga variasi hanya terjadi pada jumlah semen dan agregat saja. Bila nilai *slump* sama akan tetapi nilai *fas* berubah maka beton akan mempunyai kekuatan lebih tinggi. (Kardiyono, 1995)

3.5 *Workability*

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran tingkat kemudahan adukan beton untuk dikerjakan, termasuk diaduk, dituang, dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan penyusun beton dan sifat-sifat bahan penyusun beton, secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adukan beton.

Adukan dengan tingkat kelecakan yang tinggi memiliki resiko yang besar terhadap *bleeding*. Hal ini akan terjadi karena bahan-bahan padat adukan beton mengendap dan bahan-bahan susun kurang mampu mengikat air.

Resiko *bleeding* dapat dikurangi dengan langkah-langkah sebagai berikut (Kardiyono,1992).

1. Air campuran yang dipakai sebanyak yang diperlukan sesuai dengan hitungan *mix design*.
2. Pasir yang dipakai memiliki bentuk yang seragam dan memiliki kadar butiran yang halus.
3. Gradasi agregat yang dipakai sesuai dengan persyaratan yang ditentukan menurut metode yang digunakan.