

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi ditunjukkan untuk pengembangan penelitian yang sudah ada dan diharapkan nantinya dapat memberikan hasil penelitian yang baru dan lebih baik dari sebelumnya.

Beton mutu tinggi merupakan sebuah tipe beton performa tinggi yang secara umum memiliki kuat tekan 50 Mpa atau lebih. Ukuran kuat tekannya diperoleh dari silinder beton 150 mm – 300 mm atau silinder 100 mm – 200 mm pada umur 56 ataupun 90 hari, ataupun umur yang telah ditentukan tergantung pada aplikasi yang diinginkan. Produksi *high strength concrete* membutuhkan penelitian dan perhatian yang lebih jauh kualitasnya daripada beton konvensional.

Untuk membuat beton bermutu tinggi maka diperlukan adanya penggunaan admixture dan aditif mineral. Salah satu admixture yang digunakan adalah *superplastisizer* dan untuk aditif mineralnya adalah mikrosilika (*silicafume*).

Penambahan admixture *superplasticizer* berpengaruh pada FAS yang digunakan, apabila FAS yang digunakan terlalu besar maka akan menyebabkan porositasnya semakin besar, begitupun sebaliknya. Sedangkan penambahan aditif *silicafume* berfungsi untuk mengurangi porositas yang diakibatkan oleh adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relative besar, sehingga kerapatan tidak dapat maksimal.

2.2 Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari medium campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. (Tjokrodimulyo, 1992).

Agar dihasilkan kuat desak beton yang sesuai dengan rencana diperlukan *mix design* untuk menentukan jumlah masing-masing bahan susun yang dibutuhkan. Disamping itu, adukan beton harus diusahakan dalam kondisi benar-benar homogen dengan kelecakan tertentu agar tidak terjadi segregasi. Selain perbandingan bahan susunnya, kekuatan beton ditentukan oleh padat tidaknya campuran bahan penyusun beton tersebut. Semakin kecil rongga yang dihasilkan dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat desak beton yang dihasilkan. Syarat terpenting dari pembuatan beton adalah :

1. Beton segar harus dapat dikerjakan atau dituang.
2. Beton yang dikerjakan harus cukup kuat untuk menahan beban dari yang telah direncanakan.
3. Beton tersebut harus dapat dibuat secara ekonomis.

Semen dan air dalam adukan beton membuat pasta yang disebut pasta semen. Adapun pasta semen ini selain untuk mengisi pori-pori antara butiran agregat halus dan agregat kasar juga mempunyai fungsi sebagai pengikat sehingga terbentuk suatu massa yang kompak dan kuat. Ruang yang tidak dapat ditempati oleh butiran semen, merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan yang disebut kapiler. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton sudah mengeras, sehingga beton akan mempunyai sifat tembus air yang besar, akibatnya kekuatan beton berkurang.

Rongga ini dapat dikurangi dengan bahan tambah meskipun penambahn ini akan menambah biaya pelaksanaan. Bahan tambah ini merupakan bahan tambah khusus yang ditambah dalam campuran beton sebagai pengisi dan pada umumnya berupa bahan kimia organik dan bubuk mineral aktif.

2.3. Material Penyusun Beton

2.3.1. Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranana penting dalam

reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton yang dihasilkan.

Semen yang biasa digunakan adalah semen Portland. Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM C-150, 1985). Berikut merupakan table komposisi semen Portland (Nawy, 1985:11).

Tabel 2.1 *Persentasi Komposisi Semen Portland*

	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik Umum
	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relative sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar.
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari.
Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Di pakai pada bendungan beton
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran dan struktur yang bdiekspose terhadap sulfat.

- Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan syarat khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- Tipe II, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Tipe III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.

- Tipe IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Menurut SII 0013-1981 dan Ulasan PB 1989, semen Tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen Tipe II yang memiliki kadar C_3A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa. Semen Tipe III, memiliki kadar C_3A dan C_3S yang tinggi dan butirnya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini digunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*). Semen Tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C_3S -nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C_3A -nya maksimum 5%. Semen tipe ini biasanya digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, umpamanya untuk bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya. Semen Tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industry, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi.

2.3.2 Agregat

Penjelasan didalam SNI-15-1991-03, agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil dan batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan satu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Dalam struktur beton biasanya agregat biasa menempati kurang lebih 70 % – 75 % dari volume beton yang telah mengeras.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1 Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4,8 mm. Pasir alam dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) macam (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**), yaitu:

a. Pasir galian

Pasir ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali. Bentuk pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam walaupun biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci terlebih dahulu.

b. Pasir sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekatan antar butiran agak kurang karena bentuk butiran yang bulat.

c. Pasir laut

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek karena mengandung banyak garam. Garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila dipakai pada bangunan. Selain dari garam ini mengakibatkan korosi terhadap struktur beton, oleh karena itu pasir laut sebaiknya tidak dipakai.

Berdasarkan SK. SNI T-15-1990-03 agregat halus dikelompokkan dalam empat zona (daerah) seperti dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat Gradasi Agregat Halus/Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
9,6	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
1,15	0 – 10	0 - 10	0 – 10	0 - 15

(Sumber : SKSNI T-15-1990-03)

2. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. ketentuan mengenai agregat kasar antara lain :

- Harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
- Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang relative alkali.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan bahwa agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat di antara batang-batang baja tulangan. Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**), yaitu:

a. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gr/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2,3 gr/cm³.

b. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 gr/cm³, misalnya magnetik (FeO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi sampai 5 gr/cm³. Penggunaannya dipakai sebagai pelindung dari radiasi.

c. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 gr/cm³ yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga strukturnya ringan dan pondasinya lebih ringan.

Tabel 2.3 Syarat Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	% Kumulatif Lolos Ukuran Butir Nominal Saringan (mm)			
	37,5-4,75	25-4,74	19-4,75	12-4,75
37,5	95 – 100	100	-	-
25	-	95 – 100	100	-
19	35 – 70	-	90 - 100	100
12,5	-	25 – 60	-	90 - 100
9,5	30 – 6	-	20 - 55	40 – 70
4,75	0 – 5	0 – 10	0 - 10	0 - 15
2,36	-	0 - 5	0 - 5	0– 5

(Sumber : ASTM C – 136 - 50)

2.3.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter karena dapat menurunkan mutu beton sehingga kan rapuh dan lemah.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, melainkan perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut dengan factor air semen (*water cement ratio*).

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pratekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI 318-89 : 2-2).

Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton keras umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, semen dan bahan tambah tidak boleh melampaui nilai batas yang diberikan pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 *Batas Maksimum Ion Klorida*

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pratekan	0,06
Beton bertulang yang terus berhubungan dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

(Sumber : Tri Mulyono, 2004)

2.3.4 Bahan tambah

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambah seharusnya hanya berguna kalau sudah ada evaluasi yang teliti tentang pengaruhnya pada beton, khususnya dalam kondisi dimana beton diharapkan akan digunakan. Bahan tambah ini biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan pengawasan yang ketat harus diberikan agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton. Sifat-sifat beton yang diperbaiki itu antara lain kecepatan hidrasi (waktu pengikatan), kemudahan pengerjaan, dan kedekatan terhadap air.

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan tambah aditif yaitu yang bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan (Tri Mulyono, 2004).

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah aditif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya. Menurut SNI 03-2495-1991 ada beberapa pengertian tipe jenis bahan tambah yaitu :

- a) Bahan tambahan tipe A adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan;
- b) Bahan tambahan tipe B adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton;

- c) Bahan tambahan tipe C adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton;
- d) Bahan tambahan tipe D adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton;
- e) Bahan tambahan tipe E adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan dan juga untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton.
- f) Bahan tambahan tipe F adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan;
- g) Bahan tambahan tipe G adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton;

2.3.5 Admixture Superplasticizer

Superplasticizer atau *high range water reducer* dalam hal ini mutlak diperlukan karena kondisi FAS yang umumnya sangat rendah pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai slump yang optimal pada beton segar (*workable*), sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik.

Bahan jenis *superplasticizer* ini termasuk dalam bahan kimia tambahan yang baru dan disebut sebagai “bahan tambahan kimia pengurang air”. Tiga jenis plastisizer yang dikenal adalah :

1. Kondensi *sulfonat melamin formadehid* dengan kandungan klorida sebesar 0,005%,

2. *Sulfonat naphthalin formadehid* dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan,
3. *Modifikasi lignosulfonat* tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan tersebut dibuat dari sulfonat organik dan disebut *superplasticizer*, karena dapat mengurangi pemakaian air pada campuran beton dan meningkatkan slump beton sampai 8 inch (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain:

- a. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi.
- b. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
- c. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
- d. Tidak ada udara yang masuk. Penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan pengurangan *strength* rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga "air content" didalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkolesi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan 21 menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer* mempunyai dua fungsi yaitu, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *Superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Hal

ini menunjukkan bahwa penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan superplasticizer.

2.3.6 Aditif Mikrosilika (*Silicafume*)

Mikrosilika (*silicafume*) merupakan aditif yang sangat baik untuk digunakan dalam pembakaran dari proses pembuatan silicon metal atau silicon alloy dalam tungku pembakaran listrik. Mikrosilika ini juga bersifat pozzolan (bahan yang mempunyai kandungan utam senyawa silica/slika dioksida dan alumina), dengan kadar kandungan senyawa silica-dioksida (Si O_2) yang sangat tinggi (>90%), dan ukuran butiran partikel yang halus, yaitu sekitar 1/100 ukuran rata-rata partikel semen. Dengan demikian penggunaan mikrosilika pada umumnya akan memberikan sumbangan yang lebih efektif pada kinerja beton, terutama untuk beton bermutu sangat tinggi. Berikut adalah table komposisi kimia dan fisika dari *sillicafume* :

Tabel 2.5 *Komposisi Kimia dan Fisika Sillicafume*

Kimia	Berat dalam persen
SiO ₂	92 – 94
Karbon	3 - 5
Fe ₂ O ₃	0,10 - 0,50
CaO	0,10 – 0,15
Al ₂ O ₃	0,20 – 0,30
MgO	0,10 – 0,20
MnO	0,008
K ₂ O	0,10
Na ₂ O	0,10
Fisika	Berat dalam persen
Berat Jenis	2,02
Rata-rat ukuran partikel μm ,	0,1
Lolos ayakan No.325 dalam %,	99,00
Keasaman pH (10% air dalam slurry)	7,3

2.4 Dasar Teori

2.4.1 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (**Tri Mulyono**, 2004).

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

- a. Permukaan dan bentuk agregat.
- b. Gradasi agregat.
- c. Ukuran maksimum agregat.

Tabel 2.6 Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dan Kubus

Kuat Tekan Silinder (Mpa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kuat Tekan Kubus (Mpa)	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	45	50	55

(Sumber : ISO Standard 3893-1977)

2.4.2 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai factor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab

itu ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai factor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (**Tri Mulyono**, 2004). Fungsi FAS, yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*) Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi.

Hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus Duff Abrams (1919) sebagai berikut:

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5 \cdot X}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat desak beton

X = faktor air semen

A,B = konstanta

Dengan demikian semakin besar faktor air semen semakin rendah kuat desak betonnya, walaupun apabila dilihat dari rumus tersebut tampak bahwa semakin kecil faktor air semen semakin tinggi kuat desak beton, tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan pemadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat. Dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan beton yang mempunyai FAS minimal dan cukup untuk memberikan *workability* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang baik.

2.4.3 Workability

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami bleeding (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Workability akan lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat-sifat berikut:

- a. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
- b. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (koheren), dan tidak mengalami pemisahan butiran (segregasi dan bleeding).
- c. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.
- d. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain:

- a. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
- b. Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai *fas* tetap.
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
- f. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (**Tjokrodimuljo**, 1996).

2.4.4 Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecikan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.7 Tabel Pengerjaan Beton

Pemakaian Beton (Berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Pondasi tapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

(Sumber : Trokrodimuljo, 2007)

