

**TUGAS AKHIR**

**PENELITIAN LABORATORIUM**  
**PEMBUATAN BETON MUTU TINGGI DENGAN**  
**VARIASI BAHAN TAMBAH FLY ASH, SILICA**  
**FUME DAN SUPERPLASTICIZER**



Disusun Oleh :

**AJI ANNA AGUSTIANY**

No. Mhs. : 93 310 034

NIRM : 930051013114120034

**NANIK SRI BEKTI**

No. Mhs. : 93 310 036

NIRM : 930051013114120036

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**1998**

TUGAS AKHIR

**PENELITIAN LABORATORIUM  
PEMBUATAN BETON MUTU TINGGI DENGAN VARIASI  
BAHAN TAMBAH FLY ASH, SILICA FUME DAN  
SUPERPLASTICIZER**

*Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh  
derajat Sarjana Teknik Sipil*

*Disusun oleh :*

Aji Anna Agustiany  
No. Mhs. : 93 310 034  
NIRM : 930051013114120034

Nanik Sri Bekti  
No. Mhs. : 93 310 036  
NIRM : 930051013 114 120036

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
1998**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENELITIAN LABORATORIUM  
PEMBUATAN BETON MUTU TINGGI DENGAN VARIASI  
BAHAN TAMBAH FLY ASH, SILICA FUME DAN  
SUPERPLASTICIZER

*Disusun oleh:*

Aji Anna Agustiany  
No. Mhs. : 93 310 034  
NIRM : 930051013114120034

Nanik Sri Bekti  
No. Mhs. : 93 310 036  
NIRM : 930051013 114 120036

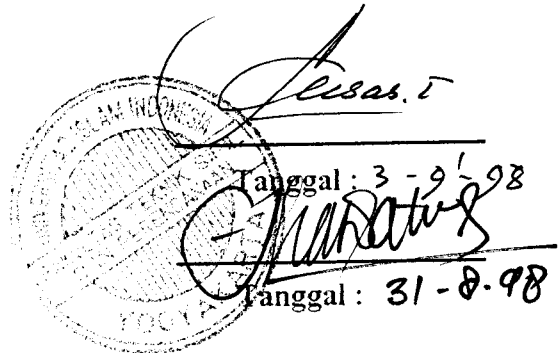
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Susastrawan, MS

Dosen Pembimbing I

Ir. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II

  
Tanggal : 3 - 9 - 98  
Tanggal : 31 - 8 - 98

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohim.

Assalamu'alaikum wr.wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun guna melengkapi syarat memperoleh jenjang keserjanaan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Permasalahan yang penulis angkat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah pembuatan beton mutu tinggi dengan variasi berbagai bahan tambah. Dalam segala keterbatasan, penulis berusaha menerapkan apa yang telah penulis terima untuk menyelesaikan permasalahan yang penulis hadapi.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, walaupun penulis telah berusaha untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Untuk itu penulis berharap agar penelitian ini berlanjut terus, sebab masih banyak hal-hal yang bisa digali lebih dalam dari Tugas Akhir ini.

Pada kesempatan ini pula penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. H. Tadjuddin, BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. H. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada FTSP, UII, Yogyakarta, beserta karyawannya.
6. Teman-teman B<sub>1</sub> yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir (Hera, Rita, Tina, Novi, Didik, Danis, Memed).
7. Mas Dian Sidharta dan Mas Bimo yang telah memberikan dukungan mental dan spiritual.
8. Semua pihak yang telah memberikan dorongan.

Semoga Allah SWT membalas amal baiknya dan akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi kita semua. Amien.

Billahittaufig walhidayah

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, Agustus 1998

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
ABSTRAKSI .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.6 Anggapan Dasar .....	5
1.7 Metode Penelitian .....	5
1.8 Sistematika Penulisan .....	7

<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1	Pengertian Beton .....	8
2.2	Material Penyusun Beton .....	11
2.2.1	Semen .....	11
2.2.2	Air .....	14
2.2.3	Agregat .....	16
2.2.4	Bahan tambah .....	18
1.	Fly ash .....	18
2.	Silica fume .....	20
3.	Superplasticizer .....	23
2.3	Workabilitas .....	26
2.3.1	Faktor-faktor yang mempengaruhi workabilitas .....	26
1.	Faktor air semen .....	26
2.	Pengaruh proporsi agregat .....	27
3.	Sifat-sifat agregat .....	27
4.	Waktu dan suhu .....	28
5.	Slump loss (kehilangan slump) .....	28
6.	Karakteristik semen .....	28
7.	Admixture .....	29
8.	Segregasi dan bleeding .....	29
2.3.2	Pengukuran workabilitas .....	29

2.4 Metode Perawatan Beton .....	30
2.5 Metode Pengujian Kuat Desak dan Kuat Tarik Balok Beton .....	31
<b>BAB III LANDASAN TEORI .....</b>	<b>34</b>
3.1 Konsep Dasar Desain Beton Mutu Tinggi .....	34
3.2 Modifikasi dari Metode Mix Design .....	36
3.2.1 Workabilitas dan kadar air .....	37
3.2.2 Peningkatan strength dan rasio W/C .....	38
3.2.3 Kadar semen .....	41
3.2.4 Tingkat variasi kekuatan beton .....	42
3.2.5 Kepadatan beton dan kandungan agregat .....	42
3.3 Mix Design Beton .....	47
3.3.1 Tujuan mix design beton .....	47
3.3.2 Metode mix design .....	47
<b>BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN .....</b>	<b>54</b>
4.1 Tinjauan Umum .....	54
4.2 Persiapan Bahan dan Alat .....	54
4.2.1 Bahan-bahan .....	55
4.2.2 Alat-alat .....	55
4.3 Perhitungan Campuran Beton .....	56
4.3.1 Mix design beton dengan fly ash .....	57
4.3.2 Mix design beton normal .....	62



4.3.3	Kebutuhan material per 0,064 m <sup>3</sup> beton untuk tiap-tiap mix	64
4.4	Pelaksanaan Penelitian .....	66
4.4.1	Pembuatan benda uji .....	66
4.4.2	Perawatan benda uji .....	67
4.5	Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton (Benda Uji) .....	68
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>70</b>
5.1	Hasil Penelitian .....	70
5.1.1	Tabel mix design .....	70
5.1.2	Penambahan superplasticizer pada tiap mix design .....	72
5.1.3	Tabel strength tiap variasi mix design .....	73
5.2	Pembahasan .....	75
5.2.1	Keadaan fisik beton .....	75
5.2.2	Workabilitas .....	75
5.2.3	Analisa kuat tekan beton .....	76
5.2.4	Analisa kuat tarik beton .....	79
5.2.5	Analisa harga tiap variasi mix design .....	80
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>86</b>
6.1	Kesimpulan .....	86
6.2	Saran .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>89</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>90</b>

## DAFTAR TABEL

No.	Nama Tabel	Hal
2.1	Susunan unsur semen biasa	13
2.2	Sifat fisik fly ash	19
2.3	Komposisi kimia fly ash	19
2.4	Sifat fisik silica fume	21
2.5	Komposisi kimia silica fume	21
3.1	Perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan dalam memberi variasi workabilitas	38
3.2	Reduksi kadar air akibat penambahan fly ash	38
3.3	Data aproksima <i>strength</i> PC/FA dengan rasio $W (C+0.3F) = 0,5$	40
3.4	Kompresif <i>strength</i> dari mix beton fas = 0,5	40
3.5	Nilai deviasi standar	50
4.1	Alat yang digunakan	55
4.2	Harga k untuk beberapa keadaan	57
5.1	<i>Mix design</i> beton dengan FA dan SF pada <i>cementitious ratio</i> 10 <sup>0</sup> o	71

5.2	<i>Mix design</i> beton normal	72
5.3	Jumlah penambahan superplasticizer pada tiap <i>mix design</i>	73
5.4	Data kuat tekan benda uji umur 3 hari	73
5.5	Data kuat tekan benda uji umur 14 hari	74
5.6	Data kuat tekan benda uji umur 28 hari	74
5.7	Data kuat tarik benda uji umur 28 hari berdasarkan kuat tekannya	74
5.8	Data kuat tarik benda uji umur 28 hari	75
5.9	Daftar harga dalam rupiah dari setiap campuran dalam kg	81
5.10	Rasio <i>price performance</i> dari tiap variasi campuran pada umur 14 hari	82
5.11	Rasio <i>price performance</i> dari tiap variasi campuran pada umur 28 hari	82

## DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Hal
3.1	Konfigurasi campuran beton	35
3.2	Hubungan antara <i>strength</i> kompresif dengan rasio W.C'	41
3.3	Estimasi kepadatan basah beton	43
3.4	Penentuan proporsi agregat halus	44
4.1	Hubungan antara faktor k dan bagian hasil pemeriksaan yang diperkirakan di bawah kekuatan desak minimum	57
5.1	Perkembangan kuat desak beton	84
5.2	Perkembangan kuat tarik beton	84
5.3	Perbandingan harga per m <sup>3</sup> tiap variasi pencampuran	85
5.4	Grafik hubungan antara harga/fe' pada umur 28 hari dengan jenis variasi campuran	85

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Nama Lampiran
-----	---------------

---

1. Hasil pemeriksaan pasir
2. Hasil pemeriksaan split
3. Hasil kuat desak silinder beton
4. Hasil kuat tarik silinder beton
5. Dokumentasi
6. Kartu peserta Tugas Akhir

## ABSTRAKSI

*Pada dasarnya ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam pembuatan beton mutu tinggi, yaitu mix design, material yang dipakai dan pengawasan saat pelaksanaan. Beton dengan bahan dasar semen, air dan agregat yang berkualitas baik, hasil rancang campuran yang tepat, pengerjaan yang teliti dan perawatan yang sempurna, teoritis akan menghasilkan beton dengan kekuatan tinggi. Bila ditingkatkan lagi dengan bahan tambah pada kadar optimum akan diperoleh kualitas hasil yang lebih tinggi lagi baik untuk kekuatan maupun workabilitasnya.*

*Penelitian ini dilakukan pada sample beton dengan campuran bahan tambah fly ash dan silica fume. Penggunaan fly ash dan silica fume pada beton mutu tinggi biasanya selalu bersamaan dengan penggunaan superplasticizer, sebab untuk menjaga supaya faktor air semen tetap dan juga untuk memperbaiki workability, karena campuran beton mutu tinggi selalu memakai faktor air semen yang rendah. Dari penelitian tersebut akan dapat diamati karakteristik beton mutu tinggi akibat penambahan fly ash dan silica fume yang nantinya hasil dari penelitian ini diharapkan akan bermanfaat dan dapat dipergunakan untuk pertimbangan dalam membuat campuran beton terutama pada pembuatan beton mutu tinggi dan beton khusus.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat desak beton yang optimum didapat pada campuran M10.3-FA50SF50 yaitu sebesar 577,3 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk kuat tarik yang optimum juga didapat pada campuran M10.3-FA50SF50 sebesar 42,67 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk perbandingan antara kekuatan tekan optimum dengan harga (price/performance ratio) pada umur 28 hari dipilih beton dengan variasi M10.3-FA70SF30 karena memiliki rasio price/performance terkecil.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada struktur bangunan bertingkat tinggi, beton mutu tinggi seringkali dipakai untuk bahan kolom dan *shear wall*. Disamping itu beton mutu tinggi sangat diperlukan dalam pembuatan beton *precast*, *prestress product* dan beberapa elemen struktur yang mengutamakan ketahanan terhadap faktor-faktor yang dapat membuat kerusakan beton.

Perkembangan teknologi menuntut adanya kualitas beton yang lebih baik, yaitu suatu bahan yang lebih kuat dan lebih awet. Dalam bidang struktur selalu diusahakan dan dikembangkan cara-cara untuk menghasilkan beton yang lebih kuat, lebih tahan terhadap lingkungan yang agresif, lebih kaku, lebih tahan terhadap erosi/abrasi dan sebagainya. Dengan bertambah kuat dan kakunya beton, dengan sendirinya akan didapatkan ukuran bentang yang lebih besar dan umur yang lebih panjang sehingga kemungkinan didapatkan efisiensi juga lebih besar.

Pengertian beton yang bermutu tinggi adalah beton yang mempunyai sifat mekanis, fisik dan kimia seperti yang diharapkan. Dengan kata lain beton mutu tinggi

adalah beton yang mempunyai kekuatan yang tinggi (*high strength concrete*), keawetan (*durability*), kedap air (*permeability*) dan mudah dikerjakan (*workability*) tanpa mengalami segregasi serta mempunyai nilai susut (*shrinkage*) yang dapat diterima.

Oleh karena tuntutan tersebut di atas maka perlu adanya konsep campuran beton yang bermutu. Dengan adanya perkembangan bahan tambah beton berupa *chemical admixture* seperti superplasticizer, *high range water reducer* (HRWR) dan *mineral admixture* seperti silica fume, fly ash atau slag, maka tuntutan *high performance concrete* tersebut dapat dipenuhi. Penggunaan fly ash sebagai bahan tambahan yang dicampurkan ke dalam adukan beton bertujuan untuk mengurangi jumlah kadar semen dalam campuran beton sehingga didapatkan beton kedap air dengan mutu yang tinggi. Pemakaian silica fume pada beton dapat menambah kekakuan karena *modulus elastisitas* ( $E_c$ ) akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan diameter silica fume yang sangat halus, sehingga mengakibatkan luas permukaan butiran akan semakin membesar. Dengan demikian dibutuhkan lebih banyak air dalam suatu *mix design* yang sama, padahal penambahan air pada fas tertentu dapat mengurangi *strength* yang telah direncanakan pada *mix design*. Oleh karena jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai nilai slump tertentu adalah konstan, maka dimanfaatkan pemakaian *additive* superplasticizer yang berfungsi untuk menjaga nilai slump dengan nilai tertentu. Sehingga dengan jumlah air yang sama dapat dihasilkan campuran beton dengan



workabilitas tertentu walaupun kadar air tersebut berkurang akibat penambahan silica fume.

### 1.2 Tujuan Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk menguji sejauh mana pengaruh penggunaan bahan tambah fly ash dan silica fume pada beton terhadap sifat-sifat mekanik beton mutu tinggi terutama kuat tekan dan kuat tariknya sehingga didapat kadar optimumnya.
2. Dipertimbangkan pula optimasi pencampuran dari segi biaya, sehingga didapat rasio antara *strength* dan biaya yang minimum.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai acuan pembuatan beton mutu tinggi dengan kondisi material yang ada di Yogyakarta.
2. Dapat dijadikan dasar estimasi harga beton jadi.
3. Dapat diketahui optimasi penggunaan bahan tambah dalam pembuatan beton mutu tinggi sehingga diperlukan efisiensi terhadap penggunaan volume bahan yang dipakai.
4. Dari penelitian akan didapat proporsi campuran beton mutu tinggi yang lebih sensitif terhadap perubahan sifat bahan campurannya.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan hanya sebatas uji kuat tekan dan uji kuat tarik berupa uji silinder dan tingkat workabilitas berupa uji slump.

2. Bahan penyusun beton dalam benda uji dianggap sudah tercampur baik dan homogen.
3. Pengaruh suhu, udara dan faktor lain diabaikan .
4. Tinjauan lebih dititikberatkan pada sifat fisik beton akibat adanya perbedaan komposisi campuran.
5. Tinjauan kimia yang dilakukan tidak terlalu banyak dijabarkan.
6. Pemilihan kualitas bahan terutama agregat merupakan bahan agregat normal di Yogyakarta.

### 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari beton mutu tinggi terhadap kombinasi penambahan fly ash dan silica fume mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. *Mix design* memakai Metode DOE 1988.
2. Mencari kadar optimum dari variasi pencampuran fly ash dan silica fume terhadap *strength* beton.
3. Analisa kuat tekan silinder beton uji pada umur 3, 14 dan 28 hari.
4. Analisa kuat tarik silinder beton uji pada umur 28 hari.
5. Analisa harga tiap variasi campuran dan hubungannya dengan kadar optimum dan *strength* yang dicapai.

## 1.6 Anggapan Dasar

1. Mudahnya pengerjaan adukan beton tergantung dari jumlah air bebas dan tidak tergantung dari kadar semen dan faktor air semen.
2. Kekuatan beton tergantung dari faktor air semen (fas) dan tidak tergantung dari banyaknya air dan kadar semen.

## 1.7 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan berupa serangkaian percobaan di laboratorium yang meliputi:

1. Desain campuran (*mix design*) beton, dengan menggunakan metode DOE (*Department of Environment*). Benda uji (beton) tersebut berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 48 buah dengan 4 variasi campuran dengan menggunakan bahan-bahan yang terdiri dari:
  - a. semen portland tipe I dari PT. Semen Gresik,
  - b. agregat kasar berupa batu pecah (*split*) yang lolos saringan 20 mm yang berasal dari Kali Progo,
  - c. agregat halus berupa pasir yang lolos saringan 4,8 mm yang berasal dari Kali Krasak,
  - d. air bersih dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia,
  - e. *mineral admixture* berupa fly ash dari PT. Wahana Puzzolanik dan silica fume tipe densified silica fume merk MBT-SF.

f. *chemical admixture* berupa superplasticizer tipe LN 201.

2. Pengujian slump, tes ini terdiri dari corong berbentuk kerucut terpancung yang diisi dengan adukan beton dalam 3 lapisan yang sama yang masing-masing dijorok sebanyak 25 kali dengan tongkat baja. Kemudian corong diangkat vertikal dan slump diukur dengan menentukan perbedaan tinggi antara corong dengan tinggi beton setelah corong diangkat.
3. Perawatan benda uji, dilakukan setelah cetakan dibuka dan benda uji direndam dalam suatu bak air.

Pencetakan dan perawatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4. Pengujian kuat tekan beton. Dari 48 buah benda uji yang dibuat, dilakukan uji tekan sebanyak 36 buah pada umur 3, 14 dan 28 hari dengan menggunakan mesin uji tekan beton. Setelah dilakukan uji tekan, maka dicatat kuat tekan yang terjadi, kemudian dibandingkan antara benda uji yang memal.ai bahan tambah dengan benda uji tanpa bahan tambah.
5. Pengujian kuat tarik beton sebanyak 12 buah pada umur 28 hari dengan menggunakan mesin uji tarik beton.

Pengujian kuat desak dan kuat tarik beton tersebut dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

## 1.8 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari enam bab yang sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

1. Bab pertama, mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, ruang lingkup penelitian, anggapan dasar, metode penelitian dan sistematika penulisan.
2. Bab kedua, membahas tentang tinjauan pustaka yang akan memberikan gambaran mengenai pengertian beton serta sifat dan jenis material penyusunnya, metode yang digunakan dalam desain campuran beton, metode perawatan serta metode pengujian kuat desak dan kuat tarik.
3. Bab ketiga, mengemukakan tentang konsep dasar desain beton mutu tinggi, rancangan campuran dengan metode DOE serta dasar-dasar teori yang digunakan dalam modifikasi *mix design*.
4. Bab keempat, akan mengulas tentang hitungan campuran beton, pelaksanaan penelitian di laboratorium yang mencakup persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji, perawatan serta pengujian kuat tekan dan kuat tarik.
5. Bab kelima, berisikan hasil-hasil penelitian dan pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan serta analisa harga tiap variasi campuran.
6. Bab keenam, mengenai kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk masa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1991). Menurut kekuatannya beton dapat diklasifikasikan menjadi tiga (Lorrain, 1991) yaitu:

1. beton mutu normal atau *Normal Strength Concrete* (NSC), yaitu beton yang mempunyai kekuatan 200-500 kg/cm<sup>2</sup>,
2. beton mutu tinggi atau *High Strength Concrete* (HSC), yaitu beton yang mempunyai kekuatan 500-800 kg/cm<sup>2</sup>,
3. beton mutu sangat tinggi atau *Very High Strength Concrete* (VHSC), yaitu beton dengan kekuatan lebih dari 800 kg/cm<sup>2</sup>.

Untuk mendapatkan mutu beton yang baik, maka harus dipilih unsur-unsur pembentuk beton seperti semen, agregat dan air yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku serta dalam tahap pelaksanaan pembuatan dan perawatannya harus mendapat perhatian yang baik pula.

Pada dasarnya beton terdiri dari dua bagian utama, yaitu pasta semen dan agregat. Pasta semen terdiri dari semen portland, air dan bahan campuran tambahan (*admixture*). Sedangkan agregat terdiri dari agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (pasir). Banyaknya pasta semen bervariasi antara 25% sampai dengan 40% dari volume total beton. Pasta semen akan berkelakuan sebagai pelumas pada campuran beton yang masih plastis dan berperilaku sebagai bahan pengikat saat campuran beton mengeras (Tumilar, 1993).

Menurut Neville, 1990 secara umum mutu beton sangat tergantung pada pemakaian:

- a. semen (mutu, komposisi dan kehalusan butiran),
- b. ukuran agregat (kekompakan gradasi butiran),
- c. mutu agregat (kekerasan, bentuk butiran),
- d. jenis bahan tambahan,
- e. perbandingan air dan semen,
- f. pemadatan yang dilakukan,
- g. perawatan (jenis, lama dan suhunya).

Penggunaan mutu beton dengan kekuatan tinggi  $\pm 500 \text{ kg/cm}^2$  telah dimulai sejak tahun 1949, penemu dari sistem *prestressed concrete*, Freyssinet dengan cara metode khusus dan pemadatan tertentu menghasilkan kekuatan 50 Mpa pada umur 3 hari dan berkekuatan 100 Mpa setelah umur 25 hari (Lorrain, 1991)

Kesimpulan dari Lacroix dan Jaugey, 1992 yang dikutip dari makalah seminar sehari yang berjudul Pandangan Terhadap Penelitian Beton Mutu Tinggi di Indonesia, menunjukkan bahwa jumlah maksimum semen pada campuran beton untuk memperoleh kekuatan maupun nilai yang optimum adalah  $400 \text{ kg/m}^3$  beton, dimungkinkan untuk mengganti 15% dari semen dengan filler (fly ash) tanpa perubahan kekuatan yang berarti.

Penelitian pada makalah yang berjudul Pandangan Terhadap Penelitian Beton Mutu Tinggi di Indonesia, Hanafiah dari ITB disebutkan bahwa dengan jumlah semen 560 kg sebagai dasar, fas 0.3, agregat kasar maksimum 25 mm, pasir Galunggung, 20% fly ash dan superplasticizer sebanyak 420 ml dihasilkan beton dengan kuat tekan  $800 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 28 hari.

Campuran beton yang baik harus memenuhi faktor seperti berikut ini.

1. Kekuatan (*strength*) tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.
2. Tahan lama (*durability*), yakni sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
3. Kemudahan pengerjaan (*workability*), sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton antara lain (Kardiyono, 1995) :



1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan. Makin banyak air yang dipakai makin mudah beton dikerjakan tetapi mengurangi kekuatannya.
2. Penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaannya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, sehingga adukan beton mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempengaruhi cara pengerjaan dan kekuatan beton.
5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh pada tingkat kemudahan pengerjaan.
6. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila dilakukan dengan alat penggetar maka diperlukan tingkat keenceran yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

## 2.2 Material Penyusun Beton

### 2.2.1 Semen

Semen portland untuk pertama kalinya diproduksi tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, yaitu dengan memanaskan suatu campuran *calcareous* seperti *limestone* atau *chalk*, material *argillaceous*, *silica* dan *aluminium* yang terdapat pada tanah liat atau *shale* sampai mencapai suatu suhu yang tinggi untuk menghasilkan gas asam karbon.

Setelah meleleh kemudian didinginkan dan ditambah sejumlah *gips*, maka akan dihasilkan semen portland.

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 biasa digunakan adalah gypsum. Dalam penelitian ini dipakai semen portland tipe I dari Semen Gresik. Jenis semen ini untuk keperluan beton mutu tinggi (*high strength concrete*) adalah memadai karena beton mutu tinggi dan beton mutu sangat tinggi (*very high strength concrete*) tidak memerlukan semen khusus dari salah satu produksi pabrik tertentu.

Keseluruhan semen yang dipakai adalah dari Semen Gresik yang mengacu pada Standar ASTM C-150-83a dengan alasan keseragaman karena diketahui walaupun bertipe sama tetapi dari pabrik yang berbeda kemungkinan kekuatan yang dicapai akan berbeda, hal tersebut dikarenakan banyak faktor, misalnya perbedaan kualitas bahan bakunya, proses pembuatannya, *uniformity*, kehalusan dan sebagainya (Subakti, 1994).

Semen terutama terdiri dari senyawa kapur, silika dan aluminat. Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil/batu pecah disebut beton. Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat dan untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat.

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang merupakan senyawa yang dominan, dan  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  serta senyawa lain yang prosentasenya kecil sekali, seperti yang tercantum pada Tabel 2.1. Keempat oksida utama di atas di dalam semen terbentuk berupa senyawa-senyawa  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_4\text{AF}$  dengan perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung dari komposisi bahan bakunya.

Tabel 2.1 Susunan unsur semen biasa

Sumber : Kardiyono, 1995

No.	OKSIDA	PERSEN
1.	Kapur ( $\text{CaO}$ )	60 - 65
2.	Silica ( $\text{SiO}_2$ )	17 - 25
3.	Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	3 - 8
4.	Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,5 - 6
5.	Magnesia ( $\text{MgO}$ )	0,5 - 4
6.	Sulfur ( $\text{SO}_3$ )	1 - 2
7.	Soda potash ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )	0,5 - 1

Waktu pengikatan adalah waktu yang dibutuhkan untuk perubahan bentuk semen dari cair menjadi bentuk padat yang keras. Pengikatan itu terutama disebabkan oleh hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  serta diikuti oleh kenaikan temperatur dalam pasta semen. Pengikatan awal ditandai dengan kenaikan temperatur yang cepat, sedangkan pengikatan akhir berhubungan dengan temperatur puncak.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengikatan semen adalah:

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 disekelilingnya tinggi.
4. penambahan zat kimia tertentu.

### 2.2.2 Air

Air merupakan komponen beton yang mempunyai pengaruh penting dalam menentukan kekuatan dan kemudahan pengerjaan beton. Oleh karena itu untuk mendapatkan beton yang mudah dilaksanakan dengan kekuatan yang memenuhi syarat, harus diperhatikan perbandingan antara jumlah air dan semennya. Selain jumlahnya, kualitas air juga harus diperhatikan karena kotoran yang ada di dalamnya akan mengganggu pengikatan semen dan dapat menyebabkan pengurangan kekuatan beton tersebut.

Semua jenis air yang layak untuk diminum pada umumnya dianggap cukup layak untuk digunakan sebagai campuran beton. Hal-hal yang penting dalam pemilihan air antara lain kejernihannya, harus diamati pula kandungan bahan-bahannya yang dapat merusak beton, seperti fosfat, minyak, asam, alkali, bahan-bahan organis atau garam-garam (Antono, 1988).

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka perbandingan yang menentukan bukan antara jumlah air terhadap

campuran total (semen + agregat halus + agregat kasar) material, melainkan hanya perbandingan antara air dengan semen yang disebut faktor air semen (fas).

Pada umumnya diperlukan 30 kg air untuk menghidratasi setiap 100 kg semen (fas ratio minimum = 0,30). Tetapi dalam kenyataannya, sehubungan dengan kemudahan pengerjaan dan lain sebagainya, maka sering dipergunakan fas ratio 0,50, ini berarti ada kelebihan 0,20 dari persyaratan minimum untuk hidrasi tadi. Kelebihan 0,20 ini disebut sebagai *water of convenience*. Penambahan air yang berlebihan akan membawa pengaruh negatif terhadap mutu beton, karena mutu beton sangat peka terhadap banyaknya kandungan air di dalam campuran tersebut, makin banyak kandungan air makin rendah mutu beton (Tumilar, 1993).

Total air dalam mix beton terdiri dari air yang diserap oleh agregat sampai mencapai kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry, SSD*) dan air bebas yang diaplikasikan pada hidrasi semen untuk workabilitas dari beton segar. Dalam prakteknya agregat sering dalam kondisi kering dan menyerap air bebas permukaan sehingga kadar air dalam campuran kurang dari air bebas yang dibutuhkan. Workabilitas dari beton tergantung dari besarnya eksistensi dari kandungan air bebas. Jumlah kandungan air yang sama digunakan dengan agregat kering yang mempunyai perbedaan absorpsi mengakibatkan beton tersebut mempunyai perbedaan workabilitas.

Air selain digunakan untuk reaksi pengikatan beton, digunakan juga untuk perawatan sesudah beton dituang, yaitu untuk merendani atau membasahi beton tersebut secara teratur. Air yang digunakan dalam pembuatan dan perawatan beton

harus memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan, misalnya tingkat keasamannya ( pH ) tidak boleh melebihi 6 dan juga tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur.

### 2.2.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton.

Agregat terdiri dari dua jenis, yaitu agregat kasar (misalnya kerikil, batu pecah, pecahan-pecahan dari *blast furnace*) dan agregat halus (misalnya pasir alami, pasir buatan). Suatu agregat disebut agregat kasar bila mempunyai ukuran butiran 5 mm sampai dengan 40 mm. Sifat agregat kasar dapat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahan terhadap efek-efek perusak. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen.

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir, mempunyai ukuran butiran kurang dari 5 mm. Menurut standar dari ASTM (American Society of Testing Materials) ukurannya bervariasi antara ukuran No. 4 dan No. 100. Menurut PBBI-1971 agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.

Umumnya agregat yang digunakan untuk campuran beton terdiri dari 60% - 75% dari volume totalnya (Subakti, 1995). Agregat ini harus mempunyai gradasi butiran

yang baik sehingga dapat memberikan stabilitas volume dan keawetan yang lebih tinggi pada beton mutu tinggi. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah di antara agregat berukuran besar. Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak prosentase agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

Agregat yang dipakai 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*).

Dua hal dalam karakteristik dari jenis partikel agregat yang mempengaruhi sifat-sifat beton adalah bentuk partikel dan tekstur permukaan. Bentuk partikel mempengaruhi workabilitas beton dan tekstur permukaan berpengaruh terutama pada ikatan antar penyusun partikel dari agregat itu sendiri, sehingga pada akhirnya berpengaruh pada kekuatan beton.

Jenis agregat penyusun ini memegang peranan penting untuk memproduksi beton dengan kekuatan tinggi seperti beton mutu  $800 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 28 hari dengan fas 0,3. Pada beton dengan mutu  $800 \text{ kg/cm}^2$  tersebut adalah mutlak untuk menggunakan agregat batu pecah. Semakin tinggi *strength* yang dibutuhkan, semakin kritis pemilihan agregat penyusunnya.

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 organis dan zat-zat yang reaktif alkali,
4. harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.

#### 2.2.4 Bahan tambah

##### 1. Fly ash.

Fly ash adalah bahan tambah mineral yang merupakan hasil pembakaran batu bara untuk pembakaran klinker semen dan menghasilkan abu kasar. Kemudian abu kasar ini digiling dan disaring sampai lolos ayakan No. 325 (45 mikron) sebesar 70% - 95%. Distribusi ukuran butiran fly ash mempunyai gradasi yang agak *uniform* dan halus termasuk diameter *silt*. Tetapi fly ash bukan *silt* karena fly ash mempunyai sifat reaksi *puzzolanic*. Adapun data teknisnya menurut hasil pengamatan Laboratorium Teknik Kimia, ITS adalah seperti tercantum pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 Sifat fisik fly ash

Sumber: Subakti, 1994

No.	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1.	Warna	Coklat muda
2.	Kehalusan % tertahan ayakan No. 325	20% - 34% (Standar ASTM)



Tabel 2.3 Komposisi kimia fly ash

Sumber: Subakti, 1994

UNSUR KIMIA	FLY ASH	PUZZOLANIC ALAMI
SiO <sub>2</sub>	40 - 80	45 - 72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20 - 26	10 - 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 - 7	1 - 6
CaO	-	-
MgO	1 - 2	0,5 - 3
SO <sub>3</sub>	0,3 - 1,5	0,8 - 1,6
Na <sub>2</sub> O	2 - 5	-
Hilang pijar	1 - 10	3 - 4

Fly ash mempunyai sifat puzzolanic karena kadar SiO<sub>2</sub> yang cukup tinggi antara 40-60%. Kadar SiO<sub>2</sub> akan bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> yang merupakan hasil hidrasi antara air dan semen. Reaksi antara Ca(OH)<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub> akan menghasilkan kalsium silikat hidrat yang berfungsi sebagai perkuat dalam beton. Secara umum reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Fly ash digunakan untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran. Tetapi untuk mencapai kekuatan tekan beton yang sama saat berumur 28 hari pada beton normal yang hanya menggunakan semen, diperlukan suatu kombinasi berat semen dan fly ash yang lebih besar dari berat semen pada campuran beton normal.

Fly ash menguntungkan pada volume beton yang besar karena dapat mereduksi hidrasi thermal yang dapat menyebabkan keretakan schubungan dengan peningkatan panas yang ditimbulkan oleh hidrasi semen tersebut. Akan tetapi pemakaian fly ash juga memberikan dampak yaitu meningkatnya sensitivitas beton terhadap penanganan *curing* yang buruk, meskipun hal itu dapat diatasi.

## 2. Silica fume.

Silica fume merupakan produk yang dihasilkan dari reduksi kwarsa murni tinggi dengan batu bara di dalam suatu tungku listrik pada pembuatan *silicon* dan *ferro silicon*. Silica fume mengandung kadar  $\text{SiO}_2$  yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, berbentuk bulat dan berdiameter sangat kecil yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI Committee 226, 1986). Adapun data teknisnya menurut hasil pengamatan Laboratorium Teknik Kimia, ITS adalah sebagai berikut (lihat tabel 2.4 dan tabel 2.5):

Tabel 2.4 Sifat fisik silica fume

Sumber: Subakti, 1995

No.	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1.	Warna	Putih, abu-abu gelap
2.	Berat jenis	2.2 kg/m <sup>3</sup>
3.	Berat volume	250 - 300 kg/m <sup>3</sup>
4.	Kehalusan	20.000 m <sup>2</sup> /kg
5.	Diameter	0,1 mikron (1/100 diameter semen)

Tabel 2.5 Komposisi kimia silica fume

Sumber: Subakti, 1995

No.	KANDUNGAN OKSIDA	% BERAT
1.	SiO <sub>2</sub>	94,3
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
4.	MgO	0,7
5.	SO <sub>4</sub>	0
6.	Na <sub>2</sub> O	0,2
7.	KO <sub>2</sub>	1,0
8.	Hilang pijar	2,6

Peranan fisik utama silica fume pada beton menurut Bache adalah sebagai *filler* (pengisi), karena kehalusannya silica fume dapat mengisi celah-celah antara semen. Adapun reaksi puzzolanic silica fume menurut Sellevold dan Radjy mulai bekerja setelah beton berumur 3-28 hari (Subakti, 1993).

Disamping peranan di atas yaitu sebagai pengganti dan pengisi antara partikel-partikel semen, silica fume bersifat pula sebagai puzzolanic aktif karena diameternya sangat kecil. Kandungan SiO<sub>2</sub> di dalam silica fume bisa mencapai lebih besar dari 90%. Dalam campuran beton SiO<sub>2</sub> yang reaktif ini akan bereaksi dengan kapur padam membentuk kalsium silikat hidrat, yang menurut reaksinya sebagai berikut:



dan kalsium silikat hidrat ini berpengaruh di dalam pengerasan beton.

Daerah transisi (*transien zona*) adalah daerah antara pasta semen dengan agregat. Pada hampir semua beton daerah tersebut merupakan daerah yang lemah karena terjadi *bleeding* pada daerah tersebut. Menurut Chen dan Zhang dengan adanya silika fume akan meningkatkan kepadatan pada daerah transisi sehingga meningkatkan kekuatan dari beton. Selain itu juga dikatakan bahwa reaksi pozzolanic akan menambah kekuatan beton (Subakti, 1993).

Biasanya pada umur awal (1-3 hari), reaksi hidrasi menentukan sehingga kekuatan lebih rendah bila dibandingkan dengan perkembangan kekuatan beton normal tanpa silika fume. Hal ini dikarenakan jumlah semen berkurang sehingga  $C_3S$  yang menentukan kekuatan tekan beton juga berkurang yang berarti kekuatannya juga berkurang. Tetapi setelah terbentuknya  $Ca(OH)_2$  maka reaksi pozzolanic akan dominan sehingga kekuatan beton juga naik karena terbentuknya C-S-H akibat reaksi dari  $Ca(OH)_2$  dan  $SiO_2$ . Reaksi ini berjalan cukup lama sampai  $Ca(OH)_2$  habis bereaksi dengan  $SiO_2$ . Karena  $Ca(OH)_2$  jumlahnya berkurang maka dengan sendirinya kelemahan beton juga berkurang dan penambahan C-S-H ini dapat meningkatkan kekuatan dan kedapatan beton (Subakti, 1993).

Keuntungan penggunaan silika fume pada campuran beton adalah seperti berikut ini:

- a. Ditambahkan dengan superplasticizer telah berhasil diproduksi beton dengan kekuatan yang sangat tinggi, yaitu kekuatan tekannya di atas 100 Mpa dengan permeabilitas yang rendah.

- b. Digunakan untuk mencegah reaksi alkali silika dalam beton.
- c. Membuat beton dengan kekuatan awal yang lebih tinggi.
- d. Temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mengurangi terjadinya retak pada beton.
- e. Dapat menghasilkan beton yang tahan terhadap serangan unsur kimia.

### 3. Superplasticizer.

Superplasticizer merupakan bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang digunakan untuk mengurangi air pada campuran beton agar didapat faktor air semen yang kecil tetapi workabilitasnya tetap normal. Ada dua tipe superplasticizer yang ada di pasaran yaitu tipe *water reducing admixture* (bahan tambahan yang berfungsi untuk mengurangi air) yang disebut dengan tipe F dan tipe G yang berfungsi sebagai pengurang air dan memperpanjang waktu pengikatan beton. Berdasarkan ASTM C-494-82 maka superplasticizer ini termasuk *admixture* tipe F.

Penggunaan superplasticizer pada campuran beton akan menyebabkan menurunnya kebutuhan air sampai 30% tanpa menurunkan workabilitas sehingga kekuatan tekan 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).

Untuk menjaga nilai slump konstan sebesar  $120 \text{ mm} \pm 40 \text{ mm}$  diperlukan penambahan superplasticizer sehingga kebutuhan air akan semakin meningkat karena sifat dari fly ash dan silica fume itu sendiri yang menambah kebutuhan air. Banyaknya superplasticizer yang ditambahkan pada tiap-tiap *mix design* berbeda-beda tergantung dari kadar semennya dan persyaratan dari brosur disebutkan bahwa penambahan superplasticizer berkisar 0,3 - 2,5 % dari berat semen untuk menjaga nilai slump sebesar  $120 \text{ mm} \pm 40 \text{ mm}$  tersebut. Dalam penelitian ini dipilih dosis superplasticizer cair sebesar 0,7 % konstan dengan pertimbangan bahwa adukan beton segar dianggap cukup plastis untuk hasil slump  $120 \text{ mm} \pm 40 \text{ mm}$  (Supartono, 1992).

Kemampuan superplasticizer untuk menaikkan slump beton tergantung pada:

- a. dosis,
- b. waktu penambahan,
- c. faktor air semen,
- d. jumlah dan sifat dasar semen,
- e. temperatur udara,
- f. jumlah dan sifat dasar agregat.

Waktu pada saat superplasticizer ditambahkan pada beton juga mempengaruhi nilai dari slump. Penambahan superplasticizer dengan air pencampur mengakibatkan peningkatan nilai slump yang lebih tinggi dibanding dengan penambahan superplasticizer segera setelah beton tercampur dengan air. Berdasarkan beberapa percobaan, dalam waktu antara 5 - 50 menit setelah beton tercampur air, penambahan

superplasticizer umumnya akan menghasilkan penurunan nilai slump yang lebih besar dibandingkan bila pemberian superplasticizer segera setelah beton tercampur dengan air.

Keuntungan pemakaian superplasticizer dalam campuran beton diantaranya adalah:

- a. Pada pembuatan beton mutu tinggi umumnya menggunakan fas rendah, hal ini berakibat *workability* dari campuran beton rendah. Dengan penambahan superplasticizer pada campuran beton maka dapat meningkatkan *workability* campuran beton tersebut.
- b. Dibandingkan dengan campuran beton yang menggunakan fas normal, penambahan superplasticizer mempunyai sifat-sifat yang lebih baik.
- c. 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.

### 2.3 Workabilitas

Workabilitas merupakan ukuran dari tingkat kemudahannya adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan, makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan *slump*. Makin besar nilai *slump* berarti adukan beton makin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* berkisar antara 5 - 12 cm (Kardiyono, 1995).

### 2.3.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi workabilitas

Workabilitas beton tergantung dari jumlah air beton, faktor air semen, proporsi campuran, sifat-sifat bahan, waktu, temperatur, semen dan *mix design*.

#### 1. Faktor air semen.

Faktor yang paling penting adalah faktor air semen (fas). Peningkatan jumlah air akan meningkatkan kemudahan pengerjaan dan pematangan tetapi akan mereduksi kekuatan dan menimbulkan *segregasi* dan *bleeding*. Pada umumnya tiap partikel membutuhkan air supaya plastis sehingga dapat dikerjakan.

Didasarkan pada spesifikasi yang diberikan oleh semen Gresik, semen portland type I membutuhkan fas sebesar 0,26 untuk mencapai konsistensi normal. Karenanya kadar fas untuk penelitian ini diambil pada nilai sedikit di atas 0,26 yaitu 0,3.

#### 2. Pengaruh proporsi agregat.

Ketika melihat efek agregat pada workabilitas, ada dua faktor penting yang berpengaruh yaitu jumlah agregat dan perbandingan proporsi antara agregat halus dan agregat kasar. Untuk fas konstan, peningkatan agregat atau semen akan menurunkan



workabilitas. Kekurangan agregat halus menyebabkan campuran kasar, terjadi *segregasi* dan sukar dikerjakan. Dilain pihak akan menyebabkan beton yang tidak ekonomis.

### 3. Sifat-sifat agregat.

Bentuk dan tekstur agregat juga mempengaruhi workabilitas. Semakin partikel mendekati bentuk spheris maka makin mudah dikerjakan. Sferikal partikel memiliki rasio luas/volume yang kecil sehingga dibutuhkan sedikit mortar untuk melapisi partikel. Sedang bentuk pipih dan memanjang membutuhkan semen dan air lebih banyak.

Porositas agregat juga mempengaruhi workabilitas. Jika agregat hanya mampu menyerap sedikit air, maka workabilitasnya rendah.

### 4. Waktu dan suhu.

Temperatur akan meningkatkan laju penguapan dan hidratisasi. Sedangkan peningkatan temperatur akan menyebabkan menurunnya workabilitas. Jadi diperlukan banyak air untuk daerah panas pada tingkat workabilitas yang sama.

### 5. *Slump loss* (kehilangan *slump*).

Selama dalam bentuk cair terdapat penurunan workabilitas dengan fungsi waktu yang disebabkan oleh hidratisasi  $C_3S$  dan  $C_3A$  yang berjalan lambat dan sebagian oleh kehilangan air dari beton karena penguapan dan penyerapan. Kehilangan slump ini kira-kira linier terhadap waktu, meskipun paling besar terjadi awal 0,5-1 jam setelah pencampuran.

Jika campuran beton salah desainnya maka perlu pencampuran ulang beton dengan air tambahan untuk mempertahankan workabilitas. Penambahan air akan menaikkan fas kecuali jika semennya ditambah. Jadi penambahan air adalah praktis dihindarkan, kecuali disertai penambahan semen agar fas tetap.

#### 6. Karakteristik semen.

Karakteristik semen kurang penting jika dibandingkan dengan sifat-sifat agregat. Tetapi peningkatan kehalusan dari tipe III akan menurunkan workabilitas, semen membutuhkan air banyak karena luas permukaannya meningkat dan reaksi hidratisasi terjadi dengan cepat.

#### 7. *Admixture*.

*Mineral admixture* sering digunakan untuk menambah agregat halus pada campuran yang kasar. Karena digunakan sebagai pengganti semen, maka *mineral admixture* ini memiliki pengaruh yang sedikit pada workabilitas. *Air entraining*, *water reducing* dan *set retarding admixture* akan meningkatkan workabilitas.

#### 8. *Segregasi* dan *bleeding*.

*Segregasi* adalah pemisahan komponen-komponen beton segar yang menghasilkan campuran beton yang tidak *uniform*. Pada umumnya istilah ini adalah pemisahan agregat kasar dari mortar. Ada dua tipe pemisahan yaitu pengumpulan partikel berat ke dasar beton segar atau pemisahan agregat kasar dari tubuh beton karena penggetaran yang salah.

*Bleeding* didefinisikan sebagai keluarnya air pada permukaan beton sesudah dicampur tetapi belum terjadi pengikatan. Air adalah komponen paling ringan yang memisah dari beton. Jadi *bleeding* adalah bentuk dari *segregasi*. *Bleeding* disebabkan oleh partikel-partikel agregat dalam beton yang tidak mampu menahan air.

### 2.3.2 Pengukuran workabilitas

Disarankan workabilitas haruslah mengukur sedikitnya 3 sifat beton, yaitu:

1. *Compactible*, kemudahan beton untuk dipadatkan dan rongga-rongga udara dihilangkan.
2. Mobilitas, kemudahan beton untuk mengalir kebentuknya dan diantara tulangan-tulangan.
3. Stabilitas, kemampuan beton untuk tetap stabil, homogen selama pencampuran, penggetaran tanpa segregasi.

Dalam penelitian ini pengukuran workabilitas dilakukan dengan *slump test*. *Slump test* termasuk metode tertua dan banyak dipakai. Pertama kali muncul dalam ASTM 1922 dan sekarang dicantumkan dalam ASTM C - 143.

Tes ini terdiri dari wadah berbentuk kerucut terpancung. Wadah itu diisi beton dalam 3 lapisan yang sama yang masing-masing dijorok 25 kali dengan batang perojok diameter 16 mm. Wadah itu kemudian diangkat vertikal dan slump diukur dengan menentukan perbedaan tinggi antara wadah dan tinggi beton setelah wadah diangkat. Jika terjadi geser pada salah satu sisi beton maka tes harus diulangi. Bila terjadi terus maka beton tidak cocok dengan metode ini.

## 2.4 Metode Perawatan Beton

Salah satu aspek dari pembuatan beton yang tidak layak dan kadangkala diabaikan adalah pada waktu proses perawatan (*curing process*). Perawatan diartikan sebagai semua kegiatan yang bertujuan agar struktur tetap memenuhi atau mempunyai keadaan yang baik. Untuk menghasilkan beton yang baik, proses hidrasi yang terjadi harus diusahakan berlangsung secara kontinyu tanpa hambatan sejak awal penuangan beton sampai dengan pengerasan beton.

Saat kritis perawatan yaitu pada saat beberapa jam setelah pengecoran. Perawatan membawa pengaruh terhadap sifat-sifat, kinerja dan karakteristik beton, seperti kekuatan, keawetan, kekedapan, ketahanan terhadap cuaca dan *volume stability*.

Tujuan dari perawatan adalah:

1. mencegah terjadinya penguapan/pelepasan air yang berlebihan, karena penguapan/pelepasan air yang berlebihan akan menyebabkan hambatan dalam proses hidrasi,
2. beton harus dipelihara agar berada dalam suhu tertentu sedemikian rupa sehingga terhindar dari perbedaan suhu yang berlebihan, yang dapat menimbulkan retak.

Untuk memperoleh hasil pengujian yang diharapkan, maka setelah beton dikeluarkan dari cetakan harus segera dilakukan perawatan dengan menggunakan salah satu metode berikut ini:

- a. beton dibasahi terus menerus dengan air,
- b. beton direndam dalam air lingkungan bersuhu sekitar 17-23°C,

c. beton dilindungi dengan karung basah, film plastik atau kertas perawatan tahan air.

## 2.5 Metode Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Balok Beton

Kuat tekan dipengaruhi oleh kuat ikat pasta semen, homogenitas campuran, perbandingan campuran dan kemampatan. Kuat ikat pasta semen ditentukan oleh mutu bahan ikat dan kualitas air. Dengan digunakannya mutu bahan ikat yang tinggi dan kualitas air yang memenuhi syarat, maka akan dihasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.

Homogenitas campuran dalam adukan beton yaitu saling mengisi antar bahan-bahan pembentuk beton secara merata, sehingga diperoleh beton yang mampat dan tidak terjadi pengelompokan bahan pembentuk beton yang menyebabkan rongga-rongga.

Perbandingan jumlah bahan pembentuk beton pada campuran yang proporsional dapat menghasilkan beton yang lebih mampat dan homogen, yaitu apabila bahan-bahan tersebut saling mengisi.

Kemampatan beton dapat dipengaruhi oleh penggunaan jumlah bahan pembentuk beton yang proporsional dan pengadukan yang merata, sehingga terjadi pencampuran yang baik dan homogen. Makin mampat beton maka makin sedikit rongga atau keropos sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

Dalam penelitian ini pengujian kuat tekan beton akan dilakukan terhadap benda uji berupa silinder dengan  $\phi$  15 cm dan tingginya 30 cm. Kuat tekan beton dapat

kan untuk diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang ditekan, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

at tarik bela  
at tekan yan

$f_c$  = kuat tekan yang disyaratkan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  = beban yang mampu ditahan (kg)

$A$  = luas permukaan benda uji silinder ( $\text{cm}^2$ )

Dalam pengujian kuat tarik, benda uji diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*, diperhitungkan sebagai berikut:

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

$f_t$  = kuat tarik belah ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  = beban pada waktu belah (kg)

$L$  = panjang tinggi benda uji silinder (cm)

$D$  = diameter benda uji silinder (cm)

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Konsep Dasar Desain Beton Mutu Tinggi

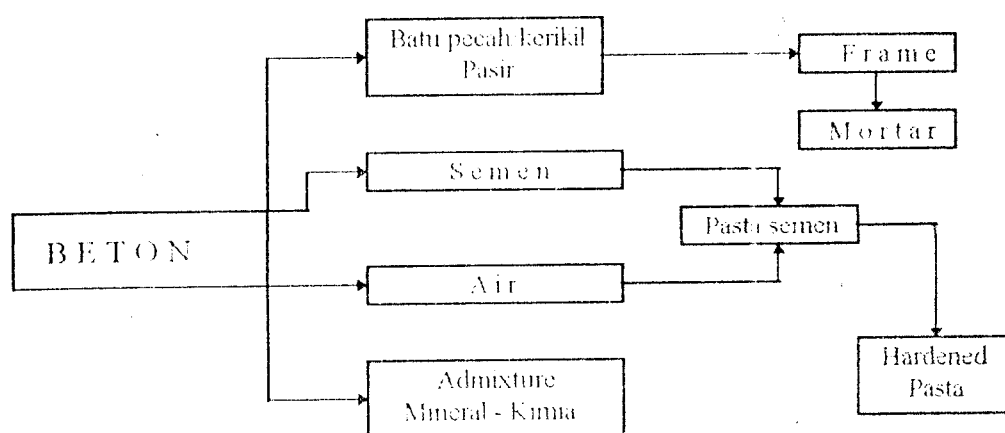
Untuk meningkatkan kekuatan beton, ada beberapa konsep dasar yang perlu diikuti, antara lain:

1. Peningkatan kekuatan pasta semen, yang biasanya bisa didapatkan dengan:
  - a. mengurangi porositas pasta, dengan mengurangi rasio air semen dan atau dengan menggunakan superplasticizer,
  - b. pemakaian *mineral admixture*, seperti silica fume dan fly ash.
2. Pemilihan kualitas agregat yang baik.
3. Peningkatan kekuatan pengikat antara pasta semen dengan agregat, yang terutama tergantung pada pemilihan sifat dan bentuk agregat.

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

penelitian yang pernah dilakukan, campuran fly ash berkisar 10-35%, campuran silica fume berkisar 10 + 5% dan penggunaan superplasticizer sesuai dengan brosur dan pabrik.

Pada prinsipnya campuran beton mutu tinggi terdiri dari air, batu pecah, pasir, semen, *chemical admixture* dan *mineral admixture*. Secara grafis dapat digambarkan seperti pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1. Konfigurasi campuran beton

Sumber: Subakti,1995

Bagian kritis dari pencapaian kekuatan tekan beton adalah pada daerah *interface* antara *matrix* (pasta semen dan pasir) dengan agregat kasarnya (batuan), hal ini dikarenakan terserapnya air ke dalam batuan pada daerah tersebut. Dengan demikian perlu mengisi pori-pori tersebut dengan suatu butiran yang cukup kecil.

Untuk suatu set material dan fas, kekuatan beton cenderung meningkat, bila *ratio aggregate/cement* meningkat (atau dengan kata lain bila jumlah semen berkurang).



Melihat fenomena yang terjadi pada *interfacial zone* ini, perlu dipertimbangkan penggunaan agregat dalam mix desain beton. Sebab jika agregat yang dipakai mempunyai absorpsi yang tinggi, maka akan menyebabkan air yang terlalu banyak pada daerah *interfacial zone* sehingga dengan sendirinya akan mengurangi kekuatan beton.

Pada waktu terjadinya hidrasi semen, terbentuk calcium silicate hydrate (CSH) yang merupakan pengikat yang membentuk *matrix* yang kuat dan calcium hydroxida (CH) yang lemah yang mengisi kurang lebih 25% dari volume hidrasi. CH ini dapat bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  membentuk garam yang larut yang dapat merembes ke luar dari beton dan dapat menyebabkan timbulnya *efflorescence*. Bila CH yang terjadi cukup banyak, maka hal ini akan menyebabkan beton mudah terserang sulphat dan juga bisa terjadi kebalikan dari reaksi alkali agregat. CH akan bereaksi dengan puzzolan (micro silica, fly ash), yang bersama air akan membentuk CSH, sehingga dengan sendirinya akan mengurangi jumlah CH. Tambahan bahan pengikat ini akan memperkuat *matrix* beton, mengurangi permeabilitas, sehingga dengan sendirinya akan meningkatkan durabilitas dari beton. Jadi dengan memberi tambahan filler yang mempunyai sifat puzzolanic (fly ash, silica fume) akan menyebabkan beton menjadi lebih kuat dan padat.

### 3.2 Modifikasi dari Metode Mix Design

Jika digunakan fly ash dalam beton maka harus diperhitungkan faktor-faktor berikut ini.

1. workabilitas,

2. kadar air.
3. peningkatan kekuatan dan fas,
4. kadar semen,
5. variasi dari kekuatan tekan beton,
6. kepadatan beton,
7. kandungan agregat.

### 3.2.1 Workabilitas dan kadar air

Fly ash dipakai sebagai reduktor kebutuhan air. Pengurangan air ini tergantung dari karakteristik semen dan fly ash yang digunakan. Disamping itu juga tergantung pada banyaknya kadar semen dan fly ash yang dipakai. Untuk *mix design*, kadar air dapat direduksi secara normal sebanyak 3% pada tiap 10% proporsi dari fly ash dalam gabungan semen dan fly ash. Sehingga nilai yang ada pada Tabel 3.1 direduksi sesuai dengan proporsi fly ash dan tingkat workabilitas yang dibutuhkan seperti yang tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Perkiraan kadar air bebas ( $\text{kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan dalam memberi variasi workabilitas

Sumber: Subakti, 1995

Slump (mm)		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
Ukuran agregat maksimum	Tipe agregat	Kadar air ( $\text{kg/m}^3$ )			
10	alami	150	180	205	225
	batu pecah	180	205	230	250
20	alami	135	160	180	195
	batu pecah	170	190	210	225
30	alami	115	140	160	175
	batu pecah	155	175	190	205

Tabel 3.2 Reduksi kadar air akibat penambahan fly ash

Sumber : Subakti, 1995

Beton dengan PC/ Fly ash				
Proporsi dari fly ash terhadap (semen + fly ash) dalam %	Reduksi kadar air ( $\text{kg/m}^3$ )			
	10	5	5	5
20	10	10	10	15
30	15	15	20	20
40	20	20	25	25

### 3.2.2 Peningkatan strength dan fas

Seperti pada *pozzolan*, fly ash memberikan kontribusi pada *strength* beton. Kontribusi ini meningkat seiring dengan peningkatan umur beton itu sendiri. Sejumlah besar fly ash adalah setara dengan sejumlah kecil semen untuk meningkatkan *strength*

beton. Dalam hal ini dipakai faktor efisiensi semen (*cementing efficiency faktor*) = k, dengan kF adalah massa dari semen normal yang setara dengan massa F dari fly ash. Faktor ini bervariasi dengan fly ash dan biasanya meningkat seiring dengan peningkatan umur beton. *Strength* dari PC/FA dari beton tergantung dari rasio air bebas/ekuivalen semen sama halnya pada beton dengan PC biasa.

Semen portland (PC) dibanding fly ash dalam beton akan mempunyai kekuatan yang sama dengan beton PC yang mempunyai workabilitas serupa dengan:

$$\frac{W}{C + kF} = \frac{W_1}{C_1} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan:

W, C dan F adalah masing-masing kadar air bebas, semen dan fly ash

W<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> adalah kadar air bebas dan kadar semen dari beton PC.

Meskipun faktor k bervariasi dari 0.2 sampai dengan 0.45 tergantung dari partikel fly ash dan semen yang digunakan, untuk tujuan *mix design* dengan dasar umur rencana kekuatan pada 28 hari, k diambil 0.3. Tabel kekuatan umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 3.3 yang menunjukkan bahwa beton PC/FA yang dibuat dengan rasio  $\frac{W}{C + 0.3F}$  menghasilkan 0.5 (angka ini sama dengan *strength* 28 hari yang

diberikan pada Tabel 3.4). *Strength* pada umur selain 28 hari dapat pula digunakan tetapi memerlukan nilai yang berbeda pada faktor k. Diterapkan pada beton PC/FA mempunyai kekuatan yang sama dengan beton dengan PC normal yang berumur 28

hari, *strength*-nya pada hari-hari berikutnya akan semakin meningkat dari ekuivalen beton dengan PC biasa yang di-*curing* pada kondisi yang sama. Untuk mendesain campuran beton PC FA untuk mencapai kekuatan yang ditetapkan pada umur 28 hari, maka grafik yang ada pada Gambar 3.2 dapat dikalikan dengan rasio  $\frac{W}{(C + 0.3F)}$  terhadap perbandingan air bebas semen (fas).

Tabel 3.3 Data aproksima strength PC FA dengan rasio  $W/(C + 0.3F) = 0.5$

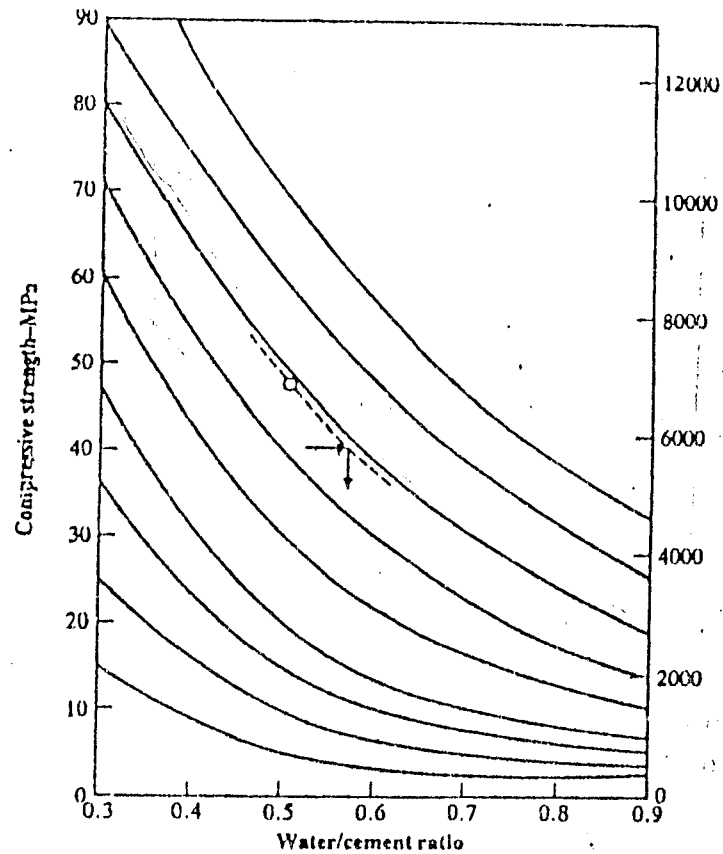
Sumber : Subakti, 1995

Tipe semen	Tipe agregat kasar	Strength kompresif pada umur 28 hari (N/mm <sup>2</sup> )
PC normal	Kerikil	42
	Batu pecah	49
Rapid hardening PC	Kerikil	48
	Batu pecah	55

Tabel 3.4 Kompresif strength (Mpa) dari mix beton dengan fas = 0.5

Sumber : Subakti, 1995

Tipe semen	Tipe agregat kasar	Kompresif strength (Mpa) pada umur			
		3	7	28	92
Semen PC biasa atau Sulfat Resisting Portland Cement (SRPC)	Kerikil	22	30	42	49
	Batu pecah	27	36	49	56
Rapid Hardening Portland Cement (RHPC)	Kerikil	29	37	48	54
	Batu pecah	31	43	55	61



Gambar 3.2. Hubungan antara strength kompresif dengan rasio W/C

Sumber: Subakti, 1995

### 3.2.3 Kadar semen

Pada beton dengan semen portland (PC), kadar semen ditentukan dari kadar air bebas dan rasio fas. Pada beton dengan PC FA perhitungan yang sama dapat dilakukan tetapi perlu diketahui proporsi dari fly ash berupa faktor  $p$ . Proporsi ini berupa prosentase berat dari kombinasi PC + FA dengan rincian sebagai berikut:

$$P = \frac{100F}{C + F} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan C dan F adalah kadar semen dan kadar fly ash. Proporsi tertentu untuk FA berada pada range mulai dari 15% sampai 40%.

Berat total dari semen ditambah fly ash dalam campuran akan lebih besar daripada campuran sejenis yang hanya memakai PC saja. Sehingga rasio air bebas/(PC+FA) akan berkurang. Berat total semen dan fly ash dipakai untuk membandingkan limit minimum dan maksimum yang ditetapkan dari rasio fas.

#### 3.2.4 Tingkat variasi kekuatan beton

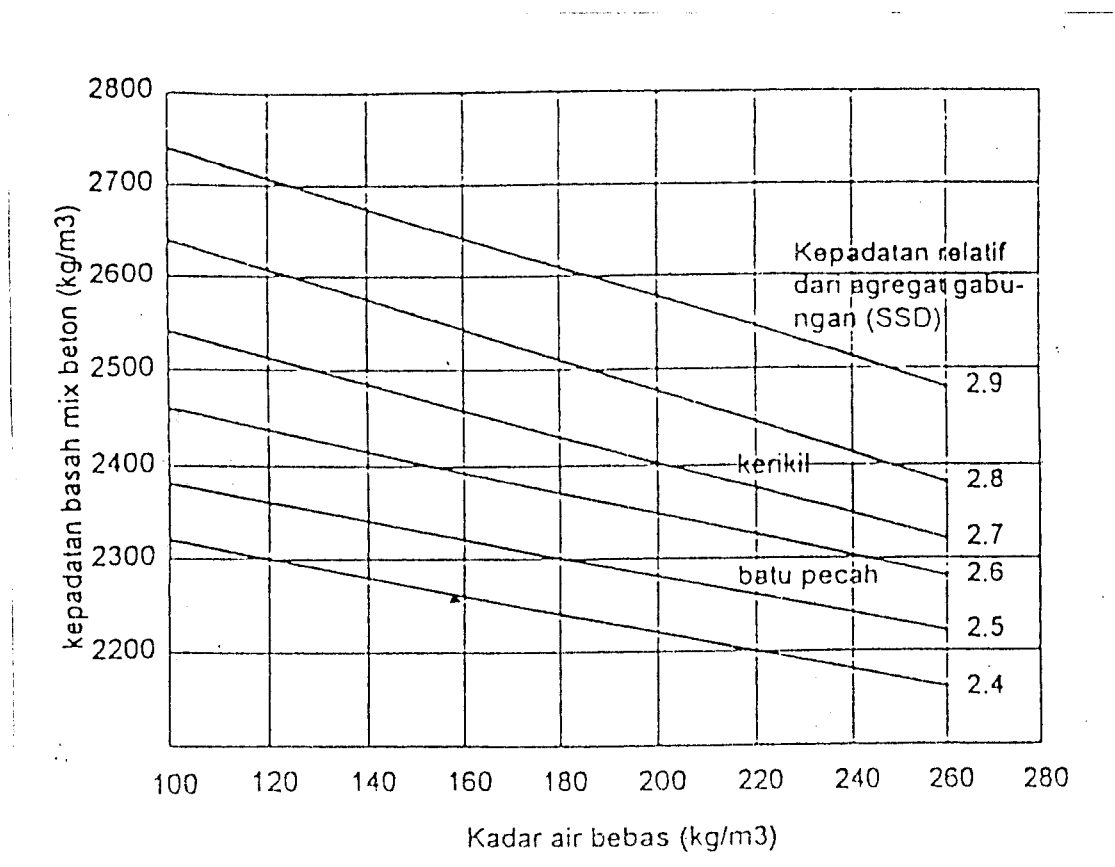
Meskipun penggunaan fly ash diperlukan suatu berat ekstra untuk membuat tiap campuran beton, namun tidak ada bukti yang menunjukkan bahwa terjadi variasi yang semakin banyak dari kekuatan beton ketika memakai fly ash. Sehingga tidak diperlukan adanya koreksi batas pada desain campuran PC/FA.

#### 3.2.5 Kepadatan beton dan kandungan agregat

Tidak perlu ada perubahan dalam penentuan kepadatan basah dari beton PC FA. Pada beton tersebut, semen yang mempunyai kepadatan relatif tertinggi direduksi dan diganti dengan fly ash yang mempunyai kepadatan relatif yang lebih kecil. Tetapi membutuhkan sejumlah massa yang lebih besar dari fly ash untuk dapat menyetarakan semen yang digantikannya. Disamping itu juga diadakan pengurangan berat air pada campuran. Perubahan ini menghasilkan kepadatan basah dari beton segar berubah

sekitar 1%. Hal ini tidak mesti terjadi dalam setiap proses pencampuran dan Gambar 3.3 dapat dipakai untuk menentukan kepadatan basah dari beton PC FA.

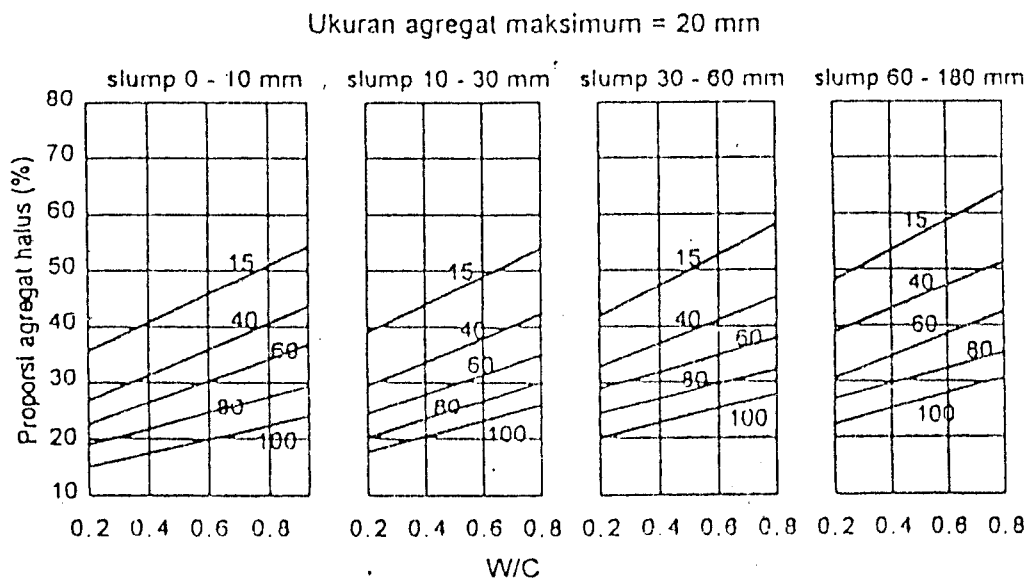
Kandungan agregat total ditentukan dengan mengalikan semen, fly ash dan air dengan kepadatan basah beton. Kadar agregat halus didapat dengan memakai diagram yang sama pada Gambar 3.4, kecuali pada nilai rasio  $\frac{I}{(C + F)}$  akan dipakai sebagai rasio air bebas semen (fas).



Gambar 3.3. Estimasi kepadatan basah beton

Sumber: Kardiyono, 1995





Gambar 3.4. Penentuan proporsi agregat halus

Sumber: Kardiyono, 1995

Modifikasi dari proses desain campuran diberikan di bawah ini dengan simbol - simbol sebagai berikut :

1. air bebas semen ( $\text{kg m}^3$ )      :  $W$
2. semen portland ( $\text{kg m}^3$ )      :  $C$
3. kadar fly ash ( $\text{kg m}^3$ )      :  $F$
4. proporsi fly ash (%)      :  $p = \frac{100F}{C + F}$



### 1. Pemilihan target rasio.

Standar deviasi yang sama dan faktor k atau batas tertentu yang sesuai dengan beton PC digunakan. Pada kekuatan umur 28 hari rasio campuran  $\frac{W}{(C + 0.3F)}$  akan mencapai 0.5 yang diambil dari tabel 3.3 menurut tipe semen dan tipe agregat kasar yang digunakan untuk memplot grafik pada Gambar 3.2. dan pada garis awal menunjukkan bahwa rasio  $\frac{W}{(C + 0.3F)}$  dibutuhkan untuk mencapai target *strength* rata-rata sebagai rasio air bebas semen yang sesuai dengan kekuatan beton.

### 2. Pemilihan kandungan air bebas.

Kadar air bebas didapat dari Tabel 3.1 untuk ukuran agregat maksimum yang digunakan serta tingkat workabilitas beton yang direncanakan. Nilai ini dimodifikasi dengan nilai yang diberikan pada Tabel 3.2 yang sesuai dengan fly ash yang ditetapkan.

### 3. Penentuan kadar semen dan fly ash.

Proporsi fly ash dengan faktor p, dispesifikasikan sebagai persentase dari kombinasi berat semen dan fly ash. Dilakukan modifikasi pada perhitungan dalam rangka pengurangan kadar semen (PC) dan penentuan kadar fly ash. Kadar PC ditentukan dari perhitungan:

$$\text{Kadar PC} = \frac{(100 - p) \times W}{(100 - 0.7p) \times \left( \frac{W}{(C + 0.3F)} \right)} \quad (3.3)$$

Kadar fly ash dari campuran ditentukan dari perhitungan

Kadar agregat halus = total kadar agregat x proporsi kadar agregat halus

Kadar agregat kasar = total kadar agregat - kadar agregat halus

### 3.3 Mix Design Beton

#### 3.3.1 Tujuan mix design beton

Tujuan dari *mix design* beton ialah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus dan kasar serta air agar dipenuhi beberapa persyaratan berikut ini.

1. kekuatan desak yang sesuai atau memenuhi syarat seperti yang ditentukan oleh perencana konstruksi.
2. kelecakan (*workability*) yang cukup sehingga pengangkutan, penuangan dan pemadatan beton dapat dilakukan dengan baik.
3. keawetan (*durability*) yang memadai dan pada umumnya keawetan beton banyak ditentukan oleh faktor air semen,
4. penyelesaian akhir (*finishing*) dari permukaan beton yang baik.

#### 3.3.2 Metode mix design

Ada beberapa metode *mix design* beton yang dapat digunakan sebagai dasar perhitungan campuran beton agar beton yang dihasilkan memenuhi dalam perancangan. Metode-metode tersebut antara lain Metode Dreux, Metode ACI (American Concrete Institute), Metode Road Note No. 4, Metode DOE dan cara coba-coba.

ngan:

$\sigma_{bm}$  = kuat des

$\sigma_{bk}$  = kuat des

$\sigma$  = nilai ma

$= 1,64 \times \sigma$

$= 1,28 \times \sigma$

= standar

Pada penelitian ini dipakai *mix design* dengan Metode DOE tahun 1988 dengan

alasan sebagai berikut:

1. lebih teliti,
2. lebih sederhana,
3. fleksibel dalam mengatur jumlah agregat atau bahan beton lainnya,
4. mudah mengatur kekurangan air yang disebabkan oleh kelembaban,
5. lebih ekonomis sebab pengaruh perubahan volume sedikit berkurang.

Pada metode ini tidak lagi memakai *zone grading* seperti pada Metode DOE tahun 1973. Sebagai acuan untuk mencari kadar agregat halus yang lolos ayakan 600 mikron, diplot ke grafik sehingga didapat proporsi agregat halus pada *mix design* tersebut.

Selanjutnya pada metode ini juga terdapat *mix design* khusus dari fly ash dimana pada prosentase fly ash-nya dikombinasikan dengan prosentase silica fume sebanyak 10%, 30% dan 50% dari kadar semen yang digantikan oleh fly ash (*cementitious ratio*). Pada *mix design* ini dipakai *cementitious ratio* sebanyak 10% dari total kadar semen.

Langkah-langkah *mix design* dengan Metode DOE adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata berdasar kuat desak yang disyaratkan dan nilai margin.

$$\sigma_{bm} = \sigma_{bk} + m$$

Voluma  
kecil  
sedang  
besar

menetapkan je

menentukan je

ah.

menetapkan f

menetapkan n

menentukan u

menghitung ka

Untuk mendapatkan nilai kadar air bebas, dipakai Tabel 3.1 mengenai perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan dalam memberi variasi workabilitas berdasarkan nilai slump dan ukuran agregat maksimum yang dipakai. Kemudian dihitung dengan memakai rumus:

$$2/3.WF + 1/3.Wc \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan:

WF = perkiraan jumlah air untuk agregat halus ( $\text{kg m}^3$ )

Wc = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar ( $\text{kg m}^3$ )

8. Menentukan reduksi air bebas.

Akibat penggantian sejumlah semen dengan fly ash, maka kebutuhan airnya harus direduksi seperti yang tercantum dalam Tabel 3.2. Pada tabel tersebut ditetapkan reduksi sebesar  $10 \text{ kg/m}^3$  untuk penambahan fly ash sebesar 10% dengan harga slump  $120 \pm 40 \text{ mm}$  yang termasuk dalam kategori 60-180 mm.

9. Menentukan kadar semen dalam *mix design*.

Nilai dari kadar semen didapat dengan rumus:

$$\text{Kadar PC} = \frac{(100 - p) \times W}{(100 - 0,7 \cdot p) \times \left(\text{rasio } \frac{W}{C}\right)}$$

10. Menentukan kadar fly ash dalam *mix design*.

Nilai dari kadar fly ash didapat dengan rumus:

$$\text{Kadar FA} = \frac{p \times C}{100 - p}$$

Karena kondisi material di lapangan tidak menentu, maka harus ada koreksi terhadap kadar air agregat berdasarkan data kadar air dan penyerapan material di lapangan.

$$\text{a. pasir} = \frac{\text{kadar air pasir} - \text{penyerapan air pasir}}{100} \times \text{berat pasir} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{b. split} = \frac{\text{kadar air split} - \text{penyerapan air split}}{100} \times \text{berat split} \dots\dots\dots(3.8)$$

## BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN

### 4.1 Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan adalah studi laboratorium untuk memenuhi tuntutan masyarakat dalam bidang struktur yaitu tentang beton mutu tinggi. Pembuatan sampel benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sebagai alternatif dalam membuat *mix design* dipakai Metode DOE. Mutu beton yang dibuat adalah beton dengan tegangan karakteristik sebesar  $600 \text{ kg cm}^2$  atau disebut juga beton K-600.

Pelaksanaan pembuatan beton K-600 dilaksanakan berdasarkan tahapan persiapan alat dan bahan, pemeriksaan bahan material, perhitungan campuran beton dan pembuatan benda uji. Langkah selanjutnya adalah perawatan benda uji dan pengujian kuat desak serta kuat tarik beton.

### 4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan dan peralatan yang akan digunakan harus terlebih dahulu dipersiapkan agar dalam pelaksanaan dapat berjalan lancar. Peralatan yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP UIL. Bahan-bahan yang dipakai merupakan bahan lokal kecuali semen dan *admixture*.

#### 4.2.1 Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. pasir : asal Kali Krasak, Yogyakarta,
- b. split : asal Kali Progo, Yogyakarta,
- c. semen : tipe I merk Gresik,
- d. fly ash : asal PT. Wahana Puzzolanic,
- e. silica fume : tipe *densified silica fume* merk MBT-SF,
- f. superplasticizer : tipe I.N-201,
- g. air : asal Lab. BKT, FTSP, UII, Yogyakarta

#### 4.2.2 Alat-alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tercantum dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Alat yang digunakan

No.	Alat	Kegunaan
1.	Mixer listrik	pencampur adukar beton
2.	Mesin siever	pengayak mekanik
3.	Mesin uji desak	tes desak beton
4.	Oven	pengering agregat
5.	Gelas ukur	menakar air
6.	Timbangan	menimbang bahan
7.	Ayakan	menyaring agregat
8.	Bak penampung	menampung beton segar
9.	Kerucut Abrams	pengukuran slump
10.	Sekop kecil	mengaduk agregat
11.	Talam agregat	wadah agregat
12.	Cetakan silinder	mencetak benda uji
13.	Tongkat penumbuk	memadatkan benda uji



### 4.3 Perhitungan Campuran Beton

Campuran beton untuk adukan menggunakan *cementitious ratio* 10% yang dikombinasikan dengan 4 variasi campuran fly ash dan silica fume. Sedangkan kadar superplastisizer adalah konstan, yaitu sebesar 0,7%.

1. Sampel 1, dengan menggunakan 0% fly ash dan 0% silica fume.
2. Sampel 2, dengan menggunakan 90% fly ash dan 10% silica fume.
3. Sampel 3, dengan menggunakan 70% fly ash dan 30% silica fume.
4. Sampel 4, dengan menggunakan 50% fly ash dan 50% silica fume.

Perhitungan campuran beton ini didasarkan pada data bahan susun beton sebagai berikut:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. kuat tekan rencana ( $\sigma'_{bc}$ ) umur 28 hari | = 600 kg/cm <sup>2</sup> |
| 2. diameter maksimum agregat kasar                    | = 20 mm                  |
| 3. modulus halus butir (mhb) pasir                    | = 2,85                   |
| 4. agregat lolos ayakan No. 30                        | = 39,7 %                 |
| 5. berat jenis pasir (SSD) dari Kali Krasak           | = 2,71 t/m <sup>3</sup>  |
| 6. berat jenis batu pecah (split) dari Kali Progo     | = 2,66 t/m <sup>3</sup>  |
| 7. penyerapan air pasir                               | = 0,98 %                 |
| 8. penyerapan air split                               | = 2,95 %                 |
| 9. kadar air pasir                                    | = 3,33 %                 |
| 10. kadar air split                                   | = 1,06 %                 |
| 11. berat jenis additive                              | = 1,2 kg/lit             |

12. las rencana  $= 0,3$

13. slump lapangan rencana  $12 \pm 4$  cm

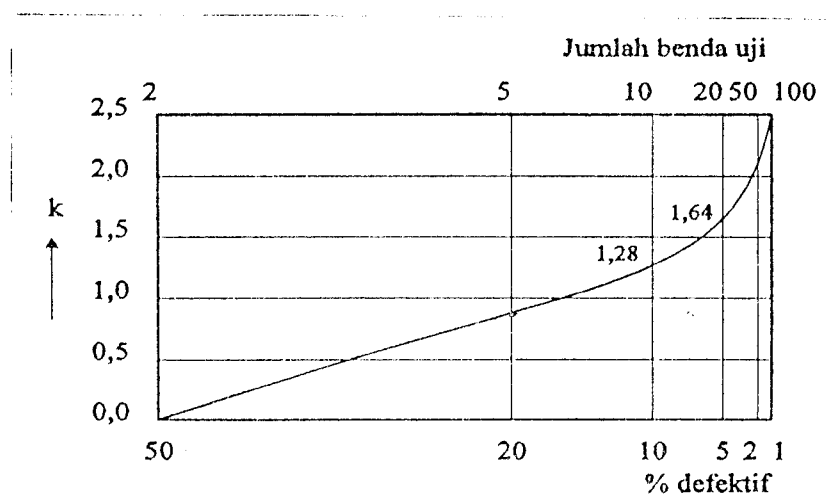
#### 4.3.1 *Mix design* beton dengan fly ash

Perhitungan campuran beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kuat desak rata-rata.

a. menghitung nilai margin (m)

Untuk 12 benda uji dengan prosentase yang diperkirakan akan jatuh di bawah kekuatan desak karakteristik sebesar 8,3 %, berdasarkan Gambar 4.1 atau Tabel 4.2 diambil nilai k sebesar 1,40.



Gambar 4.1 Hubungan antara faktor k dan bagian hasil pemeriksaan yang diperkirakan di bawah kekuatan desak minimum

Tabel 4.2 Harga k untuk beberapa keadaan

Sumber: Subakti, 1995

k untuk 10% defektif	1,28
k untuk 5% defektif	1,64
k untuk 2,5% defektif	1,96
k untuk 1% defektif	2,33

Berdasarkan tabel 3.5, untuk volume pekerjaan lebih besar dari 3000 m<sup>3</sup> dan mutu pelaksanaan baik didapat nilai:

$$sd = 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = k \cdot sd$$

$$= 1,40 \cdot 40$$

$$= 56 \text{ kg/cm}^2$$

b. menghitung kuat desak rata-rata

$$\sigma'_{bm} \text{ kubus} = \sigma'_{bk} + m$$

$$= 600 + 56$$

$$= 656 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{bm} \text{ silinder} = 0,83 \times \sigma'_{bm} \text{ kubus}$$

$$= 0,83 \times 656$$

$$= 544,48 \text{ kg/cm}^2$$

2. Menetapkan jenis semen.

Dalam penelitian ini dipakai semen portland tipe I dari Semen Gresik.

3. Menentukan jenis agregat.

- a. agregat kasar : batu pecah (split)
- b. agregat halus : pasir alami

4. Menetapkan faktor air semen (fas)

Pada penelitian ini ditetapkan nilai faktor air semen sebesar 0,3.

5. Menetapkan nilai slump.

Dalam penelitian ini ditetapkan nilai slump sebesar  $120 \pm 40$  mm, sehingga perlu dipakai penambahan *chemical admixture* berupa superplasticizer agar harga slump dari *mix design* tetap.

6. Menentukan ukuran agregat maksimum.

Untuk penelitian ini dipakai ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm.

7. Menghitung kadar air bebas.

Merujuk pada Tabel 3.1 mengenai perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan dalam memberikan variasi workabilitas, yaitu dengan nilai slump  $120 \pm 40$  mm termasuk pada klasifikasi 60-180 mm dan ukuran agregat maksimum adalah 20 mm. Dalam hal ini agregat yang digunakan adalah kombinasi dari agregat *crushed* dan *uncrushed* yaitu batu pecah dan pasir. Sehingga dari tabel tersebut didapat nilai kadar air bebas sebesar

$$\frac{2}{3} W_T + \frac{1}{3} W_C$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 195 + \frac{1}{3} \cdot 225 = 205 \text{ kg m}^{-3}$$

8. Menentukan reduksi air bebas.

Berdasarkan Tabel 3.2 ditetapkan reduksi sebesar  $10 \text{ kg cm}^{-3}$  untuk penambahan fly ash sebesar 10% dengan harga slump  $120 \pm 40 \text{ mm}$  yang termasuk dalam kategori 60-180 mm. Sehingga kadar air bebas selanjutnya adalah sebesar

$$205 - 10 = 195 \text{ kg m}^{-3}$$

Untuk penentuan kadar PC murni tanpa penambahan fly ash dari *mix design* adalah hasil bagi antara kadar air bebas tereduksi dengan rasio fas sehingga

$$\text{Kadar PC murni} = \frac{195}{0,3} = 650 \text{ kg m}^{-3}$$

9. Menghitung kadar semen.

$$\begin{aligned} \text{Kadar PC} &= \frac{(100 - p)W}{(100 - 0,7 \cdot p) \times (\text{rasio} \frac{W}{C})} \\ &= \frac{(100 - 10) \times 195}{(100 - 0,7 \times 10) \times 0,3} = 629,03 \text{ kg m}^{-3} \end{aligned}$$

10. Menghitung kadar fly ash.

$$\begin{aligned} \text{Kadar FA} &= \frac{p \cdot C}{100 - p} \\ &= \frac{10 \times 629,03}{100 - 10} = 69,89 \text{ kg m}^{-3} \end{aligned}$$



Kadar FA ini kemudian dikombinasikan dengan 3 variasi pencampuran fly ash dan silica fume seperti berikut ini.

$$\text{Mix 2: FA} = 90\% \times 69,89 = 62,90 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{SF} = 10\% \times 69,89 = 6,99 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{Mix 3: FA} = 70\% \times 69,89 = 48,92 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{SF} = 30\% \times 69,89 = 20,97 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{Mix 4: FA} = 50\% \times 69,89 = 34,95 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{SF} = 50\% \times 69,89 = 34,95 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{Kadar PC total} = 629,03 \div 69,89 = 698,92 \text{ kg m}^{-3} = \text{Ladar PC murni}$$

$$\text{Rasio fas real} = \frac{195}{698,92} = 0,28$$

#### 11. Menentukan proporsi agregat halus.

Proporsi agregat halus dicari dengan mengetahui data: persentase agregat halus yang lolos ayakan No. 30, ukuran agregat maksimum, rasio fas dan nilai slump. Dengan merujuk pada Gambar 3.4, maka dapat diketahui prosentase S/A yaitu sebesar 41,4%.

#### 12. Menentukan kepadatan beton.

$$\text{BJ relatif} = 0,414 \cdot 2,71 + 0,586 \cdot 2,66 = 2,681 \text{ t m}^{-3}$$

Dengan merujuk pada Gambar 3.3, untuk kadar air bebas =  $195 \text{ kg m}^{-3}$  dan BJ relatif =  $2,681 \text{ t m}^{-3}$  didapat:

$$\text{Kepadatan beton} = 2409,23 \text{ kg m}^{-3}$$

13. Menghitung total kadar agregat.

$$\text{Total kadar agregat} = \text{kepadatan beton} - (\text{kadar PC} + \text{FA}) - \text{kadar air}$$

$$2409,23 - 698,92 - 195 = 1515,31 \text{ kg/m}^3$$

14. Menghitung kadar agregat halus.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{41,4}{100} \times 1515,31 = 627,34 \text{ kg/m}^3$$

15. Menghitung kadar agregat kasar.

$$\text{Kadar agregat kasar} = 1515,31 - 627,34 = 887,97 \text{ kg/m}^3$$

16. Koreksi kadar air agregat.

a. pasir  $\frac{\text{kadar air pasir} - \text{penyerapan pasir}}{100} \times \text{berat pasir}$

$$= \frac{3,33 - 0,98}{100} \times 627,34 = 14,74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jadi pasir yang diperlukan} = 627,34 + 14,74 = 642,08 \text{ kg/m}^3$$

b. splite  $\frac{\text{kadar air splite} - \text{penyerapan splite}}{100} \times \text{berat splite}$

$$= \frac{1,06 - 2,95}{100} \times 887,97 = -16,78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jadi splite yang diperlukan} = 887,97 - 16,78 = 871,19 \text{ kg/m}^3$$

c. Air yang diperlukan =  $195 - (14,74 - 16,78) = 197,04 \text{ kg/m}^3$

#### 4.3.2 *Mix design* beton normal

1. Menghitung kadar air bebas.



Berdasarkan Tabel 3.1, untuk nilai slump  $120 \pm 40$  mm yang termasuk pada klasifikasi 60-180 mm dan dengan ukuran agregat maksimum 20 mm didapat kadar air bebas sebesar:

$$= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\ = 205 \text{ kg/m}^3$$

2. Menghitung kadar semen.

$$\text{Kadar PC} = \frac{205}{0,3} = 683,33 \text{ kg/m}^3$$

3. Menentukan proporsi agregat halus.

Dengan merujuk pada Gambar 3.4, didapat prosentase S/A sebesar 41,4%.

4. Menentukan kepadatan beton.

Berdasarkan Gambar 3.3, untuk kadar air bebas  $= 205 \text{ kg/m}^3$  dan BJ relatif  $= 2,681$   $\text{t m}^3$  didapat:

$$\text{Kepadatan beton} = 2396,15 \text{ kg/m}^3$$

5. Menghitung total kadar agregat.

$$\text{Total kadar agregat} = 2396,15 - (683,33 + 205) \\ = 1507,82 \text{ kg m}^3$$

6. Menghitung kadar agregat halus.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{41,4}{100} \times 1507,82 = 624,24 \text{ kg m}^3$$

7. Menghitung kadar agregat kasar.

$$\text{Kadar agregat kasar} = 1507,82 - 624,24 = 883,58 \text{ kg m}^3$$

8. Koreksi kadar air agregat.

$$\text{a. pasir} = \frac{\text{kadar air pasir} - \text{penyerapan pasir}}{100} \times \text{berat pasir}$$

$$= \frac{3,33 - 0,98}{100} \times 624,24 = 14,67 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jadi pasir yang diperlukan} = 624,24 + 14,67 = 638,91 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{b. splite} = \frac{\text{kadar air splite} - \text{penyerapan splite}}{100} \times \text{berat splite}$$

$$= \frac{1,06 - 2,95}{100} \times 883,58 = -16,70 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jadi splite yang diperlukan} = 883,58 - 16,70 = 866,88 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{c. Air yang diperlukan} = 205 - (14,67 - 16,70) = 207,03 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.3.3 Kebutuhan material per 0,064 m<sup>3</sup> beton untuk tiap-tiap mix

a. Mix 1(MN-.3)

$$\text{PC} = 0,064 \cdot 683,33 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 683,33 = 50,29 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 0,064 \cdot 207,03 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 207,03 = 15,24 \text{ lt}$$

$$\text{Split} = 0,064 \cdot 866,88 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 866,88 = 63,80 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 0,064 \cdot 638,91 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 638,91 = 47,02 \text{ kg}$$

b. Mix 2 (M10.3-FA90SF10)

$$\text{PC} = 0,064 \cdot 629,03 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 629,03 = 46,30 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{FA} &= 0,064 \cdot 62,90 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 62,90 = 4,63 \text{ kg} \\ \text{SF} &= 0,064 \cdot 6,99 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 6,99 = 0,51 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 0,064 \cdot 197,04 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 197,04 = 14,50 \text{ lt} \\ \text{Split} &= 0,064 \cdot 871,19 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 871,19 = 64,12 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 0,064 \cdot 642,08 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 642,08 = 47,26 \text{ kg} \end{aligned}$$

## c. Mix 3 (M10,3-FA70SF30)

$$\begin{aligned} \text{PC} &= 0,064 \cdot 629,03 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 629,03 = 46,30 \text{ kg} \\ \text{FA} &= 0,064 \cdot 48,92 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 48,92 = 3,60 \text{ kg} \\ \text{SF} &= 0,064 \cdot 20,97 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 20,97 = 1,54 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 0,064 \cdot 197,04 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 197,04 = 14,50 \text{ lt} \\ \text{Split} &= 0,064 \cdot 871,19 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 871,19 = 64,12 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 0,064 \cdot 642,08 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 642,08 = 47,26 \text{ kg} \end{aligned}$$

## d. Mix 4 (M10,3-FA50SF50)

$$\begin{aligned} \text{PC} &= 0,064 \cdot 629,03 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 629,03 = 46,30 \text{ kg} \\ \text{FA} &= 0,064 \cdot 34,95 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 34,95 = 2,57 \text{ kg} \\ \text{SF} &= 0,064 \cdot 34,95 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 34,95 = 2,57 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 0,064 \cdot 197,04 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 197,04 = 14,50 \text{ lt} \\ \text{Split} &= 0,064 \cdot 871,19 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 871,19 = 64,12 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 0,064 \cdot 642,08 + 15\% \cdot 0,064 \cdot 642,08 = 47,26 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.4 Pelaksanaan Penelitian

##### 4.4.1 Pembuatan benda uji

1. Bahan disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penimbangan bahan-bahan sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan. Terlebih dahulu split dan pasir yang akan dipakai dicuci dari segala kotoran dan debu, kemudian diangin-anginkan agar diperoleh keadaan jenuh permukaan.
2. Dimasukkan bahan-bahan agregat kasar dan sebagian air dari jumlah air yang dibutuhkan ke dalam mesin pengaduk (molen) yang sedang berputar. Setelah beberapa saat tambahkan agregat halus, semen, *additive* dan air sedikit sampai campuran rata.
3. Setelah benar-benar tercampur dengan baik untuk mengetahui kelecakan adukan beton, maka dilakukan pengukuran slump dengan kerucut Abrams berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm, yang dilengkapi penumbuk dari baja berdiameter 16 mm. Pelaksanaan percobaan slump dilakukan dengan cara kerucut didesak pada penyokong-penyokong kakinya sampai diisi adukan beton. Dibuat tiga lapis adukan dan tiap lapis ditumbuk sebanyak 25 kali. Bagian atas kerucut diratakan dan didiamkan selama 30-60 detik. Kemudian kerucut Abrams diangkat perlahan-lahan dengan tegak lurus dan diletakkan disamping adukan tadi. Diukur antara puncak kerucut dengan puncak adukan yang telah mengalami penurunan, selisih tinggi tersebut dinamakan slump.

4. Dimasukkan adukan tadi dalam cetakan silinder beton yang telah dilapisi oli. Adukan dipadatkan dengan cara ditumbuk dan diketuk-ketuk dengan menggunakan palu sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang terperangkap akan keluar. Setelah didiamkan selama beberapa menit, permukaan silinder diratakan dengan menggunakan cetok dan ditutup kaca. Adukan yang telah dicetak didiamkan selama 24 jam dan diletakkan di tempat yang terlindung dari hujan maupun sinar matahari.

Setelah 24 jam cetakan dapat dibuka.

#### 4.4.2 Perawatan benda uji

Waktu yang harus disediakan untuk perawatan beton berdasarkan spesifikasi, dimaksudkan agar beton menjadi matang, sehingga :

1. Menghindarkan timbulnya retak-retak pada permukaan beton akibat terlalu cepatnya kehilangan air pada saat beton itu masih berada dalam keadaan plastis.
2. Untuk menjamin tercapainya kekuatan tekan yang disyaratkan, yang tergantung pada:
  - a. jumlah semua air yang mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat dan mengelilingi butir-butir semen.
  - b. jumlah semen yang telah terhidrasi.

Dari beberapa metode perawatan yang ada maka dipilih perawatan dengan cara pembasahan yaitu dengan cara merendam benda uji.

Disamping hal-hal yang diutarakan di atas, jangka waktu perawatan yang disyaratkan itu dimaksudkan untuk pengontrolan derajat terhydrasinya semen. Proses hydrasi akan berlangsung dengan baik, apabila kelembaban relatif berada di atas 80%. Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan lajunya umur beton, hanya apabila mengeringnya beton itu dapat dicegah.

#### 4.5 Pengujian Kuat Desak dan Kuat Tarik Beton (Benda Uji)

Pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji dilakukan setelah masa perawatan selesai yaitu berumur 3, 14 dan 28 hari. Hal-hal yang dicatat dari pengujian kuat tekan adalah berat masing-masing benda uji dan beban maksimum. Disamping itu juga diamati keadaan pecah beton. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta menggunakan alat uji tekan merk Control dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

1. Mesin uji tekan dihidupkan, pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sampai benda uji tersebut hancur pada pembebanan maksimal. Kemudian mesin dimatikan dan besar beban dicatat sesuai jarum penunjuk pembebanan.
2. Benda uji diamati keadaan pecahnya. Dilihat perbandingan antara kerikil yang lepas dan kerikil yang pecah.

Tegangan tekan beton diperoleh dengan membagi beban yang mampu ditahan masing-masing benda uji dengan luas permukaan beton yang ditekan. Beban  $P$  diubah

dulu dari Kilo Newton ke Kilogram (1 KN = 101 Kg). Rumus tegangan tekan beton adalah:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

dengan: P = beban maksimum yang mampu ditahan (kg)

A = luas permukaan tekan beton (cm<sup>2</sup>)

Pengujian kuat tarik beton terhadap benda uji dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Cara pengujiannya hampir sama dengan uji kuat tekan. Perbedaannya adalah pada penempatan benda uji. Untuk uji tekan benda uji diletakkan vertikal, sedangkan pada uji tarik benda uji ditempatkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder hingga benda uji terbelah menjadi dua bagian. Tegangan tarik beton dihitung dengan memakai rumus di bawah ini.

$$f_t = \frac{2P}{\pi L D}$$

dengan: P = beban pada waktu belah (kg)

L = panjang tinggi silinder (cm)

D = diameter silinder (cm)

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Setelah semua pelaksanaan penelitian di Laboratorium selesai, sebagai hasilnya didapatkan data-data mengenai berat, beban yang mampu di tahan ( $P = 101 \text{ kg} = 1 \text{ KN}$ ) serta kuat tekan dan kuat tarik beton untuk masing-masing benda uji.

Data-data yang didapat ditabelkan berdasarkan kombinasi pencampuran fly ash dan silica fume dengan *cementitious ratio* 10%.

Pada data *strength* beton dikelompokkan berdasarkan umur 3, 14 dan 28 hari. Sementara itu, untuk menghasilkan kombinasi *strength* pada umur 3, 14 dan 28 hari tersebut berdasarkan *mix design*. *Mix design* ini merupakan hasil dari contoh perhitungan pada Bab IV, untuk lebih jelasnya disusun dalam Tabel berikut ini.

##### 5.1.1 Tabel *mix design*

Tabel 5.1 adalah tabel *mix design* beton dengan penambahan fly ash dan silica fume, sedangkan tabel 5.2 adalah tabel *mix design* beton normal.



Tabel 5.1 Mix design beton dengan FA dan SF pada cementitious ratio 10%

NO.	FAKTOR		
1	Kadar penambahan FA (p dalam %)	10	
2	Slump	60-180 mm	
3	Ukuran agregat maksimum	20 mm	
4	Fas atau W (C + 0,3F)	0,3	
5	Kadar air bebas	205	
6	Reduksi karena FA 10%	-10	
7	Kadar air bebas tereduksi	195	
8	Kadar semen murni	650,00	
9	Kadar semen (C)	629,00	
10	Kadar fly ash (F)	69,80	
11	C + F	698,90	
12	Fas real	0,28	
13	BJ agregat relatif	2,681	
14	BJ beton	2409,23	
15	Total kadar agregat	1515,31	
16	% lolos ayakan 0,5 <sup>o</sup> (600 mikron)	39,7	
17	Proporsi agregat halus	11,4	
18	Kadar agregat halus	627,34	
19	Kadar agregat kasar	887,97	
20	Koreksi kadar air agregat		
	- kadar agregat halus	14,74	642,08
	- kadar agregat kasar	-16,78	871,19
	- kadar air bebas	2,01	197,01
	JUMLAH (PER 12 SILINDER 15/30)	per m <sup>3</sup>	per 0,064 m <sup>3</sup>
21	Semen	629,03	46,30
22	Fly ash	69,80	5,14
	- FA 90%		4,63
	- SF 10%		0,51
	- FA 70%		3,60
	- SF 30%		1,54
	- FA 50%		2,57
	- SF 50%		2,57
23	Air	197,01	11,50
24	Agregat halus	642,08	47,26
25	Agregat kasar (10 mm dan 20 mm)	871,19	64,12
	TOTAL	2409,23	

Tabel 5.2 Mix design beton normal

NO.	FAKTOR		
1	Kadar penambahan FA (p dalam %)	0	
2	Slump	60-180 mm	
3	Ukuran agregat maksimum	20 mm	
4	Basatua $W/(C + 0,3F)$	0,3	
5	Kadar air bebas	205	
6	Reduksi karena FA 0%	0,00	
7	Kadar air bebas tereduksi	205	
8	Kadar semen mumi	683,33	
9	Kadar semen (C)	683,33	
10	Kadar fly ash (F)	0,00	
11	C : F	683,33	
12	Basatua	0,3	
13	BJ agregat relatif	2,681	
14	BJ beton	2396,15	
15	Total kadar agregat	1507,82	
16	% lolos ayakan 0,5 $\phi$ (600 mikron)	39,7	
17	Proporsi agregat halus	41,4	
18	Kadar agregat halus	624,24	
19	Kadar agregat kasar	883,58	
20	Koreksi kadar air agregat		
	- kadar agregat halus	14,6	638,91
	- kadar agregat kasar	-16,70	866,88
	- kadar air bebas	2,03	207,03
	JUMLAH (PER 12 SILINDER 15'30)		per 0,064 m <sup>3</sup>
21	Semen	683,33	50,29
22	Air	207,03	15,24
23	Agregat halus	638,91	47,02
24	Agregat kasar (10 mm dan 20 mm)	866,88	63,80
	TOTAL	2396,15	

### 5.1.2 Penambahan superplasticizer pada tiap *mix design*

Untuk menjaga nilai slump konstan sebesar 120 mm  $\pm$  40 mm diperlukan superplasticizer karena kebutuhan air akan semakin meningkat karena sifat dari fly ash dan silica fume itu sendiri yang menambah kebutuhan air, seperti yang tertera dalam

*mix design*, bahwa setiap kadar fly ash dalam *cementitious ratio* terdapat sejumlah pengurangan air.

Adapun data-data penambahan superplasticizer tiap-tiap *mix design* adalah sebagai berikut (lihat tabel 5.3):

Tabel 5.3 Jumlah penambahan superplasticizer pada tiap *mix design*

NO.	JENIS	BERAT SEMEN DALAM 0,064 m <sup>3</sup> (kg)	PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER	BERAT SP (gram)	SLUMP YANG DIHASILKAN (mm)
1.	MN-3	50,29	0,7%	352,03	216
2	M10.3-FA90SF10	46,30	0,7%	324,10	122
3	M10.3-FA70SF30	46,30	0,7%	324,10	138
4	M10.3-FA50SF50	46,30	0,7%	324,10	153

### 5.1.3 Tabel *strength* tiap variasi *mix design*

Tabel 5.4 sampai dengan tabel 5.8 adalah tabel *strength* dari masing-masing variasi pencampuran dengan rasio fas 0,3 dan *cementitious ratio* 10<sup>0</sup>%.

Tabel 5.4 Data kuat tekan benda uji umur 3 hari

No.	Jenis	Kuat tekan kubus(kg/cm <sup>2</sup> )				Kuat tekan silinder (kg/cm <sup>2</sup> )				Berat volume (ton/m <sup>3</sup> )
		$\sigma'_{b1}$	$\sigma'_{b2}$	$\sigma'_{b3}$	rata- rata	$fc'_1$	$fc'_2$	$fc'_3$	rata- rata	
1	MN-3	344,34	303,01	371,88	339,74	285,80	251,50	308,66	281,99	2,43
2	M10.3-FA90SF10	334,00	206,60	275,47	272,02	277,22	171,48	228,64	225,78	2,48
3	M10.3-FA70SF30	261,69	316,78	275,47	284,65	217,20	262,93	228,64	236,26	2,47
4	M10.3-FA50SF50	275,47	258,25	206,6	246,77	228,64	214,35	171,48	204,82	2,44

Tabel 5.5 Data kuat tekan benda uji umur 14 hari

No.	Jenis	Kuat tekan kubus (kg/cm <sup>2</sup> )				Kuat tekan silinder (kg/cm <sup>2</sup> )				Berat volume (ton/m <sup>3</sup> )
		$\sigma'b_1$	$\sigma'b_2$	$\sigma'b_3$	rata-rata	$fc'_1$	$fc'_2$	$fc'_3$	rata-rata	
1	M10	550,93	557,82	537,16	548,64	457,27	461,99	445,84	455,37	2,46
2	M10 (KAWAN)	606,01	595,70	575,04	592,25	502,99	494,43	477,28	491,57	2,47
3	M10 (KAWAN)	565,36	578,48	640,46	601,43	465,65	460,14	531,58	499,19	2,44
4	M10 (KAWAN)	595,70	640,46	612,92	616,36	494,43	531,58	508,72	511,58	2,42

Tabel 5.6 Data kuat tekan benda uji umur 28 hari

No.	Jenis	Kuat tekan kubus (kg/cm <sup>2</sup> )				Kuat tekan silinder (kg/cm <sup>2</sup> )				Berat volume (ton/m <sup>3</sup> )
		$\sigma'b_1$	$\sigma'b_2$	$\sigma'b_3$	rata-rata	$fc'_1$	$fc'_2$	$fc'_3$	rata-rata	
1	M10	668,00	640,46	661,12	656,53	554,44	531,58	548,73	544,92	2,45
2	M10 (KAWAN)	592,25	599,13	619,80	603,73	491,57	497,28	514,43	501,09	2,45
3	M10 (KAWAN)	637,01	685,22	674,89	665,71	528,72	568,73	560,16	552,54	2,45
4	M10 (KAWAN)	736,87	668,00	681,77	695,55	611,60	554,44	565,87	577,30	2,42

Tabel 5.7 Data kuat tarik benda uji umur 28 hari berdasar kuat tekannya

No.	Jenis	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )				Kuat tarik (kg/cm <sup>2</sup> )				Berat volume (ton/m <sup>3</sup> )
		$fc'_1$	$fc'_2$	$fc'_3$	rata-rata	$\sigma_t_1$	$\sigma_t_2$	$\sigma_t_3$	rata-rata	
1	M10	554,44	531,58	548,73	544,92	13,42	13,14	13,35	13,30	2,45
2	M10 (KAWAN)	491,57	497,28	514,43	501,09	12,64	12,71	12,93	12,76	2,45
3	M10 (KAWAN)	528,72	568,73	560,16	552,54	13,11	13,39	13,49	13,40	2,45
4	M10 (KAWAN)	611,60	554,44	565,87	577,30	14,10	13,12	13,56	13,69	2,42

Tabel 5.8 Data kuat tarik benda uji umur 28 hari

No.	Jenis	Kuat tarik kubus (kg/cm <sup>2</sup> )				Kuat tarik silinder (kg/cm <sup>2</sup> )				Berat
		$\sigma_{t1}$	$\sigma_{t2}$	$\sigma_{t3}$	rata-rata	$f_{t1}$	$f_{t2}$	$f_{t3}$	rata-rata	volume (ton/m <sup>3</sup> )
1	M30 (FA 0%)	31,84	49,06	56,81	45,90	26,43	40,72	47,15	38,10	2,45
2	M30 (FA 5%)	56,81	39,59	49,06	48,49	47,15	32,86	40,72	40,24	2,43
3	M30 (FA 10%)	61,98	47,52	41,31	50,27	51,44	39,44	34,29	41,72	2,44
4	M30 (FA 15%)	39,42	64,55	50,27	51,41	32,72	53,58	41,72	42,67	2,42

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Keadaan fisik beton

Beton dengan penambahan fly ash dan silica fume bila diangkat dari air, terdapat endapan kapur berwarna putih di seluruh permukaan beton. Hal ini berarti  $\text{Ca(OH)}_2$  hasil sampingan dari reaksi hidratisasi semen ke luar ke permukaan beton. Keluarnya  $\text{Ca(OH)}_2$  ini mengakibatkan dampak pada peningkatan rongga beton, sehingga porositasnya meningkat dan kepadatannya berkurang.

### 5.2.2 Workabilitas

Karena adanya perbedaan komposisi bahan tambah pada tiap-tiap *mix design*, maka nilai slump yang dihasilkan bervariasi seperti yang tertera dalam Tabel 5.3. Untuk beton normal nilai slumpnya melebihi nilai slump yang disyaratkan yaitu sebesar 216 mm. Hal ini disebabkan karena pada beton normal tidak menggunakan fly ash sehingga air yang ada hanya untuk reaksi hidratisasi semen. Disamping itu juga karena tidak adanya reduksi kadar air sehingga kadar airnya tetap. Semakin besar nilai slump berarti

adukan beton semakin encer sehingga tingkat workabilitasnya semakin tinggi. Untuk menjaga agar nilai slump konstan seperti yang direncanakan, maka kadar superplastifier pada beton normal dikurangi.

### 5.2.3 Analisa kuat tekan beton

Prinsip Metode *Mix Design* DOE 1988 mengenai penambahan fly ash mengikuti konsepsi karakteristik *strength* beton normal, sehingga diharapkan segala variasi *mix design* beton mempunyai *strength* yang sama bahkan lebih besar dibanding dengan beton normal tanpa penambahan fly ash dan silica fume pada umur 28 hari.

Berdasarkan Tabel 5.6 kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari terdapat pada tipe M10.3-FA50SF50 dengan kuat tekan rata-rata sebesar  $577.30 \text{ kg/cm}^2$ .

Dari data hasil percobaan kuat tekan yang didapat diketahui bahwa pada umur 3 hari beton dengan *cementitious ratio* 10% mempunyai kuat tekan lebih kecil daripada beton normal. Hal ini disebabkan karena reaksi semen dengan air yang menghasilkan C-S-H (*calcium silicate hydrate*) dan hasil sampingan berupa  $\text{Ca(OH)}_2$ .

C-S-H berperan membentuk *strength* tetapi C-S-H tersebut belum bereaksi seluruhnya pada umur-umur awal. Hasil sampingan semen dengan air yaitu  $\text{Ca(OH)}_2$  direaksikan oleh fly ash sehingga mampu menghasilkan C-S-H baru pada umur-umur selanjutnya.

Sementara itu, silica fume yang mempunyai kadar  $\text{SiO}_2$  yang cukup tinggi yaitu lebih dari 90% inilah yang bereaksi dengan hasil sampingan hidratisasi semen  $\text{Ca(OH)}_2$  membentuk C-S-H baru.  $\text{SiO}_2$  ini cukup reaktif bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk

membentuk C-S-H dibandingkan fly ash sehingga pada seluruh kombinasi pencampuran, peningkatan kuat tekan berbanding lurus dengan peningkatan persentase silica fume pada kombinasi *mix design* (Gambar 5.1). Reaksi *puzzolanic* ini berjalan cukup lama sampai  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terbentuk bereaksi semuanya. Sehingga semakin lama umur beton maka kuat tekan yang didapat semakin tinggi terutama pada kadar silica fume yang semakin besar.

Dampak dari perbedaan komposisi variasi antara fly ash dengan silica fume memberikan perbedaan kuat tekan yang relatif kecil terhadap komposisi penambahan fly ash dan silica fume. Hal ini tampak dominan pada umur-umur awal karena peningkatan jumlah silica fume pada umur-umur awal tidak memberikan pengaruh yang dominan merujuk pada sifat reaksi  $\text{SiO}_2$  dari silica fume yang berjalan lambat dan hanya efektif pada kuantitas tertentu untuk dapat mereaksi total  $\text{Ca(OH)}_2$  hasil dari hidratisasi semen untuk membentuk C-S-H baru yang berdampak pada pembentukan *strength*. Jadi kelebihan kadar silica fume pada umur-umur awal hanya berfungsi sebagai *filler* saja.

Pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa pada beton tipe M10.3-FA90SF10 mempunyai kuat tekan yang kurang dari kuat tekan karakteristik yang direncanakan yaitu sebesar  $544,48 \text{ kg/cm}^2$ . Peningkatan kekuatan yang terlalu kecil ini disebabkan karena dampak dari pemakaian fly ash yang menyebabkan meningkatnya sensitivitas beton. Apabila penanganan *curing* beton buruk maka akan terjadi penguapan/pelepasan air yang berlebihan yang akan menyebabkan hambatan dalam proses hidrasi.

Disamping itu juga disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur pada saat pengadukan yang pada batasan masalah tidak diperhitungkan.

Pada penelitian ini terdapat variasi mutu beton yang pada umumnya disebabkan oleh:

1. Variabel material, semen, grading, kelembaban, sifat-sifat fisik, bentuk partikel, dan penggunaan *admixture*.
2. Selama proses produksi beton yang meliputi: alat *batching*, metode pengangkutan, pemadatan dan manusia pekerjanya.
3. *Testing*: cara membuat benda uji, *curing*, cara pengujian, ketelitian cetakan, kecepatan pembebanan, keadaan permukaan benda uji.

Kemampuan pekerja yang baik pada umumnya akan memberikan hasil tes yang akurat dan menentukan kualitas beton secara konsisten. Pekerja yang tidak berpengalaman seringkali memberikan hasil tes yang tidak konsisten dan di bawah perkiraan kekuatan beton yang diinginkan. Sehingga pekerja yang tidak berpengalaman akan memberikan hasil yang rendah dan lebih banyak variasi dari pada yang dihasilkan oleh pekerja yang baik atau yang berpengalaman.

Faktor kurangnya pemadatan mempengaruhi kuat hancur beton. Karena dalam pembuatan benda uji pemadatan dilakukan hanya dengan ditumbuk tangan, maka tingkat kepadatan antara benda uji yang satu dengan yang lain sulit untuk diukur. Padahal dengan pemadatan yang kurang akan menyebabkan gelembung-gelembung



udara. Menurut penelitian, beton yang mengandung rongga udara 5%, maka akan terjadi pengurangan kekuatan sebanyak 30% (Murdock dan Brook, 1986).

Kecepatan mesin uji di dalam pembebanan terhadap benda uji juga dapat berpengaruh terhadap kuat hancurnya, terutama untuk kecepatan pembebanan yang tinggi, karena dengan kecepatan yang lebih rendah beton mempunyai cukup banyak waktu untuk rayapan (Murdock dan Brook, 1986).

Hal lain yang berpengaruh pada kuat hancur benda uji adalah keadaan permukaan benda uji. Apabila permukaan desak benda uji tidak rata atau miring, maka beban tidak ditahan oleh seluruh permukaan benda uji secara merata, maka dapat menyebabkan pemusatan pembebanan yang mengakibatkan menurunnya kuat hancur beton.

Setiap kesalahan atau kealpaan dalam prosedur pembuatan, penanganan dan pengetesan umumnya akan menimbulkan hasil tes yang rendah.

#### 5.2.4 Analisa kuat tarik beton

Berdasarkan Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 diketahui bahwa kuat tarik beton yang dihitung berdasarkan kuat tekannya (persamaan 2.3) mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding dengan kuat tarik beton yang dihitung berdasarkan persamaan 2.2. Kuat tarik yang terdapat pada Tabel 5.7 adalah kuat tarik beton yang diijinkan, sedangkan kuat tarik pada Tabel 5.8 adalah kuat tarik maksimum akibat beban pada waktu belah.

Dari Tabel 5.8 didapat kuat tarik rata-rata beton pada umur 28 hari yang maksimum adalah terdapat pada beton dengan tipe M10.3-FA50SF50 yaitu sebesar 42,67 kg/cm<sup>2</sup>.

Pada Gambar 5.2 menunjukkan bahwa perkembangan kuat tarik beton hampir sama dengan perkembangan kuat tekan beton. Perkembangan kuat tarik beton dipengaruhi oleh daya lekat pasta terhadap agregat. Pada beton yang menggunakan silica fume akan menyebabkan berkurangnya kandungan C<sub>3</sub>S dan C<sub>3</sub>A dari semen, sedangkan telah diketahui bahwa reaksinya sebagai bahan perekat sangat cepat. Hal ini menyebabkan kuat tarik beton dengan silica fume lebih lambat perkembangan kuat tariknya dari pada beton normal.

Setelah kapur yang merupakan hasil sampingan dari hidrasi C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S bereaksi dengan silica reaktif dari silica fume membentuk kalsium silikat hidrat, beton dengan silica fume menunjukkan kuat tarik yang lebih baik dibandingkan beton normal.

#### 5.2.5 Analisa harga tiap variasi *mix design*

Diketahui parameter harga dari unsur-unsur penyusun *mix design* berdasarkan RAB bulan Mei 1998 berupa:

- |                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| 1. Harga semen      | = Rp. 250,00/kg                |
| 2. Harga pasir      | = Rp. 35.000,00/m <sup>3</sup> |
| 3. Harga batu pecah | = Rp. 40.000,00 m <sup>3</sup> |
| 4. Harga air        | Rp.1000,00 m <sup>3</sup>      |
| 5. Harga fly ash    | Rp.95,00 kg                    |

6. Harga silica fume = Rp.3000.00 kg
7. Harga superplasticizer = Rp.2750.00 liter
8. BJ pasir = 2710 kg m<sup>3</sup>
9. BJ batu pecah = 2660 kg m<sup>3</sup>
10. BJ air = 1000 kg m<sup>3</sup>
11. BJ superplasticizer = 1200 kg liter

Sehingga apabila disusun daftar harga dari setiap campuran akan tampak seperti pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Daftar harga dalam rupiah dari setiap campuran dalam kg

NO	JENIS	SEMEN	AIR	PASIR	SPLITE	FA	SF	SP	HARGA
1	MIN-3	683,33	207,03	636,91	666,68	0	0	0,35	192.332,92
2	M10.3-FA90SF10	629,03	197,04	642,08	871,19	62,90	6,99	0,32	205.799,14
3	M10.3-FA70SF30	629,03	197,04	642,08	871,19	48,92	20,97	0,32	249.411,04
4	M10.3-FA50SF50	629,03	197,04	642,08	871,19	34,95	34,95	0,32	287.023,89

Selanjutnya dapat dilihat visualisasi harga pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 mengenai *positioning* harga dari masing-masing campuran. Pada Gambar 5.4 menunjukkan hubungan antara harga 'fc' pada umur 28 hari dengan jenis variasi campuran.

Tabel 5.10 Rasio *price performance* dari tiap variasi campuran pada umur 14 hari

NO.	JENIS	HARGA	fc' 14 hari	HARGA / fc'
1	MIN-3	192.332,92	455,37	422,37
2	M10.3-FA90SF10	205.799,14	491,57	418,66
3	M10.3-FA70SF30	249.411,04	499,19	499,63
4	M10.3-FA50SF50	287.023,89	511,58	561,05

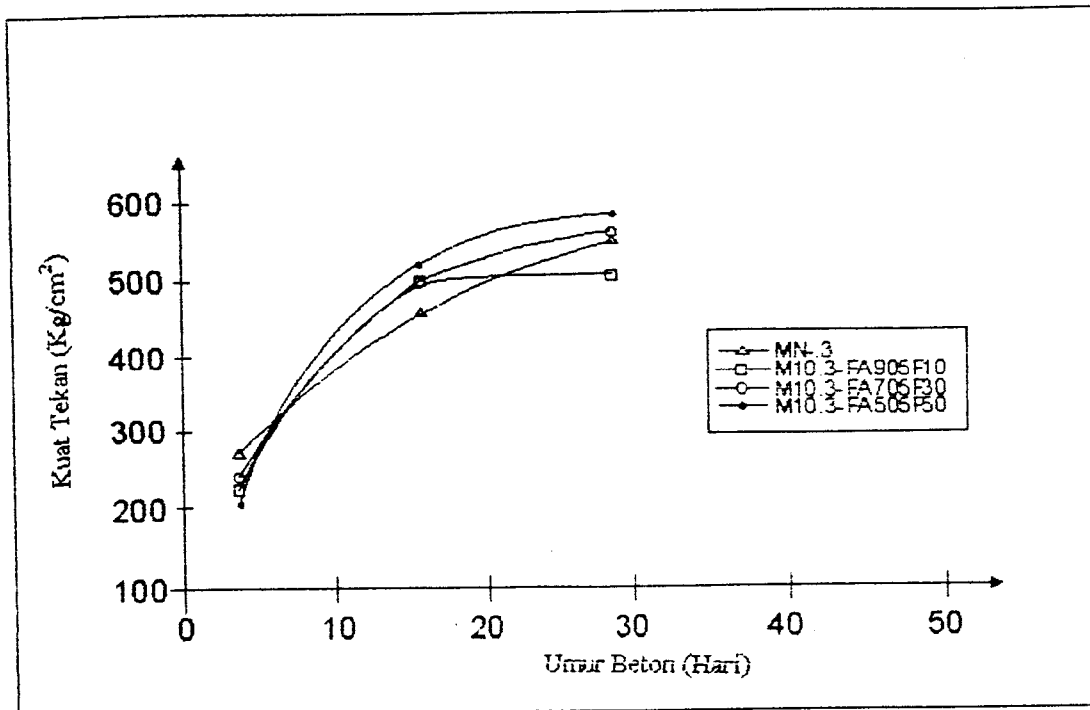
Tabel 5.11 Rasio *price performance* dari tiap variasi campuran pada umur 28 hari

NO.	JENIS	HARGA	fc' 28 hari	HARGA / fc'
1	MIN-3	192 332,92	544,92	352,96
2	M10.3-FA90SF10	205 799,14	501,09	410,70
3	M10.3-FA70SF30	249 411,04	552,54	451,39
4	M10.3-FA50SF50	287 023,89	577,30	497,18

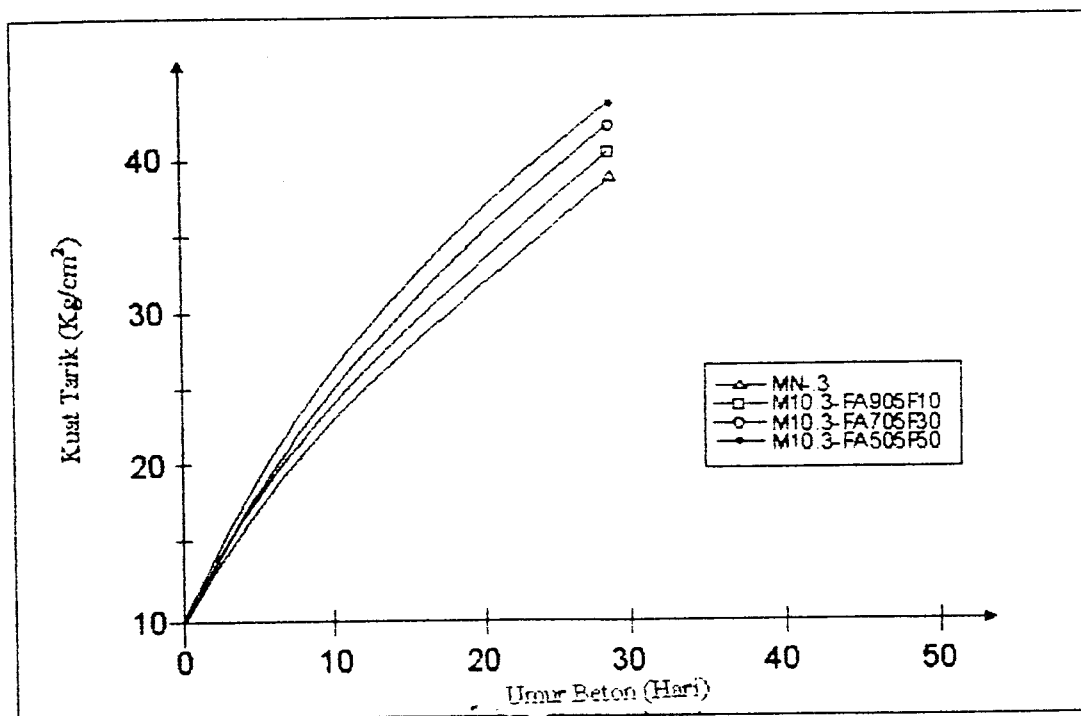
Untuk pertimbangan pemilihan *strength* optimum berdasarkan harga harus dilihat berdasarkan *price performance ratio*. Pada Tabel 5.10 terlihat bahwa beton dengan kode M10.3-FA90SF10 mempunyai perbandingan antara harga dan kemampuan *strength* yang dihasilkan pada umur 14 hari paling kecil sehingga kombinasi inilah yang paling optimum.

Untuk pemilihan variasi optimum berdasarkan perbandingan antara harga dan *strength* pada umur 28 hari seperti yang tercantum pada Tabel 5.11, maka dipilih kombinasi optimum adalah tipe MIN-3 karena memiliki rasio *price/performance* terkecil. Masuknya beton normal dalam jajaran beton yang paling optimum antara *strength* dan harganya dikarenakan pada pembuatan campuran ini berdasarkan Metode DOE 1988, untuk rasio fas 0,3 juga dianggap sebagai beton dengan kekuatan tinggi. Tetapi karena kadar semennya yang relatif lebih tinggi dibandingkan beton dengan penambahan fly ash dan silica fume pada rasio fas yang sama, maka beton ini rentan terhadap susut yang relatif cukup besar dibandingkan dengan beton yang mengalami penambahan fly ash dan silica fume. Disamping itu karena tujuan dari penelitian ini

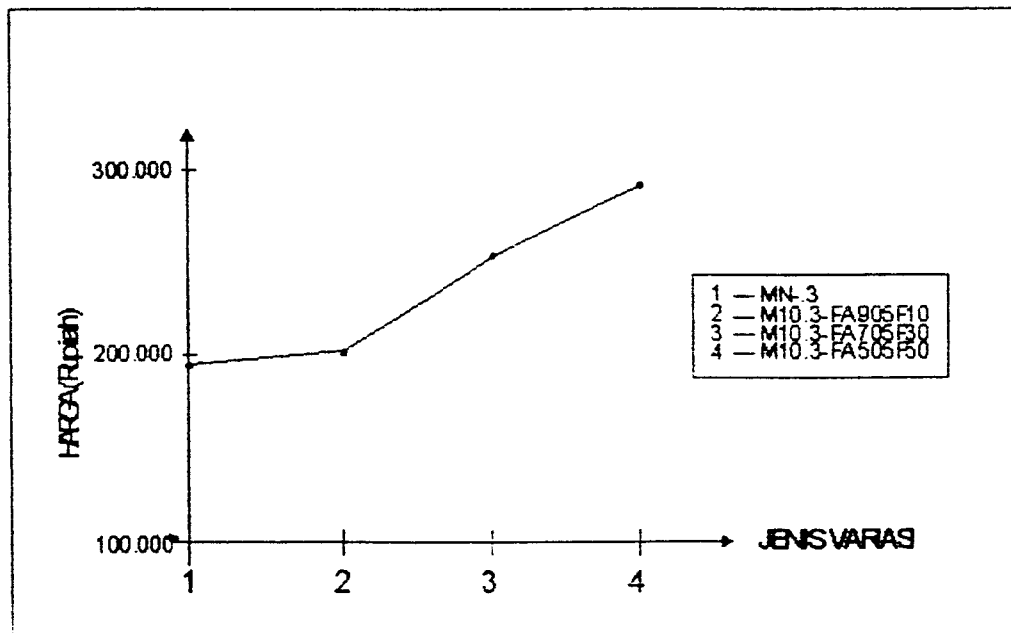
adalah untuk menguji sejauh mana pengaruh penggunaan bahan tambah fly ash dan silica fume maka dipilih tipe M10.3-F.A90SF10 dengan rasio harga  $fc'$  sebesar 410.7 sebagai kombinasi yang paling optimum.



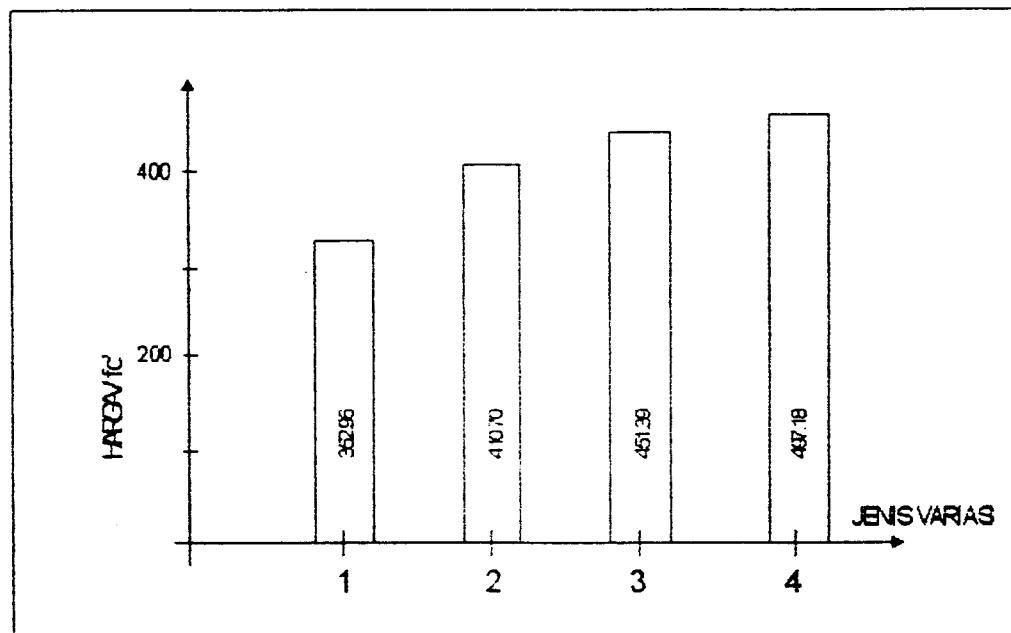
Gambar 5.1 Perkembangan kuat desak beton



Gambar 5.2 Perkembangan kuat tarik beton



Gambar 5.3 Perbandingan harga per m<sup>3</sup> tiap variasi pencampuran



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara harga / f'c' pada umur 28 hari dengan jenis variasi

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pembuatan beton mutu tinggi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prinsip metode *mix design* DOE 1988 mengenai penambahan fly ash, mengikuti konsepsi karakteristik *strength* beton normal, sehingga diharapkan segala variasi *mix design* beton pada *cementitious ratio* 10% mempunyai *strength* yang sama bahkan lebih besar dibanding dengan beton normal yang tidak mengalami penambahan fly ash dan silica fume.
2. Penggunaan fly ash dan silica fume dalam campuran beton ternyata dapat memperbaiki sifat mekanik dari beton mutu tinggi. Hal tersebut dapat dijelaskan dari tes-tes yang telah dilakukan sebagai berikut:
  - a. kuat desaknya makin tinggi terutama pada prosentase 50% yaitu pada beton dengan tipe M10.3-FA50SF50.
  - b. kuat tariknya juga makin tinggi.



3. Komposisi fly ash dan silica fume yang paling optimum adalah sebagai berikut:
  - a. bila ditinjau dari kekuatan tekan dan kekuatan tarik beton pada umur 28 hari, maka campuran beton dengan tipe M10.3-FA50SF50 mencapai nilai yang paling maksimum.
  - b. bila diinginkan pemilihan *strength* optimum berdasarkan *price performance ratio* pada umur 28 hari, maka dipilih campuran beton dengan tipe M10.3-FA90SF10 karena mempunyai perbandingan harga dan kemampuan *strength* yang paling minimum.
4. Perbedaan komposisi variasi antara 90% fly ash-10% silica fume, 70% fly ash-30% silica fume dan 50% fly ash-50% silica fume ternyata memberikan perbedaan *strength* yang relatif kecil terhadap komposisi penambahan silica fume pada fly ash.

## 6.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini jauh dari sempurna. Untuk itu perlu diperhatikan saran-saran sebagai berikut:

1. Pada saat pembuatan benda uji sebaiknya diperhatikan kapasitas mixernya agar didapat adukan beton yang benar-benar homogen. Jika ingin menambah jumlah beton yang dicampur, lebih baik menggunakan mixer yang berkapasitas lebih besar sehingga didapatkan mutu beton yang seragam.

2. Pengamatan sebaiknya dilakukan pada umur yang lebih lama dari 28 hari karena reaksi *puzzolanic* berjalan cukup lama sampai  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terbentuk bereaksi semuanya. Sehingga semakin lama umur beton, maka *strength* yang didapat semakin tinggi terutama pada kadar *silica fume* yang semakin besar.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan variasi fas dan penambahan fly ash (*cementitious ratio*).
4. Perlu diadakan penelitian terhadap sifat fisik beton mutu tinggi seperti susut, rangkai, modulus elastisitas, regangan batas dan tingkat kegetasannya.
5. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang pengaruh fly ash dan *silica fume* untuk benda uji berupa beton bertulang.
6. Dalam pembuatan beton bermutu tinggi sebaiknya diawasi oleh teknisi yang berpengalaman dan memahami teknologi beton dalam praktek.
7. Sebaiknya diadakan pemeriksaan laboratorium terhadap komposisi kimia semen, fly ash, *silica fume* dan *superplasticizer* agar didapat kesesuaian dengan standar yang disyaratkan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Achmad Antono, 1988, TEKNOLOGI BETON, KMTS-UGM, Yogyakarta.
2. ACI Material Journal, 1988, COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE CONTAINING FLY ASH, BRINE AND ADMIXTURES, Title No. 84-M14, Edisi Maret-April.
3. ACI Material Journal, 1987, SILICA FUME IN HIGH STRENGTH CONCRETE, Title No. 84-M15, Edisi Maret-April.
4. Aman Subakti, 1995, TEKNOLOGI BETON DALAM PRAKTEK, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
5. Aman Subakti dan Bachtiar N.Y, 1993, PENGARUH PENAMBAHAN SILICA FUME PADA DURABILITAS BETON, Seminar Nasional Hasil Terbaru Penelitian Bahan, PAU UGM, Yogyakarta.
6. Aman Subakti dan Suluh H.S, 1993, SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME, Seminar Nasional Hasil Terbaru Penelitian Bahan, PAU UGM, Yogyakarta.
7. A.M. Neville and J.J. Brooks, 1990, CONCRETE TECHNOLOGY, English Language Book Society/Longman.
8. ASTM, 1995, STANDARDS IN BUILDING CODES, Vol.1, 32 nd Edition.
9. Kardiyono Tjokrodimulyo, 1995, TEKNOLOGI BETON, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
10. Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 1986, BAHAN DAN PRAKTEK BETON, terjemahan oleh Ir. Stephanus Hendarko, Penerbit Erlangga, Jakarta.
11. SK SNI T-15-1991-03,1991, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, Departemen Pekerjaan Umum.

# LAMP IRAN

## HASIL PEMERIKSAAN PASIR

Asal: Kali Krasak, Yogyakarta

## 1. Menentukan modulus halus butir (mhb) pasir.

SARINGAN		TERTINGGAL		% KUMULATIF	
No.	mm	gram	%	tingga	lolos
4	4,76	66,60	4,45	4,45	95,55
8	2,38	122,59	8,17	12,62	87,38
16	1,19	261,80	17,15	30,07	69,93
30	0,59	153,50	30,23	60,30	39,70
50	0,30	322,01	21,47	81,77	18,23
100	0,15	203,40	13,56	95,33	4,67
Pan	0	70,10	1,67	0	0
	JUMLAH	1500	100	284,54	315,46

✦ Dari hasil data dapat diketahui bahwa persentase kumulatif lolos ayakan 0,59 (No.30) adalah 39,70%.

$$\text{Modulus halus butir (mhb)} = \frac{284,54}{100} = 2,85$$

## 2. Pemeriksaan berat jenis pasir.

$$\text{Volume air (A)} = 500 \text{ cc}$$

$$\text{Berat pasir (B)} = 400 \text{ gr} \quad \checkmark$$

$$\text{Volume air + pasir (C)} = 647,5 \text{ cc}$$

$$\text{D} = \text{C} - \text{A} = 647,5 - 500 = 147,5 \text{ cc}$$

$$\text{BJ pasir} = \frac{B}{D} = \frac{400}{147,5} = 2,71 \text{ gr/cc} \quad \checkmark$$

3. Pemeriksaan kadar air pasir.

$$\text{Berat pasir} + \text{berat piring (W1)} = 647,8 \text{ gr}$$

$$\text{Berat pasir} + \text{berat piring kering oven (W2)} = 626,9 \text{ gr}$$

$$\text{Kadar air} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$$

$$= \frac{647,8 - 626,9}{626,9} \times 100\% = 3,33\%$$

4. Pemeriksaan penyerapan air pasir.

$$\text{Berat pasir} + \text{berat piring kering oven (W1)} = 658,55 \text{ gr}$$

$$\text{Berat pasir} + \text{berat piring kondisi SSD (W2)} = 665,1 \text{ gr}$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{W2 - W1}{W2} \times 100\%$$

$$= \frac{665,1 - 658,55}{665,1} \times 100\% = 0,98\%$$

## HASIL PEMERIKSAAN SPLITE

Asal: Kali Progo, Yogyakarta

1. Pemeriksaan berat jenis splite.

Volume air (A) = 500 cc

Berat splite (B) = 400 gr

Volume air + splite (C) = 650 cc

$D = C - A = 650 - 500 = 150$  cc

$$\text{BJ splite} = \frac{B}{D} = \frac{400}{150} = 2,66 \text{ gr/cc} \quad \checkmark$$

2. Pemeriksaan kadar air splite.

Berat splite + berat piring (W1) = 744,9 gr

Berat splite + berat piring kering oven (W2) = 737,0 gr

$$\text{Kadar air} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$$

$$= \frac{744,9 - 737,0}{737,0} \times 100\% = 1,06\%$$

3. Pemeriksaan penyerapan air splite.

Berat splite + berat piring kering oven (W1) = 1115 gr

Berat splite + berat piring kondisi SSD (W2) = 1148,9 gr

Penyerapan air  $\frac{H_2 - H_1}{H_2} \times 100\%$

$$\frac{1148,9 - 1115}{1148,9} \times 100\% = 2,95\%$$





**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

**HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON**

NO. / / 199

Pengirim : ..... Benda uji asal : .....  
 Keperluan : ..... Di terima tanggal : .....

No.	Ukuran (cm) p x t	Luas (cm <sup>2</sup> )	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m <sup>3</sup>	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket
1	M-1 15 x 30	176,7	12,75 12,80 13,00	12 Juni	15 Juni	2,41 2,42 2,45	500 440 540	285,80 251,50 308,66	
2	M-4 15 x 30	176,7	12,75 13,25 12,75	12 Juni	15 Juni	2,41 2,50 2,41	400 375 300	228,64 24,35 171,48	
3	M-2 15 x 30	176,7	13,00 13,25 13,25	13 Juni	16 Juni	2,45 2,50 2,50	485 300 400	277,22 171,48 228,64	
4	M-3 15 x 30	176,7	13,25 13,00 13,10	13 Juni	16 Juni	2,50 2,45 2,47	580 460 400	217,20 262,93 228,64	

Keterangan : - Kuat desak rata-rata umur 3 hari = kg/cm<sup>2</sup>

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =

- Waktu = 10 "

- 1 KN = 101 kg

Yogyakarta, 16 Juni 1998  
 Kepala Bagian Lab. BKT.FT. UII

(.....)



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

**HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON**

NO. / / 199

Pengirim : .....  
 Keperluan : .....  
 Benda uji asal : .....  
 Di terima tanggal : .....

No.	Ukuran (cm) φ x t	Luas (cm <sup>2</sup> )	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m <sup>3</sup>	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket
1	M-1 15 x 30	176,7	13,00 13,00 13,15	12 Juni	26 Juni	2,45 2,45 2,48	800 810 780	457,27 462,99 445,84	
2	M-4 15 x 30	176,7	12,80 12,75 12,80	12 Juni	26 Juni	2,42 2,41 2,42	865 930 890	494,43 531,58 508,72	
3	M-2 15 x 30	176,7	13,25 13,00 13,00	13 Juni	27 Juni	2,50 2,45 2,45	880 865 835	502,99 494,43 477,28	
4	M-3 15 x 30	176,7	12,80 13,00 13,00	13 Juni	27 Juni	2,42 2,45 2,45	850 840 930	485,85 480,14 531,58	

Keterangan : - Kuat desak rata-rata umur 14 hari = kg/cm<sup>2</sup>

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =

= kg/cm<sup>2</sup>

Yogyakarta, 27 Juni 1998  
 Kepala Bagian Lab. BKT.FT. UII

FABRIANUS TRIANDHANA

(.....)



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

NO. / / 199

Pengirim : ..... Benda uji asal : .....  
 Keperluan : ..... Di terima tanggal : .....

No.	Ukuran (cm) φ x t.	Luas (cm <sup>2</sup> )	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m <sup>3</sup>	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket
1	M-1 15 x 30	176,7	13,10 13,00 12,80	12 Juni	10 Juli	2,47 2,45 2,42	970 930 960	554,44 531,58 548,73	
2	M-4 15 x 30	176,7	12,80 12,90 12,75	12 Juni	10 Juli	2,42 2,43 2,41	1070 970 990	611,60 554,44 565,87	
3	M-2 15 x 30	176,7	12,85 13,25 12,95	13 Juni	11 Juli	2,42 2,50 2,42	860 870 900	491,57 497,28 514,43	
4	M-3 15 x 30	176,7	13,00 13,10 12,95	13 Juni	11 Juli	2,45 2,47 2,44	925 995 980	528,72 568,73 560,16	

Keterangan : - Kuat desak rata-rata umur 28 hari = kg/cm<sup>2</sup>

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBSI 1971 =

= kg/cm<sup>2</sup>

Yogyakarta, 11 Juli 1998  
 Kepala Bagian Lab. BKT.FT. UII



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

**HASIL KUAT TARIK SILINDER BETON**

NO. / / 199

Pengirim : ..... Benda uji asal : .....  
 Keperluan : ..... Di terima tanggal : .....

No.	Ukuran (cm) φ x t	Luas (cm <sup>2</sup> )	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m <sup>3</sup>	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket
1	15 x 30	176,7	13,00 12,95 13,10	12 Juni	10 Juli	2,45 2,44 2,47	185 285 330	26,43 40,72 47,15	
2	15 x 30	176,7	12,75 12,95 12,80	12 Juni	10 Juli	2,41 2,41 2,42	229 375 292	32,72 53,58 41,72	
3	15 x 30	176,7	12,80 12,90 12,90	13 Juni	11 Juli	2,42 2,43 2,43	330 230 285	47,15 32,86 40,72	
4	15 x 30	176,7	13,05 12,85 12,90	13 Juni	11 Juli	2,46 2,42 2,43	360 276 240	51,44 39,44 34,29	

Keterangan : - Kuat desak rata-rata umur 28 hari =  $\frac{\text{Luas}}{\text{Beban max}}$  kg/cm<sup>2</sup>

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =  $\frac{\text{Luas}}{\text{Beban max}}$  kg/cm<sup>2</sup>

Yogyakarta, 11 Juli 1998  
 Kepala Bagian Lab. BKT.FT. UII

*[Signature]*

DOKUMENTASI

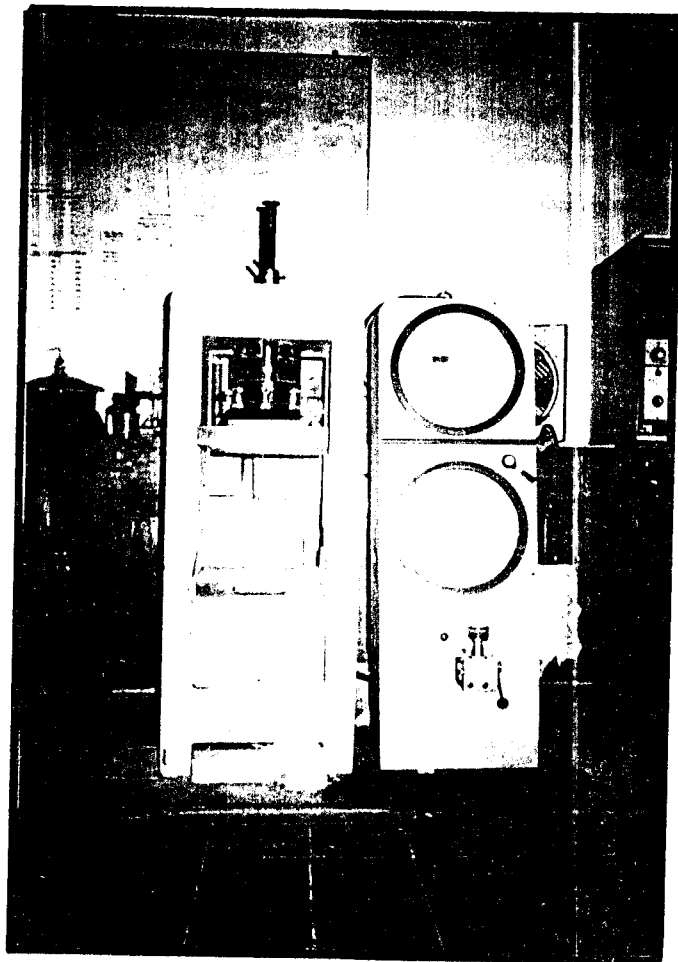


Foto 1. Mesin Uji

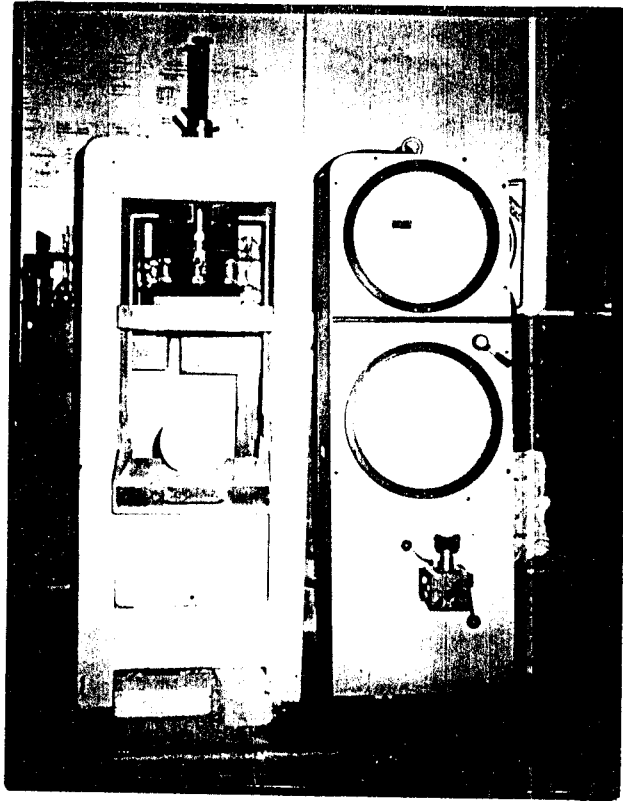


Foto 2. Pengujian kuat tarik beton

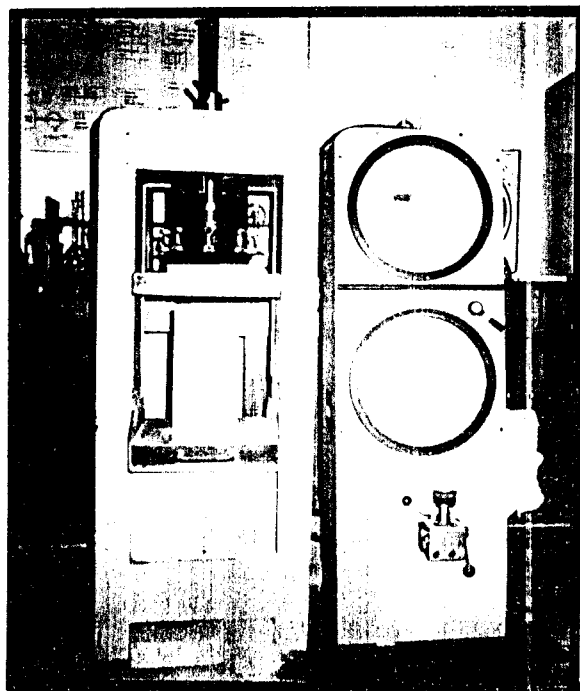


Foto 3. Pengujian kuat tekan beton



Foto 4. Hasil uji tekan



Foto 5. Hasil uji tarik



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	HANIK SRI BEKTI	93 310 036		STRUKTUR
2.	A. ANNA AGUSTIANY	93 310 034		STRUKTUR

sen Pembimbing I : : IR. H. SUSASTRAWAN, MS  
sen Pembimbing II : : IR. SUHARYATMO, MT

1

2



Yogyakarta, 08 APRIL 1998

An. Dekan,

Ketua Jurusan Teknik Sipil.

IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE