

LAMPIRAN 1

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Jenis Bahan : Pasir Alami

Asal Bahan : Merapi

1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

SNI : 03-1968-1990.

Tanggal Pemeriksaan : 9 Juli 2007

Lubang Ayakan		Berat Tertinggal		Kumulatif		Spesifikasi
				Tertinggal	Lolos	
British (mm)	ASTM (No)	gram	%	%	%	%
4,75	4	50	5	5	95	90 -100
2,36	8	175	17.5	22.5	77.5	60 - 95
1,18	16	275	27.5	50	50	30 - 70
0,6	30	255	25.5	75.5	24.5	15 - 34
0,3	50	120	12	87.5	12.5	5 - 20
0,15	100	75	7.5	95	5	0 - 10
Pan		50	5	100	0	-
Jumlah		1000	100	335,5	-	-

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\text{jumlah berat tertinggal kumulatif (\%)}}{\text{jumlah berat tertinggal (\%)}} = \frac{335,5}{100} = 3,35$$

LAMPIRAN 2**2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

Berdasarkan SK-SNI 03-1970-1990.

Tanggal Pemeriksaan : 9 Juli 2007

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-Rata	Satuan
Berat Benda Uji Permukaan Jenuh	500	500	500	500	Gram
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	497	493	498	496	Gram
Berat Piknometer	167	170	163	167	Gram
Berat Piknometer + Air (25°C) (B)	659	662	661	661	Gram
Berat Piknometer + Benda Uji + Air (25°C) (Bt)	965	979	975	973	Gram
Berat Jenis Curah = $Bk / (B+500-Bt)$	2.56	2.69	2.68	2.64	gr/cm ³
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh = $500 / (B+500-Bt)$	2.58	2.73	2.69	2.67	gr/cm ³
Berat Jenis Semu = $Bk / (B+Bk-Bt)$	2.60	2.80	2.71	2.70	gr/cm ³
Penyerapan = $((500-Bk) / Bk) \times 100\%$	0.60	1.42	0.40	0.81	%

LAMPIRAN 3

3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Tanggal Pemeriksaan : 10 Juli 2007

Jenis Pengukuran	Berat (gram)		
	I	II	
Berat kering benda uji mula-mula (B_1)	500	500	
Berat kering benda uji setelah dicuci (B_2)	497	498	
Hitungan	Kadar (%)		
	I	II	Rata-rata
Kadar Lumpur = $\frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\%$	0,6	0,4	0,5

4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Berdasarkan SK-SNI : 03-1971-1990.

Tanggal Pemeriksaan : 10 Juli 2007

Jenis Pengukuran	Berat (gram)		
	I	II	
Berat pasir jenuh kering muka (B_1)	500	500	
Berat pasir kering oven (B_2)	497	493	
Hitungan	Kadar (%)		
	I	II	Rata-rata
Kadar air = $\frac{B_1 - B_2}{B_2} \times 100\%$	0,6	1,4	1,0

LAMPIRAN 4**5. Hasil Pemeriksaan Berat Satuan Agregat Halus**

Tanggal Pemeriksaan : 10 Juli 2007

Jenis Pengukuran	Berat/Dimensi
Berat bejana silinder kosong (<i>B1</i>)	10.600 gram
Berat pasir SSD (ditumbuk) + bejana, (<i>B2</i>)	17.580 gram
Diameter bejana	15,26 cm
Tinggi bejana	30,16 cm
Hitungan	Berat/Volume
Vol. bejana = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$	5518,30 cm ³
Berat satuan pasir = $\frac{B2 - B1}{Vol. bejana}$	1,26 gr/cm ³

PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

Jenis Bahan : Batu Pecah
 Asal Bahan : Clereng Kulon Progo

1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

Berdasarkan SK-SNI : 03-1968-1990.

Tanggal Pemeriksaan : 11 Juli 2007

Lubang ayakan		Berat tertinggal		Kumulatif	
				Tertinggal	Lolos
British (mm)	ASTM (No)	gram	%	%	%
19,05	3/4 in.	0	0	0	100
9,52	3/8 in.	1925	50,68	50,68	49,32
4,75	3/16 in.	1512	39,81	90,49	9,51
2,36	8	335	8,82	99,31	0,69
1,18	16	20	0,53	99,83	0,17
0,6	30	4	0,11	99,94	0,06
0,3	50	1,5	0,04	99,98	0,02
0,15	100	0,7	0,02	100	0,00
Pan		0,1	0,00	100	0,00
Jumlah		3798,3	100	740,23	—

LAMPIRAN 6

2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Jenis Pengukuran	Berat (gram)	
	I	II
Berat benda uji kering (B_k)	990	1396
Berat benda uji jenuh kering muka (B_j)	1000	1406
Berat benda uji dalam air (B_a)	626	878

Hitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis kering = $\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,65	2,64	2,65
Berat jenis jenuh kering muka = $\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,67	2,66	2,67
Berat jenis tampak = $\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,72	2,69	2,71
Penyerapan air Split = $\frac{B_j - B_k}{B_j} \times 100\%$	1 %	0,71 %	0,86 %

3. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Jenis Pengukuran	Berat (gram)	
	I	II
Berat kering Benda uji mula-mula (B_1)	1200	1000
Berat kering Benda uji setelah dicuci (B_2)	1192,5	994

Hitungan	I	II	Rata-rata
Kadar Lumpur = $\frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\%$	0,63 %	0,60 %	0,62 %

LAMPIRAN 7

4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Jenis Pengukuran	Berat (gram)	
	I	II
Berat kerikil jenuh kering muka ($B1$)	1200	1000
Berat kerikil kering oven ($B2$)	1189,5	991

Hitungan	I	II	Rata-rata
Kadar air = $\frac{B1 - B2}{B2} \times 100\%$	0,88 %	0,90 %	0,89 %

5. Hasil Pemeriksaan Berat Satuan Agregat Kasar

Jenis Pengukuran	Berat/Dimensi
Berat bejana silinder kosong ($B1$)	10,2 kg
Berat split <i>SSD</i> + bejana, ($B2$)	18,2 kg
Diameter bejana	15,4 cm
Tinggi bejana	30 cm
Hitungan	Berat/Volume
Vol. bejana = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$	5587,95 kg
Berat satuan split = $\frac{B2 - B1}{Vol. bejana}$	1431,65 kg/cm ³

6. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Jenis Pengukuran	Berat (Gram)
Berat benda uji mula-mula ($B1$)	7000
Berat tertahan saringan No. 12/1,7 mm ($B2$)	4020
Hitungan	Keausan (%)
Keausan = $\frac{(B1 - B2)}{B1} \times 100\%$	42,57

Hasil Pemeriksaan *Fly-Ash*

Merk bahan : *Fly-Ash*

Asal Bahan : Pembakaran Batu Bara PLTU Cilacap

1. Hasil Pemeriksaan Berat Satuan *Fly-Ash*

Jenis Pengukuran	Berat/Dimensi
Berat awal (keluar dari sag)	572 gram
Volume piknometer	500 ml
Berat satuan sika-fume = $\frac{\text{Berat awal}}{\text{Vol. bejana}}$	1,14 gr/cm ³

2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air *Fly-Ash*

Jenis Pengukuran	Berat (gram)
Berat awal (<i>Ba</i>)	100
Berat piknometer berisi sampel dan air (<i>Bt</i>)	620
Berat sampel kering oven (<i>Bk</i>)	81
Berat piknometer berisi air (<i>B</i>)	739
Berat jenis = $\frac{Ba}{B + Ba - Bt}$	0,46 gr/cm ³
Kadar air = $\frac{Ba - Bk}{Bk} \times 100\%$	23,5 %

3. Hasil Pemeriksaan Kehalusan Butir *Fly-Ash*

Jenis Pengukuran	Berat (gram)
Berat benda uji mula-mula (<i>B1</i>)	500
Berat lolos saringan no.100/0,15 mm (<i>B2</i>)	72
Hitungan	Kadar (%)
Kehalusan butir = $\frac{B2}{B1} \times 100\%$	14,4 %

LAMPIRAN 9

Perencanaan Campuran Beton dengan Cara SK-SNI 03-xxxx-2002

No	Uraian	Tabel / Grafik / Perhitungan	Nilai
1	Deviasi standar	Langkah 1	-
2	Nilai tambah (margin)	Langkah 2	7 MPa
3	Kuat tekan yang direncanakan		50 Mpa umur 28 hari
4	Kuat tekan rata-rata yang diperlukan	(No.2) + (No.3)	57 MPa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Biasa (type I)
6	Jenis agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Ditetapkan	Alami
7	Faktor air semen bebas	Gambar 3.1	0.30
8	Nilai Slump	Berdasarkan Tabel 3.6	12,5 cm
9	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20 mm
10	Kebutuhan air per meter kubik	Tabel 3.7	225 kg/m ³
11	Kebutuhan Semen per meter kubik	No.10 / No.7	750 kg/m ³
12	Jenis Agregat Halus	Tabel 3.8a	3
13	Proporsi Berat Agr. Halus thd. Campuran	Gambar 3.4	32%
14	Berat Jenis Agregat Campuran	Gambar 3.5	2380 kg/m ³
15	Kebutuhan Berat Agregat Campuran	No.14 - No.10 - No.11	1405 kg/m ³
16	Kebutuhan Berat Agregat Halus	No.13 * No.15	449.60 kg/m ³
17	Kebutuhan Berat Agregat Kasar	No.15 - No.16	955.40 kg/m ³

Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari Tanpa *Fly-Ash*

Kadar Superplastiziser (%)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban Maksimum (kN)	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
0.0%	15.09	178.91	67220	37.57	39.94
0.0%	14.99	176.55	68900	39.03	
0.0%	14.92	174.91	73790	42.19	
0.0%	14.99	176.55	72350	40.98	
0.5%	15.01	177.02	91920	51.93	47.94
0.5%	15.00	176.79	80350	45.45	
0.5%	14.98	176.31	85030	48.23	
0.5%	14.97	176.08	81300	46.17	
1.0%	14.98	176.31	69590	39.47	47.29
1.0%	14.98	176.31	89250	50.62	
1.0%	15.02	177.26	87340	49.27	
1.0%	15.02	177.26	88250	49.79	
1.5%	15.00	176.79	91670	51.85	49.90
1.5%	14.99	176.55	92080	52.16	
1.5%	14.98	176.31	79340	45.00	
1.5%	15.06	178.20	90140	50.58	
2.0%	15.04	177.73	96900	54.52	52.30
2.0%	15.02	177.26	94790	53.48	
2.0%	15.00	176.79	87230	49.34	
2.0%	15.00	176.79	91670	51.85	
2.5%	15.03	177.49	90700	51.10	50.51
2.5%	14.99	176.55	90500	51.26	
2.5%	14.98	176.31	89450	50.73	
2.5%	14.98	176.31	86300	48.95	

**Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari
dengan kadar *superplastisizer* 2 % dan *Fly-Ash* bervariasi**

Kadar Fly Ash (%)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban Maksimum (kN)	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
0%	15.04	177.73	96900	54.52	52.30
0%	15.02	177.26	94790	53.48	
0%	15.00	176.79	87230	49.34	
0%	15.00	176.79	91670	51.85	
5%	15.00	176.79	98500	55.72	54.77
5%	14.97	176.08	96750	54.95	
5%	15.00	176.79	95300	53.91	
5%	15.00	176.79	96350	54.50	
10%	15.00	176.79	100125	56.64	58.32
10%	14.97	176.08	104100	59.12	
10%	15.04	177.73	105600	59.42	
10%	15.01	177.02	102875	58.11	
15%	14.94	175.37	99525	56.75	55.69
15%	14.97	176.08	96750	54.95	
15%	14.97	176.08	97250	55.23	
15%	15.00	176.79	98700	55.83	
20%	14.97	176.08	95670	54.33	54.75
20%	15.02	177.26	98700	55.68	
20%	15.00	176.79	96950	54.84	

PERSONALIA PENELITIAN

1. Koordinator Pelaksana (Pengusul)

- a. Nama lengkap : Ir. As'at Pujiyanto, MT.
- b. Jenis kelamin : Laki-laki
- c. NIK : 123 014
- d. Pangkat/Golongan : Penata Muda Tingkat I / III C
- e. Jabatan Akademik : Lektor
- f. Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Sipil.
- g. Bidang Keahlian : Teknik (Struktur).
- h. Lama Penelitian : 4 (empat) bulan.

2. Mitra Pelaksana I (Mahasiswa)

- a. Nama lengkap : Tri Retno Y.S. Putro
- b. No. Mahasiswa : 2004 0110062
- c. Semester : III (tiga) Transfer dari D3 UGM
- d. Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Sipil.
- e. Alamat Rumah : Perumahan Jombor Baru Blok 5 No. 17
Yogyakarta Telp. 0274 869075

3. Mitra Pelaksana II (Mahasiswa)

- a. Nama lengkap : Ade Herdiwansyah
- b. No. Mahasiswa : 20030110098
- c. Semester : III (tiga)
- d. Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Sipil.
- e. Alamat Rumah : RT. 07 RW. 034 Pakuncen No. 535 WB I
Yogyakarta
Telp. 0274 618271 HP. 085229026267

BETON MUTU TINGGI DENGAN BAHAN TAMBAH SUPERPLASTISIZER DAN FLY-ASH

High Strength Concrete By Admixtures Superplasticizer And Additive Fly-Ash

As'at Pujianto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

ABSTRACT

Increasing the concrete strength is always one of the main desires of concrete technology. Since more than 20 years high strength concretes with compressive strength ranging from 50 MPa up to 140 MPa have been used worldwide in tall buildings and bridges with long spans or buildings in aggressive environments. But in Indonesia high strength concretes with compressive strength maximum 60 MPa. The properties of concrete are affected by cementitious matrix, aggregate, and the transition zone between these two phases. Reducing the water-cement ratio and the addition of pozzolanic admixtures like fly-ash are often used to modify the microstructure of the matrix and to optimise the transition zone. The Reduction of the water-cement ratio results in a decrease in porosity and refinement of capillary pores in matrix, but flowing ability of the concrete it will decrease too while can't workable. Then can workable use of a superplasticizer. The results showed that a superplasticizer dosage of more than 2% of the powder mass could not improve the flowing ability of the paste anymore. For all latter experiments the superplasticizer dosage was determined about 2 % in powder mass. The first tests showed a good workability of the fresh concrete and a good self compacting ability with the fly-ash dosage 12 % in powder mass. The interest in reducing costs while increasing the concrete strength, was leading to the results in this paper.

Key word : High strength concrete, compressive strength, workability, superplasticizer, and fly-ash.

ABSTRAK

Peningkatan kekuatan beton adalah salah satu faktor utama yang diharapkan pada teknologi beton. Sejak lebih dari 20 tahun beton mutu tinggi dengan kuat tekan berkisar antara 50 MPa sampai dengan 140 MPa telah digunakan di negara-negara maju pada konstruksi bangunan tingkat tinggi dan jembatan berbentang panjang atau bangunan didalam lingkungan yang agresif. Namun di Indonesia kuat tekan beton mutu tinggi yang dapat dicapai maksimum baru sebesar 60 MPa. Sifat beton akan mengalami penurunan kekuatan akibat adanya bahan tambah semen, agregat, dan adanya pori-pori. Pengurangan faktor air semen (fas) dan penambahan *admixture pozzolanic* seperti *fly-ash* sering digunakan untuk memodifikasi komposisi beton dan mengurangi pori-pori. Pengurangan fas mengakibatkan menurunnya porositas beton dan pori-pori, namun kelecakan beton juga akan berkurang sehingga sulit dikerjakan. Agar mudah dikerjakan maka perlu digunakan superplastisizer. Hasil menunjukkan bahwa superplastisizer dengan dosis lebih dari 2 % terhadap pasta semen tidak meningkatkan kelecakan pasta. Oleh karena itu semua benda uji digunakan superplastisizer dengan dosis sekitar 2 % terhadap berat semen. Pengujian awal memperlihatkan adanya kelecakan yang sangat tinggi pada beton segar dan mendapatkan kuat tekan yang lebih baik dengan *fly-ash* sebesar 12 % terhadap berat beton. Adanya kelecakan yang sangat tinggi hingga peningkatan kuat tekan beton,

di samping itu, faktor utama pada makalah ini.

1. Pendahuluan

Beton, sejak dulu dikenal sebagai material dengan kekuatan tekan yang memadai, mudah dibentuk, mudah diproduksi secara lokal, relatif kaku, dan ekonomis. Tapi di sisi lain, beton juga menunjukkan banyak keterbatasan baik dalam proses produksi maupun sifat-sifat mekaniknya, sehingga beton pada umumnya hanya digunakan untuk konstruksi dengan ukuran kecil dan menengah.

Namun sejak dua dekade terakhir ini, setelah berhasil dikembangkannya berbagai jenis tambahan atau *admixtures* dan *additives* untuk campuran beton, terutama *water reducer* atau *plasticizer* dan *superplastisizer*, maka telah terjadi kemajuan yang sangat pesat pada teknologi beton, dengan berhasil memproduksi beton mutu tinggi bahkan sangat tinggi, dan yang pada akhirnya juga telah memperbaiki dan meningkatkan hampir semua kinerja beton menjadi suatu material modern yang berkinerja tinggi.

Di beberapa negara maju sudah sejak lama beton mutu tinggi berhasil diproduksi untuk pekerjaan-pekerjaan khusus. Pada tahun 1941, di **Jepang** sudah diproduksi beton mutu tinggi dengan kuat tekan mencapai 60 MPa untuk panel cangkang beton pracetak pada sebuah terowongan kereta api. Pada tahun 1952, di **Eropa** beton mutu tinggi dengan kuat tekan 60 MPa sudah dipakai untuk struktur jembatan berbentang panjang. Pada tahun 1960, di **USA** juga sudah diproduksi beton mutu tinggi 60 MPa untuk keperluan militer, selanjutnya sejak tahun 1980an, beton mutu tinggi dan sangat tinggi banyak digunakan untuk pelaksanaan struktur gedung bertingkat tinggi (terutama untuk elemen kolom), kemudian sejak 1989 sudah digunakan beton bermutu 100 – 140 MPa untuk jembatan berbentang panjang, bangunan bawah tanah dan lepas pantai, bangunan industri seperti silo yang tinggi dan berdiameter besar, dan juga bangunan beresiko tinggi seperti bangunan reaktor pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Di **Indonesia** beton mutu tinggi dengan kuat tekan rata-rata sebesar 85 MPa *haru dapat dibuat di laboratorium* pada tahun 1990, dengan bahan tambah *superplastisizer* dengan nilai *slump* mencapai 15 cm. Campuran beton yang dihasilkan dengan kadar semen 480 kg/cm^2 dan faktor air semen (*fas, w/c*) 0,32 (Supartono, 1998). Sedangkan realisasi di lapangan maksimal baru mencapai $\pm 80 \%$ nya atau setara dengan 60 MPa.

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas

gedung bertingkat tinggi (terutama untuk kolom dan beton pracetak), dan fasilitas lain. Perencanaan fasilitas-fasilitas tersebut mengarah kepada digunakannya beton mutu tinggi, dimana mencakup kekuatan, ketahanan (keawetan), masa layan dan efisiensi. Dengan beton mutu tinggi dimensi dari struktur dapat diperkecil sehingga berat struktur menjadi lebih ringan, hal tersebut menyebabkan beban yang diterima pondasi secara keseluruhan menjadi lebih kecil pula, jika ditinjau dari segi ekonomi hal tersebut tentu akan lebih menguntungkan. Disamping itu untuk bangunan bertingkat tinggi dengan semakin kecilnya dimensi struktur kolom pemanfaatan ruangan akan semakin maksimal.. Porositas yang dihasilkan beton mutu tinggi juga lebih rapat, sehingga akan menghasilkan beton yang relatif lebih awet dan tahan sulfat karena tidak dapat ditembus oleh air dan bakteri perusak beton. Oleh sebab itu penggunaan beton bermutu tinggi tidak dapat dihindarkan dalam perencanaan dan perancangan struktur bangunan.

Salah satu masalah yang sangat berpengaruh pada kuat tekan beton adalah adanya porositas. Semakin besar porositasnya maka kuat tekannya semakin kecil, sebaliknya semakin kecil porositas kuat tekannya semakin besar. Besar dan kecilnya porositas dipengaruhi besar dan kecilnya fas yang digunakan. Semakin besar fas-nya porositas semakin besar, sebaliknya semakin kecil fas-nya porositas semakin kecil. Untuk mendapatkan beton bermutu tinggi (kuat tekan tinggi) maka harus dipergunakan fas rendah, namun jika fas-nya terlalu kecil pengerjaan beton akan menjadi sangat sulit, sehingga pematatannya tidak bisa maksimal dan akan mengakibatkan beton menjadi keropos, hal tersebut berakibat menurunnya kuat tekan beton. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dipergunakan *Superplasticizer* yang sifatnya dapat mengurangi air (dengan menggunakan fas kecil) tetapi tetap mudah dikerjakan yaitu Sikamen Type F, produk sika.

Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak dapat maksimal. Partikel terkecil bahan penyusun beton konvensional adalah semen. Untuk mengurangi porositas semen dapat digunakan aditif yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel sangat halus. Salah satu aditif tersebut adalah *fly-ash* (abu terbang atau abu batu bara), yang merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara yang berupa serbuk sangat halus.

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, maka penelitian ini mempunyai tujuan untuk merancang campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah *superplasticizer* dan *fly-ash*,

agregat, *superplasticizer*, *fly-ash*) dalam campuran. Dengan penambahan zat *additive* tersebut ditargetkan kuat tekan yang dicapai > 50 MPa untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm x 300 mm pada umur 28 hari.

2. Beton Kekurangan dan Kelebihannya.

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu, diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir, koral atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan. Semen bereaksi secara kimiawi untuk mengikat partikel agregat tersebut menjadi suatu masa yang padat (Winter, Nilson, 1993).

Beton berasal dari bahasa latin yaitu "concretus" yang berarti tumbuh bersama, yang berupa kelebihan dan kekurangan (Mindess, Young, 1981). Adapun kelebihan adalah mudah dicetak, ekonomis, tahan lama, efisien, dapat diproduksi ditempat, mempunyai estetika, dan mempunyai kuat desak yang tinggi. Sedangkan kekurangannya adalah kekuatan regang rendah, keliatan rendah, volumenya tidak stabil, kekuatan rendah dibanding beratnya dan mempunyai tarik desak yang rendah.

3. Beton Mutu Tinggi.

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton mutu tinggi juga selalu berubah sesuai dengan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan diatas 50 MPa, dan 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi (Supartono, 1998).

4. Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Mutu dan Keawetan Beton

Pada umumnya, terutama bila berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang

- b. Kualitas agregat halus (pasir):
- c. Kualitas agregat kasar (batu pecah/koral).
- d. Penggunaan admixture dan aditif mineral dalam kadar yang tepat.
- e. Prosedur yang benar dan cermat pada keseluruhan proses produksi beton.
- f. Pengawasan dan pengendalian yang ketat pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan, yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal.

5. Faktor Air Semen.

Faktor air semen (f_{as} , w/c) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian w/c bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementitious*, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Faktor air semen yang rendah, merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Dengan demikian semakin besar volume faktor air-semen (f_{as}) semakin rendah kuat tekan betonnya, seperti tampak pada Gambar 1.

Dari gambar 1 tampak bahwa idealnya semakin rendah f_{as} kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka dibawah f_{as} tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodimuljo, 1992). Untuk membuat beton bermutu tinggi faktor air semen yang dipergunakan antara 0,28 sampai dengan 0,38. Sedangkan untuk beton bermutu sangat tinggi faktor air semen yang dipergunakan lebih kecil dari 0,2 (Jianxin Ma dan Jorg Dietz, 2002).

6. Kualitas agregat halus (pasir).

Kualitas agregat halus yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah :

- a. Berbentuk bulat.

- c. Modulus kehalusan (*fineness modulus*), menurut hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir dengan modulus kehalusan 2,5 s/d 3,0 pada umumnya akan menghasilkan beton mutu tinggi (dengan fas yang rendah) yang mempunyai kuat tekan dan *workability* yang optimal (Larrard, 1990).
- d. Bersih.
- e. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

7. Kualitas Agregat Kasar.

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah :

- a. Porositas rendah.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas rendah akan menghasilkan suatu adukan yang seragam (*uniform*), dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai *slump*-nya. Akan sangat baik bila bisa digunakan agregat kasar dengan tingkat penyerapan air (*water absorption*) yang kurang dari 1 %. Bila tidak, hal ini bisa menimbulkan kesulitan dalam mengontrol kadar air total pada beton segar, dan bisa mengakibatkan kekurang teraturan (*irregularity*) dan deviasi yang besar pada mutu dan nilai *slump* beton yang dihasilkan. Karenanya, sensor kadar air secara ketat pada setiap group agregat yang akan dipakai merupakan suatu tahapan yang mutlak perlu dikerjakan.

- b. Bentuk fisik agregat.

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam ternyata menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat (Larrard, 1990). Hal ini tidak lain adalah karena bentuk kubikal dan tajam bisa memberikan daya lekat mekanik yang lebih baik antara batuan dengan mortar.

- c. Ukuran maksimum agregat.

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemakaian agregat yang lebih kecil (< 15 mm) bisa menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (Larrard, 1990). Namun pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang baik dalam produksi beton mutu tinggi.

- d. Bersih.

- e. Kuat tekan hancur yang tinggi.

8. Penggunaan admixture dan aditif mineral dalam kadar yang tepat.

Untuk menghasilkan beton dengan mutu (kuat tekan beton) tinggi dibutuhkan Superplasticizer (*high range water reducer*) dan Aditif mineral yang bersifat *cementitious* yaitu berupa : Abu terbang (*fly ash*), Pozzofume (*super fly ash*), dan Mikrosilika (*silicafume*) dengan kadar yang tepat. Sebab bahan admixture dan aditif jika dicampur dengan kadar yang tidak tepat hasilnya akan sebaliknya, yaitu tidak meningkatkan kuat tekannya akan tetapi dapat menurunkan.

Superplasticizer atau *high range water reducer* dalam hal ini mutlak diperlukan karena kondisi fas yang umumnya sangat rendah pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar (*workable*), sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Namun dalam segala hal, penggunaan *Superplasticizer* perlu sesuai dengan standard ASTM-C 494-81 tipe F.

Ketepatan dosis penambahan *Superplasticizer* umumnya perlu dibuktikan dengan membuat campuran percobaan (*trial mixes*) dengan beberapa variasi dosis penambahan *Superplasticizer* hingga mendapatkan hasil yang optimum dalam memenuhi syarat kelecakan yang direncanakan. Hasil penelitian penggunaan *Superplasticizer* (dalam hal ini digunakan sikamen-163, produk PT. Sika Nusa Pratama), menunjukkan peningkatan nilai *slump* yang memuaskan pada fas yang rendah ($fas = 0,28$ dan nilai *slump* awal = 1,5 cm), yaitu mencapai nilai *slump* 9,5 cm pada penambahan *Superplasticizer* dengan dosis 1,25 %, nilai *slump* 12,5 cm pada penambahan *Superplasticizer* dengan dosis 2 % (Supartono, 1998).

fly ash atau Abu terbang, merupakan aditif yang banyak digunakan. Abu terbang bisa dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara berupa serbuk yang sangat halus, yang seringkali bisa didapat dari PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya, khususnya pada ruang perapian ketel uap. Abu terbang ini bersifat *pazzolan*, sehingga bisa menjadi aditif mineral yang baik untuk beton.

9. Prosedur yang benar dan cermat pada keseluruhan proses produksi beton.

Untuk menghasilkan beton bermutu tinggi maka dibutuhkan prosedur yang benar dan

- (6) Mesin *Los Angeles*, untuk menguji tingkat keausan agregat kasar.
- (7) Gelas ukur, untuk menakar volume air, berat jenis dan memeriksa kadar lumpur pasir.
- (8) Krucut Abrams dengan ukuran diameter atas 100 ± 3 mm, diameter bawah 200 ± 3 mm, tinggi 300 ± 3 mm dan baja penumbuk, digunakan untuk mengukur nilai *slump* dari beton segar.
- (9) Cngkul, cethok dan talam, digunakan untuk menampung dan menuang adukan beton ke dalam cetakan.
- (10) Mistar dan kaliper, digunakan untuk mengukur dimensi dari alat-alat dan benda uji yang digunakan.
- (11) *Stop watch*, digunakan untuk mengukur waktu saat pengisian terakhir beton yang telah diratakan dengan saat kerucut diangkat.

c. Pelaksanaan Penelitian.

Pelaksanaan penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun hingga pengujian kuat tekan benda uji. Secara garis besar penelitian meliputi :

- (1). Pemeriksaan bahan susun agregat halus : Pemeriksaan gradasi agregat halus (pasir), pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus, pemeriksaan kadar air agregat halus, Pemeriksaan berat satuan agregat halus (pasir).
- (2). Pemeriksaan bahan susun agregat kasar : Pemeriksaan gradasi agregat kasar (split), pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pemeriksaan keausan agregat kasar, Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar, Pemeriksaan kadar air agregat kasar, dan Pemeriksaan berat satuan agregat kasar.
- (3). Pemeriksaan bahan susun *fly-ash* : Pemeriksaan kadar air *fly-ash* dan Pemeriksaan kehalusan butiran *fly-ash*.
- (4). Perancangan bahan susun beton yang berupa : air, semen, pasir, koral, *Superplasticizer*, dan *Silicafume*.
- (5). Pengambilan benda uji beton segar, Pengujian Slump dan Pembuatan benda uji dan perawatan.

Faktor air semen (fas) dasar yang dipakai didalam penelitian disesuaikan dengan kebutuhan hidrasi semen yaitu sebesar 0,30 (misalnya untuk semen sebesar 750 kg maka air sebesar 225 liter). Kemudian jumlah air dikurangi sesuai dengan besarnya kadar *Superplasticizer* yaitu sebesar 0 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, dan 2,5 %. Dari hasil pengujian tersebut akan didapat kadar superplastisizer optimum. Kemudian penelitian selanjutnya hanya digunakan superplastisizer dengan kadar optimum saja. Kadar *fly-ash* yang dipergunakan yaitu sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% terhadap berat semen. Agar menghasilkan fas yang tetap maka jumlah semen yang dipergunakan dikurangi dengan besarnya bahan tambah.

Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, dengan jumlah setiap sampelnya sebanyak 4 buah benda uji, maka jumlah sample untuk pengujian awal sebanyak $6 \times 4 = 24$ benda uji, kemudian untuk pengujian lanjutan sebanyak $5 \times 4 = 20$ benda uji sehingga jumlahnya 44 benda uji.

Metoda yang dipakai dalam perencanaan bahan susun beton pada penelitian ini adalah Cara "*The British Mix Design Method*" yaitu perencanaan standar yang dipakai di Indonesia oleh Departemen Pekerjaan Umum, yang dijelaskan dengan rinci pada buku Standar SK.SNI.03-xxxx-2002 dengan judul "*Tata Cara dan Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*".

d. Cara Analisis.

Hasil nilai kuat tekan beton yang dihasilkan pada pengujian beton normal dipakai sebagai acuan/pembandingan terhadap hasil nilai kuat tekan beton yang telah diberi bahan tambah *superplastisizer* maupun *fly-ash*. Kemudian dibuat grafik hubungan antara kadar *superplastisizer* maupun *fly-ash* terhadap kuat tekannya, dari hasil tersebut akan diketahui pada kadar berapa persen sehingga menghasilkan kuat tekan beton optimum. Begitu juga terhadap *fly-ash*, pada kadar *fly-ash* berapa persen sehingga dapat menghasilkan kuat tekan beton optimum. Dari hasil tersebut akan didapat proporsi campuran bahan pembentuk beton yang menghasilkan kuat tekan yang paling optimum.

Disamping itu diuji juga nilai *slump* baik pada beton normal maupun beton yang diberi bahan tambah *superplastisizer* maupun *fly-ash*. Kemudian dibuat grafik hubungan antara nilai

.....

11. Hasil dan Pembahasan

a. Pemeriksaan Bahan Susun.

Bahan susun yang dipergunakan meliputi : agregat kasar (koral), agregat halus (pasir), semen, air, superplastisizer, dan *fly-ash*. Dari hasil pengujian pasir di laboratorium didapat : modulus halus butir sebesar 3,35 dan termasuk gradasi untuk daerah no. 1, berat jenis pasir kering/curah sebesar 2,64 gr/cm³, kadar air pada kondisi SSD sebesar 1 %, berat satuan pada kondisi kering muka (SSD) sebesar 1,26 gr/cm³, dan kadar lumpur sebesar 0,5 %.

Hasil pengujian koral didapat : berat jenis kering sebesar 2,65 gr/cm³, berat jenis kering muka (SSD) sebesar 2,67 gr/cm³, penyerapan air dalam kondisi kering sebesar 0,86 %, kadar lumpur sebesar 0,62 %, kadar air agregat kasar SSD rata-rata sebesar 0,89 %, berat satuan batu SSD sebesar 1,43 gr/cm³, keausan agregat kasar sebesar 42,57 %. Hasil pengujian *fly-ash* didapat : Berat jenis sebesar 1,14 gr/cm³, kadar air sebesar 23,5%. Butiran yang lolos menembus saringan no.100 (0,15 mm) adalah sebesar 14,4 %. Secara umum dari hasil pengujian bahan susun tersebut memenuhi syarat untuk pembuatan beton.

b. Hasil Perencanaan Campuran Beton

Kuat tekan beton tanpa superplastisizer direncanakan sebesar 50 MPa, dengan fas sebesar 0,3. Dengan adanya bahan tambah superplastisizer maka fas akan menurun, sehingga diharapkan kuat tekannya lebih besar dari yang direncanakan, dengan menurunnya fas maka akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar. Berdasarkan metode SK-SNI 03-xxxx-2002, kebutuhan bahan susun untuk setiap meter kubik beton disajikan dalam Tabel 1. Dari Tabel 1 tersebut diharapkan menghasilkan kadar superplastisizer optimum terhadap kuat tekannya.

Setelah diadakan uji kuat tekan beton sebagaimana dibahas pada 11.d, didapat kuat tekan optimum sebesar 2%, sehingga pembuatan benda uji berikutnya dipergunakan kadar superplastisizer sebesar 2%, dengan kadar *fly-ash* bervariasi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat semen. Hasil selengkapnya disajikan selengkapnya pada Tabel 2.

c. Hasil Uji Slump Beton Segar

Setiap benda uji diadakan 2 kali pengujian slump, kemudian dari 2 kali pengujian ini

3. Kemudian hasil uji slump dengan menggunakan *fly-ash* yang bervariasi dan *superplastisizer* sebesar 2% disajikan dalam Tabel 4.

Dari Tabel 3. didapat bahwa semakin besar kadar *superplastisizer* semakin meningkat nilai *slump*-nya. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Supartono (1998), yang mengatakan bahwa semakin besar kadar *superplastisizer* maka nilai slump akan semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin besar kadar *superplastisizer* maka beton akan semakin lecah (mudah dikerjakan).

Dari Tabel 4. didapat bahwa semakin besar kadar *fly-ash* semakin menurun nilai *slump*-nya. Hal tersebut diakibatkan karena *fly-ash* lebih banyak menyerap air jika dibandingkan dengan semen, sehingga adukan menjadi lebih kering yang kemudian mempengaruhi nilai slump beton segar menjadi semakin rendah sesuai dengan kadar *fly-ash* yang ditambahkan.

d. Pengaruh Kadar Superplastisizer Terhadap Kuat Tekan Beton

Hasil uji kuat tekan beton tanpa menggunakan *fly-ash* disajikan selengkapnya pada Tabel 5, atau dapat digambarkan grafiknya sebagaimana tergambar pada Gambar 2, dan hasil persamaannya sebagaimana ditulis pada persamaan 1.

$$f_c' = -26231 SP^2 + 1047,3 SP + 40,9 \dots\dots\dots(1)$$

dimana f_c' adalah kuat tekan beton (MPa) dan SP adalah *superplastisizer* (%).

Dari gambar 2 tersebut terlihat bahwa semakin besar kadar *superplastisizer* semakin besar kuat tekannya, namun sampai dengan kadar 2 % kuat tekan beton semakin kecil. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kuat tekan optimum didapat pada kadar *superplastisizer* 2%, dan berdasarkan persamaan 1 didapat nilai kuat tekan beton optimum sebesar 51,35 MPa, dengan slump sebesar 18,15 cm (berdasarkan Tabel 3).

Berdasarkan Tabel 3 Perbandingan berat bahan susun beton tanpa *fly-ash* dengan kadar *superplastisizer* 2 %, yaitu sebesar = 1 *superplastisizer* : 14,00 air : 50,00 semen : 29,97 pasir : 63,69 koral.

e. Pengaruh Kadar Fly-Ash Terhadap Kuat Tekan Beton

Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan kadar *superplastisizer* sebesar 2%,

..... dapat digambarkan

grafiknya sebagaimana tergambar pada Gambar 3, dan persamaannya sebagaimana ditulis pada persamaan 2.

$$f_c' = -371,51 FA^2 + 85,96 FA + 52,14 \dots \dots \dots (2)$$

dimana f_c' adalah kuat tekan beton (MPa) dan FA adalah *fly-ash* (%).

Dari gambar 3 tersebut terlihat bahwa semakin besar kadar *fly-ash* semakin besar kuat tekannya, namun sampai dengan kadar 15% kuat tekan beton semakin kecil. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kuat tekan optimum didapat pada kadar *fly-ash* 12%, dan berdasarkan persamaan 2 didapat nilai kuat tekan optimum sebesar 57,11 MPa, dengan slump sebesar 14,95 cm (berdasarkan Tabel 4).

Berdasarkan Tabel 4 Perbandingan berat bahan susun beton dengan kadar *superplastisizer* 2 % dan *fly-ash* 10 %, yaitu sebesar = 1 *superplastisizer* : 14 air : 5 *fly-ash* : 45 semen : 29,97 pasir : 63,69 koral.

12. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton optimum yang dapat dicapai sebesar 57,11 MPa dengan kadar *fly-ash* 12 %, kadar *superplastisizer* 2 %, dan slump sebesar 14,95 cm.
2. Kuat tekan beton optimum tanpa *fly-ash* yang dapat dicapai sebesar 51,35 MPa dengan kadar *superplastisizer* sebesar 2 %, dan slump sebesar 18,15 cm.
3. Kuat tekan beton dengan mutu sangat tinggi (> 80 Mpa) belum dapat dicapai, namun kuat tekan beton mutu tinggi sudah dapat dicapai (> 50 MPa).
4. Perbandingan berat bahan susun beton optimum tanpa *fly-ash* dengan kadar *superplastisizer* 2% adalah 1 *superplastisizer* : 14 air : 50 semen : 29,97 pasir : 63,69 koral.
5. Perbandingan berat bahan susun beton optimum dengan kadar *fly-ash* 10% dan *superplastisizer* 2% adalah 1 *superplastisizer* : 14 air : 5 *fly-ash* : 45 semen : 29,97 pasir : 63,69 koral.

1. Untuk mendapatkan beton mutu sangat tinggi (dengan kuat tekan > 80 MPa), maka perlu diadakan penelitian dengan bahan susun yang mempunyai kualitas lebih baik.
2. Untuk mendapatkan beton yang lebih baik lagi maka dapat diadakan penelitian tentang pengaruh faktor air semen terhadap kuat tekan beton.
3. Untuk mengetahui perbandingan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 21 hari, maka perlu diadakan penelitian tentang pengaruh kuat tekan beton terhadap umur, bahkan jika waktunya memungkinkan dapat diadakan sampai dengan umur 90 hari.
4. Untuk mendapatkan beton yang lebih baik lagi maka dapat diadakan penelitian tentang pengaruh modulus kehalusan agregat kasar terhadap kuat tekan beton.
5. Untuk mendapatkan beton yang lebih baik lagi maka dapat diadakan penelitian tentang pengaruh gradasi agregat kasar terhadap kuat tekan beton.

13. Daftar Pustaka

1. DPU, 2002, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Untuk Beton Normal*, SK SNI 03-xxxx-2002, yayasan LPMB, Bandung.
2. DPU, 1990, *Metode Pengujian Tentang Ana-lisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*, SK SNI 03-1968-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
3. DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar* , SK SNI 03-1969-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
4. DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus* , SK SNI 03-1970-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
5. DPU, 1990, *Metode Pengujian Kadar Air Agregat* , SK SNI 03-1971-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
6. DPU, 1990, *Metode Pengujian Kerasan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles* , SK SNI 03-2417-1991 , yayasan LPMB, Bandung.
7. DPU, 1990, *Metode Pengujian Slump Beton*, SK SNI 03-1972-1990, yayasan LPMB, Bandung.
8. DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Isi Beton*, SK SNI 03-1973-1990 , yayasan LPMB, Bandung.

10. DPU, 1991, *Metode Pengujian Pengambilan Contoh untuk Campuran Beton Segar*, SK SNI 03-2458-1991, yayasan LPMB, Bandung.
11. DPU, 1990, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SK SNI 03-2493-1991, yayasan LPMB, Bandung.
12. DPU, 1990, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SK SNI 03-2493-1991, yayasan LPMB, Bandung.
13. DPU, 1990, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SK SNI 03-2493-1991, yayasan LPMB, Bandung.
14. Jianxin Ma dan Jorg Dietz, 2002, *Ultra High Performance Self Compacting Concrete*, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Leipzig.
15. Mindess, S., Young, J. F., 1981, *Concrete*, Prentice-Hall, inc. Englewood Clifs, New Jersey.
16. Mokarem, D.M., 2002, *Development of Concrete Shrinkage Performance Specifications*, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University In partial fulfillment of the requirements for the degree of, Virginia.
17. Supartono, F.X., 1998, *Mengenal dan Mengetahui Permasalahan pada Produksi Beton Berkinerja Tinggi*, artikel ilmiah, UI, Jakarta.
18. Tjokrodimuljo, K., 1992, *Teknologi Beton*, Gramedia, Yogyakarta.
19. Winter, G., Arthur H. Nilson, 1993, *Design Of Concrete Structures*, McGraw Hill Book Company Inc., New York.

LAMPIRAN GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Kebutuhan bahan susun beton tanpa *fly-ash* tiap 1 meter kubik

Kadar Superplastiziser (%)	Volume		Berat Semen (kg)	Berat Pasir (kg)	Berat Koral (kg)	fas
	Air (liter)	Superplastiziser (liter)				
0.0%	225.00	0.00	750	449.60	955.40	0.30
0.5%	221.25	3.75	750	449.60	955.40	0.30
1.0%	217.50	7.50	750	449.60	955.40	0.29
1.5%	213.75	11.25	750	449.60	955.40	0.29
2.0%	210.00	15.00	750	449.60	955.40	0.28
2.5%	206.25	18.75	750	449.60	955.40	0.28

Tabel 2. Kebutuhan bahan susun beton tiap 1 meter kubik

Kadar Fly Ash (%)	Kadar Superplastiziser (%)	Volume		Berat		Berat Pasir (kg)	Berat Korall (kg)
		Air (liter)	Superplastiziser (liter)	Fly Ash (kg)	Semen (kg)		
0.0%	2.0%	210	15	-	750.00	449.60	955.40
5.0%	2.0%	210	15	37.50	712.50	449.60	955.40
10.0%	2.0%	210	15	75.00	675.00	449.60	955.40
15.0%	2.0%	210	15	112.50	637.50	449.60	955.40
20.0%	2.0%	210	15	150.00	600.00	449.60	955.40

Tabel 3. Hasil uji slump beton segar tanpa fly-ash

Kadar Superplastiziser (%)	Volume		Berat Semen (kg)	Berat Pasir (kg)	Berat Korall (kg)	Slump (cm)	Slump rata-rata (cm)
	Air (liter)	Superplastiziser (liter)					
0.0%	225.00	0	750	449.60	955.40	12.00 12.40	12.20
0.5%	221.25	3.75	750	449.60	955.40	14.50 15.00	14.75
1.0%	217.50	7.50	750	449.60	955.40	17.30 17.20	17.25
1.5%	213.75	11.25	750	449.60	955.40	17.50 17.70	17.60
2.0%	210.00	15.00	750	449.60	955.40	18.00 18.30	18.15
2.5%	206.25	18.75	750	449.60	955.40	20.00 20.20	20.10

Tabel 4. Hasil uji slump beton segar dengan kadar superplastiziser 2 %

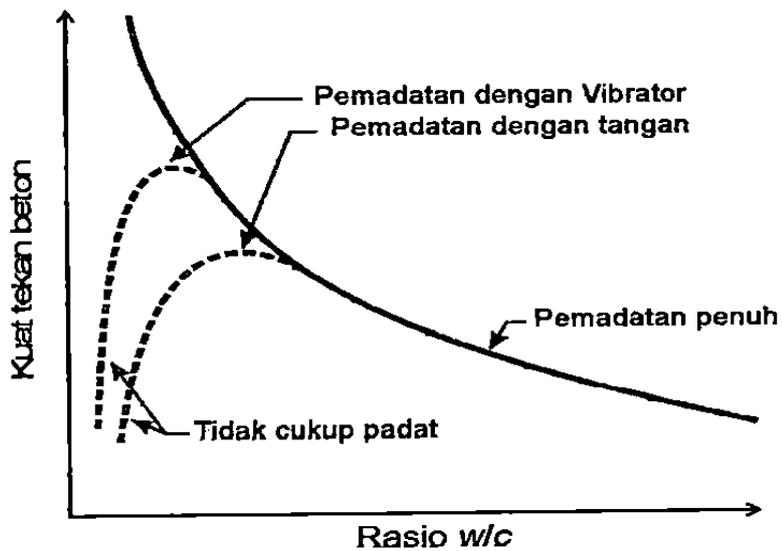
Kadar Fly Ash (%)	Kadar Superplastiziser (%)	Volume		Berat		Berat Pasir (kg)	Berat Korall (kg)	Slump (cm)	Slump rata-rata (cm)
		Air (liter)	Superplastiziser (liter)	Fly Ash (kg)	Semen (kg)				
0.0%	2.0%	210.00	15.00	-	750.00	449.60	955.40	18.00 18.30	18.15
5.0%	2.0%	210.00	15.00	37.50	712.50	449.60	955.40	17.20 17.90	17.55
10.0%	2.0%	210.00	15.00	75.00	675.00	449.60	955.40	16.20 16.10	16.15
15.0%	2.0%	210.00	15.00	112.50	637.50	449.60	955.40	15.00 14.90	14.95
20.0%	2.0%	210.00	15.00	150.00	600.00	449.60	955.40	13.00 12.50	12.75

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari Tanpa *fly-ash*

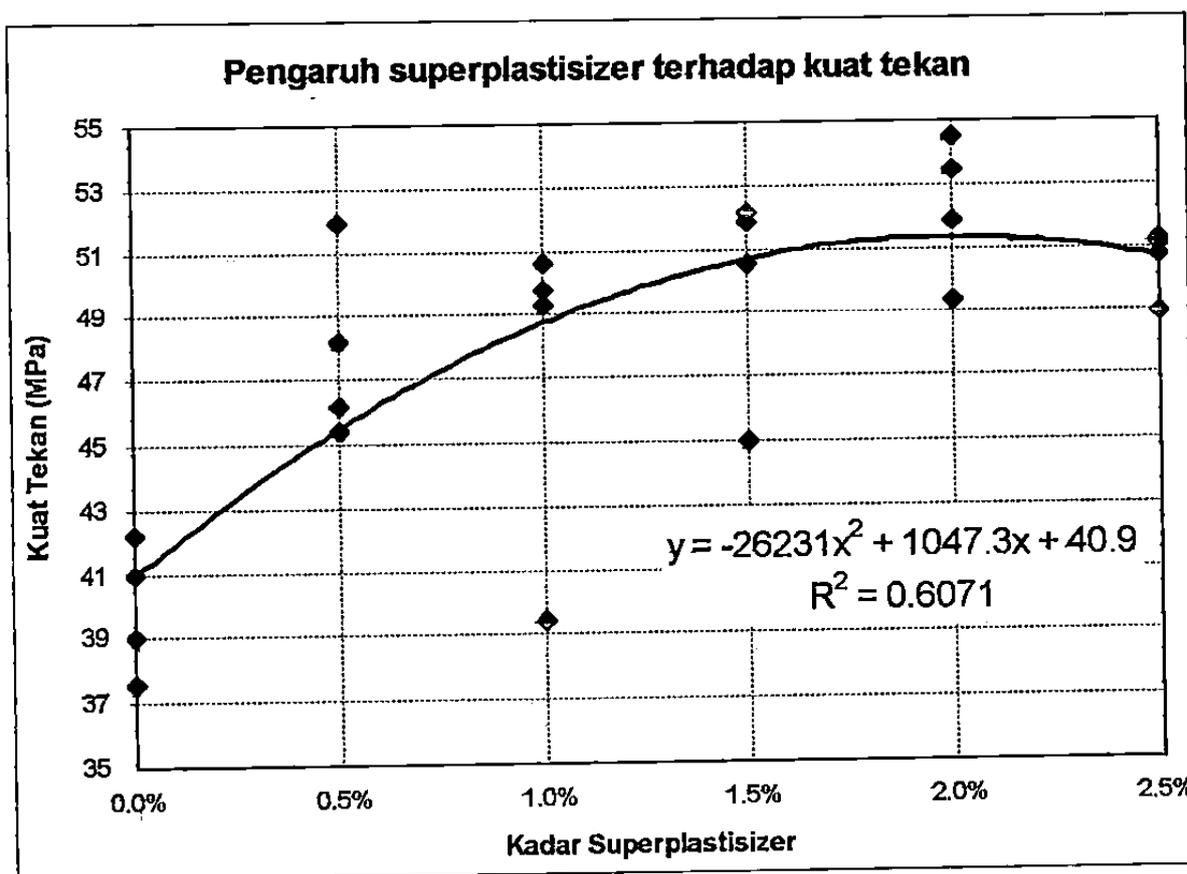
Kadar Superplastiziser (%)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban Maksimum (kN)	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
0.0%	15.09	178.91	67220	37.57	39.94
0.0%	14.99	176.55	68900	39.03	
0.0%	14.92	174.91	73790	42.19	
0.0%	14.99	176.55	72350	40.98	
0.5%	15.01	177.02	91920	51.93	47.94
0.5%	15.00	176.79	80350	45.45	
0.5%	14.98	176.31	85030	48.23	
0.5%	14.97	176.08	81300	46.17	
1.0%	14.98	176.31	69590	39.47	47.29
1.0%	14.98	176.31	89250	50.62	
1.0%	15.02	177.26	87340	49.27	
1.0%	15.02	177.26	88250	49.79	
1.5%	15.00	176.79	91670	51.85	49.90
1.5%	14.99	176.55	92080	52.16	
1.5%	14.98	176.31	79340	45.00	
1.5%	15.06	178.20	90140	50.58	
2.0%	15.04	177.73	96900	54.52	52.30
2.0%	15.02	177.26	94790	53.48	
2.0%	15.00	176.79	87230	49.34	
2.0%	15.00	176.79	91670	51.85	
2.5%	15.03	177.49	90700	51.10	50.51
2.5%	14.99	176.55	90500	51.26	
2.5%	14.98	176.31	89450	50.73	

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari dengan kadar *superplastisizer* 2 % dan *fly-ash* bervariasi

Kadar Fly Ash (%)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban Maksimum (kN)	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
0%	15.04	177.73	96900	54.52	52.30
0%	15.02	177.26	94790	53.48	
0%	15.00	176.79	87230	49.34	
0%	15.00	176.79	91670	51.85	
5%	15.00	176.79	98500	55.72	54.77
5%	14.97	176.08	96750	54.95	
5%	15.00	176.79	95300	53.91	
5%	15.00	176.79	96350	54.50	
10%	15.00	176.79	100125	56.64	58.32
10%	14.97	176.08	104100	59.12	
10%	15.04	177.73	105600	59.42	
10%	15.01	177.02	102875	58.11	
15%	14.94	175.37	99525	56.75	55.69
15%	14.97	176.08	96750	54.95	
15%	14.97	176.08	97250	55.23	
15%	15.00	176.79	98700	55.83	
20%	14.97	176.08	95670	54.33	54.75
20%	15.02	177.26	98700	55.68	
20%	15.00	176.79	96950	54.84	
20%	15.00	176.79	95600	54.15	



Gambar 1. Hubungan antara kuat tekan dan fas (w/c) (Neville A.M., 1981)



Pengaruh fly-ash terhadap kuat tekan

