

PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN PERUBAHAN FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP MODULUS ELASTISITAS BETON

The Influence of Variation Silica Fume and Water Cement Ratio Toward Elasticity Modulus of Concrete

Nor Intang Setyo H.

Program Sarjana Teknik Unsoed Purwokerto

ABSTRACT

The aim of this research is to know influence of addition silica fume and variation of water cement ratio (w/c), also interaction of between both to elasticity modulus of concrete. Independent variable in this research is variation of silica fume and water cement ratio. Dependent variable is compression strength and strain for result of elasticity modulus. The sample test of cylinder concrete with diameter 15 cm and high 30 cm, with the variation of w/c 0,3 ; 0,35 ; 0,4 ; 0,45 ; and 0,5, and also variation of silica fume 0,5%, 10%, 15%, and 20% cement weight. Each treatment made by 10 samples with of volume comparison of mixer concrete 1 : 1,5 : 2,5. The result of samples test carried out 28th days of age obtained optimum rate silica fume 9,328% with w/c 0,35 giving influence to increase of concrete elasticity modulus of concrete to 4,191% of normal concrete.

Keywords : *silica fume, water cement ratio, elasticity modulus*

PENDAHULUAN

Beton mempunyai kelebihan dalam menahan tegangan tekan, namun mempunyai kelemahan dalam mendukung tegangan tarik. Semakin tinggi kekuatan (mutu) tekan beton akan meningkatkan pula nilai modulus elastisitas beton. Untuk meningkatkan mutu beton, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan bahan tambahan berupa silica fume pada campuran beton. Pada saat pencampuran semen dengan air akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang terbuang begitu saja. Selama proses hidrasi, pemakaian silica fume (SiO_2) akan dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 dan membentuk Calcium Silicate Hydrate (CSH). Kristalisasi CSH dapat mengurangi jumlah pori dan meningkatkan kekuatan beton serta kedap air.

Salah satu parameter lain yang mempengaruhi mutu beton adalah faktor air semen (fas). Semakin rendah nilai faktor air semen akan semakin tinggi kuat tekan beton. Sehingga diperlukan air dengan jumlah tertentu untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton dan untuk

mendapatkan mutu sesuai yang diharapkan (Wang and Salmon, 1985). Selain segi mutu beton, sifat-sifat lain yang perlu dipertimbangkan adalah sifat modulus elastisitas beton. Hal ini penting untuk dianalisis, karena sifat elastisitas akan berpengaruh terhadap kekakuan suatu konstruksi, Sifat modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh kekuatan, umur, sifat agregat, sifat semen, sifat kecepatan bembahanan, jenis dan ukuran benda uji (Wang and Salmon, 1985). Nilai modulus elastisitas diperlukan pada waktu peninjauan lendutan dan retak dari suatu konstruksi.

Untuk mengatasi permasalahan yang ada, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh komposisi jumlah pemakaian silica fume dan variasi faktor air semen pada campuran beton terhadap modulus elastisitas beton.

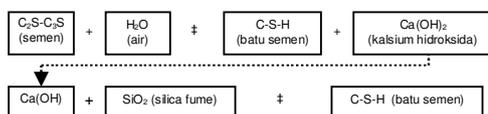
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan silica fume, pengaruh variasi perubahan factor air semen dan pengaruh interaksi antara keduanya terhadap nilai modulus elastisitas beton. Manfaat penelitian ini antara lain : memberi pengetahuan untuk para peneliti maupun

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

Dinamika Rekayasa	Vol. 1	No. 1	Hlm : 1 - 34	ISSN 1858-3075	Purwokerto Agustus 2005
-------------------	--------	-------	-----------------	-------------------	----------------------------

para praktisi tentang pengaruh komposisi pemakaian silica fume dan variasi faktor air semen terhadap sifat mekanis beton khususnya modulus elastisitas beton.

Silica fume merupakan hasil reduksi dari quartz murni (SiO_2) dengan batu bara dalam tanur listrik (*electric arc furnace*) yang biasa digunakan untuk memproduksi ferro silicon (Subakti, 1994). Fume dikumpulkan dari gas-gas yang terbuang dari pembakaran tersebut. Silica fume mengandung kadar SiO_2 yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus berbentuk bulat dengan diameter 1/100 kali diameter semen (ACI Comitee 226, 1986). Adapun reaksi kimia yang terjadi antara semen dan silica fume adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Proses reaksi kimia semen dengan silica fume (Sumber : Anonim, 1992)

Silica fume adalah pozolan yang dapat bersifat semen dan pengisi (*filler*). *Silica fume* yang bereaksi dengan semen selama proses hidrasi akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\{\text{Ca}(\text{OH})_2\}$ dan membubuk C-S-H (*Calcium Silicat Hydrate*) yang bersifat semen. Reaksi yang menerus antara *silica fume* dengan kalsium hidroksida akan menyebabkan kristalisasi C-S-H sehingga mengurangi jumlah pori yang dapat membuat beton menjadi kuat dan kedap air. Sebagai pengisi, *silica fume* dapat menyebar diantara dan sekeliling butiran semen pada waktu campuran beton baru dibuat, sehingga mengurangi porositas beton.

Untuk mengatasi penurunan kelecakan (*workability*) beton segar karena penggunaan *silica fume* diperlukan bahan tambah untuk meningkatkan kelecakan beton agar mudah dikerjakan sesuai ketentuan. Bahan tambah dipakai adalah *superplastizicer* yang berfungsi utama adalah meningkatkan keenceran/kelecakan beton tanpa menambah air (mengurangi jumlah air). Penggunaan *superplastizicer* yang umum adalah sebesar 1% dari berat semen (Hindratno, 1996).

Perbandingan banyaknya penggunaan air terhadap jumlah semen dalam adukan beton yang disebut dengan fas (faktor air semen) merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin

rendah fas akan semakin tinggi kekuatannya. Nilai fas yang tinggi akan memberikan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), namun akan mereduksi kekuatan dan menimbulkan segregasi dan *bleeding*. Secara umum tiap partikel agregat membutuhkan air supaya plastis sehingga mudah dikerjakan. Penambahan jumlah air haruslah dapat terserap oleh permukaan partikel dan air dapat mengisi ruang diantara partikel tersebut. Partikel yang halus akan memerlukan jumlah air yang lebih banyak karena mempunyai permukaan yang luas. Jadi nilai fas tidak dapat terpisahkan dengan faktor gradasi agregat.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar (batu pecah) diameter maksimum 20 mm, agregat halus (pasir alam) dari sungai, semen portlan campur, air PDAM, *superplastisizer* (Sikament LN), dan *silica fume*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *concrete mixer* (molen), ayakan, oven, timbangan, cetakan silinder beton diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, mesin uji tekan (*compression machine*), alat ukur regangan (*extensiometer*).

Pelaksanaan Penelitian

Untuk dapat menjawab tujuan penelitian, maka penelitian dirancang sebagai berikut :

- 1) Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 10 kali
- 2) Variasi Si adalah : 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen.
- 3) Variasi Fi adalah : 0,3 ; 0,35; 0,4; 0,45; dan 0,5
- 4) Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :
- 5) Pemeriksaan agregat halus dan kasar meliputi : analisis gradasi agregat, analisis berat jenis (*specific gravity*), dan analisis absorpsi agregat.
- 6) Pembuatan benda uji silinder beton dengan 5 (lima) variasi kadar *silica fume* ditambah *superplastizicer* 1% dari berat semen, dan 5 (lima) variasi factor air semen pada campuran beton dengan perbandingan volume 1 : 1,5 : 2,5.
- 7) Pengujian tekan untuk mendapatkan modulus elastisitas beton pada saat beton berumur 28 hari.

Tabel 1. Skema rancangan penelitian

Fi	Si	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
F ₁		F ₁ S ₁	F ₁ S ₂	F ₁ S ₃	F ₁ S ₄
F ₂		F ₂ S ₁	F ₂ S ₂	F ₂ S ₃	F ₂ S ₄
F ₃		F ₃ S ₁	F ₃ S ₂	F ₃ S ₃	F ₃ S ₄
F ₄		F ₄ S ₁	F ₄ S ₂	F ₄ S ₃	F ₄ S ₄
F ₅		F ₅ S ₁	F ₅ S ₂	F ₅ S ₃	F ₅ S ₄

Si = variasi kadar silica fume
 Fi = variasi factor air semen

Analisis Data

Sampel yang digunakan adalah silinder beton yang dibuat dari campuran adukan beton dengan variasi penambahan *silica fume* dan variasi fas yang keduanya merupakan variabel bebas (*independent variable*) dalam penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 250 buah. Kemudian dilakukan pengujian tegangan-regangan sampai benda uji hancur. Data diambil dengan mencatat besar kuat tekan hancur silinder beton (P) serta perubahan panjang arah longitudinal (ΔL) yang merupakan variabel tak bebas (*dependent variable*). Pengujian tekan dilakukan terhadap silinder beton dengan memberikan beban secara bertahap sebesar 4 ton.

Dari data pengujian dapat ditentukan tegangan hancur (f_c') dan regangan (ϵ) untuk tiap perlakuan dengan rumus sebagai berikut :

Tegangan hancur (f_c') :

$$f_c' = \frac{P}{A} \times 98,04 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- P = gaya tekan pada silinder beton (P)
- A = luas penampang silinder (176,715 cm²)
- 98,04 = faktor konversi dari t/cm² menjadi MPa

Regangan arah longitudinal (ϵ_1) :

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \times 0,0005 \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

- ΔL = perubahan panjang arah longitudinal (mm)
- L = tinggi efektif silinder beton (200 mm)
- 0,0005 = kalibrasi jarum pengukur

Untuk menentukan modulus elastisitas beton (E_c) digunakan salah satu cara yang direkomendasikan oleh ASTM C 469, yaitu Modulus Chord (*Chord Modulus*). Perhitungan Modulus Chord adalah menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

- S₂ = tegangan sebesar 40% f_c'
- S₁ = tegangan yang sesuai dengan regangan arah longitudinal (0,00005)
- ϵ_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S₂

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh penggunaan *silica fume* dan perubahan factor air semen terhadap nilai modulus elastisitas beton digunakan analisis varian dua arah (dengan uji F) (Hifni, 1991b). Sedangkan untuk menyatakan besar pengaruh variabel bebas dan nilai modulus elastisitas beton digunakan analisis regresi (Hifni, 1991a).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan terhadap agregat halus (pasir) dalam penelitian ini, gradasi pasir termasuk dalam katagori pasir agak kasar (daerah II), berat jenis pasir (SSD) sebesar 2,475 kg/dm³ dan daya serap air (*absorption*) sebesar 1,39%. Modulus halus butir diperoleh sebesar 2,812. Sedangkan untuk hasil pemeriksaan agregat kasar (batu pecah) diperoleh modulus halus butir sebesar 3,502, berat jenis (SSD) sebesar 2,767, penyerapan air adalah 1,472% dan gradasi batu pecah termasuk dalam kurva dengan besar butir maksimum 20 mm (Tjokrodimuljo, 1996).

Pengujian Slump

Pengujian slump pada beton segar adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) adukan beton. Hasil pengujian slump (dalam satuan cm) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian slump (dalam cm)

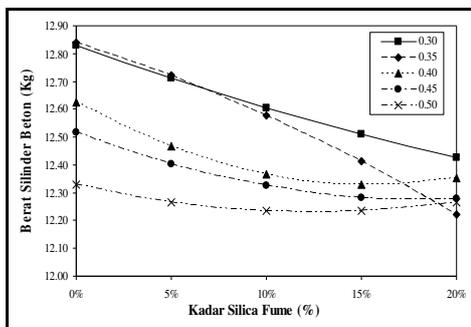
Fas	Silica Fume				
	0%	5%	10%	15%	20%
0,50	18,3	16,0	15,4	13,2	11,4
0,45	16,1	15,4	13,3	10,2	8,1
0,40	13,5	11,5	10,0	8,3	5,2
0,35	10,4	8,7	7,5	5,4	3,4
0,30	6,7	5,2	3,4	2,5	1,7

Tampak dari hasil pengujian slump, bahwa penambahan kandungan *silica fume* dan memperkecil nilai fas akan memperkecil pula nilai slumpnya dan semakin sulit untuk dikerjakan.

Kekuatan dan Modulus Elastisitas Beton

Sebelum silinder beton diuji tekan pada umur 28 (dua puluh delapan) hari, benda uji ditimbang dahulu untuk mendapatkan berat beton. Hasil penimbangan berat beton rata-rata dari 10 benda uji untuk tiap-tiap variasi sample menunjukkan penurunan berat beton secara tajam dengan semakin bertambahnya kadar *silica fume* untuk sampel silinder beton dengan fas 0,3 dan 0,35. Sedangkan untuk sampel silinder beton dengan fas 0,4 hingga 0,5 penurunan berat beton tidak terlalu tajam, bahkan berat beton cenderung menjadi stabil dan meningkat lagi setelah pada kadar *silica fume* 15% (lihat Gambar 2).

Kekuatan beton diukur dari tegangan tekan beton karakteristik yang dinyatakan dari kuat tekan beton dibagi luas penampangnya. Dari hasil pengujian tekan silinder beton diperoleh data hubungan gaya tekan dan deformasi. Hasil tersebut selanjutnya dirubah menjadi data hubungan tegangan tekan dan regangan untuk tiap-tiap perlakuan.



Gambar 2. Grafik berat sampel silinder beton dengan variasi kadar silica fume dan fas

Dengan menggunakan analisis regresi polinomial pangkat dua akan didapatkan kurva hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ). Bentuk fungsi regresi polinomial yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\sigma = a_1 \cdot \epsilon + a_2 \cdot \epsilon^2 + a_3 \cdot \epsilon^3 + \dots + a_n \cdot \epsilon^n \dots \dots (4)$$

dengan :
 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = koefisien polinomial

Tegangan hancur karakteristik (σ) akan diperoleh dengan penyelesaian

persamaan diferensial matematika, yaitu ($d\sigma/d\epsilon$) = 0. Secara rata-rata diperoleh hasil hitungan tegangan beton karakteristik seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata hasil hitungan tegangan hancur karakteristik beton (MPa)

Silica.Fume Fas	0%	5%	10%	15%	20%
0,30	27.74	29.71	28.72	26.52	25.07
0,35	24.53	29.41	28.33	28.15	26.32
0,40	23.12	25.47	27.24	24.67	23.53
0,45	19.27	24.60	25.59	23.24	21.89
0,50	17.54	23.54	23.05	21.11	20.16

Berdasarkan persamaan regresi dan tegangan hancur karakteristik yang telah diperoleh, untuk selanjutnya dapat dihitung nilai modulus elastisitas beton dengan menggunakan Persamaan 3. Secara rata-rata diperoleh hasil hitungan modulus elastisitas beton seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata hasil hitungan modulus elastisitas beton (MPa)

Silica Fume Fas	0%	5%	10%	15%	20%
0.30	28158.617	29362.201	28871.589	27596.361	27362.752
0.35	27367.025	28845.870	28572.456	28241.697	27521.346
0.40	26169.481	27612.756	28287.268	27239.871	24222.628
0.45	23439.037	27192.487	27595.364	26570.480	26291.058
0.50	24041.031	26573.218	27299.342	26308.580	25706.734

Pembahasan

Analisis hubungan antara variasi kadar *silica fume* dan variasi fas pada campuran beton terhadap modulus elastisitas dinyatakan dalam persamaan regresi polinomial. Persamaan regresi yang diperoleh dari data-data yang ada dari hasil hitungan dapat ditulis seperti berikut :

$$Y = 38355,37 - 42939,19X - 1050,20Z + 33076,90X^2 + 18,53Z + 5841,14XZ - 6107,81X^2Z - 139,08XZ^2 + 138,47X^2Z^2 \dots \dots \dots (5)$$

dengan :
Y = modulus elastisitas beton (MPa)
X = variabel faktor air (fas)
Z = variabel kadar silica fume (%)

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kadar silica fume dan fas terhadap modulus elastisitas dilakukan uji varian dua arah, dengan mengambil tingkat kepercayaan 0,5%. Hasil analisis varian dari persamaan regresi tersebut diperlihatkan dalam Tabel 5.

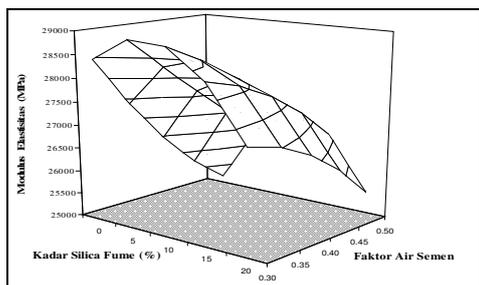
Tabel 5. Analisis varian dua arah persamaan regresi

SK	db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Regresi	8	249551534	31193941	182.10	2,9
Galat	241	41283952	171303		
Total	249	290835486			

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti interaksi antara variasi kadar *silica fume* dan variasi fas memberikan pengaruh nyata terhadap modulus elastisitas beton. Diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,93 dan

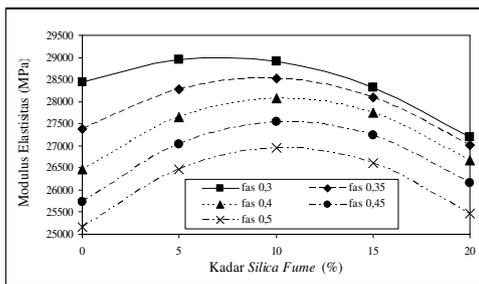
koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,86. Nilai korelasi dan determinasi menjelaskan bahwa keterkaitan antara kedua variabel bebas (*silica fume* dan fas) dan variabel tak bebas (modulus elastisitas) adalah sebesar 93% dengan tingkat menentukan sebesar 86%.

Hubungan antara *silica fume*, fas dan modulus elastisitas berdasarkan rumus regresi polinomial dalam Persamaan 5 dapat dinyatakan dalam grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar silica fume dan faktor air semen (fas) terhadap modulus elastisitas beton

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton akan meningkat dengan bertambahnya tegangan tekan beton. Peningkatan tegangan tekan terjadi karena pengaruh penambahan kadar silica fume pada campuran beton. Namun penambahan silica fume yang berlebihan tidak akan meningkatkan kekuatan tekan bahkan menjadikan modulus elastisitas beton turun (lihat kurva pada Gambar 4).

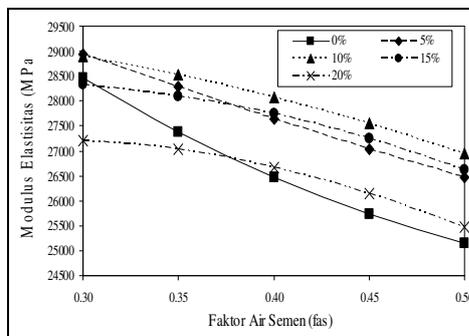


Gambar 4. Grafik hubungan antara silica fume dan modulus elastisitas beton

Kandungan *silica fume* pada campuran adukan beton yang berlebihan dengan kadar tertentu (lebih dari 10%) akan menyebabkan lebih banyak menyerap air, sehingga kebutuhan air untuk proses hidrasi semen berkurang dan *silica fume* akan berfungsi sebagai bahan pengisi saja yang dapat menurunkan kekuatannya.

Sedangkan untuk pengaruh factor air semen (fas) pada campuran beton dengan

meningkatnya nilai fas akan memberikan kekuatan semakin rendah dan modulus elastisitas beton juga akan menjadi menurun (seperti diperlihatkan kurva hubungan fas dan modulus elastisitas pada Gambar 5).



Gambar 5. Grafik hubungan antara silica fume dan modulus elastisitas beton

Pada penelitian ini dapat diperoleh nilai kadar silica fume yang paling optimum yang memberikan nilai modulus elastisitas maksimum. Kadar silica fume optimum dapat ditentukan dari Persamaan 5 dan grafik pada Gambar 4 untuk tiap-tiap fas. Untuk mendapatkan kadar silica fume optimum diperoleh secara analitis dengan menurunkan Persamaan 5 terhadap kadar silica fume (Z), yaitu $dY/dZ = 0$. Sedangkan secara grafis kadar silica optimum dapat dicari dengan membuat garis singgung pada puncak kurva/grafik pada Gambar 3 maupun Gambar 4, kemudian menarik garis tersebut dari titik singgung sejajar sumbu tegak (Y) sehingga didapatkan kadar silica fume optimum. Hasil hitungan kadar silica fume optimum untuk masing-masing fas diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil hitungan kadar silica fume optimum untuk tiap-tiap fas

Fas	Silica fume optimum (%)	Modulus elastisitas maksimum (MPa)
0,30	7,102	28991,86
0,35	9,328	28525,90
0,40	10,337	28069,07
0,45	10,661	27551,03
0,50	10,475	26953,62

Dari pertimbangan hasil penelitian berupa pengujian slump yang diperlihatkan pada Tabel 2, dan berdasarkan nilai slump minimum (7,5 cm) untuk pekerjaan beton : pelat, balok, kolom, dan dinding (Tjokrodinuljo, 1996) diperoleh nilai silica fume optimum 9,328 % pada fas 0,35 dengan nilai slump hasil interpolasi sebesar 7,7 cm.

KESIMPULAN

1. Komposisi penambahan silica fume dan variasi faktor air semen (fas) pada campuran adukan beton memberikan pengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton. Seberapa besar pengaruh tersebut dinyatakan dengan fungsi interaksi antara *silica fume* (Z) dan fas (X) terhadap modulus elastisitas (Y) sebagai berikut :

$$Y = 38355,37 - 42939,19X - 1050,20Z + 33076,90X^2 + 18,53Z + 5841,14XZ - 6107,81X^2Z - 139,08XZ^2 + 138,47X^2Z^2$$

2. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kadar silica fume optimum sebesar 9,328% dengan fas 0,35 yang menghasilkan nilai modulus elastisitas maksimum 28525,90 MPa.

3. Pemakaian *silica fume* (9,328%) sebagai pengganti sebagian dari berat semen pada fas 0,35 memberikan peningkatan nilai modulus elastisitas beton sebesar 4,191% terhadap beton normal (fas 0,35 dan kadar *silica fume* 0%), serta dapat mengurangi jumlah pemakaian semen sebesar 9,328%.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 367. 1984. *State of The Art Report on High Strength Concrete*. ACI Journal, July – August 1984.

ACI Technical. 1987. *Silica Fume in Concrete*. ACI Material Journal, March – April 1987.

Anonim. 1992. *Seminar High Strength Concrete*. Puslitbang Pemukiman Departemen Pekerjaan Umum. Himpunan Ahli Konstruksi – PT. Sika Nusa Pratama.

Hifni, M. 1990. *Metode Statistika*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

----- . 1991a. *Analisis Regresi*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

----- . 1991b. *Analisis Varian dan Penerapannya*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Hindratno, A. 1996. *Pengaruh Penambahan Silica Fume dan Superplastizicer pada Campuran Beton terhadap Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson Beton*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.

Subakti, A. 1994. *Teknologi Beton dalam Praktek*. Divisi Percetakan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.

Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Penerbit Nafiri, Yogyakarta.

Wang, C.K. and C.G. Salmon. 1995, *Reinforced Concrete Design*. Harper and Roe, New York.