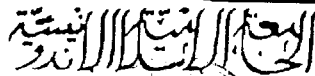
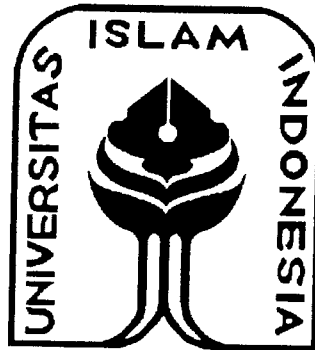


**TUGAS AKHIR**  
**PENGARUH VARIASI**  
**PENAMBAHAN SILICA FUME TERHADAP**  
**KUAT DESAK BETON PASCA BAKAR**



Disusun oleh :

Nama : Rumpoko Hadi Susetiarto

No. Mhs : 97511376

Nirm : 970051013114120303

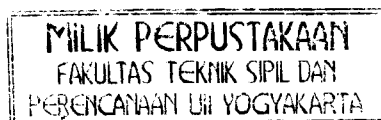
Nama : Erwin Priyatna

No. Mhs : 97511311

Nirm : 970051013114120249

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**JOGJAKARTA**

**2003**



**HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR  
PENGARUH VARIASI  
PENAMBAHAN SILICA FUME TERHADAP  
KUAT DESAK BETON PASCA BAKAR**

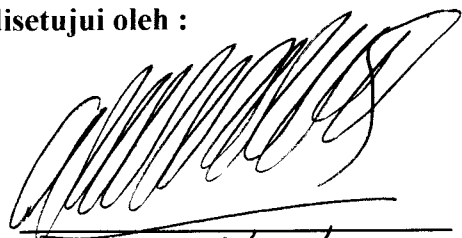
**Nama : Rumpoko Hadi Susetiarto**  
**No. Mhs : 97511376**  
**Nirm : 970051013114120303**

**Nama : Erwin Priyatna**  
**No. Mhs : 97511311**  
**Nirm : 970051013114120249**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Ir. H. A. Kadir Aboe, MS.**

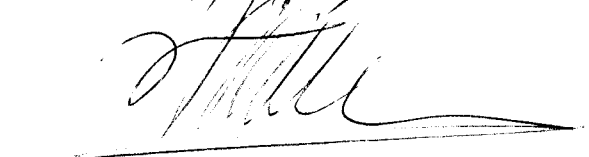
**Dosen Pembimbing I**



**Tanggal : 26/04/03**

**Ir. Fatkhurrohman N., MT.**

**Dosen Pembimbing II**



**Tanggal : 26/04/03**

## ***Motto dan Persembahan***

*“Dan Dia mendapati kamu sebagai orang yang bingung,  
lalu Dia memberikan petunjuk”*

*“...katakanlah: ”Adakah orang-orang yang mengetahui  
sama dengan orang-orang yang tidak mengetahui?”*

*Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat  
menerima pelajaran”.(Q.S. AZ-Zumar: 9)*

*“...Sesungguhnya apabila kamu bersyukur,  
pasti Aku akan menambah nikmat-Ku,  
dan jika kamu mengingkari,  
sesungguhnya azab-Ku sangat pedih”.(Q.S. Ibrahim: 7)*

*Persembahan,*

*Dengan perasaan bahagia dan syukur kepada Allah SWT,*

*Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada*

*Papa dan Mama tercinta,*

*kakak dan adikku tersayang,*

*Serta kekasihku tercinta.*

*Yang telah memberikan dorongan semangat dan segalanya...*

r\_Wien, ucap makasih boeat :

Allah SWT, hamba-Mu bersujud mengucapkan syukur atas limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Mu. Atas kehendak dan bimbingan-Mu, hamba-Mu mampu menyelesaikan tugas dan tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa. Kuucapkan syukur alhamdulillah kehadiran-Mu ya Allah, atas segala kelancaran jalan yang Engkau berikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Hamba yakin bahwa Engkau tidak akan memberikan cobaan atas seseorang diluar kemampuannya dan yakin semua yang hamba kerjakan dapat terwujud atas kuasa-Mu, kehendak-Mu dan karunia-Mu. *"Ya Allah, bukannya dadaku, mudahkanlah urusanku dan hilangkanlah kekakuan lidahku, agar mereka faham perkataanku"*. Alhamdulillahirobbilamin...

Sholawat serta salam semoga tercurahkan bagi Rosul junjungan hamba, Rosulullah Mohammad SAW, yang telah memberikan ajaran kepada seluruh umat manusia untuk menyembah dan menuju jalan Allah SWT, yaitu jalan yang benar dan penuh rahmat Allah SWT. Insyaallah dengan mengikuti ajaranmu, akan mendapatkan keselamatan hidup didunia dan diakhirat. Amin....

Mama Dwi Handayani dan Papa Supriyatna, Drs. tersayang, yang telah melahirkan, memelihara, mendidik, membiayai, dan senantiasa mendoakanku untuk mencapai keberhasilan dalam setiap langkah yang saya tempuh untuk menyelesaikan pendidikan. Ya Allah, semoga Engkau mengampuni segala dosa dan kekhilafan kedua orang tuaku, terimalah segala amal perbuatannya, limpahkanlah segala kebaikan kepada beliau sebagaimana beliau memberikan kebaikan kepada hamba. Ya Allah, jadikanlah hambamu sebagai seorang yang sholeh dan selalu berbakti kepada kedua orang tua hamba. Amin...

Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS dan Bapak Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan waktu yang Bapak berikan. Pak Kadir, terima kasih atas bimbingan Bapak, Bapak adalah orang tua kedua kita di kampus. Andaikan seluruh dosen pembimbing seperti Bapak.....pasti nyenengin. Pak Fatur, konsultasinya selalu pagi ya, Pak? Bisa agak siang dikit gak, Pak? Kan kasihan sama yang rumahnya jauh, apalagi yang dekat kampus, dinginnya itu lo, Pak, gak kuat. Tapi bagaimanapun juga Bapak berdua is the BEST!!!

Kakaku Mas Rihan, Ssi, Apt dan Adikku Lia Agatha, SH, makasih ya, atas doa dan dukungannya kepadaku. Lia, jangan musuhin terus ama mama, gak baik, ntar kwalat lo... lagian bagaimanapun juga mama tetep sayang ama Lia, kamu harus ingat itu. Ok?! Mas Rihan, selamat ya...atas pembukaan Apoteknya. Udah ada namanya belum? Ntar kalo aku sakit, beli obat di Apotik Mas gratis gak?? Sekali lagi selamat dan sukses selalu.

Beloved Soulmate, Ika Analita Kurnia Dewi, SE. Makasih ya atas segala waktu, kesabaran, ketelatenan, pengertian, keceriaan yang kamu berikan saat aku suntuk dan stress waktu nyusun TA ini. Seneng banget punya kamu. Maafin ya..waktu nyusun TA, aku sering marah-marah, pasang tampang jutek ama kamu. Tapi sekarang-kan ada hasilnya, aku udah jadi Sarjana Teknik lo. Jangan bosen-bosen nungguan aku. Good luck ama MM-nya.

Rumpoko Hadı (Tommi/"Imoth"), kowe saiki wis tuwo, wis Insinyur, ojo seneng molor maneh, engko nek kerjo yo opo??? Sori yo, pas TA aku kerep nesu-nesu nang kowe baik dengan dan tanpa sebab. Ojo loro ati yo Nyut?? Selamat yo, wis duwe bojo anyar. Ojo lali karo koncomu iki...

Mas – mas Laboran BKT UII, Mas Daru n Mas Warno, makasih banget lo atas bantuannya nguji. Pak Lalu Makrup, terima kasih atas kebebasan yang Bapak berikan untuk menentukan dosen tamu, berhubung Pak Prof. Ir. H. Widodo MSCe. PhD. berhalangan jadi dosen tamu kami. Mas Santoro thank's berat atas bantuannya ngurusin Sidang TA dan Pendadaran. Sori banget Mas, kalo aku nyusu-nyusu pas sidang TA, soale wis molor seminggu.

Temen-temenku di kampus, Agung,ST, Toufan, Hartono, ST, Toni "bindi", Bayu, Aries, ST, Erie, ST dan semua anak-anak kelas C'97. Kapan nih q-ta jalan-jalan lagi ke Baron naek motor? Katanya pengen ke Dieng naik motor? Jadi gak? Buat Evi, ST dan Yuning, ST makasih ya udah dipinjamin buku TA-nya. Temen-temen FTSP laen, Kecret, ST, Gemboek, ST, Dwi, ST, Thomas, kalian masih ngawas kan? Gajianya jangan buat beli voucer pulsa aja ya.

Indra Gunawan alm. Kenapa "pergi"nya cepet banget? Kan kamu baru mau TA? Katanya mo dibantuin ama TAnyA? Ika terpukul banget lo denger kabar "kepergian" kamu malam itu. Sekarang aku gak bisa lagi minta tolong kamu, main ke tempatmu di Godean. Semoga Allah SWT mengampuni dosa-dosamu dan menerima segala amal baikmu serta menempatkanmu di sisi-Nya yang paling mulia. Amin...

Anak-anak kos "AbenK", Pracas, Ucup, Refi "menyut", Iwan, Aan. Jangan ngeGame terus, ntar duitnya abis lho..Enak NOLnya dong, duitnya nambah terus, kalian tambah "kere". Toni "juragan kos", wah rajin banget nyari duit, nyuciin motor anak-anak yang bersih ya..makasih ya udah bantuin nyuci kerikil ama Ucup, jangan lama-lama ya ngelunasin utangnya, Suratman "Waroeng", makasih ya, makanannya udah nemenin aku melekan, apalagi es coffeemixnya. Kost "AbenK" is the best!!

Adit, ST, gimana? Udah dapet kerja belon? Salam buat Novi, SE ya. Kapan nih nikah? Tatiet, ST, Eni, ST, wah mau nikah ya? Cepetan deh, kaya'nya

Tatiel udah gak sabar tuh. Jangan lupa undang-undang aku n lka ya. Tiet gajinya jangan buat Eni aja, qta-qta juga dibagi dong.

Supra "puput" hitamku dan Espass "jojo" unguku, makasih udah nemenin aku konsultasi, mbuat benda uji, ngangkut beton u/ dibakar ke UGM. Tanpamu aku tak berkaki.

Kepada semua pihak yang telah memberikan semangat, dukungan dan doa restu. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala amal kebaikan anda sekalian, amin.

'Alhamdulillahirobbil'alamin....akhirnya aku lulus menjadi Sarjana Teknik.

tOmMy thank's to :

Allah SWT, atas kehendak dan bimbingan-Mu, hamba-Mu mampu menyelesaikan tugas dan tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa. Engkau telah berikan segala petunjuk dan bimbingan, serta kelancaran dan kemudahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini hingga selesai. Alhamdulillahirobbil'amin...

Sholawat serta salam semoga tercurahkan bagi Rosul junjungan hamba, Rosulullah Mohammad SAW, yang telah memberikan ajaran kepada seluruh umat manusia untuk menyembah dan menuju jalan Allah SWT, yaitu jalan yang benar dan penuh rahmat Allah SWT. Insya Allah dengan mengikuti ajaranmu, akan mendapatkan keselamatan hidup di dunia dan akhirat..Amin....

Mama dan Papa tercinta, yang telah memelihara, mendidik, dan senantiasa mendoakan untuk mencapai keberhasilan dalam setiap langkah yang Tommy tempuh untuk menyelesaikan pendidikan. Pah..Mah terima kasih ya..semoga segala dosa, kesalahan dan kekhilafan Papa Mama diampuni, dan selalu mendapatkan limpahan rahmat dari Allah SWT. Tommy ingin selalu dapat berbakti dan membahagiakan Papa Mama...

Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS dan Bapak Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan waktu yang Bapak berikan. Pak Kadir, Pak Fathur..., Bapak berdua udah baek dan sabar banget telah membimbing kami dalam menyusun Tugas Akhir kami, walaupun kami harus berjuang menahan kantuk dan dinginnya angin dipagi hari, karena kami sangat ingin sekali bertemu dengan Pak Fathur untuk konsultasi. Terima kasih Pak atas segala kebaikan bapak selama membimbing kami.

Kakak-kakakku : Mas Yudi dan Mbak Retno, Mas Derris, Mbak Yeani dan Mas Fafan. Adikku sing paling criwis : Roy, ndang skripsi yo...jarene arep nyusul aku. Keponakanku satu-satunya : Kevin Justisio, ndang gede yo..ndang tak ajak dolanan komputer, ojo nakal yo koyo bapakmu, tiru ibumu wae yo Vin..hehe ☺

Yang tersayang Ana Kurniawaty yang selalu memberikan support selama ini, terutama disaat-saat "genting" yaitu PENDADARAN. Makasih yah..dah mau nungguin mas di ruang Pendadaran...tapi kok Ana ikutan stress euy..kenapa hayo??? Ayo cepet lulus juga yah, trus ntar nemenin mas ... 'ik hao van je'...always luv u...CHAYO' !!

Indah...hehehee..makasiiiihih banget yah..nemenin aku susah dan senang waktu itu. Makasih juga udah ngenalin aku ama 'the sweetest girl'..temen kosmu itu loh yang paling criwis..berkat kamu akhirnya aku dapet PeWe..semoga bisa menjadi "PeWe-ku" selamanya. Amin. Terus, piye komputermu Nduk ?? kalo trobel lagi jangan sungkan-sungkan untuk meng-kontak aku.

Mas-mas Laboratorium BKT Ull, Mas Daru n Mas Parno, makasih udah mau bantuin nguji sampel beton. Pak Lalu Makrup, terima kasih atas pengertian yang Bapak berikan sehingga kami mendapat kemudahan dalam melaksanakan Sidang dan Pendadaran, berhubung Pak Prof. Ir. H. Widodo MSCE. PhD. berhalangan jadi dosen tamu kami. Mas Santoro dan Mas Basuki thank's berat atas bantuannya ngurusin Sidang TA dan Pendadaran.

Semua konco2ku : Brutus..ndang rampung kuliahhe, biar kita ntar bisa ke Palembang bareng2, jare pengen nglamar.Tak doain selalu. Harry..piye TA-mu..cepat selesai yah..oyo CM wae..Ferry, piye kabarmu..kok ra tau ngetok?? Yefta, ndang rampung yo..lagi KP toh, terus ndang TA. Teman2ku yang udah sarjana : Gembuk, Fajar "Kecret", Evi dan Yuning makasih atas pinjaman laporan Tanya, Novri..makasih buku Popov dan laporan TAnyA. Panji, Adit dan Novigimana tunangan kalian?? Tatit dan Eny, dah mateng belom acara resepsinya? Didit dan calon istrinya...Tak doain langgeng deh ya.. Buat Rian, makasih pinjaman mobilnya..berkat kamu aku dan teman2ku bisa refreshing ke Bandung 4 hari disela-sela nyusun laporan.

Erwin, rekan TA-ku..makasih udah nyerewetin aku, udah marah-marahin aku..Maapin aku kalo selama ini aku punya salah ama kamu, baik sengaja maupun yang ngga. Thanks yah atas kerjasamanya...

Bolo kurowo ABENK : "Pak Dhe" Pracas, Ucup, Refi "Menyut", Iwan, Aan, Dimas, Gundul, Wahyu, Avif, Bang Ben, Mac Dodi "Dodol"..makasih udah mau nemenin aku nge-Game di NyOL hingga dini hari dikala aku suntuk dan ngga suntuk.."Stick together team". Dwi..thanks udah kasih support menjelang Sidang, walaupun ngga ikut ke NyOL.

Komputer Pentium III-ku...thanx bgt yah..dah bantuin aku ngerjain TA..menghibur dengan lagu2mu..karena aku emang ngga ada tape. Hanya kamulah yang bisa membuat aku terinspirasi dengan ide-ideku...

Kepada semua pihak yang telah memberikan semangat, dukungan dan doa. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala amal kebaikan kalian. Amin.



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim*

*Assalammu'alaikum Wr. Wb*

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahma dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitaian tentang PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN SILICA FUME TERHADAP KUAT DESAK BETON PASCA BAKAR, ini dengan baik.

Penelitian yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Struktur Universitas Gajah Mada.

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, selaku dosen Pembimbing Utama dengan penuh kesabaran dan ketekunan serta penuh pengertian, meluangkan waktu ditengah-tengah kesibukan untuk membimbing penulis.
2. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian penulis.

3. Ir. Helmi Akbar Bale, MT, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan Tugas Akhir penulis.
4. Ir. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
6. Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
7. Ir. H. Morisco, PhD, selaku Kepala Laboratorim Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, dan seluruh staf/Laboran, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menggunakan peralatan laboratorium di Laboratorium Teknik Universitas Gajah Mada.
8. Mama dan Papa tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberikan dorongan baik moral dan material selama melaksanakan pendidikan, penelitian, dan penulisan tugas akhir ini.
9. Segenap staff dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

10. Rekan-rekan: Novri, Panji, Evi, Yuning, Agung, Hartono, Fafan, Bayu serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu saran dan kritik dari pembaca sangat diharapkan agar dapat dijadikan bahan masukan dan bekal yang berharga bagi penulis untuk waktu yang akan datang dan untuk penelitian yang lain.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini cukup bermanfaat dan dapat dijadikan bahan masukan bagi pembaca khususnya yang bergerak di bidang teknik sipil.

**Wabillahittaufik walhidayah, Wassalamu'alaikum Wr. Wb.**

Jogjakarta, Maret 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	vi
Daftar Simbol.....	ix
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Lampiran.....	xiii
Abstraksi.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Batasan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III LANDASAN TEORI.....	8
3.1 Umum.....	8
3.2 Materi Penyusun Beton .....	9
3.2.1 Semen Portland.....	9
3.2.2 Agregat.....	12
3.2.3 Air.....	13

3.2.4	<i>Admixture</i> .....	13
3.3	Porositas Beton.....	16
3.4	Modulus Elastisitas.....	18
3.5	Tinjauan Kebakaran.....	18
3.6	Slump.....	20
3.7	Workability .....	20
3.8	Hipotesis.....	21
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	23
4.1	Material Pembentuk Beton.....	23
4.1.1	Semen.....	23
4.1.2	Agregat.....	23
4.1.3	Air.....	23
4.1.4	<i>Silica Fume</i> .....	23
4.2	Peralatan Pengujian.....	24
4.2.1	Ayakan.....	24
4.2.2	Timbangan.....	24
4.2.3	Mistar dan Kaliper.....	24
4.2.4	Mesin Pengaduk.....	24
4.2.5	Cetok dan Talam Baja.....	25
4.2.6	Kerucut Abrams dan Baja Penumbuk.....	25
4.2.7	Mesin Uji Kuat Desak.....	25
4.2.8	Burner dan Thermocouple.....	25
4.2.9	Tungku Pembakar.....	25

4.3	Pelaksanaan Penelitian.....	26
4.3.1	Persiapan.....	26
4.3.2	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	26
4.3.3	Pelaksanaan Pengujian.....	27
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
5.1	Hasil Penelitian.....	29
5.1.1	Kandungan Kimia <i>Silica Fume</i> .....	29
5.1.2	Hasil Uji Kuat Desak Beton.....	30
	1. Kuat Desak Beton.....	30
	2. Modulus Elastisitas.....	33
5.2	Pembahasan.....	34
5.2.1	Kuat Desak Beton.....	34
5.2.2	Modulus Elastisitas.....	36
5.2.3	Workability.....	37
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
6.1	Kesimpulan.....	39
6.2	Saran.....	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR SIMBOL

$A$	=	Luas Penampang
$A_0$	=	Luas Penampang Awal
$C$	=	Modulus Halus Butir Campuran.
$E$	=	Modulus Elastisitas Beton
$\varepsilon$	=	Regangan Beton
$\varepsilon_k$	=	Regangan Koreksi
$f_{as}$	=	Faktor Air Semen
$f'_c$	=	Kuat Tekan Beton
$f'_{cb}$	=	Kuat Tekan Beton Setelah Dibakar
$f_{cr}'$	=	Kuat Tekan Beton Rata-rata
$f$	=	Tekanan/Gaya yang diberikan
$h$	=	Tinggi
$K$	=	Modulus Halus Butir Kerikil
$k$	=	Angka Koreksi Regangan
$L_0$	=	Panjang Awal
$P_{ps}$	=	Modulus Halus Butir Pasir
$P$	=	Beban yang Bekerja
$V$	=	Volume
$V_p$	=	Volume pasta semen
$V_g$	=	Volume gel

$V_w$  = Volume air

$V_a$  = Volume udara

$V_{conc}$  = Volume Beton

$W_c$  = Berat Beton

$w$  = Berat Agregat Kasar

$w_{air}$  = Berat Air

$w_c$  = Berat Semen

$w_{add}$  = Jumlah Bahan Tambah

$W_{\%}$  = Persentase Berat Pasir Terhadap Berat Kerikil

$X_f$  = Gel Space Ratio

$\Delta L$  = Pertambahan Panjang

$\sigma$  = Tegangan

$\emptyset$  = Diameter



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Skema Komposisi Beton Segar
- Gambar 3.2 Skema Komposisi Pasta Semen
- Gambar 5.1 Grafik Kuat Desak Silinder Beton Pra Bakar
- Gambar 5.2 Grafik Kuat Desak Silinder Beton Pasca Bakar
- Gambar 5.3 Grafik Kuat Desak Silinder Beton Pra Bakar dan Pasca Bakar
- Gambar 5.4 Grafik Perubahan Modulus Elastisitas Beton

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Bahan Untuk Berbagai Suhu
Tabel 3.1	Kandungan Senyawa Jenis Semen
Tabel 3.2	Koeffisien untuk Persamaan
Tabel 3.3	Gradasi Kerikil
Tabel.3.4	Gradasi Pasir
Tabel 3.5	Sifat Fisik <i>Silica Fume</i>
Tabel 3.6	Komposisi Kimia <i>Silica Fume</i>
Tabel 3.7	Sifat Beton Untuk Berbagai Suhu
Tabel 3.8	Tingkat Workability Berdasarkan Rasio Agregat – Semen
Tabel 3.9	Tingkat Workability Berdasarkan Slump
Tabel 4.1	Variasi Benda Uji
Tabel 5.1	Hasil Analisis Perubahan Kimia Campuran
Tabel 5.2	Kuat Desak Beton Pra Bakar
Tabel 5.3	Kuat Desak Beton Pasca Bakar
Tabel 5.4	Perubahan Kuat Desak Beton Pra Bakar dan Pasca Bakar
Tabel 5.5	Perubahan Modulus Elastisitas

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat
- Lampiran 2 Data Pemeriksaan Berat Volume Agregat “SSD”
- Lampiran 3 Grafik Gradasi Butir Agregat
- Lampiran 4 Data Pemeriksaan Modulus Halus Butir
- Lampiran 5 Perhitungan Mix Design
- Lampiran 6 Analisa Kandungan Kimia *Silica Fume* Terhadap Perubahan Mutu Semen
- Lampiran 7 Kandungan Senyawa Semen Portland dan Kuat Tekan Berdasarkan Umur Beton
- Lampiran 8 Tabel Data Benda Uji dan Hasil Uji Desak Silinder Beton
- Lampiran 9 Grafik dan Tabel Modulus Elastisitas dan Hubungan Tegangan Regangan Silinder Beton Pra Bakar dan Pasca Bakar
- Lampiran 10 Modulus Elastisitas dan Modulus Sekan Silinder Beton
- Lampiran 11 Foto Dokumentasi Pelaksanaan Penelitian

## ABSTRAKSI

Beton merupakan salah satu material struktur bangunan yang banyak digunakan, karena beton memiliki kuat desak yang tinggi. Kuat desak beton menurun jika mengalami kebakaran, yang bergantung pada suhu dan durasi kebakaran. Penambahan additive silica fume untuk meningkatkan kuat desak beton dan mengurangi penurunan kuat desak beton setelah kebakaran. Penelitian eksperimental beton dengan penambahan silica fume bertujuan untuk mengetahui rasio kuat desak beton dengan silica fume terhadap beton normal pra bakar, rasio kuat desak beton dengan silica fume terhadap beton normal pasca bakar dan rasio kuat desak beton normal dan dengan silica fume pasca bakar terhadap beton pra bakar.

Untuk mengetahui kuat desak beton dengan bahan tambah silica fume tanpa pembakaran dan kuat desak beton setelah pembakaran, dilakukan penelitian eksperimental beton dengan variasi penambahan silica fume 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% terhadap berat semen dengan tiap variasi masing-masing 10 benda uji silinder beton yaitu 5 silinder tidak dibakar dan 5 silinder dibakar pada suhu 400°C selama 4 jam.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa penambahan silica fume dapat meningkatkan kuat desak beton tanpa pembakaran. Rasio kuat desak beton tanpa pembakaran ( $f'c_n$ ) dengan silica fume terhadap beton normal pada variasi 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% meningkat berturut-turut sebesar 102,5%, 104%, 108,2%, dan 118,1%.. Setelah pembakaran, kuat desak beton dengan silica fume hampir seluruhnya lebih besar dari kuat desak beton tanpa silica fume. Rasio kuat desak beton setelah pembakaran ( $f'c_b$ ) dengan silica fume terhadap beton normal pada variasi 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% berturut-turut sebesar 104,77%; 102,94%; 99,38%; dan 102,97%. Namun penambahan silica fume menurunkan kuat desak beton hampir seluruh variasi setelah pembakaran. Rasio kuat desak beton setelah pembakaran ( $f'c_b$ ) terhadap kuat desak beton tanpa pembakaran ( $f'c_n$ ) mengalami penurunan pada variasi 0%; 5%; 7,5% dan 10% berturut-turut sebesar 98,12%, 97%, 90,12%, dan 85,5%, namun kuat desak cenderung tetap terjadi pada variasi 2,5 %.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemilihan beton sebagai material struktur utama pada bangunan sangat efektif. Akan tetapi perlu diingat, bahwa beton dapat mengalami kerusakan yang diakibatkan kebakaran. Namun melihat sifat bahan bangunan yang ada, bahan beton merupakan bahan yang lebih tahan terhadap api dibandingkan baja.

Beton dengan kuat desak tinggi dapat diperoleh dengan pemilihan mutu material pembentuk campurannya, misalnya kekerasan agregat dan kehalusan butir semen. Selain itu dalam perkembangan teknologi beton telah digunakan bahan tambah/*addmixture* sebagai campuran mortar beton untuk meningkatkan kinerja dan mutu beton. Ini merupakan salah satu cara untuk mendapatkan kekuatan beton yang tinggi dan dapat mengurangi penurunan kekuatan yang terjadi akibat kebakaran.

Salah satu bahan tambah yang sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton adalah *silica fume*. *Silica fume* memiliki sifat *pozzolan* yang memungkinkan terbentuknya perekat baru semacam semen akibat reaksi antara *silica dioksida* ( $\text{SiO}_2$ ) yang terkandung dalam *silica fume* dengan *calcium hidroksida* ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dari hasil hidrasi semen yang akan meningkatkan kekerasan

beton. Selain itu dengan ukuran butirnya yang sangat halus, *silica fume* akan mengisi pori-pori dalam campuran mortar beton sehingga akan menambah kepadatan beton.

Kerusakan sebagian elemen beton bertulang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan ( $f'_c$ ). Penambahan *silica fume* pada beton akan mampu menambah kekuatan pada komposisi campuran beton. Karena *additive* ini mampu mengurangi porositas pada beton dengan mengisi rongga antara campuran mortar.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan beton dengan bahan tambah *silica fume* setelah mengalami kebakaran. Karena kebakaran akan berpengaruh pada material beton tersebut. Suhu yang tinggi akan mengakibatkan terjadinya suatu pengelupasan dan pemisahan material beton yang nantinya akan sangat berpengaruh pada bangunan dengan struktur beton bertulangnya. Penggunaan bahan *additive* berupa *silica fume* untuk mendapatkan kekuatan beton yang tinggi dan penurunan kekuatan yang terjadi setelah kebakaran tidak drastis.

## **1.2 Rumusan dan Batasan Masalah**

Beton dengan penambahan *silica fume* dibakar dengan variasi penambahan *silica fume* yang berbeda untuk mengetahui penurunan kekuatan beton. Penambahan *silica fume* diharapkan mampu mengurangi penurunan yang terjadi setelah pembakaran. Dengan demikian, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti, antara lain :

- a. Akibat yang ditimbulkan terhadap kuat desak beton setelah pembakaran.

- b. Sejauh mana pengaruh variasi penambahan *silica fume* mampu memberikan kekuatan dari penurunan akibat panas api yang ditimbulkan saat terjadi kebakaran.

Agar pembahasan tidak meluas, maka diadakan batasan-batasan masalah yang meliputi sebagai berikut :

1. Kuat desak yang direncanakan adalah sebesar  $f'c = 20$  Mpa, perencanaan campuran menggunakan metode ACI,
2. Variasi penambahan *silica fume* adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% terhadap berat semen,
3. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton ( $\varnothing 15$  cm x 30 cm),
4. Pada masing-masing variasi, digunakan 5 benda uji untuk dibakar dan 5 benda uji tidak dibakar,
5. Perawatan beton dengan cara direndam dalam kolam perendaman,
6. Pengujian kuat desak beton adalah setelah beton berumur 28 hari untuk yang tidak dibakar,
7. Pengujian benda uji setelah dibakar dilakukan setelah benda uji mencapai suhu ruang setelah proses pembakaran.
8. Pembakaran dilakukan dengan suhu  $400^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 4$  jam,
9. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Nusantara Type I,
10. Agregat halus (pasir) yang diambil dari Kaliurang dan agregat kasar berupa batu split (batu pecah) berasal dari Celereng.
11. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium BKT, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,

12. Bahan tambah berupa *silica fume* dipakai merk SIKAFUME, produksi PT. Sika Nusa Pratama tipe *densified silica fume*.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui kuat desak beton dengan variasi penambahan *silica fume* sebelum dibakar.
- b. Mengetahui kuat desak beton dengan variasi penambahan *silica fume* setelah dibakar,
- c. Untuk mengetahui rasio perubahan kuat desak beton sebelum dibakar dan setelah dibakar.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dengan pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan dalam merencanakan struktur bangunan terutama struktur beton bertulang dengan penambahan bahan tambah *silica fume* dalam merencanakan struktur bangunan yang tahan terhadap kebakaran.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pengaruh kebakaran terhadap kekuatan komponen beton bertulang dapat dilihat dari penurunan kuat tekan beton (Sindur, 1998).

Kuat tekan beton pada umur 7 hari didapat lebih tinggi pada beton dengan campuran *silica fume* dibandingkan dengan beton tanpa *silica fume* (Khayat, Vachon, dan Lanctot, 1997).

Penggunaan *fly ash* dan *silica fume* telah menghasilkan beton dengan kekedapan yang lebih tinggi dibandingkan beton mutu tinggi tanpa bahan tersebut (Sapartono, 1995).

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yaitu : semen, agregat, air, serta bahan tambahan lain dengan penambahan tertentu. Semen tersusun atas bahan-bahan dasar yang terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Empat unsur yang paling penting adalah  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , dan  $C_4AF$ . Dua unsur pertama biasanya merupakan 70% – 80% dari semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Kardiyono, 1992).

Untuk menentukan kekuatan semen ditentukan oleh suatu prosentase komposisi senyawa penyusun semen tersebut yaitu  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , and  $C_4AF$  dengan dipengaruhi oleh variasi umur dalam proses pengerasannya, dan sangat

berperan dalam menentukan kekuatan beton. Selain itu hal lain yang menentukan kekuatan suatu beton juga dapat dilihat dari *faktor air semen (fas) / (water-cement ratio)* (**Popovics, 1998**).

Suatu penelitian menyebutkan bahwa suatu pasta yang memiliki kekuatan paling tinggi diperoleh dari suatu campuran semen dengan nilai fas (*water-cement ratio*) dibawah 3,5 % massa (**Hobbs, 1974**).

Beton menunjukkan kenaikan kuat desak pada temperatur 200°C - 300°C, tetapi diatas 400°C kuat desak hanya mencapai 90% dari kuat desak normal dan maksimum 40% pada suhu 700°C. Oleh karena hal tersebut dibuktikan bahwa kuat desak beton dapat dipertahankan sampai suhu 300°C, lebih dari itu kuat desak beton akan menurun (**Syarif dan Ahmad, 2000**).

Perubahan kimia pasta semen pada temperatur tinggi juga disertai dengan perubahan volume. Jika dipanaskan dari temperatur ruang sampai suhu 100 °C, pasta semen akan mengembang, kemudian akan terjadi penyusutan sampai temperatur 500 °C karena dehidrasi. Jika dipanaskan diatas 700 °C, pasta semen akan rusak dan kekuatannya akan hilang sama sekali yang akan mengakibatkan hilangnya ikatan pasta semen dengan agregat. Kerusakan pasta semen akibat proses kimia pada temperatur tinggi disebabkan adanya perubahan volume pasta semen selama pemanasan (**Hansen, 1976**).

Kuat tekan beton silinder berdiameter 100 mm, tinggi 200 mm yang dipanaskan dalam tungku, menunjukkan bahwa beton mengalami peningkatan kuat desaknya sekitar 10% - 15% dibanding dengan beton normal pada suhu

200°C. Pengaruh panas lebih tinggi (500°C) sudah menyebabkan penurunan kuat desak beton hingga 50% dari kuat desak beton normal (**Andang W, 1999**).

Pengambilan suatu langkah untuk menggunakan kadar air rata-rata serendah mungkin, hal ini dapat dicapai dengan mengeringkan beton sampai pada kadar air dibawah 5% dan lebih baik lagi mulai dengan kadar air awal serendah mungkin (**Surahman, 1998**).

Melihat sifat bahan bangunan yang ada, bahan beton merupakan bahan yang lebih tahan api dibandingkan dengan baja. Bahan pada umumnya akan mengalami perubahan sifat akibat berubahnya temperatur. Untuk bahan-bahan struktural, perubahan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut (**Surahman, 1998**) :

Tabel 2.1 Sifat Bahan Untuk Berbagai Suhu (Surahman, 1998)

Suhu	Kekuatan Beton
25°C	100%
200°C	95%
400°C	60%
600°C	20%

Komponen struktural yang baik direncanakan tahan terhadap api (kebakaran) selama 4 jam (**Surahman, 1998**).

Menurut Chen Zhang dengan adanya *silica fume* akan meningkatkan kepadatan pada daerah transisi sehingga meningkatkan kekuatan dari beton. Selain itu juga dikatakan bahwa reaksi *puzzalonic* akan menambah kekuatan beton (**Subakti, 1993**).

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Umum**

Salah satu material yang banyak digunakan untuk struktur teknik sipil adalah beton. Beton didapat dari campuran semen portland, air dan agregat pada perbandingan tertentu. Sifat-sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, cara pengadukan, penuangan, pemadatan dan perawatan beton selama proses pengerasannya. Sejalan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat, diupayakan oleh para ahli untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain : *workability, placeability, strenght, durability, permeability* dan *corrosivity*.

Suatu struktur bangunan yang telah mengalami kebakaran akan mengalami penurunan kekuatan dan kekakuan struktur yang dapat terjadi saat kebakaran berlangsung maupun setelahnya. Kerusakan struktur akibat kebakaran tergantung temperatur dan durasi kebakaran. Secara langsung maupun tidak langsung kerusakan elemen struktur bangunan akan menyebabkan degradasi kekuatan yang akan berpengaruh pada kinerja struktur bangunan secara keseluruhan. Suhu yang tinggi pada saat terjadinya kebakaran akan mengakibatkan terjadinya suatu

pengelupasan dan pemisahan material beton yang nantinya akan sangat berpengaruh pada bangunan dengan struktur beton.

Oleh karenanya diupayakan untuk meningkatkan mutu beton dengan penggunaan bahan *additive* berupa *silica fume*. *Silica fume* memiliki kadar silika dioksida ( $SiO_2$ ) yang cukup tinggi dan dominan yang akan bereaksi dengan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) sebagai hasil hidrasi semen akan meningkatkan kekerasan beton, sedangkan dengan ukuran butirnya yang halus *silica fume* akan mengisi pori-pori sehingga akan menambah kepadatan dan kekuatan beton serta mengurangi penurunan kekuatan yang terjadi setelah kebakaran.

### **3.2 Materi Penyusun Beton**

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki karakteristik spesifik yaitu kuat desaknya yang tinggi yang terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut :

#### **3.2.1 Semen Portland**

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kalsium yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat.

**Edward G. Nawy (1990)** mengemukakan, bahan baku pembentuk semen adalah kapur ( $CaO$ ) dari kapur, Silika ( $SiO_2$ ) dari lempung, Alumina ( $Al_2O_3$ ) dari lempung.

Menurut perbedaan komposisi senyawa kimia yang terkandung pada semen, menurut PUBI-1982 semen dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu :

Jenis I : Semen portland yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II : Semen portland yang tahan terhadap sulphat dan menghasilkan panas hidrasi yang rendah.

Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan pengerasan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulphat.

Komposisi senyawa semen sesuai karakteristik dalam penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan Senyawa Jenis Semen  
(Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 1986)

Analisa Kandungan Senyawa	Biasa	Pengerasan Cepat	Panas Hidrasi Rendah	Tahan Sulphat
Kapur (CaO)	63,1	64,5	60,0	64,0
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	20,6	20,7	22,5	24,4
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,3	5,2	5,2	3,7
Besi Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,6	2,9	4,6	3,0
Tricalcium Silika (C <sub>3</sub> S)	40	50	25	40
Dicalcium Silika (C <sub>2</sub> S)	30	21	45	40
Trikalsium Aluminat (C <sub>3</sub> A)	11	9	6	2
Tetrakalsium Alumina Ferrit (C <sub>4</sub> AF)	11	9	14	9

Pengurangan atau penambahan salah satu unsur semen seperti silika akan mengubah prosentasi senyawa kimia semen portland (Neville dan Brook, 1987).

Analisis kimia senyawa tersebut adalah sebagai berikut :

1. Tricalcium Silika ( $C_3S$ )

$$C_3S = (4,071 \times \%CaO) - (7,600 \times \%SiO_2) - (6,718 \times \%Al_2O_3) - (1,430 \times \%Fe_2O_3) - (2,852 \times \%SO_3) \quad (3.1)$$

2. Dikalsium Silika ( $C_2S$ )

$$C_2S = (2,867 \times \%SiO_2) - (0,7544 \times \%C_3S) \quad (3.2)$$

3. Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ )

$$C_3A = (2,65 \times \%Al_2O_3) - (1,692 \times \%Fe_2O_3) \quad (3.3)$$

## 4. Tetrakalsium Alumina Ferrit

$$C_4AF = 3,043 \times \%Fe_2O_3 \quad (3.4)$$

Dari persamaan diatas akan diperoleh presentasi senyawa kimia dari semen portland, sehingga dapat diketahui kenaikan atau penurunan kandungan senyawa kimia semen portland.

Menurut **Popovics (1998)**, hubungan antara komposisi campuran semen dan kekuatan berdasarkan perbedaan umur dapat dilihat dalam persamaan fungsi linier, yang didekati dengan persamaan :

$$f = \text{strenght} = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \quad (3.5)$$

dengan : a, b, c, dan d = koefisien (lihat Tabel 3.2)

$C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  dan  $C_4AF$  = komponen semen (%)

Tabel 3.2 Koefisien untuk Persamaan 3.5 (Popovics,1998)

Senyawa Kimia	Umur						
	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari	3 bulan	1 tahun	2 tahun
$C_3S$	8,5	27,4	40,0	48,8	55,7	61,8	70,7
$C_2S$	0,3	-1,1	-5,1	19,1	62,9	80,6	82,2
$C_3A$	11,3	24,1	58,4	100,1	56,4	85,6	12,5
$C_4AF$	-6,5	-9,8	-0,2	30,8	39,7	39,6	27,2

### 3.2.2 Agregat

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, dan pasir) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (Murdock L. J. dan K. M. Brock, 1991). Agregat yang digunakan tanpa melalui pengujian kekuatan khusus menggunakan mesin Los Angeles, hanya dianalisa menggunakan analisis saringan untuk mencari gradasi. Agregat alami pada umumnya diklasifikasi sebagai agregat halus dan agregat kasar. Disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  in (6mm) dan untuk agregat halus ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Inggris. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100.

Agregat kasar yang digunakan berasal dari Celereng dengan diameter butir maksimal 20 mm. Gradasi yang diambil adalah tertahan saringan 19mm, 9,6mm, dan 4,8mm.

Tabel 3.3 Gradasi Kerikil

Saringan	% Berat Lolos	% Tertahan Diambil
40mm	100	0
20mm	95-100	5
10mm	25-55	70
5mm	0-10	25

Agregat halus digunakan agregat yang berasal dari Kaliurang dengan gradasi pasir menurut British Standard yaitu pada daerah II.



Tabel 3.4 Gradasi Pasir

Saringan	% Berat Lolos	% Tertahan Diambil
10	100	0
4.8	90-100	0
2.4	75-100	10
1.2	55-90	30
0.6	35-59	20
0.3	30-12	15
0.15	0-10	25

### 3.2.3 Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

### 3.2.4 *Admixture*

Menurut **PUBI 1982** bahan tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis :

- a. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai, untuk mendapatkan faktor air semen lebih rendah pada nilai slump yang sama.
- b. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan awal dan pengerasan beton.
- c. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan awal dan pengerasan beton.

- d. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton.
- e. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

*Silica fume* merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton. *Silica fume* merupakan produk yang dihasilkan dari reduksi kwarsa murni tinggi dengan batubara di dalam suatu tungku listrik pada pembuatan *silico* 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 22, 1986). Adapun data teknisnya menurut hasil pengamatan Laboratorium Teknik Kimia ITS seperti tercantum pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

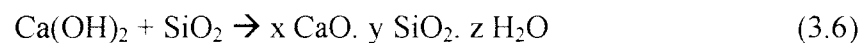
Tabel 3.5 Sifat Fisik *Silica Fume* (Subakti, 1994)

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 micron (1/100 Ø semen)

Tabel 3.6 Komposisi Kimia *Silica Fume* (Subakti, 1994)

No	Kandungan Oksida	% Berat
1	$\text{SiO}_2$	94,3
2	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,1
3	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,3
4	MgO	0,7
5	$\text{SO}_4$	0,0
6	$\text{Na}_2\text{O}$	0,2
7	$\text{KO}_2$	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 *puzzalonic silica fume* menurut Sellevold dan Radjy mulai bekerja setelah beton berumur 3-28 hari (Subakti, 1993). Disamping peranan diatas yaitu sebagai pengganti dan pengisi antara partikel-partikel semen, *silica fume* bersifat pula sebagai *puzzalonic* aktif karena diameternya sangat kecil. Kandungan  $\text{SiO}_2$  di dalam *silica fume* bisa mencapai lebih besar dari 90%. Dalam campuran beton  $\text{SiO}_2$  yang reaktif ini akan bereaksi dengan kapur padam membentuk kalsium silikat hidrat, yang menurut reaksinya sebagai berikut :

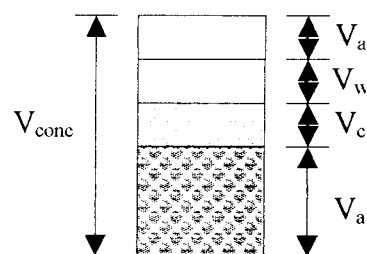


Dan kalsium silikat hidrat ini berpengaruh di dalam pengerasan beton. Daerah transisi (*tranzien zona*) adalah daerah antara pasta semen dengan agregat. Pada hampir semua beton daerah tersebut merupakan daerah yang lemah karena terjadi *bleeding* pada daerah tersebut. Menurut Chen Zhang dengan adanya *silica fume* akan meningkatkan kepadatan pada daerah transisi sehingga meningkatkan kekuatan dari beton. Selain itu juga dikatakan bahwa reaksi *puzzalonic* akan menambah kekuatan beton (Subakti, 1993). Biasanya pada umur awal  $\pm 1-3$  hari, reaksi hidratisasi menentukan sehingga kekuatan lebih rendah bila dibandingkan dengan perkembangan kekuatan beton normal tanpa *silica fume*. Hal ini dikarenakan jumlah semen berkurang sehingga  $\text{C}_3\text{S}$  yang menentukan kekuatan tekan beton juga berkurang, yang berarti kekuatannya juga berkurang. Tetapi setelah terbentuknya  $\text{Ca(OH)}_2$ , maka reaksi *puzzalonic* akan dominan sehingga

kekuatan beton juga naik karena terbentuknya C-S-H akibat reaksi dari  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{SiO}_2$ . Reaksi ini berjalan cukup lama sampai  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  habis bereaksi dengan  $\text{SiO}_2$ . Karena  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jumlahnya berkurang, maka dengan sendirinya kelemahan beton juga berkurang dan penambahan C-S-H ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekedapan beton (Subakti, 1993).

### 3.3 Porositas Beton

Menurut Popovics (1998), udara void pada pasta semen merupakan hasil konsolidasi yang tidak sempurna atau proses penguapan air yang terlalu cepat atau kedua-duanya. Volume dari udara void ( $V_a$ ), sebenarnya menunjukkan kandungan yang konstan dalam umur pasta semen atau beton. Proporsi dari porositas kapiler ( $V_w$ ) menurun sejalan dengan umur beton dalam proses hidrasi keluar dari pori-pori tersebut secara berangsur-angsur. Kandungan volume beton dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Komposisi Beton Segar (Popovics, 1998)

Berdasarkan gambar diatas, persamaan untuk menunjukkan kandungan volume beton:

$$V_{\text{conc}} = V_c + V_{\text{ag}} + V_w + V_a \quad (3.7)$$

dengan:

$V_{conc}, V_c, V_{ag}$  = Volume Beton, Volume Semen, dan Volume Agregat

$V_w$ , dan  $V_a$  = Volume Air dan Volume Udara dalam beton

Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran dan kepadatan dalam adukan beton. Menurut **Popovics (1998)**, kekuatan beton juga akan dipengaruhi oleh “gel space ratio”, dimana luas permukaan gel didekati dengan ukuran “gel space ratio” ( $X_f$ ) yang dapat dihitung dengan suatu persamaan:

$$X_f = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p} \quad (3.8)$$

dengan:  $V_p$  = volume pasta semen

$V_g$  = volume gel

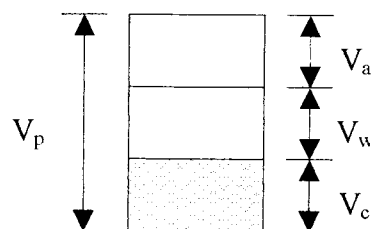
$V_w$  = volume air

$V_a$  = volume udara

Dari persamaan (3.8) tampak bahwa semakin besar jumlah gel yang terbentuk maka “gel space ratio” makin besar. Hubungan antara “gel space ratio” dan kuat desak beton dapat dihitung dengan persamaan (**Popovics, 1998**):

$$f_c = 29.000 X_f^3 (psi) \quad (3.9)$$

Dari persamaan (3.9) tampak bahwa “gel space ratio” merupakan fungsi pangkat tiga dari kuat desak beton ( $f_c$ ) sehingga semakin besar “gel space ratio” ( $X_f$ ), kuat desak ( $f_c$ ) beton makin tinggi.



Gambar 3.2. Skema Komposisi Pasta

### 3.4 Modulus Elastisitas

Menurut **L. J. Murdock** dan **K. M. Brook (1991)**, tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per – satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu. Beton adalah bahan yang bukan benar-benar elastis. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga  $E$  yang lebih tinggi juga. Sehingga bentuk persamaan dari modulus elastisitas :

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3.10)$$

dimana :

$E$  : Modulus Elastisitas

$f$  : tekanan/gaya yang diberikan

$\varepsilon$  : regangan atau perubahan bentuk per – satuan panjang

### 3.5 Tinjauan Kebakaran

Menurut **Adang Surahman (1998)** sifat bahan secara struktural yang penting adalah kekuatan (dinyatakan dengan tegangan leleh) dan kekakuan (dinyatakan dengan modulus elastisitas). Pengaruh kebakaran pada beton tergantung pada beberapa hal terutama tingginya temperatur dan lama terjadinya kebakaran.. Terjadinya kebakaran akan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan

beton. Hal ini dapat diketahui dengan menurunnya nilai kuat desak beton. Perubahan penurunan kekuatan dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Sifat beton untuk berbagai suhu (Surahman, 1998)

Suhu	Kekuatan Beton
25°C	100%
200°C	95%
400°C	60%
600°C	20%

Pengertian kuat desak beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur apabila dibebani dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin desak.

$$P = f'_c \times A \quad (3.11)$$

Pada persamaan (3.4) nilai  $f'_c$  adalah untuk balok normal tanpa pembakaran, sedangkan pada balok pasca bakar dengan suhu 400 °C nilai  $f'_c$ -nya akan turun ± 40%. Hal ini didasarkan pada studi kasus yang dilakukan oleh **Surahman (1998)** maka persamaan (3.3) akan berubah menjadi :

$$P = (0.6 f'_c) \times A \quad (3.12)$$

Setelah dilakukan pembakaran juga akan berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton. Nilai modulus elastisitas akan menurun sebanding dengan menurunnya kuat desak beton. Modulus elastisitas normal diberikan oleh persamaan :

$$E = \frac{f'_c}{\epsilon} \quad (3.13)$$

Setelah pembakaran selama 4 jam pada suhu 400 °C, modulus elastisitas yang terjadi diberikan oleh persamaan :

$$E = \frac{0,6 f'_c}{\varepsilon} \quad (3.14)$$

Dari persamaan (3.7) hingga (3.14) dapat diketahui bahwa kekuatan dan kekakuan beton akan menurun setelah terjadinya kebakaran, namun tidak drastis jika telah dilakukan peningkatan mutu beton ( $f'_c$ ) dengan penambahan *silica fume*.

### 3.6 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton, makin besar nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya.

### 3.7 Workability

Menurut **Newman (1964)**, workability didefinisikan sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah :

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan di sekitar baja dan dituang kembali.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai masa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran atau bahan-bahan utamanya.

Menurut (**Jackson, N. dan Dhir, R.K.**), workability didasarkan atas rasio agregat dan semen (A/C) terbagi atas beberapa tingkat, yaitu Low Workability,



Medium Workability dan Hard Workability.. Tingkat workability dapat dilihat pada Tabel 3.8 :

Tabel 3.8 Tingkat Workability Berdasarkan Rasio Agregat – Semen  
(Jackson, N. dan Dhir, R.K., 1983)

D <sub>max</sub> (mm)	Agregat – Cement Ratio					
	Low Workability		Medium Workability		High Workability	
	Batu Alam	Batu Pecah	Batu Alam	Batu Pecah	Batu Alam	Batu Pecah
9,5	5,3	4,8	4,7	4,2	4,4	3,7
19,0	6,2	5,5	5,4	4,7	4,9	4,4
37,5	7,6	6,4	6,5	5,5	5,9	5,2

Sedangkan tingkat workability yang didasarkan atas nilai slump terdiri atas Medium Workability, Low Workability, dan Very Low Workability. Tingkat workability dapat dilihat pada Tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Tingkat Workability Berdasarkan Slump  
(Jackson, N. dan Dhir, R.K., 1983)

Slump (mm)	Workability
25 – 100	Medium
10 – 50	Low
-	Very Low

### 3.8 Hipotesis

Pada persamaan (3.1), peningkatan salah satu unsur dalam suatu pembentuk semen akan meningkatkan kekuatannya. Pada *silica fume* kandungan maksimalnya adalah berupa unsur (SiO<sub>2</sub>), sehingga akan mengurangi kadar unsur C<sub>3</sub>S yang akan mengurangi panas hidrasinya dan akan mengurangi beton retak-retak selama proses pengeringannya, dan meningkatkan kadar unsur C<sub>2</sub>S yang akan memberikan kekuatan akhir yang lebih besar, dengan demikian kuat desaknya

( $f'_c$ ) akan bertambah. Penambahan *Silica fume* dengan kadar maximal yaitu sebesar 10 % pada penelitian ini, akan meningkatkan kekuatan dan modulus elastisitas beton. Selain itu dengan penambahan *silica fume* ini dimaksudkan agar pori dalam adukan beton yang terisi oleh air dapat diperkecil sehingga beton semakin padat karena diameternya yang sangat kecil sehingga menjadi *filler* yang baik, hal ini untuk mengurangi beton mengembang, retak-retak dan terjadinya pengelupasan saat terbakar yang akan menurunkan kekuatan beton tersebut.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Material Pembentuk Beton**

##### **4.1.1 Semen**

Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah semen jenis I merek Nusantara kemasan 40 kg.

##### **4.1.2 Agregat**

Terdapat dua macam agregat yang digunakan, yaitu

1. Agregat halus, digunakan pasir yang berasal dari Sungai Boyong. Fraksi yg digunakan, lolos saringan 4,8; 2,4; 1,2; 0.6; dan 0,3 mm.
2. Agregat kasar, digunakan kerikil yang berasal dari Clereng, dengan ukuran butir maksimum 20 mm, tertahan saringan 20, 10, dan 5 mm.

##### **4.1.3 Air**

Air yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

##### **4.1.4 Silica Fume**

*Silica Fume* yang digunakan adalah tipe *Densified Silica Fume* dengan kemasan 20 kg per – sak merk SIKAFUME produksi PT. Sika Nusa Pratama.

## **4.2 Peralatan Pengujian**

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan dan alat sebagai prasarana dalam mencapai maksud dan tujuan penelitian ini, yaitu:

### **4.2.1 Ayakan**

Ayakan yang digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil. Ukuran yang digunakan untuk memisahkan diameter butiran pasir adalah 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; dan 0,3 mm. Sedangkan untuk memisahkan butiran kerikil dengan diameter butir maksimum 20 mm adalah 20, 10, dan 5 mm.

### **4.2.2 Timbangan**

Timbangan yang digunakan adalah merk “Fagani” dengan kapasitas 150 kg dan merk “O house” kapasitas 20 kg dan 5 kg digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

### **4.2.3 Mistar dan Kaliper**

Mistar dari fiberglass dan Kaliper digunakan untuk mengukur dimensi benda uji yang digunakan dalam penelitian.

### **4.2.4 Mesin Pengaduk**

Mesin pengaduk (mixer) digunakan untuk mengaduk bahan susun campuran beton (semen, kerikil, pasir, *silica fume*, dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

#### **4.2.5 Cetok dan Talam Baja**

Cetok digunakan untuk memasukkan adukan beton ke dalam cetakan silinder beton, talam baja digunakan untuk menampung sementara adukan beton yang dikeluarkan dari mesin pengaduk beton.

#### **4.2.6 Kerucut Abrams dan Baja Penumbuk**

Kerucut Abrams digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan atau *slump* dari adukan beton, dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Dilengkapi untuk menumbuk adukan yang telah dimasukkan ke dalam cetakan, dengan panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

#### **4.2.7 Mesin Uji Kuat Desak**

Mesin yang digunakan untuk menguji kuat desak silinder beton adalah mesin uji desak merek "Control" dengan kapasitas 2000 KN.

#### **4.2.8 Burner dan Thermocouple**

Burner digunakan untuk membakar benda uji dalam tungku pembakar menggunakan bahan bakar solar. Thermocouple berfungsi untuk mengetahui suhu pembakaran yang terjadi dalam tungku pembakar.

#### **4.2.9 Tungku Pembakar**

Dalam membakar benda uji ini digunakan tungku pembakar yang dibangun dari susunan bata tahan api dengan dimensi panjang 3 m dan lebar 90 cm dengan pintu pada dua sisinya.

### 4.3 Pelaksanaan Penelitian

#### 4.3.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi pengujian sifat-sifat teknis bahan susun beton (pasir, kerikil, dan semen), perancangan adukan beton.

a. Uji Agregat Halus (pasir)

Hasil Uji Pasir didapatkan berat jenis SSD 2,507861 dan Modulus Halus Butir (MHB) 2,9.

b. Uji Agregat Kasar (kerikil)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan berat jenis dan berat volume kerikil keadaan SSD. Didapat berat jenis SSD 2,589678 dan berat volume 1,584325 t/m<sup>3</sup>.

c. Perencanaan Campuran Adukan Beton

Komposisi material yang digunakan dalam campuran adukan beton ini didapatkan dengan menggunakan metode ACI. Untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton dengan kuat desak rencana 20 Mpa.

#### 4.3.2 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Penelitian yang dilakukan terdiri atas 5 variasi penambahan *silica fume*, yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% terhadap berat semen. Tiap variasi digunakan 10 benda uji silinder beton dengan 5 silinder tidak dibakar dan 5 silinder dibakar. Sehingga jumlah keseluruhan benda uji yang digunakan adalah 50 benda uji silinder beton dengan ukuran (Ø15 x 30)cm. Secara rinci benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Variasi Benda Uji

No.	Variasi Kadar <i>Silica Fume</i> (%)	Jumlah Benda Uji (buah)	
		Tidak Dibakar	Dibakar
		28 hari	28 hari
1.	0	5	5
2.	2,5	5	5
3.	5	5	5
4.	7,5	5	5
5.	10	5	5
Jumlah Total		25	25
		50	

Setelah 24 jam dalam cetakan, silinder beton dikeluarkan dari cetakan dan direndam dalam bak perendaman selama 28 hari. Setelah direndam selama 28 hari, beton dikeluarkan dari bak perendaman dan dibiarkan ditempat terbuka selama 24 jam sebelum diuji.

### 4.3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah uji desak silinder beton. Dengan langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Setelah silinder beton direndam dalam air selama 28 hari, tinggi dan diameternya diukur, ditimbang beratnya, kemudian diletakkan pada alas pembebanan mesin uji kuat desak beton.
- b. Mesin uji dihidupkan, pembebanan diberikan dari 0 KN hingga benda uji beton hancur dan besarnya beban maksimal dicatat sesuai dengan pembacaan.
- c. Langkah pengujian yang diuraikan diatas adalah untuk pengujian silinder beton tanpa pembakaran, sedangkan silinder yang dibakar diuji setelah dilakukan proses pembakaran pada tungku pembakar.

- d. Pembakaran dilakukan dalam tungku pembakaran, yang telah dilengkapi dengan sebuah Thermocouple dan 2 buah Burner, selama  $\pm 4$  jam dengan suhu  $\pm 400$  °C.



## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh data berupa kuat desak silinder beton berupa beban maksimal dan regangan yang terjadi pada silinder beton dengan atau tanpa bahan tambah dan dengan atau tanpa dibakar. Data tersebut dianalisis untuk memperoleh kekuatan dan kekakuan beton dengan dan tanpa bahan tambah yang mengalami penurunan akibat proses pembakaran.

##### 5.1.1 Kandungan Kimia *Silica Fume*

Kandungan kimia terbesar yang dimiliki oleh *silica fume* adalah Silika ( $\text{SiO}_2$ ), yaitu sebesar 94,3 %. Data tersebut kemudian dianalisa dan dicari pengaruhnya terhadap perubahan jumlah senyawa kimia semen portland seperti pada tabel 5.1

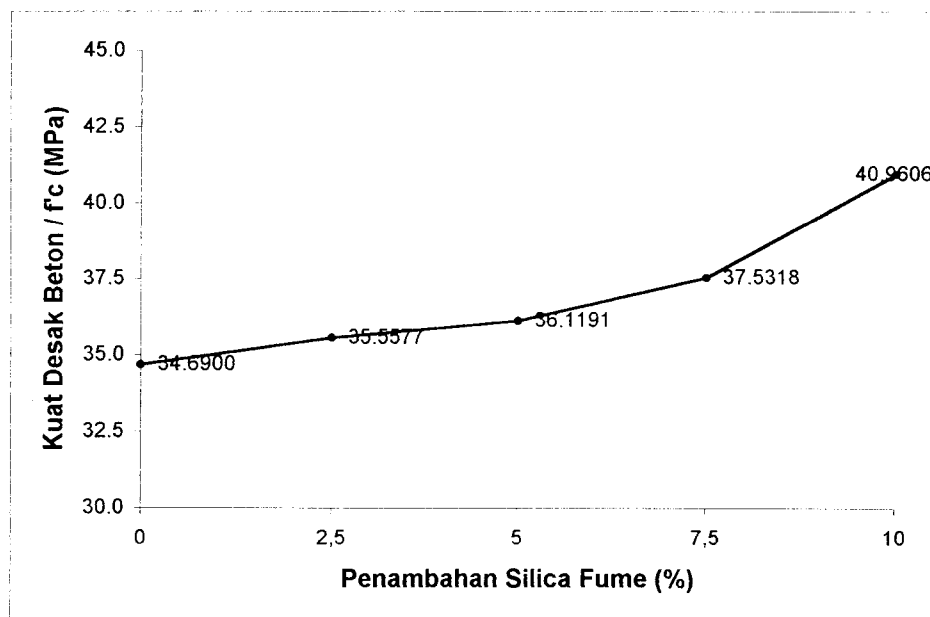
Tabel 5.1 Hasil Analisis Perubahan Kimia Campuran

Semen dan <i>Silica Fume</i>	Prosentase (%)			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Jenis I	54,1	16,61	10,83	9,12
2,5 %	35,99	37,03	10,89	9,14
5 %	17,87	57,45	10,95	9,17
7,5 %	-0,24	77,88	11,01	9,19
10 %	-18,35	98,30	11,07	9,21

## 5.1.2 Hasil Uji Kuat Desak Beton

### 1. Kuat Desak Beton

Kuat desak beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 20 Mpa. Dari hasil uji kuat desak beton, dapat digambarkan diagram yang memberikan hubungan prosentasi *silica fume* terhadap kenaikan kuat desak beton sebagai berikut :



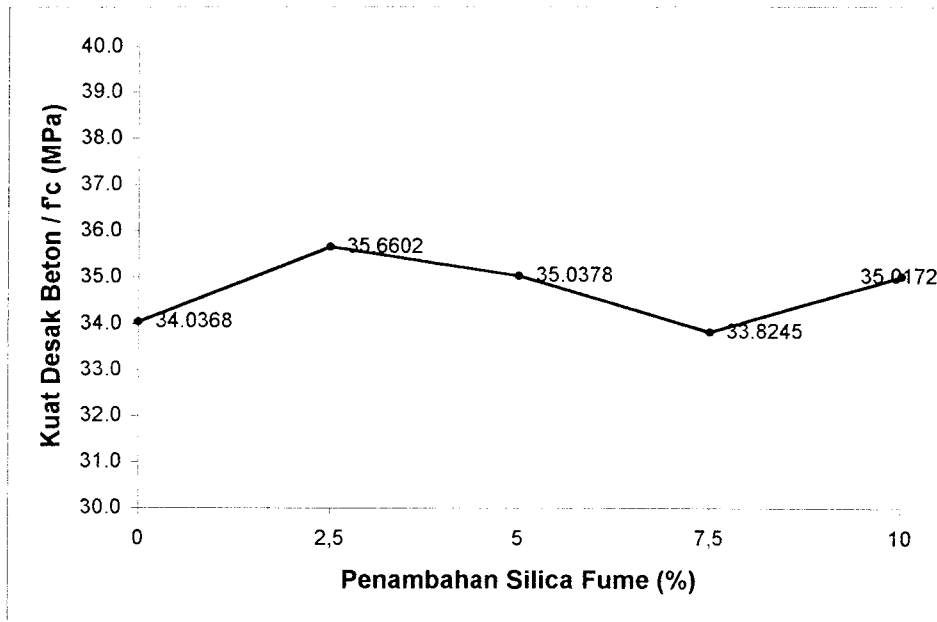
Gambar 5.1 Grafik Kuat Desak Silinder Beton Pra Bakar

Hasil analisis dari gambar 5.1 dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut :

Tabel 5.2 Kuat Desak Beton Pra Bakar

Sampel	f'c (Mpa)	Rasio (SF/N) (%)
Normal (N)	34,69	100,00
Variasi (SF) 2,5%	35,56	102,50
Variasi (SF) 5,0%	36,12	104,12
Variasi (SF) 7,5%	37,53	108,20
Variasi (SF) 10,0%	40,96	118,10

Perubahan kuat desak beton, terlihat pada beton yang telah mengalami pembakaran. Grafik perubahannya, yang memberikan hubungan prosentasi *silica fume* terhadap kuat desak beton dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini :



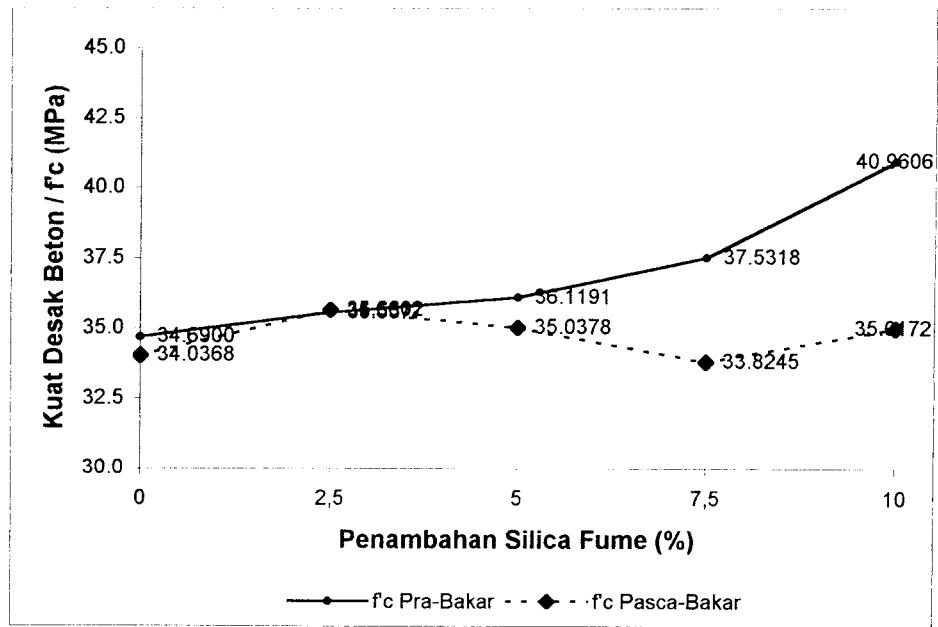
Gambar 5.2 Grafik Kuat Desak Silinder Beton Pasca Bakar 4 jam 400°C

Hasil analisis dari Gambar 5.2 dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut :

Tabel 5.3 Kuat Desak Beton Pasca Bakar 4 jam 400°C

Sampel	f'c (Mpa)	Rasio (SF/N) (%)
Normal (N)	34,0368	100,00
Variasi (SF) 2,5%	35,6602	104,77
Variasi (SF) 5,0%	35,0378	102,94
Variasi (SF) 7,5%	33,8245	99,38
Variasi (SF) 10,0%	35,0472	102,97

Dari data diatas, didapatkan suatu perbandingan perubahan kekuatan yang terjadi pada Gambar 5.3 :



Gambar 5.3 Kuat Desak Silinder Beton Pra-Bakar dan Pasca-Bakar 4 jam 400°C

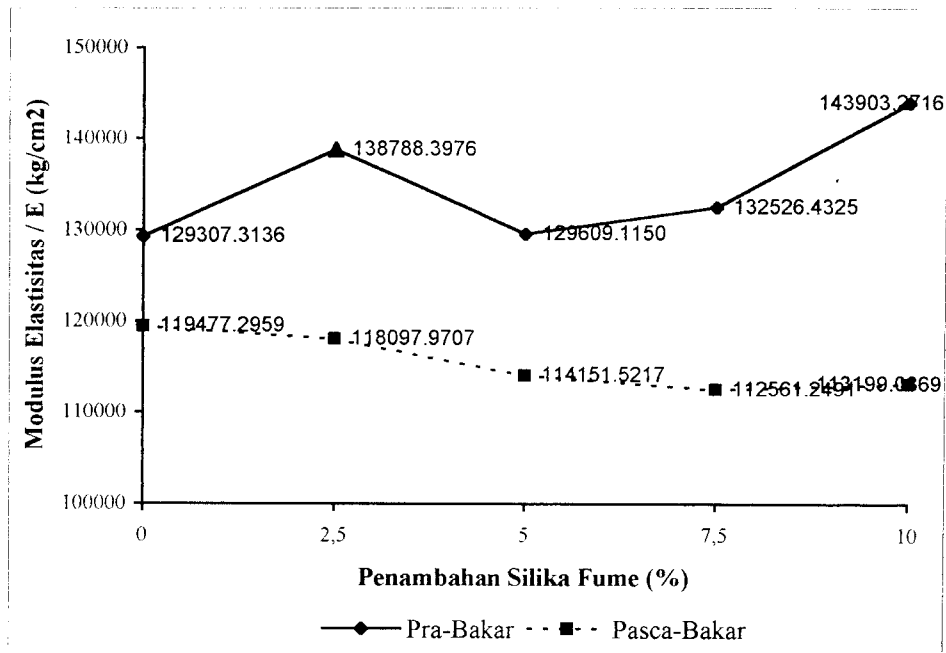
Hasil analisis pada Gambar 5.3 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut :

Tabel 5.4 Perubahan Kekuatan Kuat desak Silinder Beton Pra Bakar dan Pasca Bakar 4 jam 400°C

Sampel	Kuat Desak (f'c) (Mpa)		
	Pra-Bakar	Pasca-Bakar 4 jam 400°C	Rasio (Pasca/Pra) (%)
Normal	34,69	34,04	98,12
Variasi 2,5%	35,56	35,66	100,00
Variasi 5,0%	36,12	35,04	97,00
Variasi 7,5%	37,53	33,83	90,12
Variasi 10,0%	40,96	35,05	85,50

## 2. Modulus Elastisitas

Dari hasil uji kuat desak beton dan regangan yang terjadi, dapat digambarkan diagram yang memberikan hubungan persentase *silica fume* terhadap modulus elastisitas beton sebagai berikut :



Gambar 5.4 Grafik Perubahan Modulus Elastisitas

Hasil analisis dari gambar 5.4 dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut :

Tabel 5.5 Perubahan Modulus Elastisitas

Pra-Bakar $E_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Pasca-Bakar $E_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Rasio ( $E_n/E_b$ ) (%)
129307.3136	119477.2959	92,39
138788.3976	118097.9707	85,09
129609.1150	114151.5217	88,07
132526.4325	112561.2491	84,93
143903.2716	113199.0869	78,61

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Kuat Desak Beton

Kandungan kimia terbesar *silica fume* adalah  $\text{SiO}_2$ , sehingga akan mengurangi kadar unsur  $\text{C}_3\text{S}$  yang akan mengurangi panas hidrasinya dan akan mengurangi beton retak-retak selama proses pengeringannya. Peningkatan kadar unsur  $\text{C}_2\text{S}$  yang akan memberikan kekuatan akhir yang lebih besar, sehingga kuat desaknya ( $f'_c$ ) bertambah.

Penambahan *silica fume* pada campuran beton akan mempengaruhi komposisi kimianya. Unsur  $\text{C}_3\text{S}$  akan berkurang sedangkan unsur  $\text{C}_2\text{S}$  akan bertambah. Pengurangan unsur  $\text{C}_3\text{S}$  menyebabkan berkurangnya panas hidrasi yang terjadi, hal ini dapat menghindari beton retak-retak.

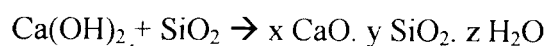
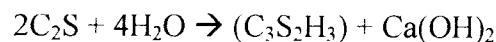
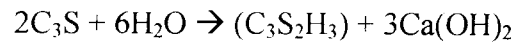
Berdasarkan data-data hasil pengujian, penambahan *silica fume* akan meningkatkan kuat desak beton. Hal ini dikarenakan *silica fume* berfungsi sebagai *filler* dalam campuran beton, sehingga akan mereduksi rongga udara dalam campuran beton yang menyebabkan beton semakin padat, yang diindikasikan dari pertambahan berat silinder benda uji tiap variasi penambahan *silica fume*. Kepadatan beton ini secara langsung akan mengurangi porositasnya. Porositas suatu pasta semen akan berpengaruh pada rasio pasta semen, dimana :

$$X_F = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p}$$

Rasio pasta semen akan mempengaruhi kekuatan beton sesuai dengan persamaan,

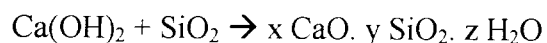
$$f'_c = 29.000 X_F^3 (\text{psi})$$

Pada suatu pasta semen, volume udara ( $V_a$ ) akan diisi oleh additive *silica fume* sehingga volume udara akan berkurang. Volume udara yang telah digantikan oleh *silica fume* akan menambah kepadatan suatu beton dan meningkatkan kuat desaknya. Pada proses hidrasi semen terjadi suatu reaksi :



Hasil dari reaksi hidrasi semen menghasilkan  $C_3S_2H_3$ , yang biasa disebut “tobermorite”, yang memberikan kekuatan pada beton dan  $Ca(OH)_2$  kapur bebas. Kapur bebas akan bereaksi dengan  $SiO_2$ , yang merupakan unsur terbesar dalam *silica fume*, membentuk kembali  $C_3S_2H_3$  (tobermorite), sehingga kekuatan beton akan semakin bertambah hingga seluruh unsur  $Ca(OH)_2$  dan  $SiO_2$  habis bereaksi.

Penurunan kekuatan yang terjadi pada beton setelah pembakaran adalah variasi 0%; 5% - 10%. Reaksi kimia yang terjadi



Dari reaksi kimia diatas, pembakaran menyebabkan beton terdehidrasi, air hasil reaksi menguap dengan jumlah yang sangat besar, sehingga menyebabkan terjadinya porositas yang sangat besar pula. Sehingga rongga udara pada beton mengembang ketika dipanaskan sehingga beton menjadi porous yang akan menurunkan kuat desaknya. Penguapan air menyebabkan terputusnya reaksi kimia yang terjadi dalam pembentukan kekuatan pada beton. Sehingga, karena pembakaran semen kehilangan daya rekatnya terhadap partikel *silica fume* dan agregat beton. Hal ini terlihat dari pecahan benda uji yang tidak menggumpal,

mengeluarkan banyak serbuk dan terlepasnya ikatan antara mortar semen dengan agregat.

Sedangkan pada variasi 2,5% terjadi peningkatan kuat desak. Pada variasi ini penguapan air yang terjadi tidak besar seperti variasi lainnya. Karena semakin sedikit penambahan *silica fume* air yang dibutuhkan untuk bereaksi juga sedikit. Rongga udara yang timbul tidak terlalu besar dan tidak membuat beton menjadi mengembang saat dibakar yang dapat menurunkan kekuatannya. Panas yang diakibatkan tidak mengurangi kinerja semen dalam mengikat partikel pendukungnya. Selain itu karena diameter butirnya yang halus *silica fume* mampu mengisi rongga udara pada beton secara sempurna.

### 5.2.2 Modulus Elastisitas

Dari data pencatatan regangan beton, didapatkan nilai regangan yang terjadi pada setiap pengujian kekuatan desak beton. Pengujian kuat desak beton ini akan didapatkan nilai gaya dan regangan yang terjadi. Nilai-nilai tersebut dapat digambarkan grafik tegangan regangan, dengan formula tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Dari grafik yang terjadi, diperlukan pengoreksian terhadap nilai regangan, agar nilai regangan pertama mulai dari angka 0. Angka koreksi besarnya tergantung dari perpanjangan garis linier pertama, besarnya angka ini yang akan menentukan pergeseran kekiri atau kekanan dari nilai regangan pada hasil pengujian beton yang nantinya akan didapatkan nilai regangan yang baru atau nilai regangan koreksi.



Sehingga regangan koreksi :

$$\varepsilon_k = k \pm \varepsilon$$

Modulus elastis yang terjadi dapat dilihat pada grafik yang digambarkan dari angka regangan koreksi, dengan menarik garis sejajar sumbu x hingga berpotongan dengan grafik regangan. Dari titik perpotongan ini ditarik garis sejajar sb y sehingga didapatkan nilai regangannya. Sehingga nilai modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma_{1,2 \max}}{\varepsilon_{1,2}}$$

Dari pengujian didapatkan seluruh variasi beton mengalami penurunan modulus elastisitas setelah pembakaran. Menurunnya nilai modulus elastisitas disebabkan karena setelah pembakaran air yang terkandung dalam beton seluruhnya menguap sehingga beton menjadi getas karena adanya pemisahan air terhadap material beton sehingga beton kehilangan elastisitasnya.

### 5.2.3 Workability

Untuk menentukan kemudahan pengerjaan beton dapat dilihat dari nilai slump. Terjadi perbedaan nilai slump pada pembuatan beton tanpa campuran *silica fume* dengan beton yang menggunakan campuran *silica fume*. Nilai slump pada beton tanpa campuran *silica fume* adalah  $\pm 150$  mm memiliki tingkat workability yang tinggi sedangkan pada beton dengan campuran *silica fume* adalah  $\pm 100$  mm memiliki tingkat workability sedang. Penambahan *silica fume* akan mengurangi workability jika jumlah air tidak ditambah. Karena itu untuk menjaga tingkat workability, mempertahankan nilai slump, dan nilai fas tetap

konstan, dilakukan penambahan jumlah air dengan modifikasi formula  $w_{air} = (w_c + w_{add}) \times f_{us}$ . Jika ditinjau dari rasio agregat – semen, dimana  $A/C = 4$ , memiliki tingkat kemudahan pengerjaan (workability) yang tinggi.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian di laboratorium didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat desak beton ( $f_c$ ) pra bakar dengan penambahan *Silica Fume* meningkat untuk semua variasi. Pada variasi 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% terhadap berat semen meningkat berturut-turut sebesar 2,5%; 4,12%; 8,19% dan 18,08%.
2. Setelah dibakar pada suhu 400 °C selama  $\pm 4$  jam, beton variasi 2,5% terhadap berat semen mengalami peningkatan kuat desak 0,288% dan beton variasi 0%; 5%; 7,5%, dan 10% terhadap berat semen mengalami penurunan kuat desak berturut-turut sebesar 1,88%; 2,994%; 9,87%; dan 14,51%.
3. Rasio kuat desak beton pra bakar dengan pasca bakar yang terjadi pada variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5%, dan 10% terhadap berat semen berturut-turut sebesar 98,12%; 100,00%; 97,00%; 90,12% dan 85,50%.

## 6.2 Saran

Dari kesimpulan yang didapatkan dari penelitian, beberapa saran yang diharapkan untuk melengkapi penelitian ini maupun yang berguna untuk struktur beton :

1. Perlu diadakan penelitian guna mencari kadar *silica fume* optimum yang mampu memberikan peningkatan kuat desak beton maksimum.
2. Penambahan *silica fume* diatas 2,5 % terhadap berat semen akan optimum jika suatu struktur beton direncanakan tahan terhadap kebakaran.

## DAFTAR PUSTAKA

Popovics, 1998, STRENGTH AND RELATED PROPERTIES OF CONCRATE, Jhon Wiley & Sons, Inc, Canada

Kardiyono Cokrodimulyo, 1992, TEKNOLOGI BETON, Biro Penerbit, Yoyakarta

Murdock,L.J., Brook,K.M., 1986, BAHAN DAN PRAKTEK BETON, Erlangga, Jakarta

Achmad Antono, 1985, BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK, FT-UGM, Yogyakarta

Dobrowolski, Joseph, A., 1998, CONCRATE CONSTRUCTION HAND BOOK, Fourt Edition, Mc Graw Hill, New Delhi

Jackson, N. dan Dhir, R. K., 1983, CIVIL ENGINEERING MATERIALS, Third Edition, Macmilan Publishers Ltd, England

\_\_\_\_\_, 1979, PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971, N.I.-2

Adang Surahman, 1998, STUDI KASUS LAPANGAN, Laboratorium Mekanika Struktur, Pusat Penelitian Antar Universitas Ilmu Rekayasa ITB, Bandung

# **LAMPIRAN 1**

## DATA PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT

Tanggal : 2 Januari 2002

Alat – alat :

1. Gelas ukur kap 1000 ml.
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring, Sendok, Lap dan lain-lain.

Asal Agregat : Clereng

AGREGAT KASAR	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
Berat Agregat (W)	400	Gram	400	Gram
Volume air (V <sub>1</sub> )	500	Cc	500	Cc
Volume air + Agregat (V <sub>2</sub> )	659	Cc	652	Cc
<b>Berat Jenis (BJ)</b> $\frac{W}{V_2 - V_1}$	$\frac{400}{659 - 500} = 2,54777$		$\frac{400}{652 - 500} = 2,63157$	
Berat Jenis rata-rata	2,589678			

Asal Agregat : Kaliurang

AGREGAT HALUS	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
Berat Agregat (W)	400	Gram	400	Gram
Volume air (V <sub>1</sub> )	500	Cc	500	Cc
Volume air + Agregat (V <sub>2</sub> )	659	Cc	660	Cc
<b>Berat Jenis (BJ)</b> $\frac{W}{V_2 - V_1}$	$\frac{400}{659 - 500} = 2,51572$		$\frac{400}{660 - 500} = 2,5$	
Berat Jenis rata-rata	2,507861			

# **LAMPIRAN 2**



**DATA PEMERIKSAAN**  
**BERAT VOLUME AGREGAT “SSD”**

Tanggal : 2 Januari 2002

Alat – alat :

1. Tabung silinder (Ø15 x 30)cm,
2. Tongkat penumbuk Ø16 mm, panjang 60 cm,
3. Timbangan kapasitas 20 kg, kaliper,
4. Serok / Sekop, lap, dan lain-lain.

Asal Agregat : Clereng

AGREGAT KASAR	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
Berat Tabung ( $W_1$ )	7,36	Kg	7,42	Kg
Berat tabung + Agregat ( $W_2$ )	15,75	Kg	15,82	Kg
Volume tabung ( $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$ )	$5,29876 \cdot 10^{-3}$	$m^3$	$5,29880 \cdot 10^{-3}$	$m^3$
<b>Berat Volume (BV)</b> $\frac{W_2 - W_1}{V}$	$\frac{15,75 - 7,36}{5,29876 \cdot 10^{-3}}$ = 1,58339	$t/m^3$	$\frac{15,82 - 7,42}{5,29880 \cdot 10^{-3}}$ = 1,58526	$t/m^3$
Berat Volume rata-rata	1,584325 $t/m^3$			

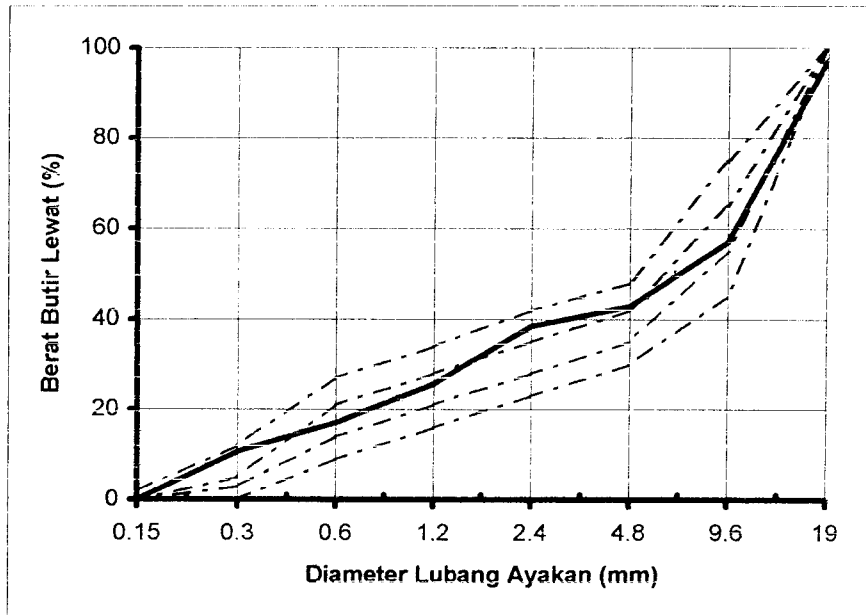
Asal Agregat : Kaliurang

AGREGAT HALUS	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
Berat Tabung ( $W_1$ )	7,45	Kg	7,30	Kg
Berat tabung + Agregat ( $W_2$ )	15,87	Kg	15,75	Kg
Volume tabung ( $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$ )	$5,29878 \cdot 10^{-3}$	$m^3$	$5,29874 \cdot 10^{-3}$	$m^3$
<b>Berat Volume (BV)</b> $\frac{W_2 - W_1}{V}$	$\frac{15,87 - 7,45}{5,29878 \cdot 10^{-3}}$ = 1,5664	$t/m^3$	$\frac{15,75 - 7,3}{5,29876 \cdot 10^{-3}}$ = 1,59471	$t/m^3$
Berat Volume rata-rata	1,580555 $t/m^3$			

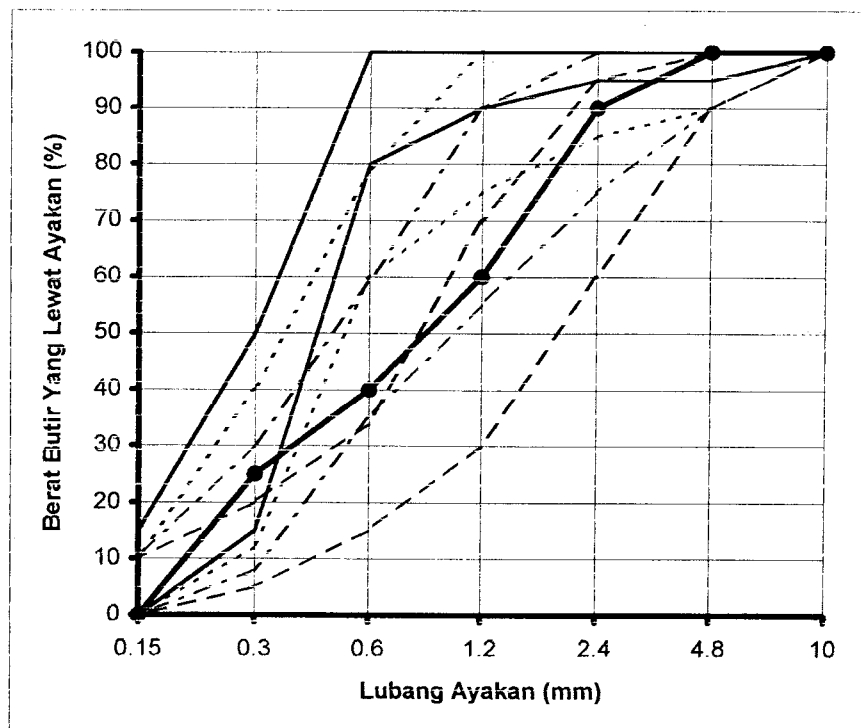
# LAMPIRAN 3

## GRADASI BUTIR AGREGAT

Gradasi Butir Agregat Dengan D max 20 mm



Gradasi Pasir



# **LAMPIRAN 4**

## MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT

### Hitungan Modulus Halus Butir Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
40	0	0
20	0	0
10	0	0
4,8	0	0
2,4	10	10
1,2	30	40
0,6	20	60
0,3	15	75
0,15	25	100
Sisa	0	-
Jumlah	100	285

$$\text{Modulus Halus Butir Pasir} = \frac{285}{100} = 2,85$$

### Hitungan Modulus Halus Butir Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
40	0	0
20	5	5
10	70	75
4,8	25	100
2,4	0	100
1,2	0	100
0,6	0	100
0,3	0	100
0,15	0	100
Sisa	0	-
Jumlah	100	680

$$\text{Modulus Halus Butir Kerikil} = \frac{680}{100} = 6,8$$

Hubungan antara mhb kerikil, mhb pasir, dan mhb campurannya :

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\%$$

Dimana : W = persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K = modulus halus butir kerikil

P = Modulus halus butir pasir

C = Modulus halus butir campuran.

Diambil : C = 5,1

$$W = \frac{6,8 - 5,1}{5,1 - 2,85} \times 100\% = 76\%$$

Berat pasir terhadap berat kerikil sebesar 76 % atau perbandingan antara pasir dan kerikil adalah sebesar 74,6 : 100 atau 1 : 1,34 atau berat pasir 43 % dan berat kerikil 57 %.

#### Hitungan campuran pasir dan kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Berat Butir Lewat		(2) x P	(3) x K	(4) + (5)	(6) / (P+K)
	Pasir (%)	Kerikil (%)				
1	2	3	4	5	6	7
38	100	100	100	134.0503	234.050308	100
19	100	95	100	127.3478	227.347792	97.13629286
9.6	100	25	100	33.51258	133.512577	57.04439284
4.8	100	0	100	0	100	42.72585712
2.4	90	0	90	0	90	38.45327141
1.2	60	0	60	0	60	25.63551427
0.6	40	0	40	0	40	17.09034285
0.3	25	0	25	0	25	10.68146428
0.15	0	0	0	0	0	0

# **LAMPIRAN 5**

**PERHITUNGAN MIX DESIGN  
DENGAN METODE ACI**

**1. Data Konstruksi :**

Kuat tekan yang diisyaratkan sebesar  $f'c = 20$  Mpa,

Volume pekerjaan  $< 1000 \text{ m}^3$  dengan mutu pekerjaan cukup,

Slump yang diinginkan  $\pm 100$  mm,

Jenis semen yang digunakan Jenis I, merk Nusantara,

Agregat kasar berupa kerikil dari Clereng dengan  $D_{\max} 20$  mm,

Berat jenis semen = 3,15

Berat jenis pasir = Berat jenis kerikil = 2,6

Berat Volume kerikil =  $1,6 \text{ t/m}^3$

Mhb pasir = 2,85

**2. ACI Mix Design :**

1. Mencari nilai  $f'cr = f'c + 1,64 s_d$

Dari tabel berdasarkan volume dan mutu pekerjaan diambil nilai  $s_d = 70$ ,

sehingga :

$$\begin{aligned} f'cr &= 20 + 1,64(70/10) \\ &= 20 + 11,48 \\ &= 31,48 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

2. Menghitung FAS ( $f'cr = 31,48$  Mpa)

Dari tabel berdasarkan  $f'cr$  didapatkan nilai FAS dengan interpolasi sebesar 0,4853. Sedangkan berdasarkan atas jenis struktur dan kondisi



lingkungan yaitu beton dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non korosif sebesar 0,6. Dari kedua nilai FAS tersebut, digunakan nilai yang terendah yaitu  $FAS = 0,4853$ .

3. Menentukan jumlah air yang dibutuhkan tiap  $m^3$  campuran beton.

Dari tabel berdasarkan nilai slump yang diinginkan = 100 mm dan agregat dengan  $D_{max}$  20 mm didapatkan jumlah air 203 liter dan udara terperangkap 2 %.

4. Menghitung kebutuhan semen tiap  $m^3$  campuran beton.

$$w_c = \frac{W}{wcr}$$

$$w_c = \frac{0,203}{0,4853}$$

$$w_c = 0,4183 \text{ ton}$$

$$V_{absolut} = \frac{w_c}{BJ} = \frac{0,4183}{3,15} = 0,1328 \text{ m}^3$$

5. Menentukan kebutuhan agregat kasar tiap  $m^3$  campuran beton.

Dari tabel berdasarkan nilai  $D_{max} = 20$  mm dan mhb pasir = 2,85 didapatkan nilai, dengan interpolasi, jumlah kebutuhan agregat kasar =  $0,605 \text{ m}^3$ . atau sama dengan  $w = BV \times V_{total} = 0,968$  ton. Sehingga

$$V_{absolut} = \frac{w}{BJ} = 0,3723 \text{ m}^3.$$

6. Menghitung kebutuhan pasir tiap  $m^3$  campuran beton.

Berdasarkan  $D_{max}$  20 mm dan udara terperangkap sebesar 2 % :

$$V_{air} + V_{Semen} + V_{Kerikil} = 0,203 \text{ m}^3 + 0,1328 \text{ m}^3 + 0,3723 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
V_1 &= 0,7081 \text{ m}^3 + (V_{\text{udara}} 2 \%) \\
&= 0,7081 \text{ m}^3 + 0,0142 \text{ m}^3 \\
&= 0,7223 \text{ m}^3 \\
V_{\text{pasir}} &= 1 \text{ m}^3 - 0,7223 \text{ m}^3 \\
&= 0,2777 \text{ m}^3 \\
w_{\text{pasir}} &= V_{\text{pasir}} \times b_j \\
&= 0,2777 \times 2,6 \\
&= 0,7220 \text{ ton.}
\end{aligned}$$

7. Kebutuhan berat total material campuran beton tiap  $\text{m}^3$  adalah :

1. Semen = 0,4183 ton
2. Kerikil = 0,968 ton
3. Pasir = 0,7220 ton
4. Air = 0,203 ton

8. Penambahan *silica fume* akan meningkatkan jumlah air untuk mempertahankan workability dan fas semula, sehingga perbandingan air semen menjadi perbandingan air dan semen+pozzolan atau rasio  $w/(c+p)$ .

a. *Silica fume* 2,5 % dari berat semen = 0,2773 kg,

$$\text{Semen} = 0,4183 \text{ ton}$$

$$\text{Kerikil} = 0,968 \text{ ton}$$

$$\text{Pasir} = 0,7220 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
W_{\text{air}} &= (w_c + w_{\text{add}}) \times \text{fas} \\
&= (418,3 + 0,2773) \times 0,4853 \\
&= 203,136 \text{ kg}
\end{aligned}$$

b. *Silica fume* 5 % dari berat semen = 0,5546 kg

$$\text{Semen} = 0,4183 \text{ ton}$$

$$\text{Kerikil} = 0,968 \text{ ton}$$

$$\text{Pasir} = 0,7220 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{air}} &= (w_c + w_{\text{add}}) \times \text{fas} \\ &= (418,3 + 0,5546) \times 0,4853 \\ &= 203,27 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. *Silica fume* 7,5 % dari berat semen = 0,8319 kg

$$\text{Semen} = 0,4183 \text{ ton}$$

$$\text{Kerikil} = 0,968 \text{ ton}$$

$$\text{Pasir} = 0,7220 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{air}} &= (w_c + w_{\text{add}}) \times \text{fas} \\ &= (418,3 + 0,8319) \times 0,4853 \\ &= 203,405 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. *Silica fume* 10 % dari berat semen = 1,1092 kg

$$\text{Semen} = 0,4183 \text{ ton}$$

$$\text{Kerikil} = 0,968 \text{ ton}$$

$$\text{Pasir} = 0,7220 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{air}} &= (w_c + w_{\text{add}}) \times \text{fas} \\ &= (418,3 + 1,1092) \times 0,4853 \\ &= 203,54 \text{ kg} \end{aligned}$$

**KEBUTUHAN MATERIAL**  
**PEMBUATAN BENDA UJI 5 SILINDER BETON**

Kebutuhan Semen

Variasi (%)	0	2.5	5	7.5	10
Berat (kg)	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09
Berat + 20 % (kg)	13.31084	13.31084	13.31084	13.31084	13.31084

Kebutuhan Air

Variasi (%)	0	2.5	5	7.5	10
Volume (lt)	5.383125	5.386731	5.390285	5.393865	5.397577
Vol + 20 % (lt)	6.45975	6.464078	6.468342	6.472638	6.477093

Kebutuhan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Kerikil		Pasir	
	Berat (kg)	Berat + 20% (kg)	Berat (kg)	Berat + 20% (kg)
20	1.28	1.54	-	-
10	17.97	21.56	0	0.00
5	6.42	7.70	0	0.00
2.4	-	-	1.915	2.30
1.2	-	-	5.745	6.89
0.6	-	-	3.83	4.60
0.3	-	-	2.8725	3.45
0.15	-	-	4.7875	5.75
Berat Total (kg)	25.67	30.80	19.15	22.98

### Kebutuhan Silica Fume

Penambahan <i>Silica Fume</i> (%)	Berat (kg)	Berat + 20% (kg)
0	0.000	0.000
2.5	0.277	0.333
5	0.555	0.666
7.5	0.832	0.998
10	1.109	1.331
Berat Total	2.773	3.328

### Perhitungan Berat Tiap Silinder Beton Secara Teoritis

Variasi (%)	0	2.5	5	7.5	10
Berat <i>Silica Fume</i> (kg)	0.00	0.28	0.55	0.83	1.11
Berat Semen (kg)	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09
Berat Kerikil (kg)	25.67	25.67	25.67	25.67	25.67
Berat Pasir (kg)	19.15	19.15	19.15	19.15	19.15
Berat Air (kg)	5.3831	5.3867	5.3903	5.3939	5.3976
W <sub>c</sub> 1 silinder (kg)	12.25875	12.81494	13.37111	13.92729	14.48349

### Berat Tiap Silinder Beton Sesungguhnya

Variasi (%)	0	2.5	5	7.5	10
W pra-bakar (kg)	12.078	12.278	12.492	12.726	13.014
W pasca-bakar (kg)	12.020	12.288	12.586	12.804	13.046
W rata-rata (kg)	12.049	12.283	12.539	12.765	13.030

# **LAMPIRAN 6**

**ANALISA KANDUNGAN KIMIA SILICA FUME  
TERHADAP PERUBAHAN MUTU SEMEN**

Semen Portland yang digunakan adalah jenis I dengan data sebagai berikut :

Unsur Kimia	Prosentase (%)
CaO	63
SiO <sub>2</sub>	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
SO <sub>3</sub>	2

Pada penelitian ini dipakai *silica fume* dengan data sebagai berikut :

Kandungan Oksida	Prosentase (%)
SiO <sub>2</sub>	94,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
MgO	0,7
SO <sub>4</sub>	0,0
Na <sub>2</sub> O	0,2
KO <sub>2</sub>	1,0
Hilang Pijar	2,6

Hitungan prosentase senyawa kimia untuk semen jenis I

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 4,07 (\text{CaO}) - 7,7 (\text{SiO}_2) - 6,72 (\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,43 (\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2,83 (\text{SO}_3) \\
 &= 4,07 (63\%) - 7,7 (20\%) - 6,72 (6\%) - 1,43 (3\%) - 2,83 (2\%) \\
 &= 54,1 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_2S &= 2,87 (\text{SiO}_2) - 0,754 (C_3S) \\
 &= 2,87 (20\%) - 0,754 (54,1 \%) \\
 &= 16,61 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_3A &= 2,65 (Al_2O_3) - 1,69 (Fe_2O_3) \\
&= 2,65 (6\%) - 1,69 (3\%) \\
&= 10,83 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_4AF &= 3,04 (Fe_2O_3) \\
&= 3,04 (3\%) \\
&= 9,12 \%
\end{aligned}$$

Hitungan senyawa kimia untuk semen modifikasi ( Semen jenis I + 2,5% *Silica Fume*) :

$$\begin{aligned}
C_3S &= 4,07 (CaO) - 7,7 (SiO_2) - 6,72 (Al_2O_3) - 1,43 (Fe_2O_3) - 2,83 (SO_3) \\
&= 4,07 \{(63 \times 100\%) + (0 \times 2,5\%)\} - 7,7 \{(20 \times 100\%) + (94,3 \times 2,5\%)\} - 6,72 \\
&\quad \{(6 \times 100\%) + (1,1 \times 2,5\%)\} - 1,43 \{(3 \times 100\%) + (0,3 \times 2,5\%)\} - 2,83 \\
&\quad \{(2 \times 100\%) + (0 \times 2,5\%)\} \\
&= 35,99 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_2S &= 2,87 (SiO_2) - 0,754 (C_3S) \\
&= 2,87 \{(20 \times 100\%) + (94,3 \times 2,5\%)\} - 0,754 (35,99\%) \\
&= 37,03 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_3A &= 2,65 (Al_2O_3) - 1,69 (Fe_2O_3) \\
&= 2,65 \{(6 \times 100\%) + (1,1 \times 2,5\%)\} - 1,69 \{(3 \times 100\%) + (0,3 \times 2,5\%)\} \\
&= 10,89 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_4AF &= 3,04 (Fe_2O_3) \\
&= 3,04 \{(3 \times 100\%) + (0,3 \times 2,5\%)\} \\
&= 9,14 \%
\end{aligned}$$



Perkiraan kekuatan beton umur 28 hari bila ditinjau dari komposisi kandungan unsur kimia yang terdapat dalam semen dapat didekati dengan persamaan :

$$f = strength = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF)$$

- Kekuatan beton untuk variasi campuran 0 % :

$$\begin{aligned} f'c &= a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \\ &= 48,8 (54,10) + 19,1 (16,61) + 100,1 (10,83) + 30,8 (9,12) \\ &= 4322,2833 \text{ psi} = 303,4243 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

- Kekuatan beton untuk variasi campuran 2,5 % :

$$\begin{aligned} f'c &= a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \\ &= 48,8 (35,99) + 19,1 (37,03) + 100,1 (10,89) + 30,8 (9,14) \\ &= 3835,1971 \text{ psi} = 269,2308 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

- Kekuatan beton untuk variasi campuran 5 % :

$$\begin{aligned} f'c &= a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \\ &= 48,8 (17,87) + 19,1 (57,45) + 100,1 (10,95) + 30,8 (9,17) \\ &= 3348,1109 \text{ psi} = 235,0374 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

- Kekuatan beton untuk variasi campuran 7,5 % :

$$\begin{aligned} f'c &= a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \\ &= 48,8 (-0,24) + 19,1 (77,88) + 100,1 (11,01) + 30,8 (9,19) \\ &= 2861,0248 \text{ psi} = 200,8439 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

- Kekuatan beton untuk variasi campuran 10 % :

$$\begin{aligned} f'c &= a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \\ &= 48,8 (-18,35) + 19,1 (98,30) + 100,1 (11,07) + 30,8 (9,21) \\ &= 2373,9386 \text{ psi} = 166,6505 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Beton setelah mengalami kebakaran akan menurunkan kuat desak. Perkiraan kuat desak beton pasca bakar umur 28 hari didekati persamaan berikut ini :

$$P = ( 0,6 f'c )$$

- Kekuatan beton variasi 0 %

$$\begin{aligned} f'_{c_b^1} &= (0,6 \times f'c) \\ &= (0,6 \times 303,4243) \\ &= 182,0546 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan beton variasi 2,5 % :

$$\begin{aligned} f'_{c_b^2} &= (0,6 \times f'c) \\ &= (0,6 \times 269,2308) \\ &= 161,5385 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan beton variasi 5 % :

$$\begin{aligned} f'_{c_b^3} &= (0,6 \times f'c) \\ &= (0,6 \times 235,0374) \\ &= 141,0224 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan beton variasi 7,5 % :

$$\begin{aligned} f'_{c_b^4} &= (0,6 \times f'c) \\ &= (0,6 \times 200,8439) \\ &= 120,5063 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan beton variasi 10 % :

$$\begin{aligned} f'_{c_b^5} &= (0,6 \times f'c) \\ &= (0,6 \times 303,4243) \\ &= 99,9903 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

# **LAMPIRAN 7**

**KANDUNGAN SENYAWA SEMEN PORTLAND dan KUAT TEKAN BERDASARKAN UMUR BETON**

Unsur	(%)
CaO	63
SiO <sub>2</sub>	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
SO <sub>3</sub>	2

Oksida	(%)
SiO <sub>2</sub>	94.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3
MgO	0.7
SO <sub>4</sub>	0
Na <sub>2</sub> O	0.2
KO <sub>2</sub>	1

Senyawa	Penambahan Silica Fume (%)					
	0	2.5	5	7.5	10	
CaO	63	63	63	63	63	
SiO <sub>2</sub>	20	22.3575	24.715	27.0725	29.43	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	6.0275	6.055	6.0825	6.11	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	3.0075	3.015	3.0225	3.03	
SO <sub>3</sub>	2	2	2	2	2	
C <sub>3</sub> S	54.10	35.99	17.87	-0.24	-18.35	
C <sub>2</sub> S	16.61	37.03	57.45	77.88	98.30	
C <sub>3</sub> A	10.83	10.89	10.95	11.01	11.07	
C <sub>4</sub> AF	9.12	9.14	9.17	9.19	9.21	

umur	f <sub>c</sub> (psi)						f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )					
	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10		
1 hari	527.93	380.63	233.34	86.04	-61.26	37.06	26.72	16.38	6.04	-4.30		
3 hari	1635.70	1118.18	600.66	83.13	-434.39	114.83	78.50	42.17	5.84	-30.49		
7 hari	2709.94	1884.80	1059.65	234.50	-590.64	190.24	132.31	74.39	16.46	-41.46		
28 hari	4322.28	3835.20	3348.11	2861.02	2373.94	303.42	269.23	235.04	200.84	166.65		
3 bulan	5030.93	5310.96	5590.99	5871.02	6151.05	353.17	372.83	392.49	412.15	431.80		
1 tahun	5968.41	6501.19	7033.97	7566.75	8099.53	418.98	456.38	493.78	531.19	568.59		
2 tahun	5573.54	5973.11	6372.69	6772.27	7171.84	391.26	419.31	447.36	475.41	503.46		

# **LAMPIRAN 8**

### DATA BENDA UJI SILINDER BETON

Variasi (%)		No	d (cm)	h (cm)	A <sub>o</sub> (cm <sup>2</sup> )	V(cm <sup>3</sup> )	W1 (Kg)	W2(Kg)
0	Tidak Dibakar	S1-1	15.070	30.440	178.4396	5431.70	12.340	
		S1-2	15.220	30.040	182.0095	5467.56	12.560	
		S1-3	15.040	29.940	177.7298	5321.23	11.930	
		S1-4	14.960	30.240	175.8441	5317.53	11.880	
		S1-5	15.060	29.640	178.2028	5281.93	11.680	
Wc rata-rata							12.078	
	Dibakar	SB1-1	15.045	29.740	177.8480	5289.20	11.730	11.23
		SB1-2	15.270	30.620	183.2073	5609.81	12.540	12.31
		SB1-3	14.950	29.875	175.6091	5246.32	11.680	11.13
		SB1-4	14.920	30.410	174.9050	5318.86	11.850	11.28
		SB1-5	15.160	30.190	180.5773	5451.63	12.300	11.74
Wc rata-rata							12.020	11.538
Penguapan air (kg)							0.482	
2,5	Tidak Dibakar	S2-1	14.950	30.000	175.6091	5268.27	11.540	
		S2-2	15.000	30.240	176.7857	5346.00	12.440	
		S2-3	14.970	30.360	176.0793	5345.77	12.010	
		S2-4	15.120	30.220	179.6256	5428.29	12.600	
		S2-5	15.160	30.235	180.5773	5459.75	12.800	
Wc rata-rata							12.278	
	Dibakar	SB2-1	14.975	30.500	176.1969	5374.01	12.560	12.18
		SB2-2	14.935	30.170	175.2569	5287.50	12.320	11.97
		SB2-3	15.020	30.480	177.2575	5402.81	12.690	12.12
		SB2-4	14.840	30.190	173.0344	5223.91	11.610	11.24
		SB2-5	15.000	30.095	176.7857	5320.37	12.260	11.94
Wc rata-rata							12.288	11.890
Penguapan air (kg)							0.398	
5	Tidak Dibakar	S3-1	14.945	30.075	175.4917	5277.91	12.230	
		S3-2	15.100	29.985	179.1507	5371.83	12.560	
		S3-3	15.000	30.150	176.7857	5330.09	12.430	
		S3-4	14.965	30.245	175.9617	5321.96	12.360	
		S3-5	15.135	30.245	179.9822	5443.56	12.880	
Wc rata-rata							12.492	
	Dibakar	SB3-1	15.100	29.750	179.1507	5329.73	12.230	11.88
		SB3-2	15.200	30.100	181.5314	5464.10	12.580	12.05
		SB3-3	14.940	30.235	175.3743	5302.44	12.100	11.61
		SB3-4	15.150	30.660	180.3391	5529.20	12.800	12.15
		SB3-5	15.255	30.500	182.8475	5576.85	13.220	12.35
Wc rata-rata							12.586	12.008
Penguapan air (kg)							0.578	

Lanjutan

Variasi (%)		No	D (cm)	h (cm)	A <sub>o</sub> (cm <sup>2</sup> )	V(cm <sup>3</sup> )	W1 (Kg)	W2 (Kg)
7,5	Tidak Dibakar	S4-1	14.990	30.070	176.5501	5308.86	12.650	
		S4-2	15.080	30.380	178.6765	5428.19	13.230	
		S4-3	14.880	29.830	173.9685	5189.48	12.130	
		S4-4	15.030	30.020	177.4936	5328.36	12.760	
		S4-5	14.990	30.180	176.5501	5328.28	12.860	
Wc rata-rata							12.726	
	Dibakar	SB4-1	14.400	30.100	162.9257	4904.06	11.980	11.22
		SB4-2	15.020	30.260	177.2575	5363.81	12.940	12.03
		SB4-3	15.060	30.040	178.2028	5353.21	12.890	11.98
		SB4-4	15.070	30.020	178.4396	5356.76	12.970	12.00
		SB4-5	15.190	29.910	181.2927	5422.46	13.240	12.42
Wc rata-rata							12.804	11.930
Penguapan air (kg)							0.874	
10	Tidak Dibakar	S5-1	15.070	30.280	178.4396	5403.15	13.340	
		S5-2	15.000	29.860	176.7857	5278.82	12.700	
		S5-3	15.125	30.065	179.7444	5404.02	13.350	
		S5-4	15.030	30.100	177.4936	5342.56	12.810	
		S5-5	14.985	30.420	176.4323	5367.07	12.870	
Wc rata-rata							13.014	
	Dibakar	SB5-1	15.070	30.020	178.4396	5356.76	12.810	11.79
		SB5-2	15.070	30.125	178.4396	5375.49	12.940	11.78
		SB5-3	15.360	30.380	185.3733	5631.64	13.680	11.76
		SB5-4	15.160	30.480	180.5773	5503.99	13.250	11.98
		SB5-5	15.000	30.000	176.7857	5303.57	12.550	11.72
Wc rata-rata							13.046	11.806
Penguapan air (kg)							1.240	



## HASIL UJI DESAK SILINDER BETON

Variasi (%)		Kode	Pmax (KN)	f <sub>c</sub> (Mpa)	f <sub>c</sub> rerata (Mpa)
0	Tidak Dibakar	S1-1	570	31.9436	
		S1-2	615	33.7895	
		S1-3	640	36.0097	
		S1-4	585	33.2681	
		S1-5	685	38.4393	34.6900
	Dibakar	SB1-1	590	32.1675	
		SB1-2	610	32.2851	
		SB1-3	640	35.3385	
		SB1-4	645	35.7579	
		SB1-5	645	34.6347	34.0368
2,5	Tidak Dibakar	S2-1	625	35.5904	
		S2-2	655	37.0505	
		S2-3	590	33.5076	
		S2-4	690	38.4132	
		S2-5	600	33.2268	35.5577
	Dibakar	SB2-1	670	36.9863	
		SB2-2	700	38.8497	
		SB2-3	660	36.2163	
		SB2-4	650	36.5381	
		SB2-5	540	29.7106	35.6602
5	Tidak Dibakar	S3-1	645	36.7539	
		S3-2	680	37.9569	
		S3-3	640	36.2020	
		S3-4	620	35.2349	
		S3-5	620	34.4479	36.1191
	Dibakar	SB3-1	570	31.0408	
		SB3-2	690	37.0829	
		SB3-3	650	36.1596	
		SB3-4	640	34.6231	
		SB3-5	680	36.2824	35.0378



Lanjutan

Variasi (%)		Kode	Pmax (KN)	f <sub>c</sub> (Mpa)	f <sub>c</sub> rerata (Mpa)
7,5	Tidak Dibakar	S4-1	680	38.5160	37.5318
		S4-2	670	37.4979	
		S4-3	640	36.7883	
		S4-4	640	36.0576	
		S4-5	685	38.7992	
	Dibakar	SB4-1	655	39.2218	
		SB4-2	600	33.0235	
		SB4-3	590	32.3008	
		SB4-4	625	34.1716	
		SB4-5	565	30.4050	
10	Tidak Dibakar	S5-1	690	38.6686	40.9606
		S5-2	755	42.7071	
		S5-3	685	38.1097	
		S5-4	790	44.5087	
		S5-5	720	40.8088	
	Dibakar	SB5-1	685	37.5657	
		SB5-2	670	36.7431	
		SB5-3	560	29.5619	
		SB5-4	640	34.6824	
		SB5-5	660	36.5333	

Penggunaan *silica fume* sebagai *filler* akan meningkatkan kuat desak beton karena mereduksi volume udara pada mortar beton sehingga meningkatkan kepadatannya. Secara teoritis, rasio kuat desak silinder beton menggunakan formula:

$$X_f = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p}$$

$$f_c = 29.000 X_f^3 \text{ (psi)}$$

dengan :  $X_f$  = Gel Space Ratio

$V_p$  = volume pasta semen

$V_g$  = volume gel

$V_w$  = volume air

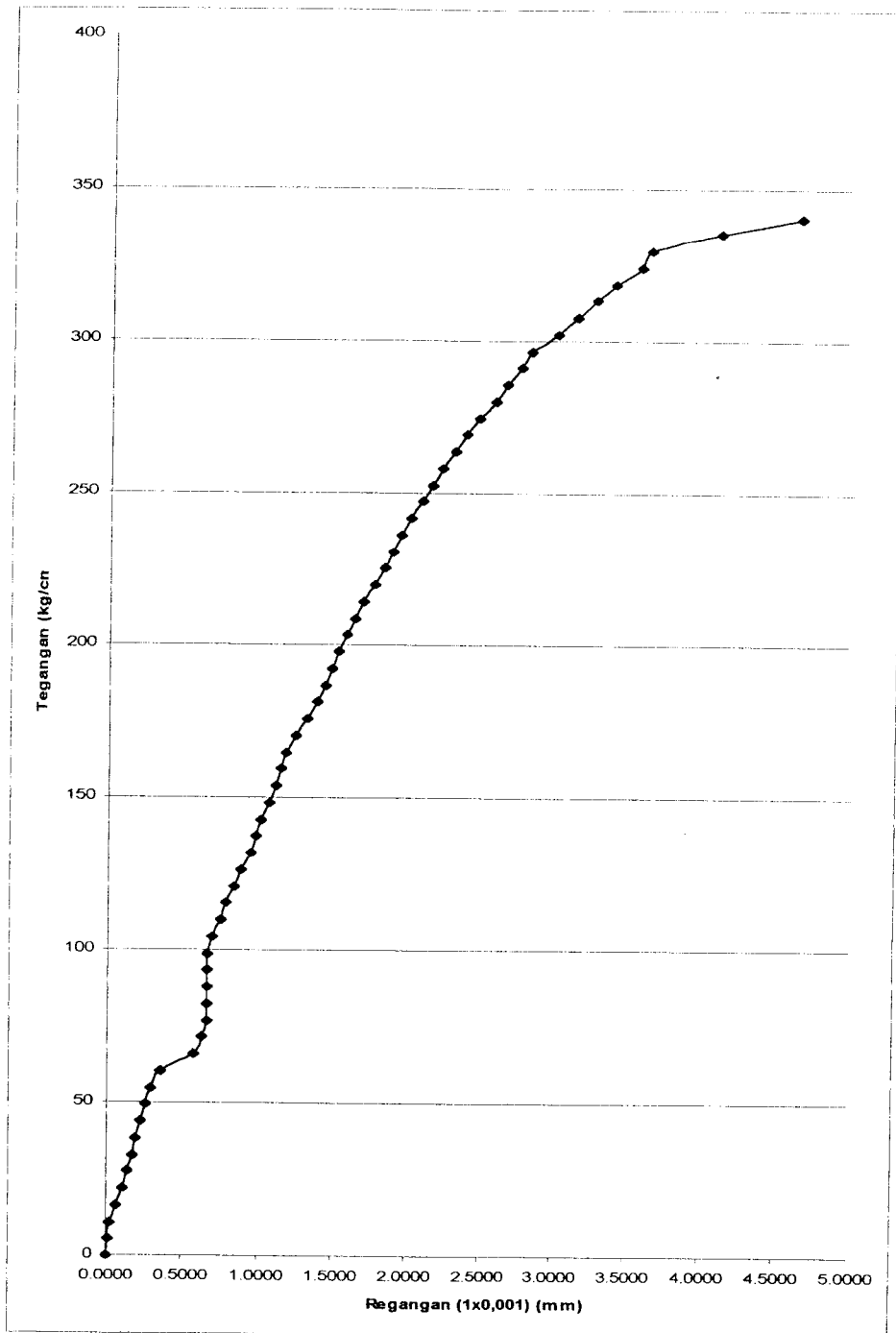
$V_a$  = volume udara

Penambahan SF	$X_f$	$f_c'$ (psi)	$f_c'$ (MPa)	Rasio (N/SF)
0%(N)	0.333	1074.074	7.41	100.00
2.5%(SF)	0.336	1101.380	7.60	102.54
5%(SF)	0.339	1129.619	7.79	105.17
7.5%(SF)	0.342	1158.832	8.00	107.89
10%(SF)	0.345	1189.061	8.20	110.71

Pada pengujian benda uji, didapatkan:

Penambahan SF	$f_c'$ (MPa)	Rasio (N/SF)
0%(N)	34.690	100.00
2.5%(SF)	35.558	102.50
5%(SF)	36.119	104.12
7.5%(SF)	37.532	108.19
10%(SF)	40.961	118.08

# **LAMPIRAN 9**



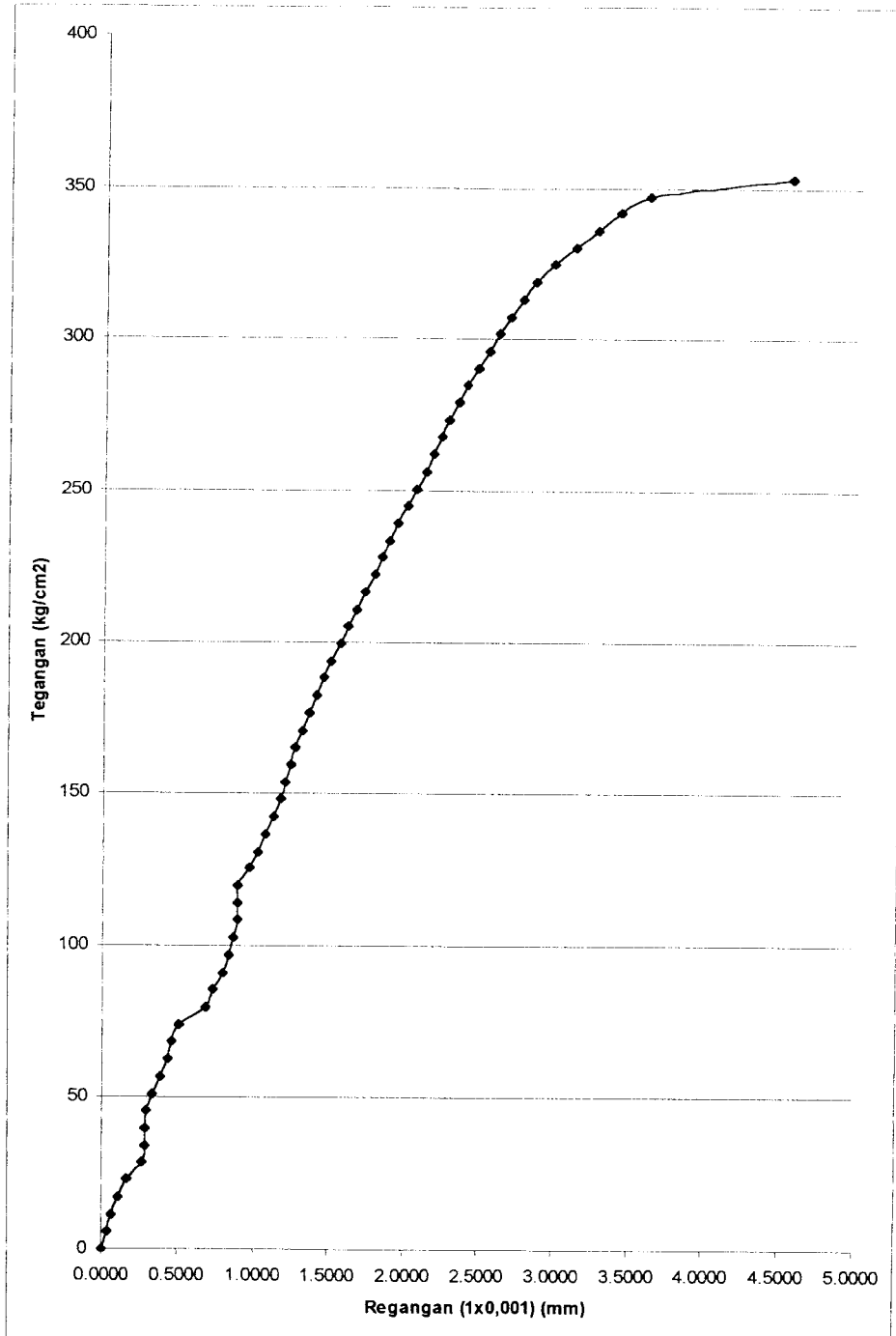
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pra-Bakar S1 – 2

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PRA-BAKAR SI-2**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0	0	0	0	0.0199	0.0000
10	1000	5	5.4942	0.0333	0.0134
20	2000	7	10.9884	0.0467	0.0268
30	3000	13	16.4827	0.0867	0.0668
40	4000	19	21.9769	0.1267	0.1068
50	5000	25	27.4711	0.1667	0.1468
60	6000	29	32.9653	0.1933	0.1734
70	7000	33	38.4595	0.2200	0.2001
80	8000	37	43.9538	0.2467	0.2268
90	9000	43	49.4480	0.2867	0.2668
100	10000	47	54.9422	0.3133	0.2934
110	11000	57	60.4364	0.3800	0.3601
120	12000	90	65.9306	0.6000	0.5801
130	13000	98	71.4249	0.6533	0.6334
140	14000	102	76.9191	0.6800	0.6601
150	15000	102	82.4133	0.6800	0.6601
160	16000	102	87.9075	0.6800	0.6601
170	17000	102	93.4017	0.6800	0.6601
180	18000	102	98.8960	0.6800	0.6601
190	19000	108	104.3902	0.7200	0.7001
200	20000	115	109.8844	0.7667	0.7468
210	21000	120	115.3786	0.8000	0.7801
220	22000	128	120.8728	0.8533	0.8334
230	23000	135	126.3671	0.9000	0.8801
240	24000	145	131.8613	0.9667	0.9468
250	25000	150	137.3555	1.0000	0.9801
260	26000	155	142.8497	1.0333	1.0134
270	27000	163	148.3439	1.0867	1.0668
280	28000	170	153.8382	1.1333	1.1134
290	29000	175	159.3324	1.1667	1.1468
300	30000	180	164.8266	1.2000	1.1801
310	31000	190	170.3208	1.2667	1.2468
320	32000	200	175.8150	1.3333	1.3134
330	33000	210	181.3093	1.4000	1.3801
340	34000	218	186.8035	1.4533	1.4334
350	35000	225	192.2977	1.5000	1.4801
360	36000	232	197.7919	1.5467	1.5268
370	37000	240	203.2861	1.6000	1.5801
380	38000	248	208.7804	1.6533	1.6334
390	39000	257	214.2746	1.7133	1.6934
400	40000	268	219.7688	1.7867	1.7668

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410	41000	278	225.2630	1.8533	1.8334
420	42000	285	230.7572	1.9000	1.8801
430	43000	294	236.2515	1.9600	1.9401
440	44000	303	241.7457	2.0200	2.0001
450	45000	315	247.2399	2.1000	2.0801
460	46000	325	252.7341	2.1667	2.1468
470	47000	335	258.2283	2.2333	2.2134
480	48000	347	263.7226	2.3133	2.2934
490	49000	360	269.2168	2.4000	2.3801
500	50000	372	274.7110	2.4800	2.4601
510	51000	389	280.2052	2.5933	2.5734
520	52000	400	285.6994	2.6667	2.6468
530	53000	415	291.1937	2.7667	2.7468
540	54000	425	296.6879	2.8333	2.8134
550	55000	450	302.1821	3.0000	2.9801
560	56000	470	307.6763	3.1333	3.1134
570	57000	490	313.1705	3.2667	3.2468
580	58000	510	318.6648	3.4000	3.3801
590	59000	535	324.1590	3.5667	3.5468
600	60000	545	329.6532	3.6333	3.6134
610	61000	615	335.1474	4.1000	4.0801
620	62000	695	340.6416	4.6333	4.6134



Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pra-Bakar S2 – 1

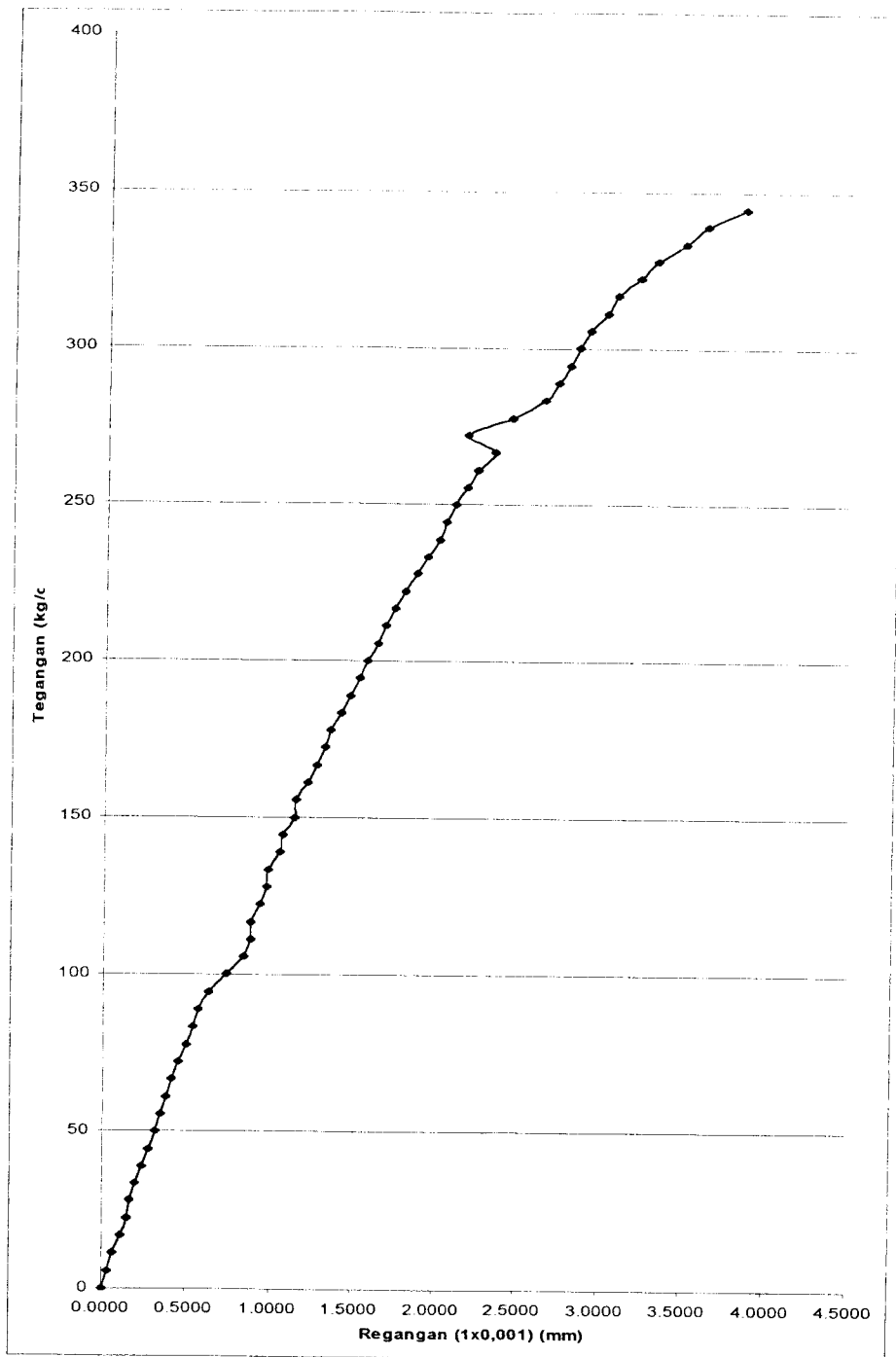
**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PRA-BAKAR S2-1**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $kg/cm^2$ )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0	0	0	0	0.066699415	0.0000
10	1000	15	5.6945	0.1000	0.0333
20	2000	20	11.3889	0.1333	0.0666
30	3000	27	17.0834	0.1800	0.1133
40	4000	35	22.7779	0.2333	0.1666
50	5000	50	28.4723	0.3333	0.2666
60	6000	53	34.1668	0.3533	0.2866
70	7000	53	39.8613	0.3533	0.2866
80	8000	55	45.5557	0.3667	0.3000
90	9000	60	51.2502	0.4000	0.3333
100	10000	68	56.9447	0.4533	0.3866
110	11000	75	62.6391	0.5000	0.4333
120	12000	80	68.3336	0.5333	0.4666
130	13000	87	74.0281	0.5800	0.5133
140	14000	113	79.7225	0.7533	0.6866
150	15000	120	85.4170	0.8000	0.7333
160	16000	130	91.1114	0.8667	0.8000
170	17000	135	96.8059	0.9000	0.8333
180	18000	140	102.5004	0.9333	0.8666
190	19000	144	108.1948	0.9600	0.8933
200	20000	144	113.8893	0.9600	0.8933
210	21000	144	119.5838	0.9600	0.8933
220	22000	155	125.2782	1.0333	0.9666
230	23000	163	130.9727	1.0867	1.0200
240	24000	170	136.6672	1.1333	1.0666
250	25000	178	142.3616	1.1867	1.1200
260	26000	185	148.0561	1.2333	1.1666
270	27000	190	153.7506	1.2667	1.2000
280	28000	196	159.4450	1.3067	1.2400
290	29000	200	165.1395	1.3333	1.2666
300	30000	206	170.8340	1.3733	1.3066
310	31000	214	176.5284	1.4267	1.3600
320	32000	221	182.2229	1.4733	1.4066
330	33000	228	187.9174	1.5200	1.4533
340	34000	235	193.6118	1.5667	1.5000
350	35000	244	199.3063	1.6267	1.5600
360	36000	251	205.0008	1.6733	1.6066
370	37000	259	210.6952	1.7267	1.6600
380	38000	268	216.3897	1.7867	1.7200
390	39000	277	222.0842	1.8467	1.7800
400	40000	285	227.7786	1.9000	1.8333



Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410	41000	291	233.4731	1.9400	1.8733
420	42000	300	239.1676	2.0000	1.9333
430	43000	310	244.8620	2.0667	2.0000
440	44000	318	250.5565	2.1200	2.0533
450	45000	328	256.2509	2.1867	2.1200
460	46000	335	261.9454	2.2333	2.1666
470	47000	343	267.6399	2.2867	2.2200
480	48000	350	273.3343	2.3333	2.2666
490	49000	360	279.0288	2.4000	2.3333
500	50000	368	284.7233	2.4533	2.3866
510	51000	380	290.4177	2.5333	2.4666
520	52000	390	296.1122	2.6000	2.5333
530	53000	400	301.8067	2.6667	2.6000
540	54000	411	307.5011	2.7400	2.6733
550	55000	424	313.1956	2.8267	2.7600
560	56000	437	318.8901	2.9133	2.8466
570	57000	455	324.5845	3.0333	2.9666
580	58000	475	330.2790	3.1667	3.1000
590	59000	498	335.9735	3.3200	3.2533
600	60000	520	341.6679	3.4667	3.4000
610	61000	550	347.3624	3.6667	3.6000
620	62000	690	353.0569	4.6000	4.5333



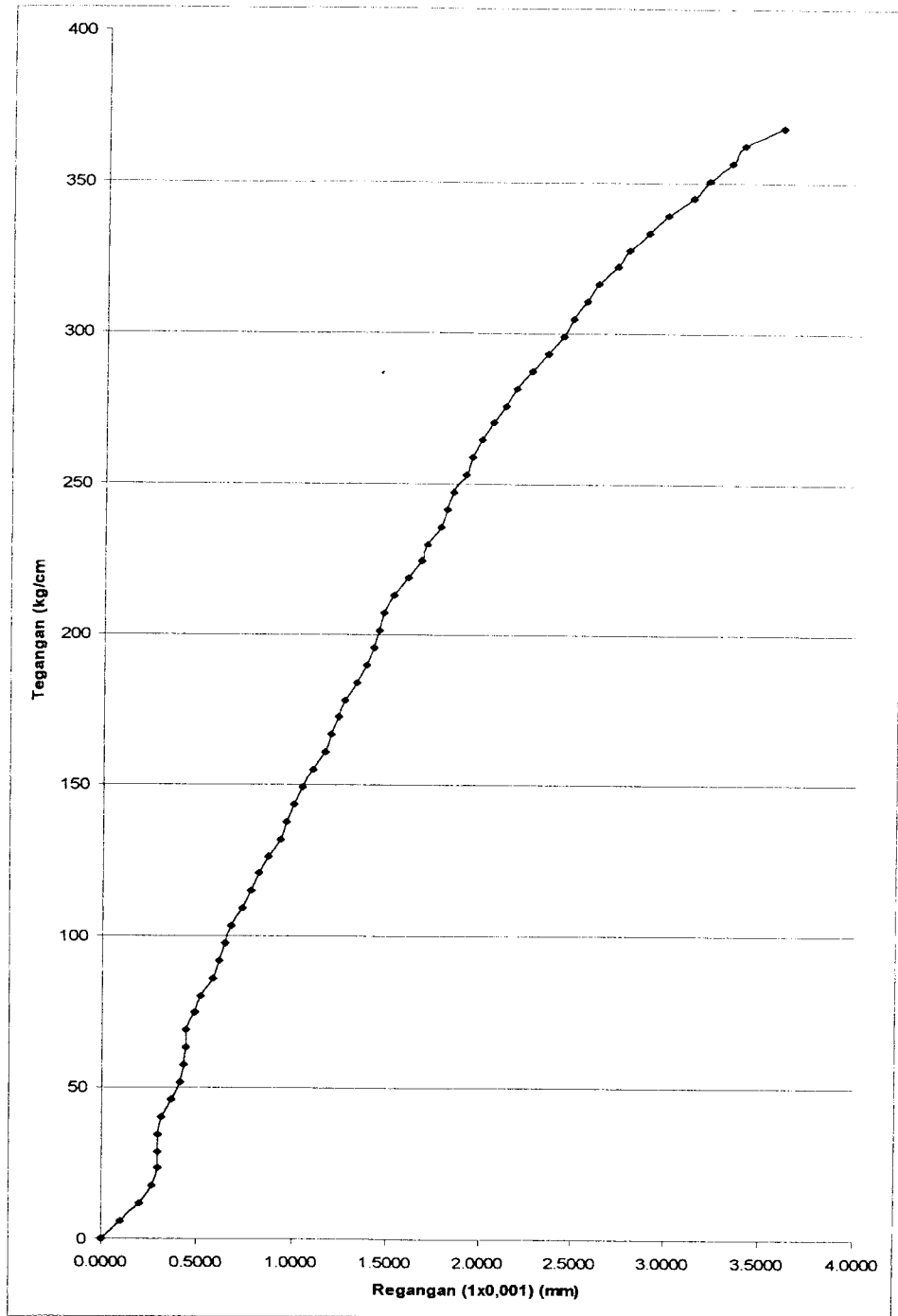
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pra-Bakar S3 – 5

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PRA-BAKAR S3-5**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
0	0	0	0	0.0334	0.0000
10	1000	10	5.5561	0.0667	0.0333
20	2000	15	11.1122	0.1000	0.0666
30	3000	21	16.6683	0.1400	0.1066
40	4000	27	22.2244	0.1800	0.1466
50	5000	30	27.7805	0.2000	0.1666
60	6000	35	33.3366	0.2333	0.1999
70	7000	40	38.8927	0.2667	0.2333
80	8000	46	44.4488	0.3067	0.2733
90	9000	52	50.0050	0.3467	0.3133
100	10000	57	55.5611	0.3800	0.3466
110	11000	62	61.1172	0.4133	0.3799
120	12000	67	66.6733	0.4467	0.4133
130	13000	72	72.2294	0.4800	0.4466
140	14000	80	77.7855	0.5333	0.4999
150	15000	85	83.3416	0.5667	0.5333
160	16000	90	88.8977	0.6000	0.5666
170	17000	100	94.4538	0.6667	0.6333
180	18000	115	100.0099	0.7667	0.7333
190	19000	130	105.5660	0.8667	0.8333
200	20000	136	111.1221	0.9067	0.8733
210	21000	136	116.6782	0.9067	0.8733
220	22000	145	122.2343	0.9667	0.9333
230	23000	150	127.7904	1.0000	0.9666
240	24000	152	133.3465	1.0133	0.9799
250	25000	162	138.9026	1.0800	1.0466
260	26000	165	144.4587	1.1000	1.0666
270	27000	175	150.0149	1.1667	1.1333
280	28000	177	155.5710	1.1800	1.1466
290	29000	187	161.1271	1.2467	1.2133
300	30000	195	166.6832	1.3000	1.2666
310	31000	202	172.2393	1.3467	1.3133
320	32000	207	177.7954	1.3800	1.3466
330	33000	217	183.3515	1.4467	1.4133
340	34000	225	188.9076	1.5000	1.4666
350	35000	233	194.4637	1.5533	1.5199
360	36000	240	200.0198	1.6000	1.5666
370	37000	250	205.5759	1.6667	1.6333
380	38000	257	211.1320	1.7133	1.6799
390	39000	265	216.6881	1.7667	1.7333
400	40000	275	222.2442	1.8333	1.7999

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410	41000	285	227.8003	1.9000	1.8666
420	42000	295	233.3564	1.9667	1.9333
430	43000	305	238.9125	2.0333	1.9999
440	44000	311	244.4687	2.0733	2.0399
450	45000	320	250.0248	2.1333	2.0999
460	46000	330	255.5809	2.2000	2.1666
470	47000	340	261.1370	2.2667	2.2333
480	48000	355	266.6931	2.3667	2.3333
490	49000	330	272.2492	2.2000	2.1666
500	50000	370	277.8053	2.4667	2.4333
510	51000	400	283.3614	2.6667	2.6333
520	52000	412	288.9175	2.7467	2.7133
530	53000	422	294.4736	2.8133	2.7799
540	54000	430	300.0297	2.8667	2.8333
550	55000	440	305.5858	2.9333	2.8999
560	56000	455	311.1419	3.0333	2.9999
570	57000	465	316.6980	3.1000	3.0666
580	58000	485	322.2541	3.2333	3.1999
590	59000	500	327.8102	3.3333	3.2999
600	60000	525	333.3663	3.5000	3.4666
610	61000	545	338.9224	3.6333	3.5999
620	62000	580	344.4786	3.8667	3.8333



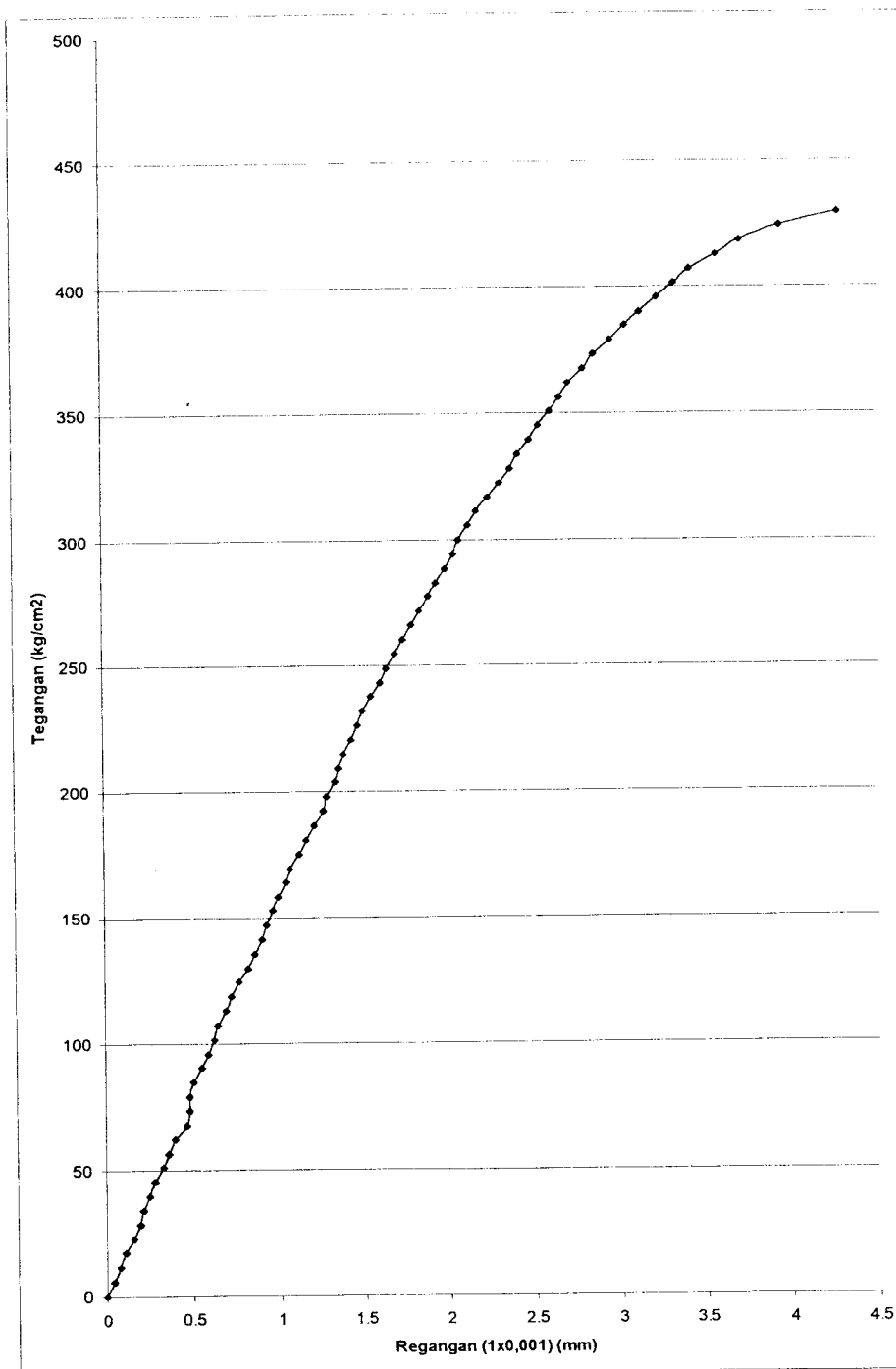
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pra-Bakar S4 – 3

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PRA-BAKAR S4-3**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0	0	0	0	0.0333	0.0000
10	1000	20	5.7482	0.1333	0.1000
20	2000	35	11.4963	0.2333	0.2000
30	3000	45	17.2445	0.3000	0.2667
40	4000	50	22.9927	0.3333	0.3000
50	5000	50	28.7408	0.3333	0.3000
60	6000	50	34.4890	0.3333	0.3000
70	7000	53	40.2372	0.3533	0.3200
80	8000	60	45.9853	0.4000	0.3667
90	9000	67	51.7335	0.4467	0.4134
100	10000	70	57.4817	0.4667	0.4334
110	11000	72	63.2299	0.4800	0.4467
120	12000	72	68.9780	0.4800	0.4467
130	13000	78	74.7262	0.5200	0.4867
140	14000	83	80.4744	0.5533	0.5200
150	15000	92	86.2225	0.6133	0.5800
160	16000	97	91.9707	0.6467	0.6134
170	17000	102	97.7189	0.6800	0.6467
180	18000	107	103.4670	0.7133	0.6800
190	19000	115	109.2152	0.7667	0.7334
200	20000	122	114.9634	0.8133	0.7800
210	21000	128	120.7115	0.8533	0.8200
220	22000	135	126.4597	0.9000	0.8667
230	23000	145	132.2079	0.9667	0.9334
240	24000	150	137.9560	1.0000	0.9667
250	25000	155	143.7042	1.0333	1.0000
260	26000	162	149.4524	1.0800	1.0467
270	27000	170	155.2005	1.1333	1.1000
280	28000	180	160.9487	1.2000	1.1667
290	29000	185	166.6969	1.2333	1.2000
300	30000	190	172.4451	1.2667	1.2334
310	31000	195	178.1932	1.3000	1.2667
320	32000	205	183.9414	1.3667	1.3334
330	33000	212	189.6896	1.4133	1.3800
340	34000	218	195.4377	1.4533	1.4200
350	35000	222	201.1859	1.4800	1.4467
360	36000	226	206.9341	1.5067	1.4734
370	37000	233	212.6822	1.5533	1.5200
380	38000	245	218.4304	1.6333	1.6000
390	39000	255	224.1786	1.7000	1.6667
400	40000	260	229.9267	1.7333	1.7000

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410	41000	270	235.6749	1.8000	1.7667
420	42000	275	241.4231	1.8333	1.8000
430	43000	280	247.1712	1.8667	1.8334
440	44000	290	252.9194	1.9333	1.9000
450	45000	295	258.6676	1.9667	1.9334
460	46000	303	264.4157	2.0200	1.9867
470	47000	312	270.1639	2.0800	2.0467
480	48000	322	275.9121	2.1467	2.1134
490	49000	330	281.6603	2.2000	2.1667
500	50000	343	287.4084	2.2867	2.2534
510	51000	355	293.1566	2.3667	2.3334
520	52000	367	298.9048	2.4467	2.4134
530	53000	375	304.6529	2.5000	2.4667
540	54000	385	310.4011	2.5667	2.5334
550	55000	395	316.1493	2.6333	2.6000
560	56000	410	321.8974	2.7333	2.7000
570	57000	420	327.6456	2.8000	2.7667
580	58000	435	333.3938	2.9000	2.8667
590	59000	450	339.1419	3.0000	2.9667
600	60000	470	344.8901	3.1333	3.1000
610	61000	482	350.6383	3.2133	3.1800
620	62000	500	356.3864	3.3333	3.3000
630	63000	510	362.1346	3.4000	3.3667
640	64000	540	367.8828	3.6000	3.5667



Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pra-Bakar S5 – 2

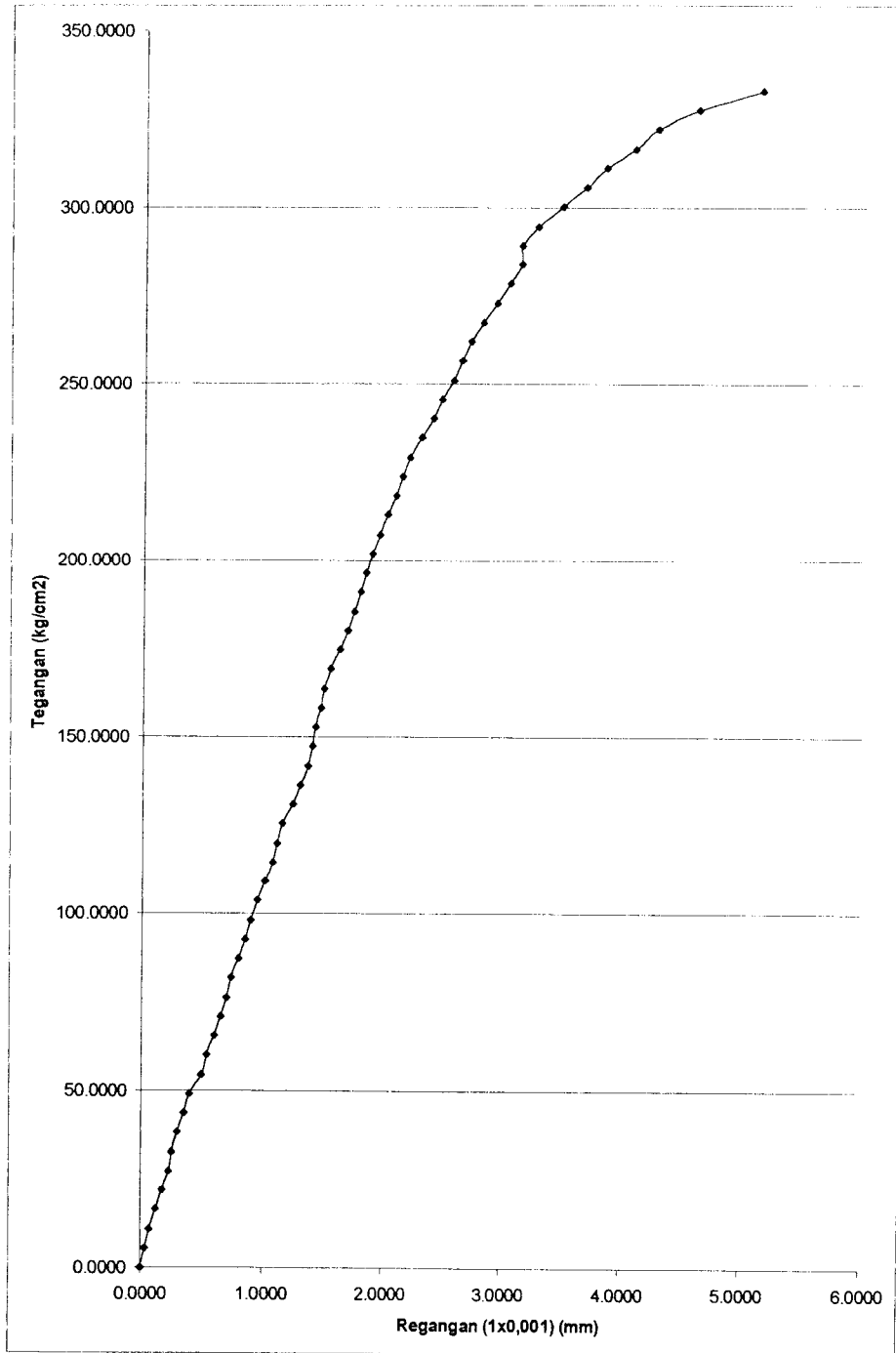


**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PRA-BAKAR S5-2**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0	0	0	0	0.006699293	0
10	1000	7	5.6566	0.0467	0.0400
20	2000	13	11.3131	0.0867	0.0800
30	3000	17	16.9697	0.1133	0.1066
40	4000	25	22.6263	0.1667	0.1600
50	5000	30	28.2828	0.2000	0.1933
60	6000	33	33.9394	0.2200	0.2133
70	7000	38	39.5960	0.2533	0.2466
80	8000	43	45.2525	0.2867	0.2800
90	9000	50	50.9091	0.3333	0.3266
100	10000	55	56.5657	0.3667	0.3600
110	11000	60	62.2222	0.4000	0.3933
120	12000	70	67.8788	0.4667	0.4600
130	13000	73	73.5354	0.4867	0.4800
140	14000	73	79.1919	0.4867	0.4800
150	15000	77	84.8485	0.5133	0.5066
160	16000	84	90.5051	0.5600	0.5533
170	17000	90	96.1616	0.6000	0.5933
180	18000	95	101.8182	0.6333	0.6266
190	19000	98	107.4747	0.6533	0.6466
200	20000	105	113.1313	0.7000	0.6933
210	21000	110	118.7879	0.7333	0.7266
220	22000	116	124.4444	0.7733	0.7666
230	23000	124	130.1010	0.8267	0.8200
240	24000	130	135.7576	0.8667	0.8600
250	25000	136	141.4141	0.9067	0.9000
260	26000	140	147.0707	0.9333	0.9266
270	27000	145	152.7273	0.9667	0.9600
280	28000	150	158.3838	1.0000	0.9933
290	29000	156	164.0404	1.0400	1.0333
300	30000	160	169.6970	1.0667	1.0600
310	31000	168	175.3535	1.1200	1.1133
320	32000	175	181.0101	1.1667	1.1600
330	33000	182	186.6667	1.2133	1.2066
340	34000	190	192.3232	1.2667	1.2600
350	35000	193	197.9798	1.2867	1.2800
360	36000	200	203.6364	1.3333	1.3266
370	37000	203	209.2929	1.3533	1.3466
380	38000	207	214.9495	1.3800	1.3733
390	39000	215	220.6061	1.4333	1.4266
400	40000	220	226.2626	1.4667	1.4600

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410	41000	225	231.9192	1.5000	1.4933
420	42000	232	237.5758	1.5467	1.5400
430	43000	240	243.2323	1.6000	1.5933
440	44000	246	248.8889	1.6400	1.6333
450	45000	253	254.5455	1.6867	1.6800
460	46000	260	260.2020	1.7333	1.7266
470	47000	268	265.8586	1.7867	1.7800
480	48000	275	271.5152	1.8333	1.8266
490	49000	283	277.1717	1.8867	1.8800
500	50000	290	282.8283	1.9333	1.9266
510	51000	298	288.4848	1.9867	1.9800
520	52000	305	294.1414	2.0333	2.0266
530	53000	310	299.7980	2.0667	2.0600
540	54000	318	305.4545	2.1200	2.1133
550	55000	325	311.1111	2.1667	2.1600
560	56000	335	316.7677	2.2333	2.2266
570	57000	345	322.4242	2.3000	2.2933
580	58000	355	328.0808	2.3667	2.3600
590	59000	362	333.7374	2.4133	2.4066
600	60000	372	339.3939	2.4800	2.4733
610	61000	380	345.0505	2.5333	2.5266
620	62000	390	350.7071	2.6000	2.5933
630	63000	398	356.3636	2.6533	2.6466
640	64000	406	362.0202	2.7067	2.7000
650	65000	418	367.6768	2.7867	2.7800
660	66000	428	373.3333	2.8533	2.8466
670	67000	442	378.9899	2.9467	2.9400
680	68000	455	384.6465	3.0333	3.0266
690	69000	468	390.3030	3.1200	3.1133
700	70000	483	395.9596	3.2200	3.2133
710	71000	498	401.6162	3.3200	3.3133
720	72000	512	407.2727	3.4133	3.4066
730	73000	535	412.9293	3.5667	3.5600
740	74000	555	418.5859	3.7000	3.6933
750	75000	590	424.2424	3.9333	3.9266
760	76000	640	429.8990	4.2667	4.2600



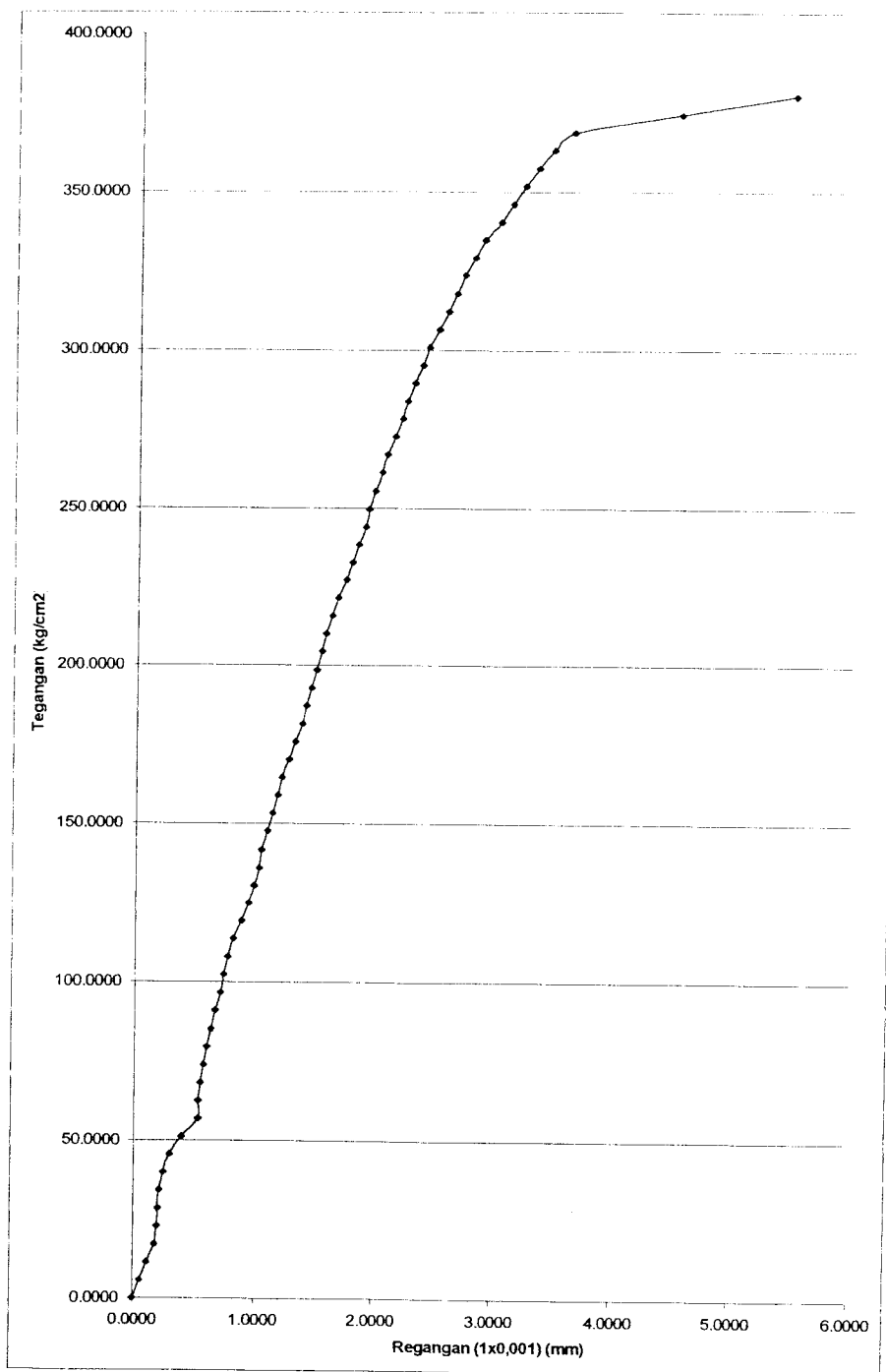
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pasca-Bakar SBI – 2

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PASCA-BAKAR SB 1-2**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0667	0.0000
10.0000	1000.0000	15.0000	5.4583	0.1000	0.0333
20.0000	2000.0000	20.0000	10.9166	0.1333	0.0666
30.0000	3000.0000	28.0000	16.3749	0.1867	0.1200
40.0000	4000.0000	37.0000	21.8332	0.2467	0.1800
50.0000	5000.0000	45.0000	27.2915	0.3000	0.2333
60.0000	6000.0000	48.0000	32.7498	0.3200	0.2533
70.0000	7000.0000	55.0000	38.2081	0.3667	0.3000
80.0000	8000.0000	63.0000	43.6664	0.4200	0.3533
90.0000	9000.0000	70.0000	49.1247	0.4667	0.4000
100.0000	10000.0000	85.0000	54.5830	0.5667	0.5000
110.0000	11000.0000	91.0000	60.0413	0.6067	0.5400
120.0000	12000.0000	100.0000	65.4996	0.6667	0.6000
130.0000	13000.0000	108.0000	70.9579	0.7200	0.6533
140.0000	14000.0000	115.0000	76.4162	0.7667	0.7000
150.0000	15000.0000	120.0000	81.8745	0.8000	0.7333
160.0000	16000.0000	130.0000	87.3328	0.8667	0.8000
170.0000	17000.0000	138.0000	92.7911	0.9200	0.8533
180.0000	18000.0000	144.0000	98.2494	0.9600	0.8933
190.0000	19000.0000	152.0000	103.7077	1.0133	0.9466
200.0000	20000.0000	161.0000	109.1660	1.0733	1.0066
210.0000	21000.0000	170.0000	114.6243	1.1333	1.0666
220.0000	22000.0000	176.0000	120.0826	1.1733	1.1066
230.0000	23000.0000	182.0000	125.5409	1.2133	1.1466
240.0000	24000.0000	196.0000	130.9992	1.3067	1.2400
250.0000	25000.0000	205.0000	136.4575	1.3667	1.3000
260.0000	26000.0000	215.0000	141.9158	1.4333	1.3666
270.0000	27000.0000	220.0000	147.3741	1.4667	1.4000
280.0000	28000.0000	224.0000	152.8324	1.4933	1.4266
290.0000	29000.0000	230.0000	158.2907	1.5333	1.4666
300.0000	30000.0000	235.0000	163.7490	1.5667	1.5000
310.0000	31000.0000	242.0000	169.2073	1.6133	1.5466
320.0000	32000.0000	254.0000	174.6655	1.6933	1.6266
330.0000	33000.0000	264.0000	180.1238	1.7600	1.6933
340.0000	34000.0000	272.0000	185.5821	1.8133	1.7466
350.0000	35000.0000	280.0000	191.0404	1.8667	1.8000
360.0000	36000.0000	286.0000	196.4987	1.9067	1.8400
370.0000	37000.0000	294.0000	201.9570	1.9600	1.8933
380.0000	38000.0000	304.0000	207.4153	2.0267	1.9600
390.0000	39000.0000	312.0000	212.8736	2.0800	2.0133
400.0000	40000.0000	323.0000	218.3319	2.1533	2.0866

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410.0000	41000.0000	331.0000	223.7902	2.2067	2.1400
420.0000	42000.0000	341.0000	229.2485	2.2733	2.2066
430.0000	43000.0000	355.0000	234.7068	2.3667	2.3000
440.0000	44000.0000	370.0000	240.1651	2.4667	2.4000
450.0000	45000.0000	380.0000	245.6234	2.5333	2.4666
460.0000	46000.0000	395.0000	251.0817	2.6333	2.5666
470.0000	47000.0000	405.0000	256.5400	2.7000	2.6333
480.0000	48000.0000	416.0000	261.9983	2.7733	2.7066
490.0000	49000.0000	432.0000	267.4566	2.8800	2.8133
500.0000	50000.0000	450.0000	272.9149	3.0000	2.9333
510.0000	51000.0000	465.0000	278.3732	3.1000	3.0333
520.0000	52000.0000	480.0000	283.8315	3.2000	3.1333
530.0000	53000.0000	480.0000	289.2898	3.2000	3.1333
540.0000	54000.0000	500.0000	294.7481	3.3333	3.2666
550.0000	55000.0000	530.0000	300.2064	3.5333	3.4666
560.0000	56000.0000	560.0000	305.6647	3.7333	3.6666
570.0000	57000.0000	585.0000	311.1230	3.9000	3.8333
580.0000	58000.0000	620.0000	316.5813	4.1333	4.0666
590.0000	59000.0000	650.0000	322.0396	4.3333	4.2666
600.0000	60000.0000	700.0000	327.4979	4.6667	4.6000
610.0000	61000.0000	780.0000	332.9562	5.2000	5.1333



Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pasca-Bakar SB2 – 1

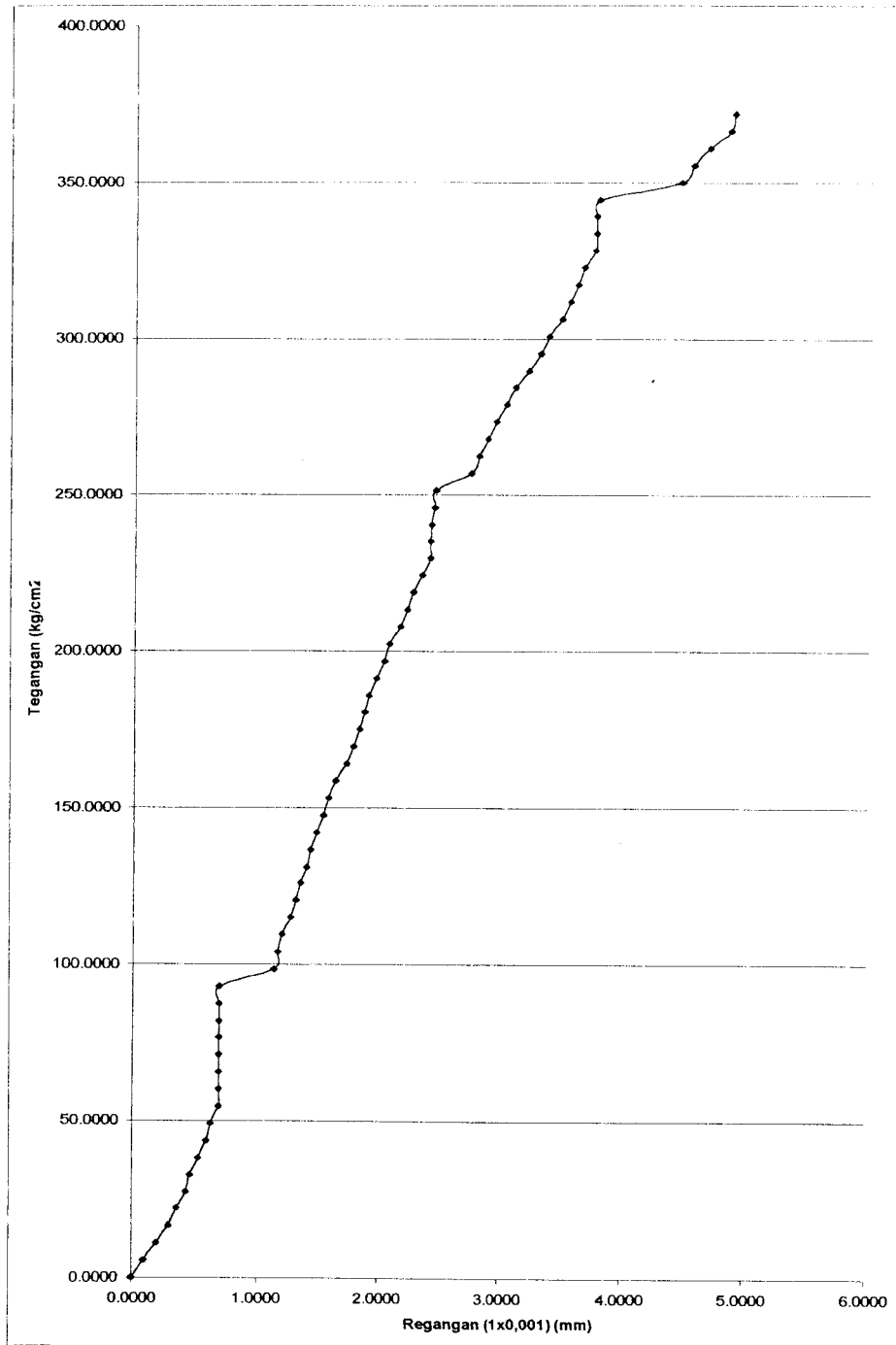
**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PASCA-BAKAR SB 2-1**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $kg/cm^2$ )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0333	0.0000
10.0000	1000.0000	14.0000	5.6755	0.0933	0.0600
20.0000	2000.0000	23.0000	11.3509	0.1533	0.1200
30.0000	3000.0000	32.0000	17.0264	0.2133	0.1800
40.0000	4000.0000	35.0000	22.7019	0.2333	0.2000
50.0000	5000.0000	36.0000	28.3773	0.2400	0.2067
60.0000	6000.0000	37.0000	34.0528	0.2467	0.2134
70.0000	7000.0000	42.0000	39.7283	0.2800	0.2467
80.0000	8000.0000	50.0000	45.4037	0.3333	0.3000
90.0000	9000.0000	65.0000	51.0792	0.4333	0.4000
100.0000	10000.0000	85.0000	56.7547	0.5667	0.5334
110.0000	11000.0000	85.0000	62.4301	0.5667	0.5334
120.0000	12000.0000	88.0000	68.1056	0.5867	0.5534
130.0000	13000.0000	91.0000	73.7811	0.6067	0.5734
140.0000	14000.0000	95.0000	79.4566	0.6333	0.6000
150.0000	15000.0000	100.0000	85.1320	0.6667	0.6334
160.0000	16000.0000	105.0000	90.8075	0.7000	0.6667
170.0000	17000.0000	111.0000	96.4830	0.7400	0.7067
180.0000	18000.0000	115.0000	102.1584	0.7667	0.7334
190.0000	19000.0000	120.0000	107.8339	0.8000	0.7667
200.0000	20000.0000	126.0000	113.5094	0.8400	0.8067
210.0000	21000.0000	136.0000	119.1848	0.9067	0.8734
220.0000	22000.0000	145.0000	124.8603	0.9667	0.9334
230.0000	23000.0000	152.0000	130.5358	1.0133	0.9800
240.0000	24000.0000	158.0000	136.2112	1.0533	1.0200
250.0000	25000.0000	161.0000	141.8867	1.0733	1.0400
260.0000	26000.0000	168.0000	147.5622	1.1200	1.0867
270.0000	27000.0000	174.0000	153.2376	1.1600	1.1267
280.0000	28000.0000	180.0000	158.9131	1.2000	1.1667
290.0000	29000.0000	186.0000	164.5886	1.2400	1.2067
300.0000	30000.0000	194.0000	170.2640	1.2933	1.2600
310.0000	31000.0000	202.0000	175.9395	1.3467	1.3134
320.0000	32000.0000	210.0000	181.6150	1.4000	1.3667
330.0000	33000.0000	215.0000	187.2904	1.4333	1.4000
340.0000	34000.0000	222.0000	192.9659	1.4800	1.4467
350.0000	35000.0000	228.0000	198.6414	1.5200	1.4867
360.0000	36000.0000	235.0000	204.3169	1.5667	1.5334
370.0000	37000.0000	240.0000	209.9923	1.6000	1.5667
380.0000	38000.0000	247.0000	215.6678	1.6467	1.6134
390.0000	39000.0000	255.0000	221.3433	1.7000	1.6667
400.0000	40000.0000	265.0000	227.0187	1.7667	1.7334

Lnajutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
410.0000	41000.0000	272.0000	232.6942	1.8133	1.7800
420.0000	42000.0000	280.0000	238.3697	1.8667	1.8334
430.0000	43000.0000	288.0000	244.0451	1.9200	1.8867
440.0000	44000.0000	292.0000	249.7206	1.9467	1.9134
450.0000	45000.0000	300.0000	255.3961	2.0000	1.9667
460.0000	46000.0000	308.0000	261.0715	2.0533	2.0200
470.0000	47000.0000	315.0000	266.7470	2.1000	2.0667
480.0000	48000.0000	325.0000	272.4225	2.1667	2.1334
490.0000	49000.0000	334.0000	278.0979	2.2267	2.1934
500.0000	50000.0000	340.0000	283.7734	2.2667	2.2334
510.0000	51000.0000	348.0000	289.4489	2.3200	2.2867
520.0000	52000.0000	358.0000	295.1243	2.3867	2.3534
530.0000	53000.0000	366.0000	300.7998	2.4400	2.4067
540.0000	54000.0000	378.0000	306.4753	2.5200	2.4867
550.0000	55000.0000	390.0000	312.1507	2.6000	2.5667
560.0000	56000.0000	400.0000	317.8262	2.6667	2.6334
570.0000	57000.0000	410.0000	323.5017	2.7333	2.7000
580.0000	58000.0000	422.0000	329.1772	2.8133	2.7800
590.0000	59000.0000	435.0000	334.8526	2.9000	2.8667
600.0000	60000.0000	455.0000	340.5281	3.0333	3.0000
610.0000	61000.0000	470.0000	346.2036	3.1333	3.1000
620.0000	62000.0000	485.0000	351.8790	3.2333	3.2000
630.0000	63000.0000	502.0000	357.5545	3.3467	3.3134
640.0000	64000.0000	520.0000	363.2300	3.4667	3.4334
650.0000	65000.0000	545.0000	368.9054	3.6333	3.6000
660.0000	66000.0000	680.0000	374.5809	4.5333	4.5000
670.0000	67000.0000	825.0000	380.2564	5.5000	5.4667





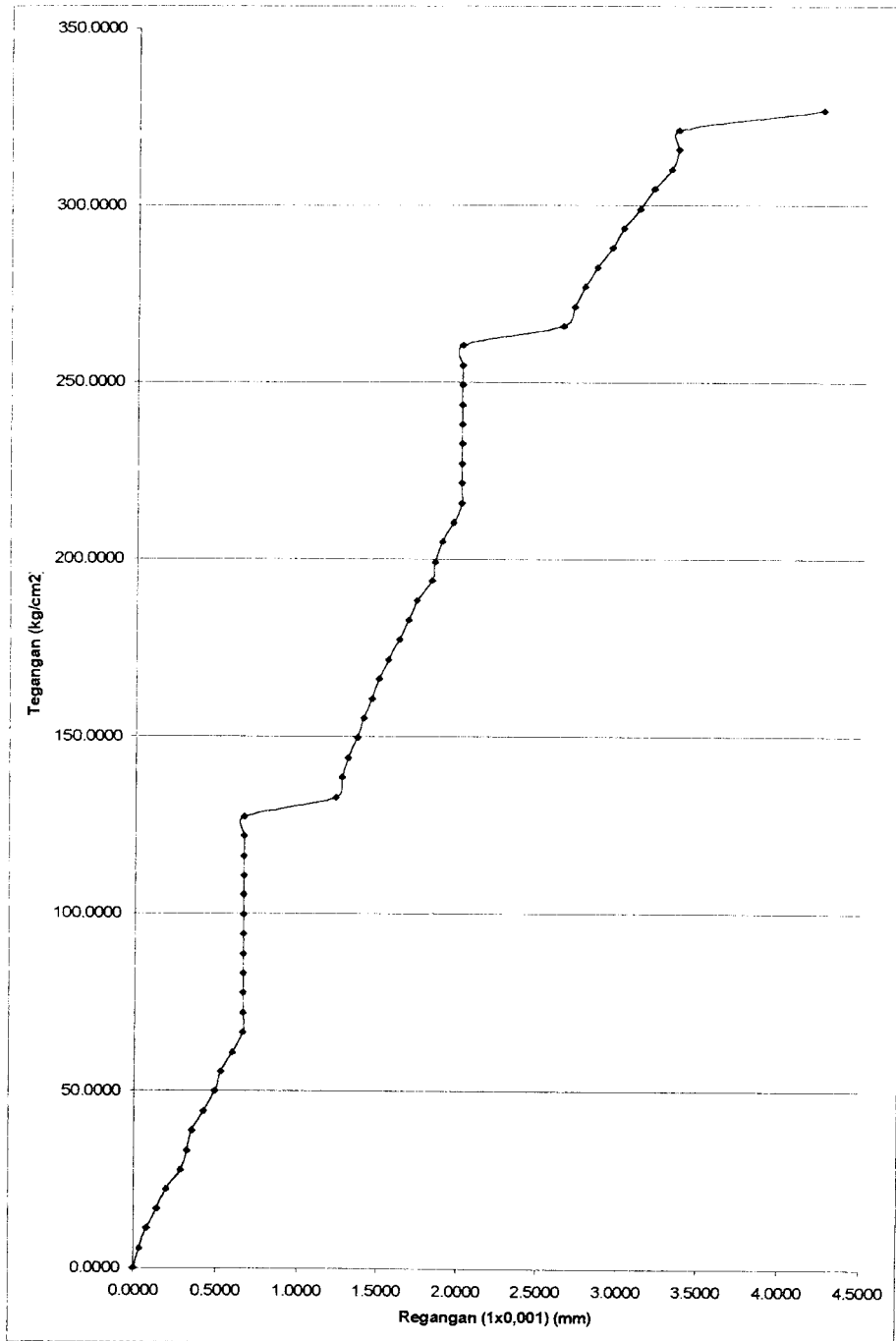
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pasca-Bakar SB3 – 5

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PASCA-BAKAR SB 3-5**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10.0000	1000.0000	15.0000	5.4690	0.1000	0.1000
20.0000	2000.0000	30.0000	10.9381	0.2000	0.2000
30.0000	3000.0000	45.0000	16.4071	0.3000	0.3000
40.0000	4000.0000	55.0000	21.8762	0.3667	0.3667
50.0000	5000.0000	65.0000	27.3452	0.4333	0.4333
60.0000	6000.0000	70.0000	32.8142	0.4667	0.4667
70.0000	7000.0000	80.0000	38.2833	0.5333	0.5333
80.0000	8000.0000	90.0000	43.7523	0.6000	0.6000
90.0000	9000.0000	95.0000	49.2213	0.6333	0.6333
100.0000	10000.0000	104.0000	54.6904	0.6933	0.6933
110.0000	11000.0000	104.0000	60.1594	0.6933	0.6933
120.0000	12000.0000	104.0000	65.6285	0.6933	0.6933
130.0000	13000.0000	104.0000	71.0975	0.6933	0.6933
140.0000	14000.0000	104.0000	76.5665	0.6933	0.6933
150.0000	15000.0000	104.0000	82.0356	0.6933	0.6933
160.0000	16000.0000	104.0000	87.5046	0.6933	0.6933
170.0000	17000.0000	104.0000	92.9736	0.6933	0.6933
180.0000	18000.0000	170.0000	98.4427	1.1333	1.1333
190.0000	19000.0000	175.0000	103.9117	1.1667	1.1667
200.0000	20000.0000	180.0000	109.3808	1.2000	1.2000
210.0000	21000.0000	190.0000	114.8498	1.2667	1.2667
220.0000	22000.0000	196.0000	120.3188	1.3067	1.3067
230.0000	23000.0000	203.0000	125.7879	1.3533	1.3533
240.0000	24000.0000	210.0000	131.2569	1.4000	1.4000
250.0000	25000.0000	215.0000	136.7259	1.4333	1.4333
260.0000	26000.0000	222.0000	142.1950	1.4800	1.4800
270.0000	27000.0000	230.0000	147.6640	1.5333	1.5333
280.0000	28000.0000	236.0000	153.1331	1.5733	1.5733
290.0000	29000.0000	245.0000	158.6021	1.6333	1.6333
300.0000	30000.0000	258.0000	164.0711	1.7200	1.7200
310.0000	31000.0000	267.0000	169.5402	1.7800	1.7800
320.0000	32000.0000	274.0000	175.0092	1.8267	1.8267
330.0000	33000.0000	280.0000	180.4782	1.8667	1.8667
340.0000	34000.0000	285.0000	185.9473	1.9000	1.9000
350.0000	35000.0000	295.0000	191.4163	1.9667	1.9667
360.0000	36000.0000	305.0000	196.8854	2.0333	2.0333
370.0000	37000.0000	310.0000	202.3544	2.0667	2.0667
380.0000	38000.0000	324.0000	207.8234	2.1600	2.1600
390.0000	39000.0000	332.0000	213.2925	2.2133	2.2133
400.0000	40000.0000	340.0000	218.7615	2.2667	2.2667

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\varepsilon$ koreksi
410.0000	41000.0000	350.0000	224.2306	2.3333	2.3333
420.0000	42000.0000	360.0000	229.6996	2.4000	2.4000
430.0000	43000.0000	360.0000	235.1686	2.4000	2.4000
440.0000	44000.0000	361.0000	240.6377	2.4067	2.4067
450.0000	45000.0000	365.0000	246.1067	2.4333	2.4333
460.0000	46000.0000	366.0000	251.5757	2.4400	2.4400
470.0000	47000.0000	410.0000	257.0448	2.7333	2.7333
480.0000	48000.0000	420.0000	262.5138	2.8000	2.8000
490.0000	49000.0000	430.0000	267.9829	2.8667	2.8667
500.0000	50000.0000	442.0000	273.4519	2.9467	2.9467
510.0000	51000.0000	454.0000	278.9209	3.0267	3.0267
520.0000	52000.0000	465.0000	284.3900	3.1000	3.1000
530.0000	53000.0000	480.0000	289.8590	3.2000	3.2000
540.0000	54000.0000	495.0000	295.3280	3.3000	3.3000
550.0000	55000.0000	505.0000	300.7971	3.3667	3.3667
560.0000	56000.0000	520.0000	306.2661	3.4667	3.4667
570.0000	57000.0000	530.0000	311.7352	3.5333	3.5333
580.0000	58000.0000	540.0000	317.2042	3.6000	3.6000
590.0000	59000.0000	547.0000	322.6732	3.6467	3.6467
600.0000	60000.0000	560.0000	328.1423	3.7333	3.7333
610.0000	61000.0000	561.0000	333.6113	3.7400	3.7400
620.0000	62000.0000	561.0000	339.0803	3.7400	3.7400
630.0000	63000.0000	565.0000	344.5494	3.7667	3.7667
640.0000	64000.0000	666.0000	350.0184	4.4400	4.4400
650.0000	65000.0000	680.0000	355.4875	4.5333	4.5333
660.0000	66000.0000	700.0000	360.9565	4.6667	4.6667
670.0000	67000.0000	725.0000	366.4255	4.8333	4.8333
680.0000	68000.0000	730.0000	371.8946	4.8667	4.8667



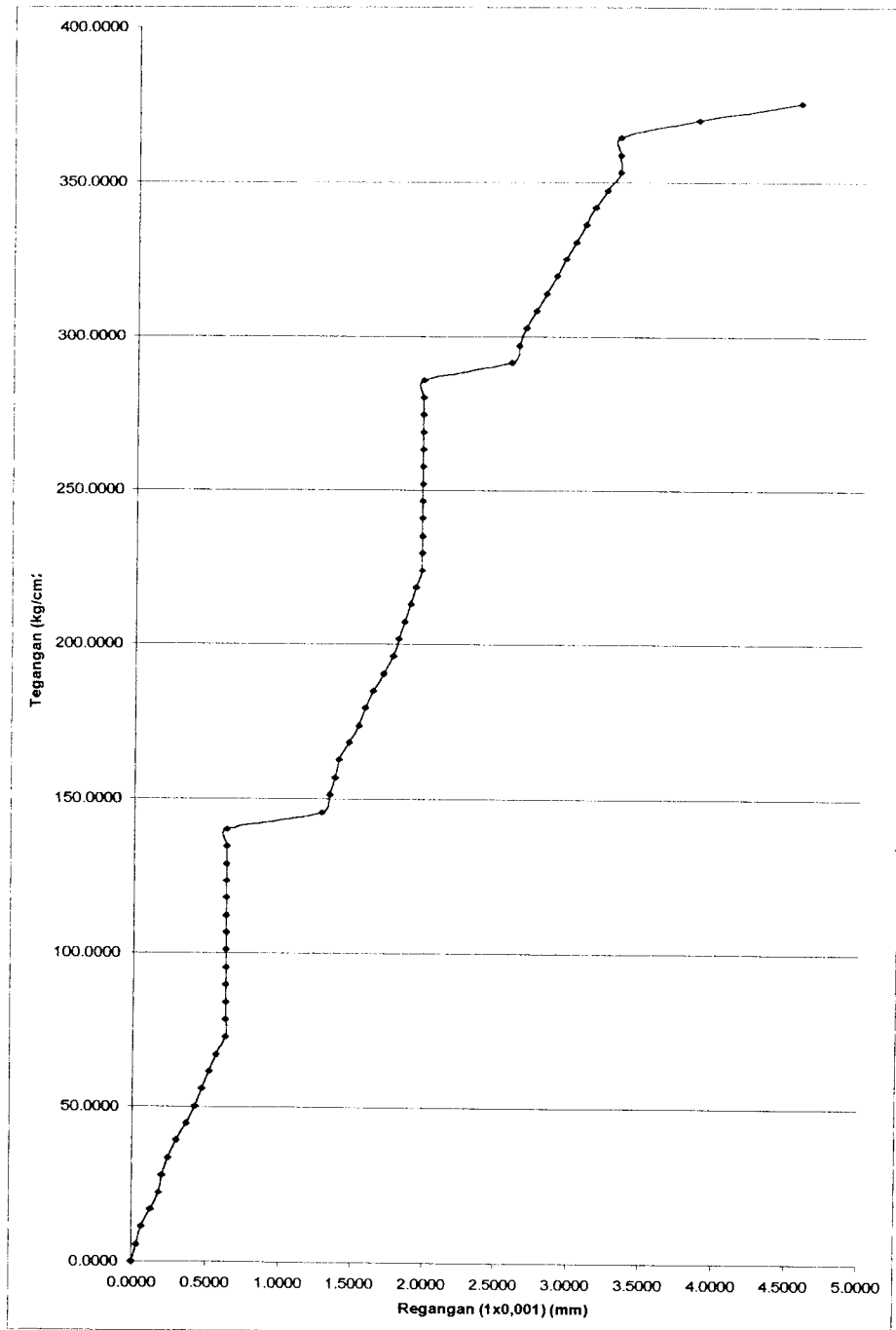
Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pasca-Bakar SB4 – 3

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PASCA-BAKAR SB 4-3**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $kg/cm^2$ )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0400	0.0000
10.0000	1000.0000	12.0000	5.5378	0.0800	0.0400
20.0000	2000.0000	18.0000	11.0756	0.1200	0.0800
30.0000	3000.0000	28.0000	16.6134	0.1867	0.1467
40.0000	4000.0000	36.0000	22.1512	0.2400	0.2000
50.0000	5000.0000	49.0000	27.6890	0.3267	0.2867
60.0000	6000.0000	55.0000	33.2268	0.3667	0.3267
70.0000	7000.0000	60.0000	38.7646	0.4000	0.3600
80.0000	8000.0000	70.0000	44.3024	0.4667	0.4267
90.0000	9000.0000	80.0000	49.8402	0.5333	0.4933
100.0000	10000.0000	86.0000	55.3780	0.5733	0.5333
110.0000	11000.0000	96.0000	60.9158	0.6400	0.6000
120.0000	12000.0000	106.0000	66.4536	0.7067	0.6667
130.0000	13000.0000	106.0000	71.9913	0.7067	0.6667
140.0000	14000.0000	106.0000	77.5291	0.7067	0.6667
150.0000	15000.0000	106.0000	83.0669	0.7067	0.6667
160.0000	16000.0000	106.0000	88.6047	0.7067	0.6667
170.0000	17000.0000	106.0000	94.1425	0.7067	0.6667
180.0000	18000.0000	106.0000	99.6803	0.7067	0.6667
190.0000	19000.0000	106.0000	105.2181	0.7067	0.6667
200.0000	20000.0000	106.0000	110.7559	0.7067	0.6667
210.0000	21000.0000	106.0000	116.2937	0.7067	0.6667
220.0000	22000.0000	106.0000	121.8315	0.7067	0.6667
230.0000	23000.0000	106.0000	127.3693	0.7067	0.6667
240.0000	24000.0000	190.0000	132.9071	1.2667	1.2267
250.0000	25000.0000	196.0000	138.4449	1.3067	1.2667
260.0000	26000.0000	202.0000	143.9827	1.3467	1.3067
270.0000	27000.0000	210.0000	149.5205	1.4000	1.3600
280.0000	28000.0000	216.0000	155.0583	1.4400	1.4000
290.0000	29000.0000	223.0000	160.5961	1.4867	1.4467
300.0000	30000.0000	230.0000	166.1339	1.5333	1.4933
310.0000	31000.0000	238.0000	171.6717	1.5867	1.5467
320.0000	32000.0000	249.0000	177.2095	1.6600	1.6200
330.0000	33000.0000	257.0000	182.7473	1.7133	1.6733
340.0000	34000.0000	265.0000	188.2851	1.7667	1.7267
350.0000	35000.0000	279.0000	193.8229	1.8600	1.8200
360.0000	36000.0000	281.0000	199.3607	1.8733	1.8333
370.0000	37000.0000	288.0000	204.8984	1.9200	1.8800
380.0000	38000.0000	298.0000	210.4362	1.9867	1.9467
390.0000	39000.0000	306.0000	215.9740	2.0400	2.0000
400.0000	40000.0000	306.0000	221.5118	2.0400	2.0000

Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon = \Delta L/L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
410.0000	41000.0000	306.0000	227.0496	2.0400	2.0000
420.0000	42000.0000	306.0000	232.5874	2.0400	2.0000
430.0000	43000.0000	306.0000	238.1252	2.0400	2.0000
440.0000	44000.0000	306.0000	243.6630	2.0400	2.0000
450.0000	45000.0000	306.0000	249.2008	2.0400	2.0000
460.0000	46000.0000	306.0000	254.7386	2.0400	2.0000
470.0000	47000.0000	306.0000	260.2764	2.0400	2.0000
480.0000	48000.0000	400.0000	265.8142	2.6667	2.6267
490.0000	49000.0000	410.0000	271.3520	2.7333	2.6933
500.0000	50000.0000	420.0000	276.8898	2.8000	2.7600
510.0000	51000.0000	431.0000	282.4276	2.8733	2.8333
520.0000	52000.0000	445.0000	287.9654	2.9667	2.9267
530.0000	53000.0000	455.0000	293.5032	3.0333	2.9933
540.0000	54000.0000	470.0000	299.0410	3.1333	3.0933
550.0000	55000.0000	484.0000	304.5788	3.2267	3.1867
560.0000	56000.0000	500.0000	310.1166	3.3333	3.2933
570.0000	57000.0000	506.0000	315.6544	3.3733	3.3333
580.0000	58000.0000	506.0000	321.1922	3.3733	3.3333
590.0000	59000.0000	640.0000	326.7300	4.2667	4.2267



Grafik Tegangan Regangan Silinder Beton Pasca-Bakar SB5 – 2

**TABEL TEGANGAN REGANGAN  
SILINDER BETON PASCA-BAKAR SB 5-2**

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\epsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0667	0.0000
10.0000	1000.0000	15.0000	5.6041	0.1000	0.0333
20.0000	2000.0000	20.0000	11.2083	0.1333	0.0666
30.0000	3000.0000	30.0000	16.8124	0.2000	0.1333
40.0000	4000.0000	38.0000	22.4166	0.2533	0.1866
50.0000	5000.0000	41.0000	28.0207	0.2733	0.2066
60.0000	6000.0000	47.0000	33.6248	0.3133	0.2466
70.0000	7000.0000	55.0000	39.2290	0.3667	0.3000
80.0000	8000.0000	65.0000	44.8331	0.4333	0.3666
90.0000	9000.0000	74.0000	50.4372	0.4933	0.4266
100.0000	10000.0000	81.0000	56.0414	0.5400	0.4733
110.0000	11000.0000	88.0000	61.6455	0.5867	0.5200
120.0000	12000.0000	95.0000	67.2497	0.6333	0.5666
130.0000	13000.0000	105.0000	72.8538	0.7000	0.6333
140.0000	14000.0000	105.0000	78.4579	0.7000	0.6333
150.0000	15000.0000	105.0000	84.0621	0.7000	0.6333
160.0000	16000.0000	105.0000	89.6662	0.7000	0.6333
170.0000	17000.0000	105.0000	95.2704	0.7000	0.6333
180.0000	18000.0000	105.0000	100.8745	0.7000	0.6333
190.0000	19000.0000	105.0000	106.4786	0.7000	0.6333
200.0000	20000.0000	105.0000	112.0828	0.7000	0.6333
210.0000	21000.0000	105.0000	117.6869	0.7000	0.6333
220.0000	22000.0000	105.0000	123.2910	0.7000	0.6333
230.0000	23000.0000	105.0000	128.8952	0.7000	0.6333
240.0000	24000.0000	105.0000	134.4993	0.7000	0.6333
250.0000	25000.0000	105.0000	140.1035	0.7000	0.6333
260.0000	26000.0000	202.0000	145.7076	1.3467	1.2800
270.0000	27000.0000	210.0000	151.3117	1.4000	1.3333
280.0000	28000.0000	215.0000	156.9159	1.4333	1.3666
290.0000	29000.0000	220.0000	162.5200	1.4667	1.4000
300.0000	30000.0000	230.0000	168.1241	1.5333	1.4666
310.0000	31000.0000	240.0000	173.7283	1.6000	1.5333
320.0000	32000.0000	246.0000	179.3324	1.6400	1.5733
330.0000	33000.0000	255.0000	184.9366	1.7000	1.6333
340.0000	34000.0000	265.0000	190.5407	1.7667	1.7000
350.0000	35000.0000	275.0000	196.1448	1.8333	1.7666
360.0000	36000.0000	280.0000	201.7490	1.8667	1.8000
370.0000	37000.0000	286.0000	207.3531	1.9067	1.8400
380.0000	38000.0000	293.0000	212.9573	1.9533	1.8866



Lanjutan

Beban (KN)	Beban (Kg)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ mm)	$\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\epsilon = \Delta L / L_0$ ( $10^{-3}$ )	$\epsilon$ koreksi
390.0000	39000.0000	298.0000	218.5614	1.9867	1.9200
400.0000	40000.0000	304.0000	224.1655	2.0267	1.9600
410.0000	41000.0000	304.0000	229.7697	2.0267	1.9600
420.0000	42000.0000	304.0000	235.3738	2.0267	1.9600
430.0000	43000.0000	304.0000	240.9779	2.0267	1.9600
440.0000	44000.0000	304.0000	246.5821	2.0267	1.9600
450.0000	45000.0000	304.0000	252.1862	2.0267	1.9600
460.0000	46000.0000	304.0000	257.7904	2.0267	1.9600
470.0000	47000.0000	304.0000	263.3945	2.0267	1.9600
480.0000	48000.0000	304.0000	268.9986	2.0267	1.9600
490.0000	49000.0000	304.0000	274.6028	2.0267	1.9600
500.0000	50000.0000	304.0000	280.2069	2.0267	1.9600
510.0000	51000.0000	304.0000	285.8111	2.0267	1.9600
520.0000	52000.0000	395.0000	291.4152	2.6333	2.5666
530.0000	53000.0000	402.0000	297.0193	2.6800	2.6133
540.0000	54000.0000	410.0000	302.6235	2.7333	2.6666
550.0000	55000.0000	420.0000	308.2276	2.8000	2.7333
560.0000	56000.0000	430.0000	313.8317	2.8667	2.8000
570.0000	57000.0000	440.0000	319.4359	2.9333	2.8666
580.0000	58000.0000	450.0000	325.0400	3.0000	2.9333
590.0000	59000.0000	460.0000	330.6442	3.0667	3.0000
600.0000	60000.0000	470.0000	336.2483	3.1333	3.0666
610.0000	61000.0000	480.0000	341.8524	3.2000	3.1333
620.0000	62000.0000	492.0000	347.4566	3.2800	3.2133
630.0000	63000.0000	505.0000	353.0607	3.3667	3.3000
640.0000	64000.0000	505.0000	358.6649	3.3667	3.3000
650.0000	65000.0000	505.0000	364.2690	3.3667	3.3000
660.0000	66000.0000	585.0000	369.8731	3.9000	3.8333
670.0000	67000.0000	690.0000	375.4773	4.6000	4.5333

# **LAMPIRAN 10**

### Perhitungan Modulus Elastisitas

Dari 50 sampel yang diuji, penjabaran penghitungan modulus elastisitas diberikan salah satu yang mewakili.

- **Silinder S 1-2**

Pada tabel :

$$\sigma_{\max} = 340,6416 \text{ kg/cm}^2 \text{ sehingga } \sigma_{1/2 \max} = 170,3208 \text{ kg/cm}^2$$

Pada Grafik :

Angka koreksi : 0,0199

Nilai regangan koreksi = regangan - 0,0199

Dari  $\sigma_{1/2 \max}$  pada grafik regangan koreksi didapatkan nilai  $\varepsilon_{1/2} = 1,1633$

Nilai Modulus Elastisitas :

$$E = \frac{\sigma_{1/2 \max}}{\varepsilon_{1/2}} = \frac{170,3208}{1,1633 \cdot 10^{-3}} = 137,2973 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

### Perhitungan Modulus Elastis Sekan

- **Silinder S 1-2**

Pada Grafik :

- $\sigma_{35}$

$$\varepsilon_{35} = 0,1833 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{35}}{\varepsilon_{35}} = \frac{35}{0,1833 \cdot 10^{-3}} = 190,943 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

- $\sigma_{50}$

$$\varepsilon_{50} = 0,2694 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{50}}{\varepsilon_{50}} = \frac{50}{0,2694 \cdot 10^{-3}} = 185,597 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

- $\sigma_{75}$

$$\varepsilon_{75} = 0,6508 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{75}}{\varepsilon_{75}} = \frac{75}{0,6508 \cdot 10^{-3}} = 115,2428 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

- $\sigma_{100}$

$$\varepsilon_{100} = 0,6681 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{100}}{\varepsilon_{100}} = \frac{100}{0,6681 \cdot 10^{-3}} = 149,6782 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

- $\sigma_{125}$

$$\varepsilon_{125} = 0,8685 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{125}}{\varepsilon_{125}} = \frac{125}{0,8685 \cdot 10^{-3}} = 143,9263 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

- $\sigma_{150}$

$$\varepsilon_{150} = 1,0808 \quad ; \quad E = \frac{\sigma_{150}}{\varepsilon_{150}} = \frac{150}{1,0808 \cdot 10^{-3}} = 138,7861 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

## MODULUS ELASTISITAS BENDA UJI SILINDER BETON

Variasi (%)	Kode Silinder	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas		
			$\sigma_{1/2 \text{ max}}$	$\epsilon$	E (kg/cm <sup>2</sup> )
0	S1-1	319.4359	159.7179	1.1633	137297.2940
	S1-2	340.6416	170.3208	1.2468	136606.3684
	S1-3	360.0971	180.0486	1.2933	139216.3935
	S1-4	329.8376	164.9188	1.5732	104830.1540
	S1-5	387.1992	193.5996	1.5056	128586.3580
					129307.3136
	SB1-1	331.7439	165.8720	1.2400	133767.7115
	SB1-2	332.9562	166.4781	1.5233	109287.7975
	SB1-3	392.9181	196.4591	1.4599	134570.2167
	SB1-4	371.6303	185.8151	1.4633	126983.6168
	SB1-5	359.9567	179.9784	1.9399	92777.1369
					119477.2959
2,5	S2-1	353.0569	176.5284	1.3600	129800.3163
	S2-2	373.3333	186.6667	1.2734	146589.1838
	S2-3	335.0763	167.5382	1.2567	133315.9620
	S2-4	384.1323	192.0662	1.4134	135889.4611
	S2-5	332.2678	166.1339	1.1199	148347.0649
					138788.3976
	SB2-1	380.2564	190.1282	1.4234	133573.2626
	SB2-2	399.4137	199.7068	1.5733	126935.0032
	SB2-3	372.3398	186.1699	1.6000	116356.1767
	SB2-4	375.6478	187.8239	1.6600	113146.9422
	SB2-5	305.4545	152.7273	1.5200	100478.4689
					118097.9707
5	S3-1	370.3880	185.1940	1.3700	135178.0899
	S3-2	346.0773	173.0387	1.6668	103814.8924
	S3-3	362.0202	181.0101	1.2533	144426.7941
	S3-4	352.3494	176.1747	1.3199	133475.8125
	S3-5	344.4786	172.2393	1.3133	131149.9863
					129609.1150
	SB3-1	318.1679	159.0839	1.3201	120509.0006
	SB3-2	380.0995	190.0497	1.5300	124215.5135
	SB3-3	370.6359	185.3180	1.6266	113929.6462
	SB3-4	354.887	177.4435	1.5533	114236.4559
	SB3-5	371.8946	185.9473	1.9000	97866.9925
					114151.5217

Variasi (%)	Kode Silinder	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas		
			$\sigma_{1/2 \text{ max}}$	$\epsilon$	E (kg/cm <sup>2</sup> )
7,5	S4-1	385.1598	192.5799	1.5000	128386.6133
	S4-2	374.9795	187.4897	1.4099	132980.8682
	S4-3	367.8828	183.9414	1.3334	137949.1458
	S4-4	360.5765	180.2882	1.3674	131847.4674
	S4-5	379.4957	189.7479	1.4433	131468.0678
					132526.4325
	SB4-1	405.0926	202.5463	1.7000	119144.8802
	SB4-2	338.4907	169.2453	1.5000	112830.2319
	SB4-3	326.73	163.3650	1.4700	111132.6394
	SB4-4	353.0607	176.5304	1.6234	108741.1341
10	SB4-5	314.4088	157.2044	1.4168	110957.3599
					112561.2491
	S5-1	386.6855	193.3428	1.5566	124208.3850
	S5-2	429.8990	214.9495	1.3733	156520.4216
	S5-3	372.7515	186.3757	1.2266	151945.0060
	S5-4	445.0866	222.5433	1.5867	140255.4233
	S5-5	396.7527	198.3764	1.3533	146587.1221
					143903.2716
	SB5-1	386.6855	193.3428	1.5633	123676.0520
	SB5-2	375.4773	187.7386	1.6666	112647.6861
SB5-3	302.0932	151.0466	1.5534	97236.1264	
SB5-4	354.4189	177.2095	1.4999	118147.5230	
SB5-5	373.3333	186.6667	1.6333	114288.0467	
				113199.0869	

**MODULUS ELASTIK SEKAN**

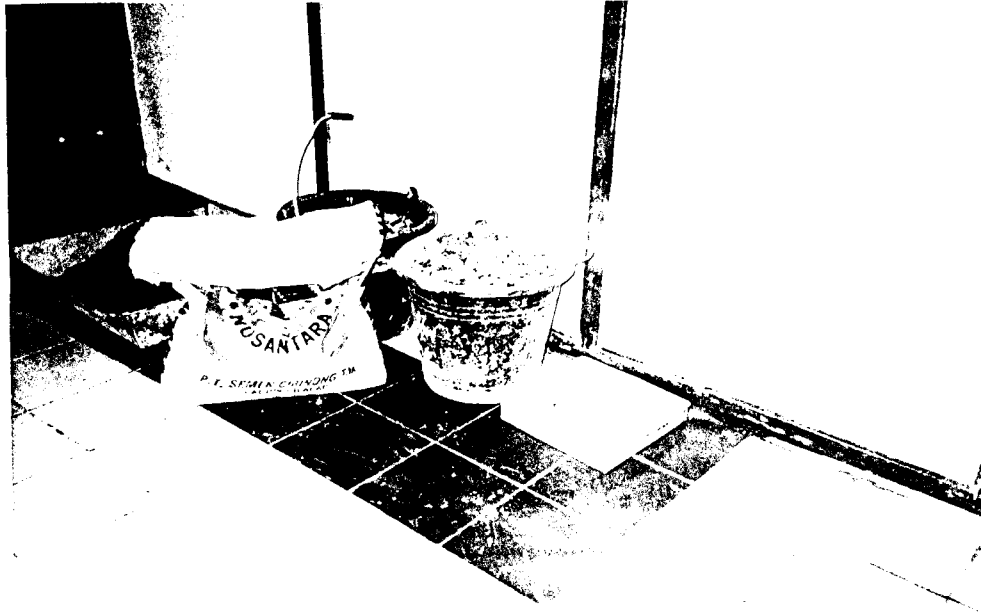
Variasi (%)	Kode Silinder	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )					$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
		35	50	75	100	125	150	175	200	225	250
0		$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$
	S1-1	0.2281	0.3307	0.5460	0.7947	0.9475	1.0874				
	S1-2	0.1833	0.2694	0.6508	0.6681	0.8685	1.0808				
	S1-3	0.1636	0.2872	0.4976	0.6403	0.7834	0.9639				
	S1-4	0.2358	0.4711	0.5887	0.8789	1.1053	1.2925				
	S1-5	0.2028	0.3170	0.5443	0.7304	0.9147	1.1630				
	SB1-1	0.2749	0.3905	0.5403	0.7324	0.9006	1.0983				
	SB1-2	0.2725	0.4160	0.6879	0.9104	1.1427	1.4128				
	SB1-3	0.2411	0.3593	0.5791	0.7651	0.9246	1.1113				
	SB1-4	0.3121	0.4981	0.6246	0.7830	0.9611	1.1619				
SB1-5	0.3970	0.5685	0.8513	1.0893	1.3752	1.6057					
2,5	S2-1	0.2866	0.3260	0.5429	0.8520	0.9631	1.1780				
	S2-2	0.1996	0.3080	0.4504	0.6336	0.8046	0.9941				
	S2-3	0.2198	0.3122	0.4935	0.6941	0.9472	1.0765				
	S2-4	0.2296	0.3260	0.5225	0.6724	0.8885	1.0652				
	S2-5	0.1973	0.3076	0.4895	0.6842	0.7942	0.9906				
	SB2-1	0.2189	0.3810	0.5791	0.7232	0.9345	1.1039				
	SB2-2	0.3244	0.4089	0.6020	0.7743	0.9896	1.1668				
	SB2-3	0.2894	0.4430	0.6812	0.8430	1.0772	1.2742				
	SB2-4	0.2300	0.3658	0.5723	0.7968	1.0370	1.2376				
	SB2-5	0.3062	0.5377	0.6266	0.6266	1.2052	1.4943				

Variasi (%)	Kode Silinder	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )					$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
		35	50	75	100	125	150				
5		$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	
	S3-1	0.2266	0.3428	0.5886	0.7729	0.9166	1.1684				
	S3-2	0.3001	0.4164	0.7437	0.8268	1.0425	1.3498				
	S3-3	0.2062	0.2879	0.4570	0.6071	0.8046	0.9839				
	S3-4	0.2329	0.4063	0.6065	0.7397	0.9132	1.1078				
	S3-5	0.2099	0.3132	0.4732	0.7331	0.9499	1.1331				
	SB3-1	0.3611	0.4842	0.6813	0.8816	1.0623	1.2625				
	SB3-2	0.4333	0.4507	0.6800	0.8384	0.9897	1.1743				
	SB3-3	0.2863	0.4579	0.7066	0.7066	0.7066	1.3604				
	SB3-4	0.2409	0.6345	0.8841	0.9604	1.1161	1.3347				
SB3-5	0.4933	0.6419	0.6933	1.1428	1.3466	1.5504					
7,5	S4-1	0.4102	0.4908	0.6128	0.7974	0.9827	1.1731				
	S4-2	0.2151	0.3297	0.6600	0.7622	1.0066	1.1600				
	S4-3	0.3018	0.3993	0.4883	0.6599	0.8549	1.0518				
	S4-4	0.2149	0.4648	0.5548	0.7273	0.9294	1.1340				
	S4-5	0.3502	0.3977	0.5312	0.7218	0.9089	1.1161				
	SB4-1	0.3503	0.6547	0.8430	0.8534	0.8534	0.8651				
	SB4-2	0.3029	0.4384	0.6337	0.8805	1.1084	1.3251				
	SB4-3	0.3373	0.4945	0.6667	0.6667	0.6667	1.3635				
	SB4-4	0.3215	0.4415	0.6389	0.8861	1.0534	1.0534				
	SB4-5	0.2680	0.4315	0.6466	0.9027	1.1109	1.3517				



Variasi (%)	Kode Silinder	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )					$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
		35	50	75	100	125	150	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$
10	S5-1	0.2647	0.3517	0.5582	0.7927	0.9869	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	$\epsilon = \Delta L / L_0 (10^{-3})$	
	S5-2	0.2196	0.3191	0.4800	0.6159	0.7719				1.2177	
	S5-3	0.1944	0.3455	0.5493	0.6983	0.8312				0.9439	
	S5-4	0.2152	0.3359	0.4884	0.6900	0.9154				0.9851	
	S5-5	0.1783	0.2826	0.4708	0.6276	0.8421				1.0942	
										1.0216	
	SB5-1	0.2547	0.3963	0.6020	0.6266	0.6266				0.6471	
	SB5-2	0.2597	0.4220	0.6333	0.6333	0.6333				1.3208	
	SB5-3	0.3659	0.6513	0.7314	1.0620	1.3069				1.5456	
	SB5-4	0.2503	0.3889	0.6695	0.7999	0.7999				1.3080	
	SB5-5	0.2575	0.4581	0.7138	0.8581	1.1032				1.3340	

# **LAMPIRAN 11**



Material Campuran Beton



Penyaringan Agregat Kasar (kerikil)



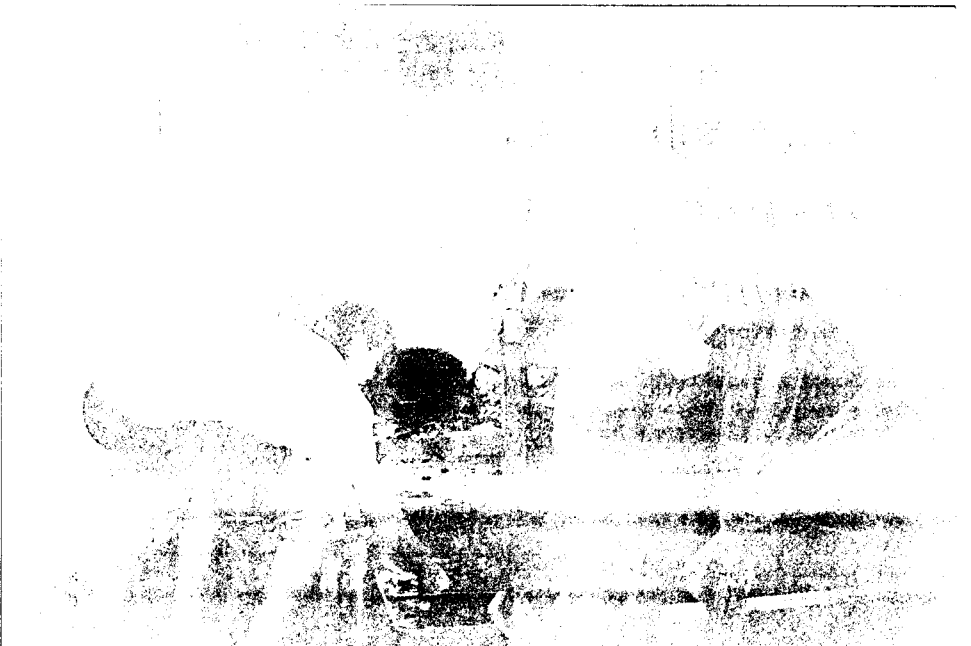
Penyaringan *Silica Fume*



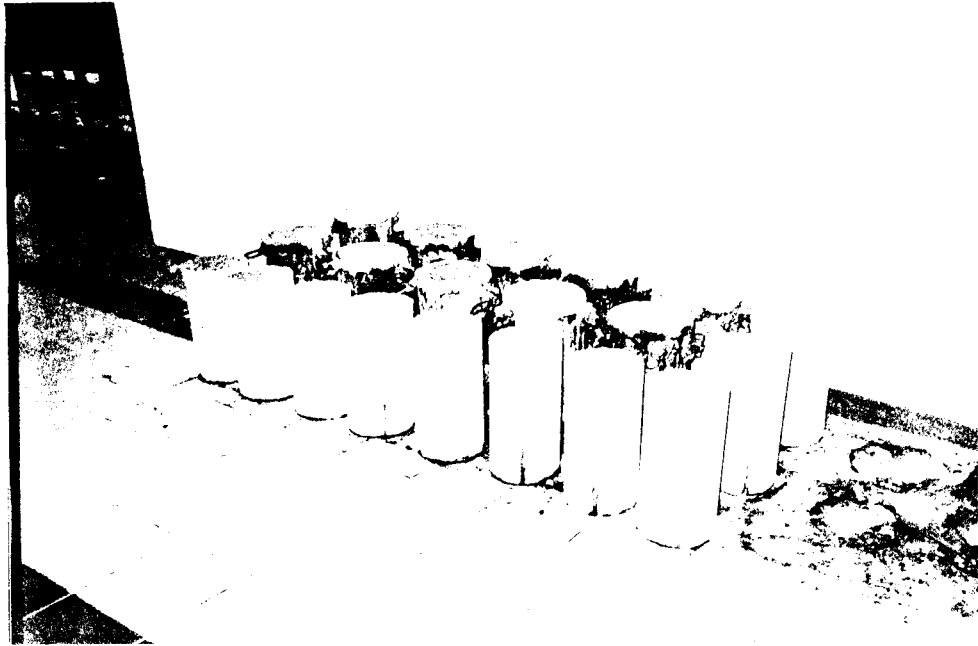
Pengadukan Campuran Material Beton



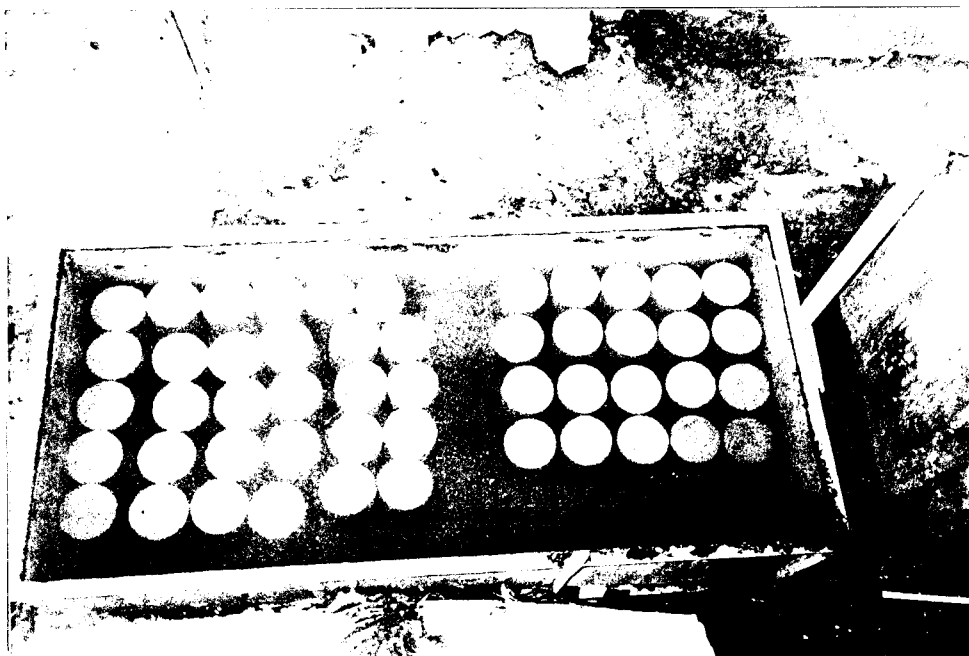
Pengukuran Slump



Pencetakan Benda Uji Silinder Beton



Silinder Beton Setelah Dilepas dari Cetakan



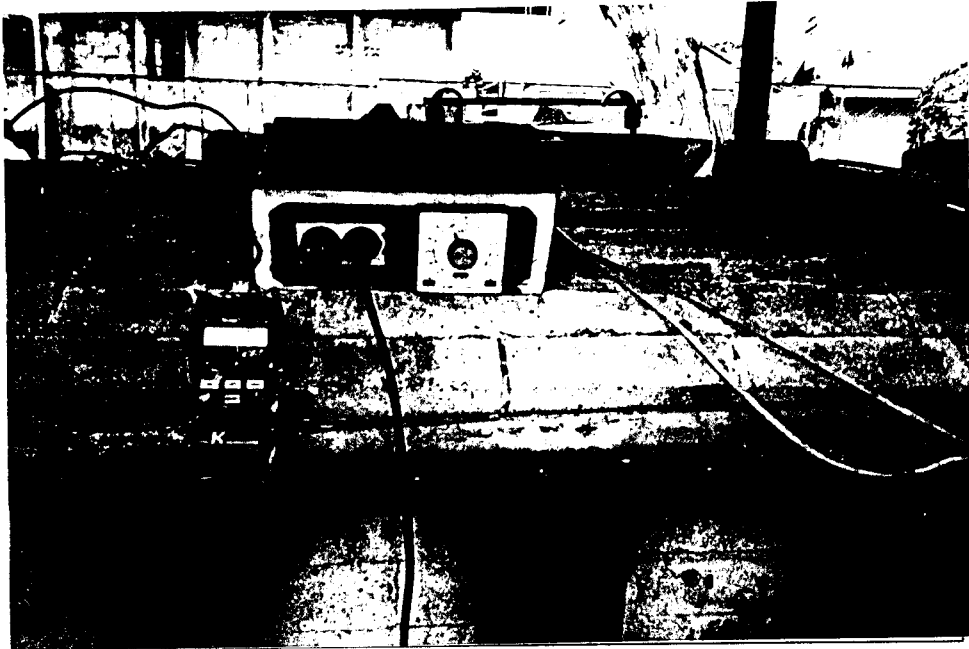
Perawatan Silinder Beton



Tungku Pembakar



*Burner*

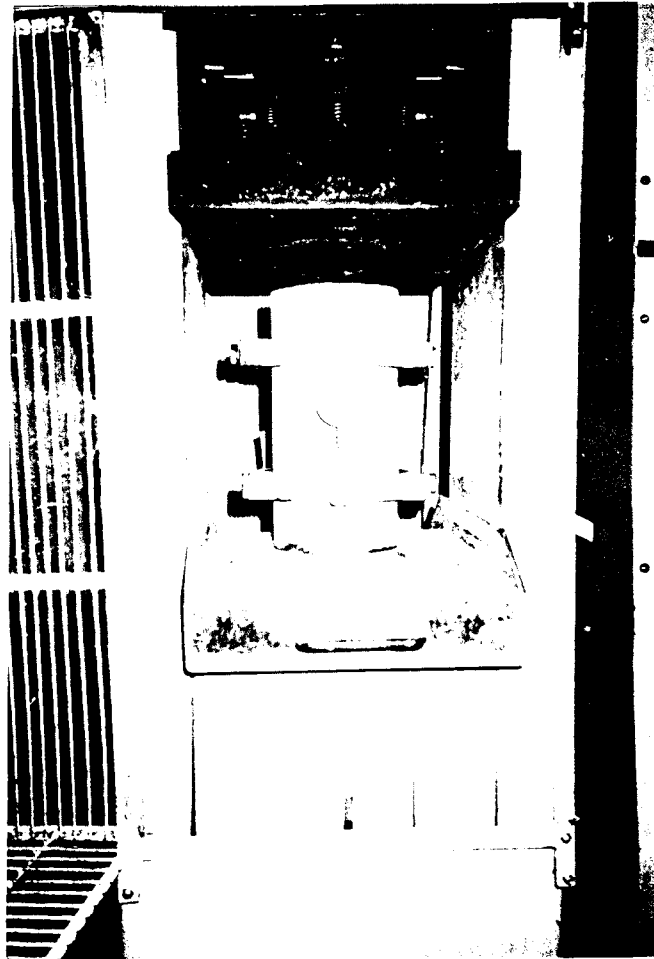


*Thermocouple*



Silinder Beton Pasca-Bakar ( $400^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam)





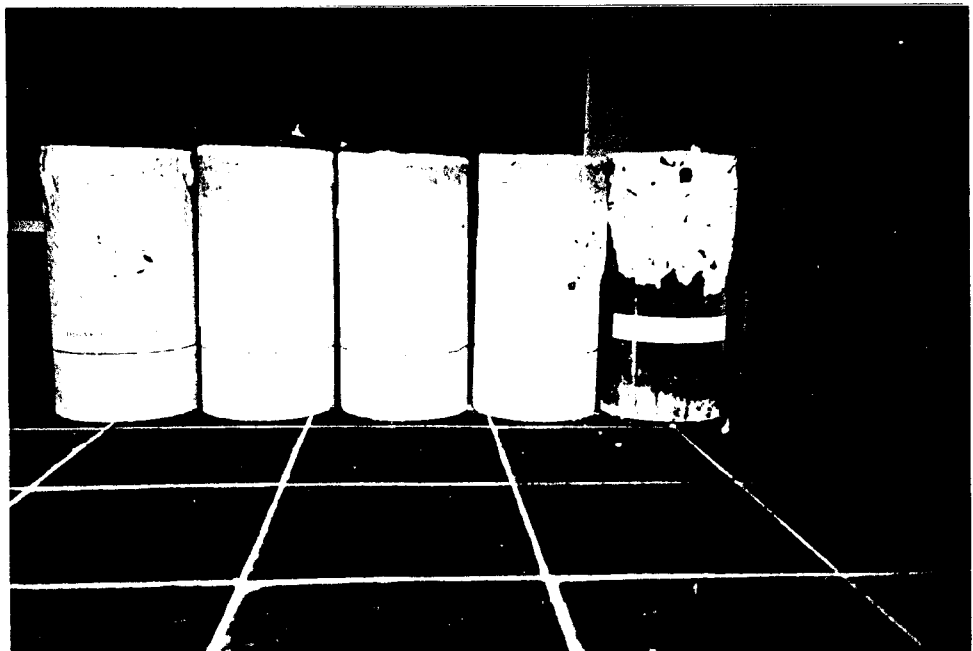
Uji Desak Silinder Beton Pra-Bakar



Uji Desak Silinder Beton Pasca-Bakar ( $400^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam)



Hasil Uji Desak Silinder Beton Pra-Bakar



Hasil Uji Desak Silinder Beton Pasca-Bakar (400<sup>0</sup>C selama 4 jam)

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1	Rumpoko Hadi Susetiarso	97 511 376	Struktur
2	Erwin Priyatna	97 511 311	Struktur

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

Penelitian di Lab.: "Pengaruh variasi penambahan *Silica Fume* terhadap kuat desak beton pasca bakar".

**PERIODE IV : JUNI - NOPEMBER  
TAHUN : 2001 / 2002**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nop.
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3.	Pembuatan Proposal		■				
4.	Seminar Proposal		■	■			
5.	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6.	Sidang-Sidang					■	■
7.	Pendadaran.						■

DOSEN PEMBIMBING I  
DOSEN PEMBIMBING II

: **Ir. H. A. Kadir Aboe, MS.**  
: **Ir. Fatkhurrohman N., MT.**



Yogyakarta, **05 Juli 2002**  
a.n. Dekan,  
  
**Ir. H. Munadhir, MS.**

**Catatan.**

Seminar : .....  
Sidang : .....  
Pendadaran : .....



## Concrete Admixtures

# SikaFume®

Densified Silica Fume

### DESCRIPTION

*SikaFume is a new generation concrete additive in a fine powder form based on silica fume technology.  
SikaFume is used as a highly effective additive for the production of high quality concrete.*

### USES

*SikaFume is used to increase the density, durability and compressive strength of concrete.*

### ADVANTAGES

*The use of SikaFume improves the performance characteristics of concrete in the follows ways :*  
*Increased workability over a longer period of time.*  
*Improves the cohesiveness and stability of green concrete.*  
*Durability greatly increased.*  
*Water permeability of set concrete reduced.*  
*Permeability to gases greatly decreased.*  
*Greatly improved resistance to carbonation*  
*Infiltration of chlorides greatly reduced.*  
*Very high early and ultimate strengths.*

*SikaFume contains no chlorides or other potentially corrosive substances. It can therefore be used with complete safety in reinforced and prestressed concrete.*

### DOSAGE

*3% - 10% by weight of cement.  
SikaFume is compatible with most Sika admixture.  
Please consult our Technical Service Division for further information.*

### INSTRUCTION FOR USE

*SikaFume should be dry-mixed with other concrete components before the mixing water is added. After the water is added, further mixing is required to allow the even distribution of ingredients throughout the mixed concrete.  
For increased effectiveness, it is advisable to incorporate a super plasticiser such as Sikament-Range into the concrete mix.*

### CAUTIONS

*SikaFume is a powder product.  
Wearing a mask is advisable when pouring the product into the mixer.*

### TECHNICAL DATA

FORM	Powder
COLOUR	Grey
BULK DENSITY	Approx 0.5 kg/l
SHELF LIFE	unlimited when unopened
PACKAGING	20 kg bag

