

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN CAMPURAN BETON MUTU TINGGI
DENGAN PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER DAN
PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN
FLY ASH

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



Di susun oleh :

FANDHI HERNANDO
02 511 057

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2009

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN CAMPURAN BETON MUTU TINGGI
DENGAN PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER DAN
PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN
FLY ASH**



Disusun oleh:

FANDHI HERNANDO

No. Mhs. 02 511 057

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil,



(Dr. H. Faisol A.M., MS.)

Tanggal:

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing,

(Dr. H. A. Kadir Aboe, MS)

Tanggal : 01/04 - 2009

Halaman Persembahan :

Tugas Akhir ini dapat terlaksana hanya karena nikmat Allah yang telah tercurah, berupa kesehatan, kemudahan, petunjuk dan kesabaran. Sehingga tiada kata lain yang patut terucap selain memuji kebesaran-Nya, *alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah*

Untuk Kedua orang tuaku tercinta, Papaku, *H.Nanda Utama* dan Mamaku, *Hj.Herawati Idris* tugas akhir ini kupersembahkan sebagai jawaban atas kepercayaan yang telah kalian berikan serta perwujudan bhaktiku kepada kalian.

Tak lupa adik-adikku, *Diego, Lorenzo, Mega Ndut* Dan buat *Adek Mooi* tersayang terima kasih untuk semuanya tugas akhir ini adalah buah dari do'a yang selalu kita mohonkan kepada-Nya. Semoga Allah senantiasa meridhoi apa yang kita usahakan dan mengabulkan apa yang kita mohonkan.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tentang **PERENCANAAN CAMPURAN BETON MUTU TINGGI DENGAN PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER DAN PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN FLY ASH.** Ini dengan baik. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar kita Muhammad SAW.

Tugas akhir ini dilakukan guna melengkapi salah satu syarat untuk mencapai Derajat Kesarjanaan (S1) di jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian laporan ini penyusun telah banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Faisol, AM. MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Yth. Bapak Ir.H.A. Kadir Aboe, MS, terima kasih atas bimbingan, nasehat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Susastrawan, Ir, H, MS selaku dosen tamu dan penguji.
5. Bapak Much.Samsudin, Ir, H, MT selaku dosen tamu dan penguji.

6. Bapakku H.Nanda Utama dan Ibuku Hj.Herawati Idris, yang selalu mendoakan ku...terima kasih atas seluruh perhatian dan dukungannya selama ini.
7. Adikku Diego Ariesta Lintano, Lorenzo Nakita Tigana, Mega Yunisa Putri, terima kasih atas dukungan dan do'a nya.
8. Ratih Ayu Wulandari terima kasih untuk semua perhatian, pengertian, dan dukungannya selama ini.
9. Teman Jurusan Teknik Sipil UII angkatan 2002 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, temen-temen dari ICI (Internazionale Club Indonesia) regional Jogja, FORZA INTER.....!!!!!!
10. Teman terbaikku Badak, Dedi, Ajie, Tri, Abay, Tungki, Rio jembe, Dunan, Inda, Heru, Rama, Rudi, Ki Femo, Yade, Bembeng, Gogon, Terima kasih atas bantuan, tenaga dan dukungan selama ini.
11. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Pak warno, Mas Aris, Mas Iwan, Mas Kamidi, Mas Wahyu, terima kasih atas bantuannya selama proses pembuatan sampel hingga pengujian.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran dari pembaca. Namun penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagai tambahan pustaka serta menjadi sumber ide-ide bagi peneliti yang akan datang. Amin.

Wabillahi taufik walhidayah

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Februari 2009

Penulis

ABSTRAKS

Berbagai penelitian dan percobaan dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton, teknologi bahan dan teknik-teknik pelaksanaan yang diperoleh dari hasil penelitian dan percobaan tersebut dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi terhadap pemakaian beton serta mengatasi kendala-kendala yang sering terjadi pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan beton adalah meningkatkan pematatannya, yaitu meminimumkan pori atau rongga yang terbentuk di dalam beton. Penggunaan bahan tambah (admixture) dapat membantu memecahkan permasalahan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kuat desak beton mutu tinggi dan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian abu terbang dan penambahan Superplasticizer terhadap mutu kuat desak beton. Komposisi campuran Superplasticizer yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,6% untuk semua variasi dan penggantian abu terbang sebanyak 0%, 20%, 25%, 30% dan 35% dari berat semen. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk silinder, mutu beton yang direncanakan 65 MPa yang diuji pada umur 28 hari dengan terlebih dahulu dilakukan perawatan sebelum pengujian. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji selinder untuk uji tekan (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) sebanyak 50 sampel dan terdiri dari 5 variasi dan masing-masing variasi sebanyak 10 sampel. Dari penelitian diperoleh bahwa kuat desak beton yang tertinggi terdapat pada Campuran Beton penggantian Fly Ash 20% yaitu sebesar 59,095 MPa dan kuat desak beton yang terendah terdapat pada Campuran Beton penggantian Fly Ash 30% yaitu sebesar 42,927 MPa. Bahwa dengan penggantian 20% Fly Ash mempunyai kuat desak lebih tinggi dibandingkan dengan beton variasi campuran Fly Ash lainnya. Adukan dengan tingkat kelecakan tinggi mempunyai resiko yang besar terhadap terjadinya bleeding, hal ini terjadi pada semua sampel beton.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAKSI	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR LAMBANG, NOTASI, DAN SINGKATAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Umum	5
2.2 Pengaruh Bahan Tambah	6
2.3 Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan	8
2.3.1 Fitria dan Asna (2000).....	8
2.3.2 M.Rifai Syakuri dan Haryadi (1997).....	8
2.3.3 Richard G, dkk (1996).....	9
2.3.4 Addy Paradesca (2002).....	9
2.3.5 Arif dan Anton (2000).....	9

BAB III. LANDASAN TEORI

3.1 Beton.....	10
3.2 Semen Portland (PC).....	10
3.3 Air.....	14
3.4 Agregat.....	15
3.5 Bahan Tambahan (Admixture).....	20
3.5.1 Abu Terbang (Fly Ash).....	20
3.5.2 Superplasticizer (Sika Viscocrete 10).....	22
3.6 Workability.....	23
3.7 Faktor Air Semen.....	24
3.8 Slump.....	26
3.9 Kuat Desak Beton.....	27
3.10 Modulus Elastis Beton.....	28
3.11 Perencanaan Campuran Beton.....	29
3.11.1 Persyaratan Kinerja.....	29
3.11.2 Faktor-faktor Yang Menentukan.....	30
3.11.3 Prosedur Proporsi Campuran Beton Kekuatan Tinggi.....	33

BAB IV. METODELOGI PENELITIAN

4.1 Bahan-bahan.....	41
4.2 Peralatan.....	41
4.3 Pemeriksaan Material yang digunakan.....	42
4.4 Perhitungan Campuran Beton.....	43
4.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	51
4.6 Pengujian Kuat Desak Benda Uji	52
4.7 Pengolahan Data.....	52
4.8 Langkah-langkah Penelitian.....	53

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum.....	54
5.2 Proses Pembuatan Benda Uji.....	54

5.3 Hasil Penelitian dan Pembahasan	56
5.3.1 Nilai Slump dan Workability.....	56
5.3.2 Analisis Kuat Desak Benda Uji.....	59
5.3.3 Perbandingan $f'c$ Rencana dan $f'c$ Hasil Penelitian.....	62
5.3.4 Tegangan Regangan dan Modulus Elastis.....	64

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	70
6.2 Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA.....72

LAMPIRAN.....74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Susunan unsur semen biasa.....	11
Tabel 3.2 Empat senyawa dari semen portland.....	12
Tabel 3.3 Jenis-jenis semen portland menurut ASTM C 150.....	13
Tabel 3.4 Gradasi pasir.....	17
Tabel 3.5 Gradasi kerikil.....	20
Tabel 3.6 Spesifikasi abu terbang sebagai pozzolan.....	22
Tabel 3.7 Faktor air semen untuk setiap kondisi lingkungan.....	25
Tabel 3.8 Nilai slump untuk berbagai struktur.....	27
Tabel 3.9 Fraksi volume agregat kasar yang disarankan.....	34
Tabel 3.10 Estimasi pertama kebutuhan air pencampuran dan kadar udara beton segar berdasarkan pasir dengan 35% rongga udara.....	35
Tabel 3.11 Rasio $\left(\frac{W}{(c + p)}\right)$ Maksimum yang Disarankan (Tanpa <i>Superplasticizer</i>)	36
Tabel 3.12 Rasio $\left(\frac{W}{(c + p)}\right)$ Maksimum yang Disarankan (dengan <i>Superplasticizer</i>)	37
Tabel 4.1 Proporsi Per m ³ Campuran (Berat Kering).....	47
Tabel 4.2 Proporsi per m ³ campuran (sesuai Kondisi Kebasahan Agregat).....	48
Tabel 4.3 Proporsi untuk persatu silinder campuran coba (0.005299 m ³).....	48
Tabel 4.4 Proporsi per m ³ campuran (sesuai Kondisi Kering Oven) untuk penambahan air 1,017 kg.....	49
Tabel 4.5 Proporsi per m ³ campuran (sesuai Kondisi Kering Oven) untuk penambahan air 0,667 kg.....	50
Tabel 4.6 Proporsi per m ³ campuran (sesuai Kondisi Kering Oven) untuk penambahan air 0,667 kg dengan pengurang agregat kasar 35% ditambahkan pada pasir.....	50
Tabel 5.1 Komposisi Material Pada Tiap Variasi.....	55
Tabel 5.2 Nilai Slump tanpa Superplasticizer pada tiap variasi.....	57

Tabel 5.3 Nilai Slump dengan Superplasticizer pada tiap variasi.....	57
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Desak Umur 28 Hari.....	60
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Rata-rata Kuat Desak Beton	61
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Modulus Elastis (Ec).....	69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 4.1 Flowchart pelaksanaan penelitian.....	53
Gambar 5.1 Grafik nilai slump pada tiap variasi.....	58
Gambar 5.2 Pecahan beton setelah diuji desak.....	63
Gambar 5.3 Kurva tegangan regangan beton umur 28 hari.....	65
Gambar 5.4 Kurva tegangan regangan beton Normal Campuran Superplasticizer	66
Gambar 5.5 Kurva tegangan regangan beton BP20%.....	66
Gambar 5.6 Kurva tegangan regangan beton BP25%.....	67
Gambar 5.7 Kurva tegangan regangan beton BP30%.....	67
Gambar 5.8 Kurva tegangan regangan beton BP35%.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kartu Peserta Tugas Akhir
Lampiran 2	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Dan Kadar Air Agregat Halus
Lampiran 3	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur dalam Agregat Halus
Lampiran 4	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Dan Kadar Air Agregat Kasar
Lampiran 5	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus
Lampiran 6	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar
Lampiran 7	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus
Lampiran 8	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar
Lampiran 9	Hasil Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Halus
Lampiran 10	Hasil Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Kasar
Lampiran 11	Hasil Pengujian Tegangan-Regangan
Lampiran 12	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan
Lampiran 13	Hasil Pengujian Kuat Desak Beton
Lampiran 14	Hasil Uji Keausan Agregat Dengan Mesin LOS ANGELES
Lampiran 15	Dokumentasi

DAFTAR LAMBANG, NOTASI, DAN SINGKATAN

SNI	= <i>Standar Nasional Indonesia</i>
$f'c$	= Kuat tekan benda uji
$f'cr$	= Kuat tekan rata-rata pada perencanaan campuran beton
PC	= <i>Portland cement</i>
W	= Rasio total berat air
fas	= Faktor air semen, rasio berat air dan semen
P	= Beban maksimum yang dapat ditahan benda uji
A	= Luas tampang benda uji
t	= Tinggi benda uji selinder
Mhb	= Modulus halus butir
Ec	= Modulus elastis
BN	= Beton Normal campuran Superplasticizer
BP20	= Beton campuran Superplasticizer penggantian Fly Ash 20%
BP25	= Beton campuran Superplasticizer penggantian Fly Ash 25%
BP30	= Beton campuran Superplasticizer penggantian Fly Ash 30%
BP35	= Beton campuran Superplasticizer penggantian Fly Ash 35%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pembangunan dibidang struktur dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, yang berlangsung diberbagai bidang, misalnya gedung-gedung, jembatan, tower, dan sebagainya. Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan.

Beton diminati karena banyak memiliki kelebihan-kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya, antara lain harganya yang relatif murah, mempunyai kekuatan yang baik, bahan baku penyusun mudah didapat, tahan lama, tahan terhadap api, tidak mengalami pembusukan. Inovasi teknologi beton selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan, beton yang dihasilkan diharapkan mempunyai kualitas tinggi meliputi kekuatan dan daya tahan tanpa mengabaikan nilai ekonomis.

Hal lain yang mendasari pemilihan dan penggunaan beton sebagai bahan konstruksi adalah faktor efektifitas dan tingkat efisiensinya. Secara umum bahan pengisi (*filler*) beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, mudah diolah (*workability*) dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam suatu konstruksi. Dari sifat yang dimiliki beton itulah menjadikan beton sebagai bahan alternatif untuk dikembangkan baik bentuk fisik maupun metode pelaksanaannya.

Berbagai penelitian dan percobaan dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton. Teknologi bahan dan teknik-teknik pelaksanaan yang diperoleh dari hasil penelitian dan percobaan tersebut dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi terhadap pemakaian beton serta mengatasi kendala-kendala yang sering terjadi pada pengerjaan di lapangan. Dalam pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi dan bangunan massal lainnya dibutuhkan beton kekuatan tinggi, beton mutu tinggi merupakan pilihan yang paling tepat.

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 (*Pd T-18-1999-03*) didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Upaya untuk mendapatkan beton mutu tinggi yaitu dengan meningkatkan mutu material pembentuknya, misalnya kekerasan agregat dan kehalusan butir semen.

Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan ganti atau bahan tambah, dari beberapa bahan pengganti dan bahan tambah yang ada diantaranya adalah abu terbang (*Fly Ash*) selain dapat meningkatkan mutu beton, juga dapat mempengaruhi tegangan dan regangan pada beton.

Fly Ash adalah sisa hasil proses pembakaran batubara yang keluar dari tungku pembakaran, sedangkan sisa pembakaran batubara yang berada pada dasar tungku disebut *Bottom Ash*. Mengingat limbah tersebut meningkat setiap tahunnya, maka perlu penanggulangannya. Limbah *Fly Ash* dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama polusi udara terhadap kehidupannya sekitarnya. Oleh sebab itu diupayakan agar *Fly Ash* dapat menjadi bahan yang berguna, antara lain pemanfaatan *Fly Ash* salah satunya sebagai bahan campuran beton.

Dalam penelitian ini juga digunakan bahan tambah *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete-10*, yaitu bahan tambah yang dapat mempermudah pengerjaan campuran beton (*workability*) untuk diaduk, dituang, diangkut dan dipadatkan. Dengan menambahkan bahan tambah ini ke dalam adukan beton diharapkan dapat mempermudah pekerjaan pengadukan beton. Hal ini karena *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* adalah bahan campuran untuk beton yang berfungsi ganda yang apabila dicampurkan dengan dosis tertentu dapat mengurangi jumlah pemakaian air dan mempercepat waktu pengerasan, meningkatkan *workability* dan dapat mereduksi kandungan air dalam campuran beton, membuat beton bermutu tinggi dan membuat beton kedap air secara permanen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu :

1. Benarkah kuat desak yang dihasilkan beton dengan penambahan *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* lebih tinggi dari kuat desak beton normal.
2. Bagaimana pengaruh penambahan *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dengan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* terhadap kelecakan dan nilai slump untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi.
3. Berapa besar peningkatan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan penambahan *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan campuran beton mutu tinggi.
2. Mengetahui tegangan dan regangan desak beton berkekuatan tinggi.
3. Mengetahui besar kuat desak beton yang telah memakai zat adiktif *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash*.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi beton dan pengaruh yang terjadi akibat penambahan zat adiktif jenis *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dan penggantian *Fly Ash* terhadap campuran beton.
2. Memberikan informasi tentang perbandingan mutu beton dari variasi sampel beton dengan penambahan *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak Menyimpang dari tujuannya, maka diberi batasan antara lain:

1. Kuat desak beton rencana ($f'c$) pada umur 28 hari 65 MPa.
2. Metode Perhitungan menggunakan SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03)
3. Penelitian ini membandingkan kuat tekan beton normal dengan Superplasticizer terhadap kuat desak beton mutu tinggi yang menggunakan bahan tambah *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* dan *Fly Ash* sebagai pengganti sebagian semen (PC).
4. *Fly Ash* sebagai bahan tambah berasal dari sisa pembakaran batubara pada proyek PLTU Cilacap dan persentase variasi pengaruh abu terbang kelas C yang disarankan sebesar 20%, 25%, 30%, dan 35% dengan penambahan *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)*.
5. Penelitian menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan sampel 50 silinder beton dengan 5 (lima) variasi yang masing-masing variasi 10 sampel.
6. Bahan pembuat beton : semen type I dengan merk semen gresik, agregat halus dari kali gendol, agregat kasar yang digunakan dari clereng, air yang digunakan dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.
7. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
8. Komposisi campuran benda uji dan kode benda uji

NO	KODE BENDA UJI	PC	FLY ASH	SUPERPLASTICIZER VISCOCRETE 10	JUMLAH SAMPEL
1	BN	100%	-	0,6%	10
2	BP20	80%	20%	0,6%	10
3	BP25	75%	25%	0,6%	10
4	BP30	70%	30%	0,6%	10
5	BP35	65%	35%	0,6%	10
					$\Sigma = 50$ bh

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

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

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

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

Semen dan air dalam adukan beton membuat pasta yang disebut pasta semen. Adapun pasta semen ini selain berfungsi untuk mengisi pori-pori antara butiran agregat halus dan agregat kasar juga mempunyai fungsi sebagai pengikat sehingga terbentuk suatu massa yang kompak dan kuat.

Ruang yang tidak ditempati oleh butiran semen, merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan yang disebut *kapiler*. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton sudah mengeras, sehingga beton akan mempunyai sifat tembus air yang besar, akibatnya kekuatan beton berkurang.

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

Keadaan tersebut diangkat oleh penyusun pada penelitian ini memanfaatkan limbah pembakaran batubara (*Fly Ash*). *Fly Ash* digunakan sebagai bahan pengganti semen, memanfaatkan sifat pozzolan dari *Fly Ash* untuk memperbaiki mutu beton.

Ketika semen dan air dicampur, partikel-partikel semen cenderung berkumpul menjadi gumpalan yang dikenal sebagai gumpalan semen. Penggumpalan mencegah pencampuran antara semen dan air yang menghasilkan kehilangan kemampuan kerja (*loss of workability*) dari campuran beton sebagaimana hal tersebut mencegah campuran hidrasi yang sempurna. Ini berarti bahwa pengurangan kekuatan potensial penuh dari pasta semen akan ditinggalkan. Pada beberapa kejadian dalam 28 hari perawatan hanya 50% kandungan semen sudah terhidrasi. (**Smith dan Andreas**, 1989).

Gumpalan relatif besar dari semen mempunyai permukaan yang kasar dan kesat yang memerlukan jumlah air yang lebih besar untuk memproduksi campuran beton yang mudah dikerjakan. Pada saat dicampur *Superplasticizer* dapat meningkatkan keplastisan yang menghasilkan campuran beton yang lebih cair. (**Smith dan Andreas**, 1989).

2.2 Pengaruh Bahan Tambah

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

beton yang diperbaiki itu antara lain kecepatan hidrasi (waktu pengikatan), kemudahan pengerjaan, dan kekedapan terhadap air.

Menurut SK SNI S-18-1990-03 (Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton, 1990), bahan tambah kimia dapat dibedakan menjadi 5 (lima) jenis yaitu:

1. Bahan tambah kimia untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan tambah ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.
2. Bahan tambah kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada satu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
3. Bahan tambah kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan dan sebagainya.
4. Bahan tambah kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
5. Bahan kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Selain 5 (lima) jenis diatas, ada dua jenis bahan tambah kimia lain yang lebih khusus, yaitu:

1. Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 20% atau bahkan lebih, untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama (air dikurangi sampai 12% lebih namun tidak menambah kekentalan pada adukan beton).
2. Bahan tambah kimia tambahan dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 12% atau lebih dan memperlambat waktu ikat awal.

Penambahan *Admixture Sika Viscocrete 10* pada dosis 0,5%-1,5% kuat tekan beton mengalami kenaikan terutama pada umur 28 hari. Penambahan *Superplasticizer* pada beton mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workability beton sampai pada tingkat yang lebih besar. Bahan ini digolongkan sebagai sarana untuk menghasilkan beton mengalir tanpa terjadinya pemisahan yang diinginkan, dan umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar, karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workability yang sama. (L.J Murdock & Brook, 1991).

2.3 Hasil Penelitian yang Pernah Dilakukan

2.3.1 Fitria dan Asna (2000)

Pengujian beton mutu tinggi dengan kuat desak rencana 50 MPa, dengan benda uji kubus 15 x 15 cm, dengan jumlah sampel sebanyak 10 sampel, setiap variasi menggunakan campuran *Superplasticizer* sebagai bahan tambah kimia dengan persentase antara 0,4%-1,6%. Untuk nilai slump sebesar 7-10 cm dan pengujian beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari dengan hasil kuat desak optimum sebesar 70-72 MPa yaitu penambahan *Superplasticizer* sebanyak 1,4% dan pada umur 20 hari.

2.3.2 Muhammad Rifai Syakuri dan Haryadi (1997)

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan kuat desak beton dengan menggunakan abu terbang (*Fly Ash*) dan tanpa menggunakan abu terbang, mengetahui persentase abu terbang pada campuran beton yang menghasilkan kuat desak beton paling maksimum dan membandingkan diagram regangan tegangan pada beton normal dengan beton menggunakan abu terbang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan beton untuk umur diatas 21 hari dengan pemakaian Fly Ash pada campuran beton menghasilkan tegangan yang lebih baik daripada beton normal tanpa penambahan abu terbang.

2.3.3 Richard G, dkk (1996)

Richard G, dkk menyatakan dalam hasil penelitiannya bahwa penambahan *Superplasticizer* antara 0,9%-1,14% berat semen berpengaruh pada peningkatan nilai slump antara 80-240 mm dan dapat meningkatkan workabilitas, kuat tekan yang dihasilkan mencapai 60-100 MPa atau setara dengan 600-1000 kg/cm².

2.3.4 Addy Paradesca (2002)

Pengujian beton mutu tinggi dengan kuat desak rencana 70 MPa, dengan menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan sampel 100 silinder beton dengan 5 (lima) variasi yang masing-masing variasi 20 sampel, setiap variasi menggunakan campuran *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* sebagai bahan tambah kimia dengan persentase sebesar 1,1%, dalam penelitian ini juga menggunakan bahan tambah berupa abu terbang (*Fly Ash*) dan persentase variasi pengaruh abu terbang kelas C yang disarankan sebesar 20%, 25%, 30%, dan 35%.

2.3.5 Arif dan Anton (2000)

Arif dan Anton menyampaikan hasil test percobaan di laboratorium atas sampel beton mutu 55 MPa dengan *Superplasticizer* untuk bahan tambah kimia, *Silica Fume* dan *Fly Ash* sebagai bahan tambah material, percobaan ini dilakukan dengan sampel berbentuk silinder dengan jumlah sampel 140 buah, menghasilkan kuat tekan yang diperoleh melebihi 55 MPa. Tetapi penelitian ini terbatas pada penambahan konsentrasi *Silica Fume* dan *Fly Ash* dengan penambahan *Superplasticizer* yang tidak ditentukan dosisnya (coba-coba).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton dibentuk dari pencampuran bahan batuan yang diikat dengan bahan perekat semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi agregat kasar (krikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah $\pm 70\%$ - 75% dari seluruh beton.

Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, antaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pembuatan adukan beton, temperatur dan kondisi perawatan pengerasannya. Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibanding kuat tariknya, dan merupakan bahan getas. Nilai kuat tariknya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya, pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang bekerja menahan tarik (**Dipohusodo**, 1994).

3.2 Semen Portland (PC)

Semen portland merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan oksid besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Bubuk halus ini bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis. (**Kardiyono**, 1989)

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar

(kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi. (Tjokrodimulyo, 1995).

Pada umumnya semen berfungsi untuk:

1. Bercampur dengan untuk mengikat pasir dan kerikil agar terbentuk beton.
2. Mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat.

Sedangkan untuk susunan oksida dari semen portland (Antono, 1995), seperti berikut ini:

Tabel 3.1 Susunan oksida semen portland

Oksida	% rata-rata
Kapur (CaO)	63
Silika (SiO ₂)	22
Alumunia (Al ₂ O ₃)	7
Besi (Fe ₂ O ₃)	3
Magnesia (MgO)	2
Sulfur (SO ₃)	2

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen portland.

Tabel 3.2 Empat senyawa dari semen portland

Nama Senyawa	Rumus Oksida	Notasi	Kadar Rata-rata
Trikalsium Silikat	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C3S	50
Dikalsium Silikat	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C2S	25
Trikalsium Alumina	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	12
Tetrakalsium Aluminoforit	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{FeO}_3$	C4Af	8

Senyawa-senyawa kimia dari semen portland adalah tidak stabil secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen adalah berbeda-beda, maka sifat-sifat hidrasi masing-masing komponen perlu dipelajari.

1. *Trikalsium Silikat (C3S) = $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$*

Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang menyebabkan pengerasan awal, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat air tanah, oleh perubahan volume kemungkinan mengalami retak-retak.

2. *Dikalsium Silikat (C2S) = $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$*

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

3. *Trikalsium Alumina (C3A) = $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$*

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.

4. *Tetracalsium Aluminoforit (C4Af) = 4CaO.Al₂O₃ FeO₃*

Adanya senyawa Aluminoforit kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh terhadap kekuatan dan sifat semen. (L.J Murdock, 1986).

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI, 1982) dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut:

Tabel 3.3 Jenis-jenis semen portland menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 Hari (J/g)
		C3S	C2S	C3A	C4Af	
I	Normal	50	24	11	8	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	250
III	Kekuatan Awal Tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas Hidrasi Rendah	26	50	5	12	210
V	Tahan Sulfat	40	40	9	9	250

Keterangan:

- a Jenis I adalah semua semen portland untuk tujuan umum, biasa tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya, gedung, trotoar, jembatan, dan lain-lain.
- b Jenis II semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat lebih baik, penggunaannya pada pir (tembok di laut dermaga), dinding tahan tanah tebal dan lain-lain.
- c Jenis III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan dicapai umumnya dalam satu minggu. Umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.

- d Jenis IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan grafitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada kelas I.
- e Jenis V adalah semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadapi aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi. (Tjokrodimulyo, 1995).

3.3 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan yang lemah.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

- 1 Sifat workability adukan beton.
- 2 Besar kecilnya nilai susut beton
- 3 Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
- 4 Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (**Kardiyono Tjokrodimulyo**, 1992) :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

3.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alami. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 70%-75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi:

1. Menghemat Penggunaan semen portland.
 2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada betonnya.
 3. Mengurangi susut pengerasan.
 4. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
 5. Mengontrol workability adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik
- (**A. Antono**, 1995)

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai butir-butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm. Sedangkan butir agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar.

Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
5. Gradasinya harus memenuhi syarat seperti tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : *Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992)*

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah IV : Pasir halus

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

1. Pasir galian.

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

2. Pasir sungai.

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

3. Pasir laut.

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

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

1. Agregat normal.

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

2. Agregat berat.

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

3. Agregat ringan.

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

Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain:

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**):

1. Kerikil harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Kerikil tidak boleh hancur adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.
2. agregat harus bersih dari unsur organik.
3. kerikil tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. kerikil mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen maka akan mengikat agregat dengan lebih baik.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirannya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi

lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992)

Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus 1,5 sampai 3,8 dan kerikil antara 5 sampai 8. Modulus halus butir campuran dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

- Dengan;
- W : Persentase berat pasir terhadap berat kerikil.
 - K : Modulus halus butir kerikil.
 - P : Modulus halus butir pasir.
 - C : Modulus halus butir campuran.

Tabel 3.5 Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan	
	Berat butir maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992)

3.5 Bahan Tambahan (Admixture)

3.5.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash dan *Bottom Ash* adalah terminology umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Abu terbang (*Fly Ash*)

umumnya diperoleh dari sisa pembakaran Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) atau sisa pembakaran dari Boiler Kayu, yang mempergunakan batubara sebagai sumber energi. Sisa pembakaran berupa partikel halus dan berkisar 75%-90% limbah batubara akan keluar melalui cerobong asap, serta hanya sebagian kecil tersisa ditungku api. Limbah batubara sebelum keluar ditangkap dengan *Electrostatic Precipitator* sehingga limbah batubara masih berupa butiran padat.

Fly Ash/Bottom Ash yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/inch²). Ukuran ini relative kecil dan ringan, sedangkan bottom ash berukuran 20-50 mesh. Secara umum ukuran *Fly Ash/Bottom Ash* dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan *trass* dengan memasukkannya pada *cement mill* menggunakan udara tekan (*pneumatic system*). Disamping dimanfaatkan di industri semen, *Fly Ash/Bottom Ash* dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran asphalt (*ready mix*), campuran beton (*concerete*) dan dicetak menjadi paving block/batako. Dari suatu penelitian empirik untuk campuran batako, komposisi yang baik adalah sbb :

- Kapur : 40%
- Fly Ash : 10%
- Pasir : 40%
- Semen : 10%

Persoalan lingkungan muncul dari *Bottom Ash* yang menggunakan *fixed bed* atau *grate system*. Bentuknya berupa bongkahan-bongkahan besar. Bahwa bottom ash ini masih mengandung *fixed carbon* (catatan : *fixed carbon* dalam batubara dengan nilai kalori 6500-6800 kkal/kg sekitar 41-42%). Jika *Bottom Ash* ini langsung dibuang ke lingkungan maka lambat laun akan terbentuk gas Metana (CH₄) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya (*self burning* dan *self exploding*). Di sisi yang lain, jika akan dimanfaatkan di pabrik semen maka akan merubah desain *feeder*, sehingga pabrik semen tidak tertarik untuk memanfaatkan *Bottom Ash* tersebut.

Pada penelitian ini *Fly Ash* akan digunakan sebagai bahan pengganti yang berfungsi sebagai bahan pengisi adukan beton sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *Fly Ash* untuk memperbaiki

mutu beton. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, dan bahan pozzolan tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen.

Komponen yang paling utama dikandung abu terbang adalah Oksida Silika (SiO_2). Abu terbang jika digunakan sebagai pozzolan dapat dibedakan menjadi dua kelas, yaitu kelas C dan Kelas F. Seperti tertera dalam tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3.6 Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Pozzolan

Komposisi kimia	Kelas C (%)	Kelas F (%)
Total $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Min 50	Min 50
Sulfur Trioksida (SO_3)	Max 3	Max 5
Kadar air	Min 3	Min 3
Hilang pijar	Max 6	Max 12

Sumber : Tri Mulyono, 2003

3.5.2 Superplasticizer (Sika Viscocrete-10)

Superplasticizer (Sika Viscocrete-10) adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal

Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *Superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai slump yang tinggi. Keistimewaan penggunaan superplasticizer dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain:

1. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi.

2. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
3. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
4. Tidak ada udara yang masuk. Penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan pengurangan strength rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga "air content" didalam beton serendah mungkin. Penggunaan superplasticizer menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.
5. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan

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

3.6 Workability

Workability sulit untuk didefinisikan dengan tepat, namun sering diartikan sebagai tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton untuk diaduk, dituang, diangkut dan dipadatkan. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**):

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. makin banyak air yang dipakai, makin mudah beton segar itu dikerjakan. Tetapi pemakaian air juga tidak boleh terlalu berlebihan.
2. Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan betonnya, karena pasti juga diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai faktor air semen tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil, jika campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butiran yang bulat memudahkan cara pengerjaan.
5. Pemakaian butiran maksimum kerikil yang dipakai berpengaruh terhadap cara pengerjaan.
6. Cara pemadatan beton menentukan sifat pekerjaan yang berbeda.
7. selain itu, beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan adalah jumlah kadar udara yang terdapat di dalam beton dan penggunaan bahan tambah dalam campuran beton.

3.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (**Tri Mulyono**, 2003). Perbandingan faktor air semen dengan kondisi lingkungan dapat dilihat pada tabel 3.7

Tabel 3.7 Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan

	Kondisi Lingkungan		
	Kondisi Normal	Basah kering berganti-ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Koreksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm.	0,53	0,49	0,40
Struktur dinding penahan tanah, pilar, balok, abutmen.	*	0,53	0,44
Beton yang tertanam dalam pilar, balok, kolom	-	0,44	0,44
Struktur lantai beton di atas tanah	*	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara (konstruksi interior bangunan).	*	-	-

* Rasio air semen ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana.

Sumber : **Tim penyusun Struktur Beton**, 1999

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

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5 \cdot X}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan : f'c = Kuat desak beton

X = faktor air semen

A,B = konstanta

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

Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, faktor air semen dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen dan additif cementious yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998). Pada beton mutu tinggi nilai faktor air semen ada dalam rentang 0,2-0,5 (SNI 03-6468-2000). Bahan ikat yang digunakan pada penelitian ini adalah semen dan Fly Ash (sebagai pengganti semen). Rumus yang digunakan pada beton mutu tinggi adalah:

$$Fas = \frac{W}{(c + p)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan : Fas = Faktor air semen

W = Rasio total berat air

c = Berat semen

p = Berat bahan tambah pengganti semen

Nilai faktor air semen pada beton mutu tinggi termasuk berat air yang terkandung di dalam agregat. Faktor air semen pada kondisi agregat kering oven.

3.8 Slump

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. Slump merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai workability tinggi). Nilai slump berbagai macam struktur diperlihatkan pada tabel 3.8

Tabel 3.8 Nilai Slump Untuk Berbagai Macam Struktur

URAIAN	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	80	25
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi di bawah tanah	80	25
Pelat, balok, kolom dan dinding	100	25
Perkerasan jalan	80	25
Pembetonan missal	50	25

Sumber : **Kardiyono Tjokrodimulyo**, 1992

3.9 Kuat Desak Beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. (**Kardiyono Tjokrodimulyo**,1995).

Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm^2 atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm^2 sampai 500 kg/cm^2 . Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm^2 . Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar *ASTM C 39* atau menurut yang disyaratkan PBI 1989.

Modulus elastisitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu karakteristik agregat, umur beton, kondisi perawatan beton dan metode pengukuran nilai modulus. Karakteristik agregat merupakan faktor yang sangat berpengaruh, penggunaan agregat yang berbutir kecil dengan tekstur yang tajam dapat meningkatkan modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton akan meningkat dengan bertambahnya waktu. Peningkatan modulus elastisitas tergantung pada kelangsungan proses hidrasi semen, yang berhubungan dengan berkurangnya porositas beton dan peningkatan kekuatan. Penggunaan bahan tambah pengganti semen untuk meningkatkan kepadatan beton selain meningkatkan kekuatan juga menaikkan modulus elastisitas beton.

3.11 Perencanaan Campuran Beton

Tata cara perencanaan beton kekuatan tinggi dengan semen dan abu terbang ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran semen beton kekuatan tinggi dan untuk mengoptimasi proporsi campuran tersebut berdasarkan campuran coba. Tata cara ini hanya berlaku untuk beton berkekuatan tinggi yang diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional. Metode perhitungan yang digunakan adalah *SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03)*.

3.11.1 Persyaratan Kinerja

➤ Umur Uji

Kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 28 hari atau 56 hari.

➤ Kuat Tekan Yang Disyaratkan

Untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan, campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan ($f'c$).

Produsen beton boleh menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan pengalaman di lapangan berdasarkan pada kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$) yang nilainya lebih besar dari dua persamaan berikut:

$$f'_{cr} = f'_{c} + (1,34.s) \dots\dots\dots(3.6)$$

$$f'_{cr} = (0,90.f'_{c}) + (2,33.s) \dots\dots\dots(3.7)$$

Dalam hal ini produsen beton menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan campuran coba dilaboratorium, kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f'_{cr} = \frac{(f'_{c} + 9,66)MPa}{0,90} \dots\dots\dots(3.8)$$

➤ **Persyaratan Lain**

Beberapa persyaratan lain yang dapat mempengaruhi pemilihan bahan dan proporsi campuran beton antara lain.

1. Modulus Elastisitas.
2. Kuat Tekan dan Kuat Lentur.
3. Panas Hidrasi.
4. Rangkak dan Susut akibat pengeringan.
5. Permeabilitas.
6. Waktu Pengikatan.
7. Metode Pengecoran.
8. Kelecekan.

3.11.2 Faktor-faktor Yang Menentukan

➤ **Pemilihan Bahan**

Proporsi campuran yang optimum harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik semen portland dan abu terbang, kualitas agregat, proporsi pasta, interaksi agregat pasta, macam dan jumlah bahan campuran tambahan dan pelaksanaan pengadukan. Hasil evaluasi tentang semen portland, abu terbang, bahan campuran tambahan, agregat dari berbagai sumber, serta berbagai macam proporsi campuran, dapat digunakan untuk menentukan kombinasi bahan yang optimum.

➤ **Semen Portland (PC)**

Semen portland harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland. Semen yang dipakai adalah Tipe I semen (PC) Gresik.

➤ **Abu Terbang**

Abu terbang (*Fly Ash*) harus memenuhi SNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. Abu terbang yang disarankan untuk digunakan dalam beton kekuatan tinggi adalah yang mempunyai nilai hilang pijar maksimum 3%, kehalusan butir yang tinggi, dan berasal dari suatu sumber dengan mutu seragam.

➤ **Air**

Air harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan bagian A (Bahan Bangunan bukan Logam).

➤ **Agregat Kasar**

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat normal yang sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton. Ukuran nominal agregat maksimum 20 mm atau 25 mm, jika digunakan untuk membuat beton berkekuatan sampai 62,1 MPa, dan ukuran 10 mm atau 15 mm, jika digunakan untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 62,1 MPa. Secara umum, untuk rasio air bahan bersifat semen $\frac{W}{(c+p)}$ yang sama, agregat yang ukuran maksimumnya lebih kecil akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi.

➤ **Agregat Halus**

Agregat halus harus memenuhi ketentuan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat beton. Beton kekuatan tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 sampai dengan 3,2. Bila digunakan pasir buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan adukan yang sama dengan pasir alam.

➤ **Superplasticizer**

Superplasticizer harus memenuhi SNI 03-2495-1991 tentang Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton. Bila Superplasticizer yang digunakan berbentuk cair, maka kadarnya dinyatakan dalam satuan mL/kg (c + p), dan bila berbentuk tepung halus jumlahnya dinyatakan dalam berat kering gr/kg (c + p).

➤ **Rasio Air dengan Bahan Bersifat Semen** $\left(\frac{W}{(c + p)}\right)$

Rasio air dengan bahan bersifat semen $\frac{W}{(c + p)}$ harus dihitung berdasarkan perbandingan berat. Berat air yang dikandung oleh superplasticizer berbentuk cair harus diperhitungkan dalam $\frac{W}{(c + p)}$. Perbandingan $\frac{W}{(c + p)}$ untuk beton kekuatan tinggi secara tipikal ada dalam rentang nilai 0,20-0,5

➤ **Kelecakan**

Kelecakan adalah kemudahan pengerjaan yang meliputi pengadukan, pengecoran, pemadatan dan penyelesaian permukaan (finishing) tanpa terjadi segregasi.

➤ **Slump**

beton kekuatan tinggi harus diproduksi dengan slump terkecil yang masih memungkinkan adukan beton di lapangan untuk dicor dan dipadatkan dengan baik. Slump yang digunakan umumnya sebesar 50-100 mm. Bila menggunakan Superplasticizer, nilai slump boleh lebih dari pada 200 mm.

➤ **Metode Pengujian**

Metode pengujian yang digunakan adalah berdasarkan SNI, kecuali jika terdapat indikasi adanya penyimpangan akibat karakteristik beton kekuatan tinggi tersebut. Kekuatan potensial untuk satu set bahan tertentu dapat ditetapkan hanya bila benda uji telah dibuat dan diuji pada kondisi standar. Minimum dua benda uji harus diuji untuk setiap umur dan kondisi uji.

➤ **Ukuran Benda Uji**

Ukuran benda uji silinder yang dapat digunakan adalah 150 x 300 mm atau 100 x 200 mm sebagai benda uji standar untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton kekuatan tinggi. Hasil uji silinder 150 x 300 mm tidak boleh dipertukarkan dengan silinder 100 x 200 mm.

➤ **Cetakan**

Cetakan benda uji dibuat dari baja sesuai dengan SNI 03-2493-1991.

➤ **Mesin uji**

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Kekakuan Lateral Minimum 17874 kg/cm.
- b. Kekakuan Longitudinal Minimum 178740 kg/cm.

3.11.3 Prosedur Proporsi Campuran beton kekuatan tinggi

Perancangan proporsi campuran harus mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Tentukan slump dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan.

Slump untuk beton kekuatan tinggi tanpa superplasticizer dapat diambil sebesar 50-100 mm disesuaikan dengan kondisi pembetonan. Slump awal untuk beton kekuatan tinggi dengan superplasticizer dapat diambil sebesar 200-500 mm, kemudian sebelum dilaksanakan pengecoran di lapangan ditambah dengan superplasticizer sampai slump yang disyaratkan tercapai. Kuat tekan rata yang ditargetkan untuk proporsi campuran yang dirancang berdasarkan pengalaman di lapangan, diambil yang lebih besar dari pada persamaan (3.6) atau (3.7), sedangkan untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba laboratorium diambil sesuai persamaan (3.8) pada butir 3.11.1.2

2. Ukuran Agregat Kasar

Untuk agregat tekan rata-rata $<62,1$ MPa digunakan ukuran agregat maksimum 20-25 mm. Untuk kuat tekan rata-rata $>62,1$ MPa digunakan

ukuran agregat maksimum 10-15 mm. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai SNI 03-2947-1992, yaitu:

- 1/5 lebar minimum acuan.
- 1/3 tebal pelat beton.
- 3/4 jarak bersih minimum antar batang tulangan, kabel prategang.

3. Kadar Agregat Kasar Optimum

Kadar agregat kasar optimum digunakan bersama-samadengan agregat halus yang mempunyai nilai modulus kehalusan antara 2,5-3,2

Berat agregat kasar padat kering oven per m³ beton adalah besarnya fraksi volume padat kering oven dikalikan dengan berat isi padat kering oven (kg/m³).

Besarnya fraksi volume agregat padat kering oven yang disarankan berdasarkan besarnya ukuran agregat maksimum, tercantum dalam tabel 3.9 di bawah ini:

Tabel 3.9 Fraksi Volume Agregat Kasar Yang Disarankan

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi Volume Padat Kering Oven	0,65	0,68	0,72	0,75

4. Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar diberikan pada tabel 3.10.

Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus berpengaruh pada kadar rongga udara pasir, karena itu kadar rongga udara yang aktual dan kadar air harus dikoreksi dengan persamaan (3.9) dan (3.10).

$$\text{Kadar Rongga Udara (V)} = \left(1 - \left(\frac{X}{Y} \right) \right) \cdot 100\% \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

X = Berat isi padat kering oven

Y = Berat jenis relatif kering

$$\text{Koreksi Kadar Air, liter/m}^3 = (V-35) \times 4,75 \dots\dots\dots(3.10)$$

Penggunaan persamaan (3.10) mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m³ untuk setiap persen (%) penyimpangan kadar udara dari 35%.

Tabel 3.10 Estimasi Pertama kebutuhan Air Pencampuran dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir dengan 35% Rongga Udara

Air Pencampur (Liter/m ³)					Keterangan
Slump (mm)	Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)				
	10	15	20	25	
25-50	184	175	169	166	
50-75	190	184	175	172	
75-100	196	190	181	178	
Kadar Udara	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa <i>Superplasticizer</i>
(%)	2,5	2,0	1,5	1,0	Dengan <i>Superplasticizer</i>

Catatan :

- Kebutuhan air pencampuran pada tabel di atas adalah untuk beton kekuatan tinggi sebelum diberi *Superplasticizer*.
- Nilai kebutuhan air di atas merupakan nilai-nilai maksimum jika agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan bentuk butiran yang baik, permukaannya bersih, dan bergradasi baik sesuai ASTM C 33.
- Nilai-nilai harus dikoreksi jika rongga udara pasir bukan 35%, dengan menggunakan persamaan (3.10).

5. Tentukan Rasio Air dengan Bahan bersifat Semen $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$

Rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ untuk beton tanpa *Superplasticizer* dihitung dengan tabel 3.11 dan untuk beton dengan *Superplasticizer* dihitung dengan tabel 3.12.

Tabel 3.11 Rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ Maksimum yang Disarankan (Tanpa Superplasticizer)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / (c + p)			
		Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55,2	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62,1	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,32	0,30
69,0	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Catatan : $f'_{cr} = f'_c + 9,66$ (MPa)

Tabel 3.12 Rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ Maksimum yang Disarankan (dengan Superplasticizer)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / (c + p)			
		Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69,0	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,8	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Catatan : $f'_{cr} = f'_{c} + 9,66$ (MPa)

6. Tentukan Kadar Bahan Bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen per m^3 beton dapat ditentukan dengan membagi kadar air dengan (c + p).

Bila kadar bahan bersifat semen yang dibutuhkan lebih dari $594 \text{ kg}/m^3$, proporsi campuran beton disarankan dibuat dengan menggunakan bahan bersifat semen alternatif atau metode perancangan proporsi beton lain.

7. Proporsi Campuran Dasar tanpa Bahan Bersifat Semen lainnya

Salah satu campuran harus dibuat hanya dengan semen portland saja sebagai campuran dasar.

Penentuan proporsi campuran dasar harus menggunakan persyaratan berikut:

- **Kadar Semen** untuk campuran dasar, karena semen portland merupakan satu-satunya bahan bersifat semen yang digunakan, maka kadar semen portland sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).
- **Kadar Pasir**, sesudah ditentukan kadar agregat kasar, kadar air, kadar udara dan kadar semen, maka pasir untuk membuat 1 m³ campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan *Metode Volume Absolut*.

8. Proporsi Varian Campuran dengan Abu Terbang

Penentuan proporsi varian campuran harus mengikuti persyaratan berikut:

- Tipe Abu Terbang (Fly Ash) harus sesuai dengan Pd M-09-1997-03.
- Kadar Abu Terbang sebagai pengganti sebagian semen portland.
Abu Terbang kelas F 15-25% berat semen portland.
Abu Terbang kelas C 20-35% berat semen portland.
- Berat Abu Terbang, setelah persentase penggantian semen portland ditentukan, berat abu terbang yang akan digunakan untuk setiap varian campuran coba dapat dihitung dengan mengalikan berat bahan semen total dari prosedur (6) dengan persentase penggantian yang telah ditentukan. Karena itu untuk setiap varian campuran berat abu terbang ditambah berat semen tetap sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).
- Volume Abu Terbang, adalah volume total bahan bersifat semen dikurangi volume semen portland.
- Kadar Pasir, ditentukan dengan metode Volume Absolut adalah 1 m³ dikurangi volume per m³ beton dari semen portland, abu terbang, agregat kasar, air dan rongga udara.

9. Campuran Coba

Dari setiap proporsi campuran harus dibuat campuran coba untuk pemeriksaan karakteristik kelecakan dan kekuatan beton dari proporsi tersebut.

Berat pasir, berat agregat kasar dan volume air harus dikoreksi sesuai kondisi kebasahan agregat saat itu.

Setelah pengadukan, setiap adukan harus menghasilkan campuran yang merata dalam volume yang cukup untuk pembuatan sejumlah benda uji.

10. Penyesuaian Proporsi Campuran Coba

Bila sifat-sifat beton yang diinginkan tidak tercapai, maka proporsi campuran coba semula harus dikoreksi agar menghasilkan sifat-sifat beton yang diinginkan.

- **Slump Awal**

Jika slump awal campuran coba di luar rentang slump yang diinginkan, maka pertama-tama harus dikoreksi adalah kadar air.

Kemudian kadar bahan bersifat semen dikoreksi agar rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ tidak berubah, dan kemudian baru dilakukan koreksi kadar pasir untuk menjamin tercapainya slump yang diinginkan.

- **Kadar Superplasticizer**

Bila digunakan bahan superplasticizer maka kadarnya harus divariasikan pada suatu rentang yang cukup besar untuk mengetahui efek yang timbul pada kelecakan dan kekuatan beton.

- **Kadar Agregat Kasar**

Setelah campuran coba dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan, harus dilihat apakah campuran menjadi terlalu kasar untuk pengecoran atau untuk difinishing.

Bila perlu, kadar agregat kasar boleh direduksi dan kadar pasir disesuaikan supaya kelecakan yang diinginkan tercapai.

Proporsi ini dapat mengakibatkan kebutuhan air bertambah sehingga kebutuhan total bahan bersifat semen juga meningkat agar rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ terjaga konstan.

- **Kadar Udara**

Bila kadar udara hasil pengukuran berbeda jauh dari yang diperkirakan pada prosedur (4), jumlah Superplasticizer harus direduksi atau kadar pasir dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan.

- **Rasio $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$**

Bila kuat tekan yang ditargetkan tidak dapat dicapai dengan menggunakan $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ yang ditentukan pada tabel 3.10 atau 3.11, campuran coba ekstra dengan perbandingan $\left(\frac{W}{(c+p)}\right)$ yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

11. Penentuan Proporsi Campuran yang Optimum

Setelah campuran coba yang dikoreksi menghasilkan kelecakan dan kekuatan yang diinginkan, benda-benda uji harus dibuat dengan proporsi campuran coba tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan.

Untuk mempermudah prosedur produksi dan pengontrolan mutu, maka pelaksanaan pembuatan benda uji itu harus dilakukan oleh personil dengan menggunakan peralatan yang akan digunakan di lapangan.

Hasil uji kekuatan untuk menentukan proporsi campuran optimum yang akan digunakan berdasarkan dua pertimbangan utama yaitu kekuatan beton dan biaya produksi.

BAB IV

METODELOGI PENELITIAN

Metodelogi yang kami lakukan adalah dengan cara membuat benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia, kemudian kami mengujinya dengan cara tekan dengan umur beton 28 hari.

4.1 Bahan – bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pencampuran adalah :

1. Semen *Portland* (PC) merek Gresik tipe I.
2. Agregat halus (pasir) diambil dari Kali Gendol.
3. Agregat kasar (kerikil) diambil dari Kali Clereng.
4. Air dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.
5. Bahan Tambah *Fly Ash* dari PLTU PT. Sumber Segara Primadaya (S2P) Cilacap.
6. *Superplasticizer* menggunakan *Sika Viscocrete 10*.

4.2 Peralatan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Timbangan
2. Satu set alat pemeriksaan agregat (piring, piknometer, oven, saringan agregat serta mesin *shieve shaker* untuk mengayak saringan).
3. Mesin aduk beton (molen).
4. Kerucut Abrahams
5. Cetakan silinder.
6. Tongkat penumbuk
7. Mesin uji desak.
8. Meja getar
9. Sekop besar.
10. Kaliper.

11. Penggaris.
12. Gelas ukur.
13. Ember.
14. Sendok semen (cetok).
15. Seperangkat peralatan kunci.

4.3 Pemeriksaan Material yang digunakan

4.3.1 Pemeriksaan kadar lumpur pasir

Tujuannya adalah untuk mengetahui kadar lumpur yang dikandung dalam agregat halus yang akan digunakan sebagai bahan adukan beton. Pada agregat ini kandungan lumpurnya tidak boleh lebih dari 5 %.

4.3.2 Pemeriksaan berat volume

Pemeriksaan ini untuk mengetahui berat volume dalam kondisi “ SSD ” (*Saturated Surface Dry*).

4.3.3 Pemeriksaan berat jenis

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis agregat yang akan digunakan.

4.3.4 Analisis saringan dan modulus butiran halus

Analisis saringan bertujuan untuk mengetahui distribusi butiran (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan. Dari analisis saringan yang dilakukan diperoleh modulus halus butiran agregat halus. Modulus halus diperoleh dari jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan dan kemudian dibagi seratus (1 set ayakan #40, #20, #10, #4,8, #2,4, #1,2, #0,60, #0,30 dan #0,15 mm). Semakin besar nilai mhb, semakin besar butiran agregatnya.

4.4 Perhitungan campuran beton (*Mix Design*)

Tata cara ini hanya berlaku untuk beton berkekuatan tinggi yang diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional. Metode perhitungan yang digunakan adalah SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03).

Dalam perhitungan ini, nilai-nilai yang perlu diketahui sebelum perhitungan yaitu: Kuat tekan yang disyaratkan $f'c = 65$ MPa pada umur 28 hari,. Pasir yang digunakan pasir alam, dengan karakteristik sebagai berikut : modulus kehalusan = 2,806 ; berat jenis relatif (kering oven) = 2,631 ; kapasitas absorpsi = 3,092% ; berat isi padat kering oven = 1962 kg/m³.

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah, ukuran maksimum agregat dibatasi 20 mm dengan karakteristik sebagai berikut: Berat jenis relatif (kering oven) = 2,583 ; kapasitas absorpsi = 2,944%, berat isi padat kering oven = 1490,162 kg/m³. Agregat kasar memenuhi daerah gradasi No. 7 pada ASTM C 33.

Bahan tambah untuk mempermudah pengerjaan dipakai superplasticizer jenis Sika Viscocrete 10, jumlah dosis yang digunakan semua sama untuk setiap variasi yaitu sebesar 0,6%. Semen yang dipakai semen tipe I dengan berat jenis relatif = 3,15. Bahan tambah pengganti semen dipakai abu terbang (Fly Ash) berasal dari limbah PLTU berbahan bakar batu bara PT. Sumber Segara Primadaya (S2P) Cilacap, berdasarkan kelasnya yang dipakai abu terbang kelas C dengan berat jenis relatif = 2,64.

Perhitungan Proporsi Campuran

- **Menentukan slump dan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan.**

Slump awal sesudah penambahan pelambat pengikatan dan sebelum superplasticizer, direncanakan sebesar 25-50 cm. proporsi campuran akan dibuat berdasarkan campuran coba laboratorium. Persamaan (3.8) digunakan untuk menentukan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$)

$$f'cr = \frac{(65 + 9,66)}{0,90} = 82,955 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

- **Menentukan ukuran Agregat Kasar Maksimum**

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan $82,955 \text{ MPa} > 65 \text{ MPa}$, maka digunakan agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 15 mm.

- **Menentukan Kadar Agregat Kasar Optimum**

Karena ukuran agregat kasar maksimum 15 mm, maka dari tabel 3.9, didapat fraksi agregat kasar optimum = 0,68

Kadar agregat kasar padat kering oven = $0,68 \times 1490,162 = 1013,310 \text{ kg/m}^3$.

- **Estimasi Kadar Air Pencampuran dan Kadar Udara**

Berdasarkan slump awal sebesar 25-50 mm dan ukuran agregat kasar maksimum 15 mm, dari tabel 3.10 didapat estimasi pertama kebutuhan air = 175 liter/m^3 dan kadar udara untuk beton kekuatan tinggi dengan superplasticizer = 2,0 %

Kadar rongga udara dihitung dengan persamaan (3.9)

$$V = \left(1 - \frac{1962}{2,631 \times 1000} \right) \times 100\% = 25,4276\%$$

Koreksi kadar air dihitung dengan persamaan (3.10):

$$\text{Koreksi kadar air, liter/m}^3 = (25,4276 - 35) \times 4,75 = -45,4689 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Maka kebutuhan air total} = 175 + (-45,4689) = 129,5311 \text{ liter/m}^3$$

Di dalam nilai ini belum termasuk air yang terkandung di dalam *Superplasticizer* cair.

- **Penentuan Rasio $\frac{W}{(c+p)}$**

Lihat tabel 3.12 untuk beton kekuatan tinggi dengan superplasticizer dan ukuran agregat maksimum 15 mm. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan untuk kondisi laboratorium pada umur 28 hari. $f'_{cr} = 82,955 \text{ MPa}$, maka kekuatan lapangan $f'_{cr} = 0,90 \times 82,955 = 74,659 \text{ MPa}$

$$\text{Setelah diinterpolasi, maka nilai Rasio } \frac{W}{(c+p)} = 0,2953$$

- **Menghitung Kadar Bahan Bersifat Semen.**

Kadar bahan bersifat semen : $(c + p) = 129,5311 : 0,2953 = 438,642 \text{ kg/m}^3$ beton. pada ketentuan tidak dipersyaratkan nilai kadar minimum bahan

bersifat semen, maka kadar bahan bersifat semen yang digunakan 438,642 kg/m³ beton.

- **Proporsi Campuran Dasar dengan Semen Portland saja.**

Volume semua bahan kecuali pasir per m³ campuran beton adalah sebagai berikut :

Semen Portland	= 438,642	: 3,15	=	139,251	liter
Agregat Kasar	= 1013,310	: 2,583	=	392,299	liter
Air	= 129,5311		=	129,5311	liter
Kadar Udara	= 0,02	x 1000	=	20,00	liter
				681,081	liter
				+	
				Sub Total	= 681,081 liter

Maka kebutuhan volume pasir per m³ beton = 1000 – 681,081 = 318,919 liter.

Dikonversi menjadi berat pasir kering oven = 0,318919 x 2,631 x 1000 = 839,076 kg. Proporsi Campuran dasar : (berat kering)

Air	=	129,5311	kg
Semen Portland	=	438,642	kg
Agregat Kasar	=	1013,310	kg (kering oven)
Pasir	=	839,076	kg (kering oven)

- **Proporsi Varian Campuran dengan Abu Terbang**

1. Abu terbang yang digunakan sesuai dengan pd M-09-1997-03 yang terkait, termasuk kelas C dengan berat jenis relatif 2,64.
2. Persentase penggantian kadar semen portland dengan abu terbang kelas C yang disarankan adalah 20-30%. Karena itu dapat dibuat 4 (empat) varian campuran coba dengan kadar abu terbang 20%, 25%, 30% dan 35% dari kadar semen portland pada campuran dasar.
3. Bahan bersifat semen untuk keempat macam varian campuran:
Campuran # 1: 350,92 kg pc + 87,72 kg Fly Ash = 438,642 kg

Campuran # 2: 328,98 kg pc + 109,66 kg *Fly Ash* = 438,642 kg

Campuran # 3: 307,05 kg pc + 131,59 kg *Fly Ash* = 438,642 kg

Campuran # 4: 285,12 kg pc + 153,52 kg *Fly Ash* = 438,642 kg

4. Volume bahan bersifat semen untuk keempat macam varian campuran:

Campuran # 1: 111,40 l pc + 33,22 l *Fly Ash* = 144,62 l

Campuran # 2: 104,44 l pc + 41,54 l *Fly Ash* = 145,98 l

Campuran # 3: 97,476 l pc + 49,84 l *Fly Ash* = 147,31 l

Campuran # 4: 90,515 l pc + 58,15 l *Fly Ash* = 148,66 l

5. untuk semua varian campuran per m³, volume air, agregat kasar dan udara tetap sama dengan campuran dasar. Yang berubah adalah volume total bahan bersifat semen. Karena itu, volume pasir untuk campuran # 1 sampai dengan # 4 perlu dikoreksi

Untuk Campuran Dasar

Air	=	129,53	liter
Semen Portland	=	139,251	liter
Agregat Kasar	=	392,299	liter
Kadar udara	=	20,00	liter
			+
Sub Total	=	681,08	liter

Maka kebutuhan volume pasir per m³ beton = 1000 – 681,08 = 318,92 liter.

Berat pasir kering oven = 0,31892 x 2,631 x 1000 = 839,08 kg.

Dengan cara yang sama, ditentukan proporsi campuran # 2, # 3 dan # 4 (dalam berat).

Maka :

Air	=	129,53	kg
Semen Portland	=	438,64	kg
Agregat Kasar	=	1013,310	kg (kering oven)
Pasir	=	839,08	kg (kering oven)

Varian campuran #1, # 2, # 3 dan # 4 dihitung dengan cara yang sama.

Tabel 4.1 Proporsi Per m³ Campuran (Berat Kering):

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	129,53	129,53	129,53	129,53	129,53
Semen Portland(kg)	438,642	350,92	328,98	307,05	285,12
Abu Terbang (kg)	-	87,72	109,66	131,59	153,52
Agregat Kasar (kg)	1013,310	1013,310	1013,310	1013,310	1013,310
Pasir (kg)	839,08	825,03	821,50	817,96	814,42

Banyaknya pengalaman dalam menggunakan bahan campuran tambahan akan membantu koreksi jumlah bahan tambahan yang dapat digunakan agar biaya produksi beton lebih ekonomis.

- **Campuran Coba**

Dibuat lima macam campuran coba sesuai proporsi campuran dasar dan empat varian campuran, yang harus disesuaikan dengan kondisi kebasahan agregat saat perencanaan campuran. Pada saat perencanaan campuran kadar air pasir 3,092% dan kadar air agregat kasar 2,944%, diukur terhadap berat kering oven.

Untuk Campuran Dasar (Keadaan Basah):

$$\text{Agregat Kasar (basah)} = 1013,310 \times (1 + 0,02944) = 1043,14 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir (basah)} = 839,08 \times (1 + 0,03092) = 865,02 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 129,53 - \left[\frac{1043,14}{1 + 0,02944} \times 0,02944 \right] - \left[\frac{865,02}{1 + 0,03092} \times 0,03092 \right] = 73,75$$

Dengan cara yang sama, proporsi varian campuran # 1, # 2, # 3 dan # 4 dikoreksi.

Tabel 4.2 Proporsi Per m³ Campuran (Sesuai Kondisi Kebasahan Agregat):

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	73,75	74,19	74,30	74,41	74,52
Semen Portland (kg)	438,642	350,92	328,98	307,05	285,12
Abu Terbang (kg)	-	87,72	109,66	131,59	153,52
Agregat Kasar (kg)	1043,14	1043,14	1043,14	1043,14	1043,14
Pasir (kg)	865,13	850,54	846,90	843,25	839,60

Tabel 4.3 Proporsi Untuk Persatu Silinder Campuran Coba (0.005299 m³):

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	0,9609	0,9609	0,9609	0,9609	0,9609
Semen Portland (kg)	3,2530	2,6024	2,4397	2,2771	2,1144
Abu Terbang (kg)	-	0,6506	0,8132	0,9759	1,1385
Agregat Kasar (kg)	7,5170	7,5170	7,5170	7,5170	7,5170
Pasir (kg)	6,2253	6,1203	6,0941	6,0678	6,0416

Pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai slump 25-50 mm maka perlu dilakukan koreksi air. Sebelum melakukan pembuatan sampel keseluruhan dilakukan pembuatan contoh satu sampai tiga sampel silinder berdasarkan hasil hitungan kebutuhan material awal pada tabel 4.3 di atas agar nilai slump 25-50 cm bisa terpenuhi dengan tetap selalu menjaga nilai faktor air semen. Setelah kebutuhan air koreksi didapat dan nilai slump 25-50 mm terpenuhi maka kebutuhan material yang baru dihitung lagi dengan memakai kebutuhan air yang baru (air koreksi).

Perhitungan kebutuhan materialnya terdapat pada tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Proporsi Per m³ Campuran (Sesuai Kondisi Kering Oven) Untuk Penambahan Air 1,017 kg:

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	238,6776	238,6776	238,6776	238,6776	238,6776
Semen Portland (kg)	392,5422	314,0338	294,4067	274,7796	255,1525
Abu Terbang (kg)	-	78,5084	98,1356	117,7627	137,3898
Agregat Kasar (kg)	907,0945	907,0945	907,0945	907,0945	907,0945
Pasir (kg)	751,2219	738,5543	735,3874	732,2205	729,0536

Dari data perhitungan kebutuhan material yang baru setelah dilakukan koreksi kebutuhan air untuk mencapai nilai slump 25-50 cm, maka dilakukan lagi pembuatan contoh sampel. Contoh sampel yang dihasilkan hampir keseluruhan campuran diisi oleh agregat dan semen. Sedangkan pasir yang dipakai sangat sedikit, oleh sebab itu dilakukan pengurangan agregat kasar sebesar 35% dan digantikan dengan pasir. Sehingga dilakukan lagi pengecekan kebutuhan air untuk mencapai nilai slump 25-50 cm. Dari pembuatan contoh sampel tersebut dilakukan penambahan air sebanyak 0,667 kg. Hasil perhitungan kebutuhan material terdapat dalam tabel 4.5 dan tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.5 Proporsi Per m³ Campuran (Sesuai Kondisi Kering Oven) Untuk Penambahan Air 0,667 kg:

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	293,8798	292,5168	290,9480	291,9814	290,5649
Semen Portland (kg)	749,4177	600,6915	564,3970	526,0028	489,4083
Abu Terbang (kg)	-	150,1729	188,1323	225,4298	263,5276
Agregat Kasar (kg)	841,3226	842,9466	844,8158	843,5846	845,2722
Pasir (kg)	374,9029	351,3958	346,1039	339,5372	334,1420

Tabel 4.6 Proporsi Per m³ Campuran (Sesuai Kondisi Kering Oven) Untuk Penambahan Air 0,677 kg Dengan Pengurang Agregat Kasar 35% Ditambahkan Pada Pasir:

Tipe Campuran	Camp Dasar	Camp # 1	Camp # 2	Camp # 3	Camp # 4
Air (kg)	293,5602	288,3241	288,6125	288,6167	286,2610
Semen Portland (kg)	745,7905	599,0074	561,4354	523,8168	487,4449
Abu Terbang (kg)	-	149,7519	187,1451	224,4929	262,4703
Agregat Kasar (kg)	549,7346	550,4645	552,7729	552,0162	552,8834
Pasir (kg)	675,7800	662,1704	653,1760	648,1357	645,9815

Untuk pembuatan masing-masing sampel digunakan hasil hitungan kebutuhan material yang baru seperti tabel 4.5. Pada saat akan melakukan pembuatan sampel maka kadar air yang terkandung dalam agregat dan pasir diperiksa lagi dilaboratorium, karena pengaruh kandungan air yang ada dalam agregat dan pasir sangat mempengaruhi nilai faktor air semen dan kebutuhan air yang akan digunakan.

4.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan dan perawatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Bahan dan alat-alat yang akan digunakan untuk pembuatan beton (benda uji) telah disiapkan terlebih dahulu.
2. Dilakukan pemeriksaan laboratorium terhadap material yang akan digunakan agar mutu beton yang direncanakan mencapai kekuatan maksimal sesuai dengan perhitungan, yaitu pemeriksaan agregat yang meliputi gradasi agregat (Modulus Halus Butiran), pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan berat volume agregat.
3. Merencanakan campuran beton (*mix design*). Setiap ingin melakukan pengadukan maka kadar air material seperti agregat kasar dan pasir diperiksa lagi, agar kebutuhan air yang dipakai dihitung lagi.
4. Menimbang bahan yang dibutuhkan sesuai dengan yang telah ditentukan dalam perencanaan.
5. Pengadukan bahan didahului dengan memasukkan pasir dan semen portland kemudian diaduk, masukkan kerikil, air dan bahan tambah (jika menggunakannya) secara bergantian sampai semua bahan habis.
6. Setelah adukan homogen, tuang adukan ke alas campuran beton.
7. Diukur nilai *slump* dari adukan tersebut, jika belum sesuai dengan nilai *slump* yang direncanakan masukkan kembali ke dalam bak pengadukan untuk dilakukan penyesuaian dengan penambahan air.
8. Setelah *slump* yang didapat sesuai dengan rencana, kemudian adukan beton dimasukkan kedalam cetakan silinder. Pengisian adukan dilakukan tiga tahap, masing-masing $\frac{1}{3}$ dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja (dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 60 cm yang ujungnya dibulatkan) sebanyak 25 kali.
9. Setelah padat dan cetakan penuh , kemudian permukaannya diratakan.
10. Setelah itu simpan cetakan ditempat yang sejuk, diletakan ditempat yang rata dan bebas dari getaran dan gangguan lain dan dibiarkan 24

jam. Setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari cetakan. Diukur tinggi, diameter dan beratnya serta beri tanda seperlunya. Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji di dalam kolam perendaman selama 28 hari.

11. Pengujian dilakukan dengan mesin desak beton sesuai dengan umur yang telah ditentukan.

4.6 Pengujian kuat desak benda uji

Untuk melaksanakan pengujian kuat desak beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

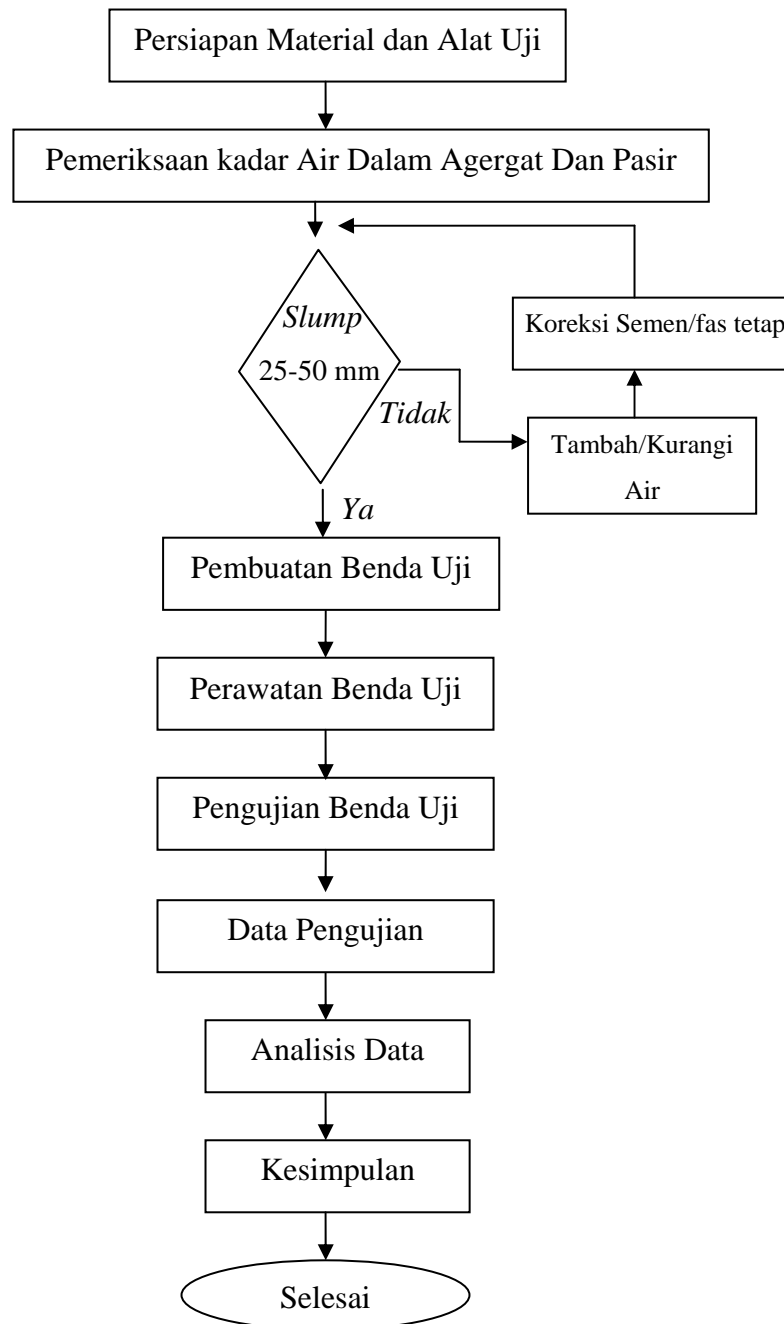
1. Alat-alat dan benda uji yang akan digunakan dipersiapkan terlebih dahulu.
2. benda uji diuji dengan mesin desak. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris (tepat di tengah) lalu diberikan beban tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 – 4 kg/cm² per detik.
3. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
4. Catatlah keadaan benda uji.

4.7 Pengolahan data

Setelah bahan dan alat uji siap serta sampel uji telah dibuat, maka siap untuk diuji sesuai prosedur penelitian. Hasil dari pengujian berupa data-data kasar yang masih perlu diolah lebih lanjut untuk mengetahui hubungan/korelasi antar satu pengujian dengan pengujian lainnya. Secara umum dari pengujian-pengujian yang akan dilakukan nantinya akan menghasilkan pengaruh perawatan dan penambahan *additif* pada mutu beton.

4.8 Langkah-langkah penelitian

Langkah-langkah penelitian tergambar dalam gambar 4.1 dibawah ini



Gambar 4.1 Flowchart Pelaksanaan Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Penelitian ini merupakan studi eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium, dalam pelaksanaan eksperimen ini peneliti menggunakan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia.

Seluruh tahap pekerjaan yang direncanakan pada penelitian ini telah selesai dilaksanakan. Dimulai dari tahap perhitungan campuran beton, pengecekan kandungan air dalam material (pasir dan kerikil), kemudian persiapan bahan dan material, pembuatan benda uji, sampai dengan pengujian kuat desak dapat dilaksanakan tanpa menemui kesulitan yang berarti. Hasil penelitian yang berupa data-data kasar, selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh bahan pengganti dengan menggunakan *Fly Ash* yang berasal dari PLTU Cilacap dan bahan tambah *Superplasticizer (Sika Viscocrete 10)* terhadap kuat desak beton.

5.2 Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji penelitian ini dilakukan dengan cara pengadukan manual, benda uji beton setiap variasi dikurangi proporsi semennya dan digantikan dengan *Fly Ash* secara gradual mulai dari 20%; 25%; 30% dan 35%, serta dengan menggunakan bahan tambah *Superplasticizer Sika Viscocrete-10* sebesar 0,6% dari berat semen. Alasan peneliti mengganti sebagian semen dengan menggunakan *Fly Ash* dan menggunakan *Sika Viscocrete-10* adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan kekuatan beton yang diakibatkan menggunakan campuran *Fly Ash* dan *Sika Viscocrete-10*. Proses dalam pembuatan adukan beton adalah sebagai berikut :

1. Proses awal pembuatan benda uji beton normal tanpa penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* adalah dengan pengadukan manual didahului dengan memasukkan pasir dan semen portland kemudian diaduk, masukkan kerikil, air secara bergantian sampai semua bahan habis, kemudian diaduk sampai adukan terlihat telah homogen.

2. Setelah adukan homogen, diukur nilai *slump* dari adukan tersebut, jika belum sesuai dengan nilai *slump* yang direncanakan maka campuran dimasukkan kembali untuk dilakukan penyesuaian dengan penambahan air.
3. Setelah *slump* normal yang didapat sesuai dengan rencana, kemudian adukan beton diberi bahan tambah (*Sika Viscocrete-10*), lalu diukur lagi nilai *slump* yang sudah menggunakan *Sika Viscocrete-10*. Setelah itu adukan dimasukkan kedalam cetakan silinder. Pengisian adukan dilakukan tiga tahap, masing-masing $\frac{1}{3}$ dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja sebanyak 25 kali.
4. Untuk pembuatan benda uji dengan penggantian sebagian semen menggunakan *Fly Ash* adalah dengan melakukan tahapan-tahapan seperti diatas, hanya yang berbeda pada banyaknya penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash*, yang dilakukan setelah proporsi semen dan *Fly Ash* diaduk rata terlebih dahulu kemudian dicampurkan dengan agregat kasar, agregat halus dan air hingga tercampur merata.

Hal terpenting yang perlu diperhatikan dalam semua pengujian yang akan dilakukan adalah kondisi permukaan benda uji. Permukaan yang rata akan menghasilkan nilai kuat tekan, tegangan regangan dan modulus elastisitas yang cukup baik karena distribusi beban akan tersebar secara merata ke seluruh permukaan benda uji.

Tabel 5.1 Komposisi Material Pada Tiap Variasi

CAMPURAN	PC	FLY ASH	AIR	AGREGAT KASAR	AGREGAT HALUS	SUPERPLASTICIZER
BN	745.8	-	293.560	549.735	675.780	0.6%
BP20	599.007	149.7519	288.324	550.4645	662.1704	0.6%
BP25	561.435	187.1451	288.613	552.7729	653.176	0.6%
BP30	523.817	224.4929	288.617	552.0162	648.1357	0.6%
BP35	487.445	262.4703	286.261	552.8834	645.9815	0.6%

5.3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.3.1 Nilai Slump dan Workability

Workability (kemudahan pengerjaan) beton dapat dilihat dari nilai slump yang terjadi. Karena nilai *slump* merupakan parameter *workability*, semakin tinggi nilai *slump* maka semakin mudah proses pengerjaan beton (*workability*). Beton mutu tinggi menggunakan nilai fas rendah, berarti air yang digunakan sangat sedikit, sehingga nilai slump rendah. Dalam penelitian ini nilai *slump* yang seharusnya rendah berkisar antara 25-50 mm karena pada beton mutu tinggi air yang digunakan sangat sedikit, dengan cara menambahkan bahan tambah *Superplasticizer* (*Sika Viscocrete-10*) yang bisa menjadikan nilai *slump* lebih tinggi dari yang direncanakan. Dalam penelitian ini, pemakaian bahan tambah *Superplasticizer* (*Sika Viscocrete-10*) semua sama untuk setiap variasi yaitu sebesar 0,6%. Dengan penambahan *Superplasticizer* diharapkan akan diperoleh tingkat *workability* yang tinggi untuk mencapai nilai slump yang sesuai tanpa terjadi *bleeding* dan *segregasi*. *Superplasticizer* merupakan bahan tambah kimia yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. (L. J Murdock dan Brook, 1978)

Pada penelitian-penelitian terdahulu juga telah membuktikan bahwa pengurangan air pada adukan beton akan membuat nilai fas menjadi lebih kecil sehingga kuat tekan beton meningkat, tetapi hal tersebut bisa berdampak pada turunnya nilai *slump*. Seiring dengan menurunnya nilai *slump* pada adukan beton, maka tingkat *workability* juga akan menurun, dengan kata lain semakin banyak pengurangan air dalam adukan beton maka kuat tekan beton akan meningkat, akan tetapi semakin kecil nilai fas maka akan menurunkan nilai *slump* dan tingkat *workability*, hal tersebut akan sangat berpengaruh pada proses pengerjaan beton. Namun dengan menambahkan bahan tambah beton (*Sika Viscocrete-10*) tanpa pengurangan air, tingkat penurunan *workability* dapat dihindari sehingga saat pengerjaan beton dilaksanakan bisa menjadi lebih mudah dan bisa mendapatkan kuat tekan beton yang lebih baik. Penggunaan *Superplasticizer* terlalu banyak kemungkinan yang terjadi adalah hidrasi menjadi lambat, sehingga beton tidak kering dalam 24 jam (A. Ilham dkk, 2004). Hal ini terbukti pada campuran beton

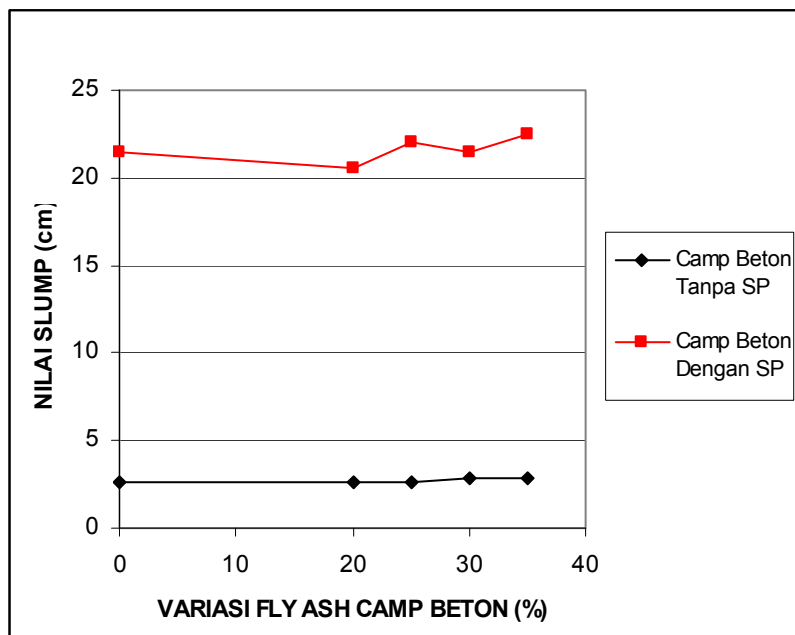
20% *Fly Ash* (BP 20 %), proses pengerasannya sangat lambat. Hal tersebut di atas dapat dilihat pada tabel 5.2, tabel 5.3 dan gambar grafik 5.1, hubungan antara nilai *slump* sebelum ditambahkan dengan *Sika Viscocrete-10* dengan nilai *slump* setelah ditambahkan *Sika Viscocrete-10*.

Tabel 5.2 Nilai Slump Tanpa Superplasticizer Pada Tiap Variasi

NO	Slump (cm)			
	Nama Sampel	Selinder 5 Sampel	Selinder 5 Sampel	Rata-rata
1	BN	2.5	2.7	2.6
2	BP 20 %	2.7	2.5	2.6
3	BP 25 %	2.7	2.5	2.6
4	BP 30 %	2.9	2.7	2.8
5	BP 35 %	3	2.8	2.9

Tabel 5.3 Nilai Slump Dengan Superplasticizer Pada Tiap Variasi

NO	Slump (cm)			
	Nama Sampel	Selinder 5 Sampel	Selinder 5 Sampel	Rata-rata
1	BN	21	22	21.5
2	BP 20 %	20	21	20.5
3	BP 25 %	21	23	22
4	BP 30 %	21	22	21.5
5	BP 35 %	22	23	22.5



Gambar 5.1 Grafik Nilai Slump Pada Tiap Variasi

Salah satu masalah yang berkaitan dengan penambahan Superplasticizer dalam campuran beton adalah cepat mengerasnya adukan sehingga sulit untuk dilakukannya uji slump. Hal ini terjadi pada campuran beton normal dengan Superplasticizer (BN) setelah selesai pengadukan beton segar cepat mengeras, dengan keadaan tersebut sebelum adukan beton dicetak perlu diaduk lagi secara manual secara terus menerus sehingga adukan beton dapat kembali plastis. Faktor yang mempengaruhi cepat mengerasnya adukan antara lain dan jumlah penambahan Superplasticizer, tipe dan jumlah kandungan semen, waktu penambahan superplasticizer, kelembaban, temperatur, cara pengadukan dan pemakaian bahan tambah lainnya (A. Ilham, 2004).

Dari tabel 5.2, tabel 5.3 dan grafik 5.1 diatas, maka bahwa masing-masing sampel dengan penambahan *Sika Viscocrete-10* yang sama sebesar 0,6% setiap variasi campuran adukan beton, memiliki nilai *slump* yang berbeda. Dari hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa *workability* adukan beton yang terjadi semakin tinggi dengan ditambahkan *Sika Viscocrete-10* dibandingkan dengan beton tanpa diberikan *Sika Viscocrete-10* ke dalam adukan beton. Hal ini dikarenakan *Sika Viscocrete-10* itu sendiri digolongkan kedalam *High Range*

Water Reducer yang mampu meningkatkan kinerja kelecakan atau *workability* adukan beton dan mengurangi terjadinya *bleeding* dan *segregasi*. Dan *Sika Viscocrete-10* juga difungsikan untuk memperlambat proses hidrasi, sehingga proses pengerasan pada semen menjadi lambat serta *workability*nya menjadi tinggi. Dari tabel 5.2, tabel 5.3 dan grafik 5.1 di atas dapat dilihat bahwa beton normal tanpa pemberian *Sika Viscocrete-10* dengan nilai slump berkisar antara 25-50 mm dapat mengakibatkan *workability* menjadi menurun. Pada grafik 5.1 di atas terlihat bahwa dengan menambahkan bahan tambah beton (*Sika Viscocrete-10*), nilai *slump* yang terjadi justru menjadi lebih baik, bahkan bisa dikatakan nilai *slump* yang terjadi bila dikaitkan dengan penambahan *Sika Viscocrete-10* akan memiliki hubungan yang mendekati linier. Artinya pada penelitian ini dengan tanpa pengurangan air dan menambahkan *Sika Viscocrete-10*, *slump* dan *workability* yang seharusnya kecil, bisa dihindari dan kuat tekan beton menjadi lebih baik.

Dilihat dari penggantian kandungan *Fly Ash* maka nilai slump beton yang dihasilkan ada kecenderungan naik. Hal ini disebabkan bentuk *Fly Ash* butiran yang sangat halus yang sama dengan semen, bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk *workability*, karena akan mengurangi permintaan air atau Superplastiscizer, sehingga pada saat *Fly Ash* dicampurkan dalam adukan beton dan ditambahkan dengan *Sika Viscocrete-10* proses pengerasan pada beton menjadi lambat serta *workability*nya menjadi tinggi.

5.3.2 Analisis Kuat Desak Benda Uji

Setelah dilakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat desak benda uji tersebut. Pengujian kuat desak beton dilakukan pada benda uji umur 28 hari dengan kuat desak yang direncanakan ($f'c$) sebesar 65 MPa sebanyak 50 sampel dengan menggunakan metode *SNI 03-6468-2000*, yang terdiri dari lima variasi. Untuk masing-masing variasi dibuat 10 sampel untuk kuat desak setiap variasi dengan pemberian bahan pengganti *Fly Ash* sebesar 20%-35% dari berat semen dan penambahan *sika viscocrete-10* tetap sebesar 0,6% dari berat semen.

Dengan menggunakan rumus dari persamaan (3.4) butir 3.9 didapat hasil hitungan kuat tekan benda uji beton silinder sesuai pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Desak beton Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Luas Tampang (cm ²)	Beban Max (KN)	f' _c (MPa)
BN 1	176.625	848.2	48.023
BN 2	183.761	894.2	48.661
BN 3	178.988	1110	62.015
BN 4	174.278	641.9	36.832 *
BN 5	181.366	934.4	51.520
BN 6	178.988	1120	62.574
BN 7	176.625	842.8	47.717
BN 8	181.366	904.4	49.866
BN 9	181.366	1009	55.633
BN 10	176.625	1088	61.599
BP20-1	178.277	1172	65.740
BP20-2	182.442	1079	59.142
BP20-3	180.175	761.7	42.276 *
BP20-4	179.462	847.9	47.247
BP20-5	184.723	1090	59.007
BP20-6	178.988	1204	67.267
BP20-7	180.770	914.3	50.578
BP20-8	180.532	790.5	43.787 *
BP20-9	178.277	1114	62.487
BP20-10	180.770	1108	61.293
BP25-1	174.278	1059	60.765
BP25-2	188.596	1160	61.507
BP25-3	176.625	1119	63.355
BP25-4	181.366	831.5	45.846
BP25-5	178.988	735	41.064 *
BP25-6	181.366	908.3	50.081
BP25-7	182.562	935.3	51.232
BP25-8	178.988	962.7	53.786
BP25-9	186.171	907.4	48.740
BP25-10	178.988	1032	57.658
BP30-1	183.761	760.1	41.364
BP30-2	178.514	898.1	50.310
BP30-3	178.041	731.7	41.097
BP30-4	174.980	781.2	44.645
BP30-5	178.988	329.7	18.420 *
BP30-6	181.366	680	37.493 *
BP30-7	172.877	701	40.549
BP30-8	182.562	721.3	39.510
BP30-9	174.278	624.7	35.845 *
BP30-10	178.988	770	43.020
BP35-1	180.175	722.4	40.094 *

Lanjutan Tabel 5.4

BP35-2	176.625	810	45.860
BP35-3	174.278	884.2	50.735
BP35-4	177.804	772.2	43.430
BP35-5	179.581	758.2	42.220
BP35-6	178.988	989.2	55.266
BP35-7	171.946	983.5	57.198
BP35-8	176.625	1103	62.449
BP35-9	180.770	994.9	55.037
BP35-10	178.988	1244	69.502

* Diabaikan karena mempunyai kuat tekan yang jauh dan senjang.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Rata-rata Kuat Desak Beton

Kode Benda Uji	$f'c$ (Mpa)
BN	54,178
BP-20%	59,095
BP-25%	54,774
BP-30%	42,927
BP-35%	53,521

Dari tabel 5.5 di atas dapat dilihat bahwa kuat desak beton yang tertinggi terdapat pada Campuran Beton penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 20% (BP-20%) yaitu sebesar 59,095 MPa dan kuat desak beton yang terendah terdapat pada Campuran Beton penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 30% (BP-30%) yaitu sebesar 42,927 MPa. Dari data di atas dapat dilihat bahwa dengan penggantian sebagian semen dengan 20% *Fly Ash* mempunyai kuat desak lebih tinggi dibandingkan dengan beton variasi campuran *Fly Ash* lainnya.

Pengaruh *Fly Ash* sebagai bahan pengganti mengakibatkan terjadi reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam *Fly Ash*. Selain itu, butiran *Fly Ash* yang jauh lebih kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *Fly Ash* sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *Fly Ash* untuk memperbaiki mutu beton (dapat dilihat pada penjelasan butir 3.5.1). Penggunaan *Fly Ash* memperlihatkan dua pengaruh abu terbang di dalam beton yaitu sebagai agregat halus dan sebagai pozzolan. Selain itu abu terbang di dalam beton menyumbang kekuatan yang lebih baik dibanding dengan beton normal.

Pada benda uji campuran beton (BP-30%) terdapat beberapa masalah diantaranya:

1. Pada saat pengadukan beton sangat sulit untuk diaduk setelah ditambahkan *Sika Viscocrete-10*.
2. Pada saat cetakan silinder dibuka banyak sampel silinder yang permukaan atasnya tidak rata, sehingga pada saat pengujian kuat desak beton tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Adukan dengan tingkat kelecakan tinggi mempunyai resiko yang besar terhadap terjadinya bleeding, hal ini terjadi pada semua sampel beton. Dari penelitian terlihat bahwa penggunaan *Fly Ash* bisa dijadikan sebagai Filler. Hal ini terlihat dari tabel 5.5 bahwa kenaikan kuat tekan terjadi pada campuran beton penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 20% (BP20), penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 25% (BP25) dan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 35% (BP35), sedangkan yang mengalami penurunan terjadi pada campuran beton penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* 30% (BP30). Hal ini disebabkan karena adanya kesalahan pada saat pengadukan yang kurang merata dan pada saat pematatannya. Adanya penambahan *Superplasticizer* tidak begitu berpengaruh terhadap kuat desak beton. Hal ini dikarenakan dengan nilai faktor air semen yang tetap *Superplasticizer* hanya berguna dalam hal kemudahan pengerjaan pengadukan beton (*workability*).

5.3.3 Perbandingan $f'c$ Rencana dan $f'c$ Hasil Penelitian

Pada penelitian ini menentukan $f'c$ rencana sebesar 65 MPa namun dari hasil penelitian, didapatkan $f'c$ terjadi sebesar 59,095 MPa, dikatakan belum memenuhi $f'c$ rencana. Dimungkinan hal ini terjadi karena kekuatan dari agregat kasar yang digunakan, agregat kasar yang digunakan yaitu kurang keras. Agregat kasar sangat mempengaruhi kuat tekan beton, agregat kasar merupakan bahan pengisi yang paling banyak dalam campuran beton, karena volumenya yang besar maka agregat kasar sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Beton mutu tinggi

yang tercantum dalam *SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03)* adalah beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Untuk itu maka dilakukan pengujian keausan agregat dengan uji derak menggunakan mesin Los Angeles, yaitu syarat keausan agregat bagian yang hancur menembus ayakan 1,7 mm harus kurang dari 27%, pada penelitian ini didapat hasil nilai keausan agregatnya yaitu melebihi dari syarat yang telah ditentukan sebesar 41,26%. Sehingga menyebabkan kuat tekan beton tidak sesuai dengan yang telah direncanakan yaitu sebesar 65 MPa. Kemungkinan lain yang terjadi adalah disebabkan karena pada penelitian ini pencampuran bahan tambah *Sika Viscocrete-10* menggunakan cara manual sehingga campuran *Superplasticizer* tidak dapat merata secara sempurna dan menjadikan adukan beton kurang homogen, sehingga pada saat campuran akan dimasukkan ke dalam silinder mengalami kesulitan. Karena *Sika Viscocrete-10* membungkus semen menjadikan adukan menjadi keras kalau didiamkan dan pada saat diangkat cair kembali dan tidak meratanya agregat kasar yang dimasukkan ke dalam silinder karena adanya pemisahan antara agregat kasar dengan semen.

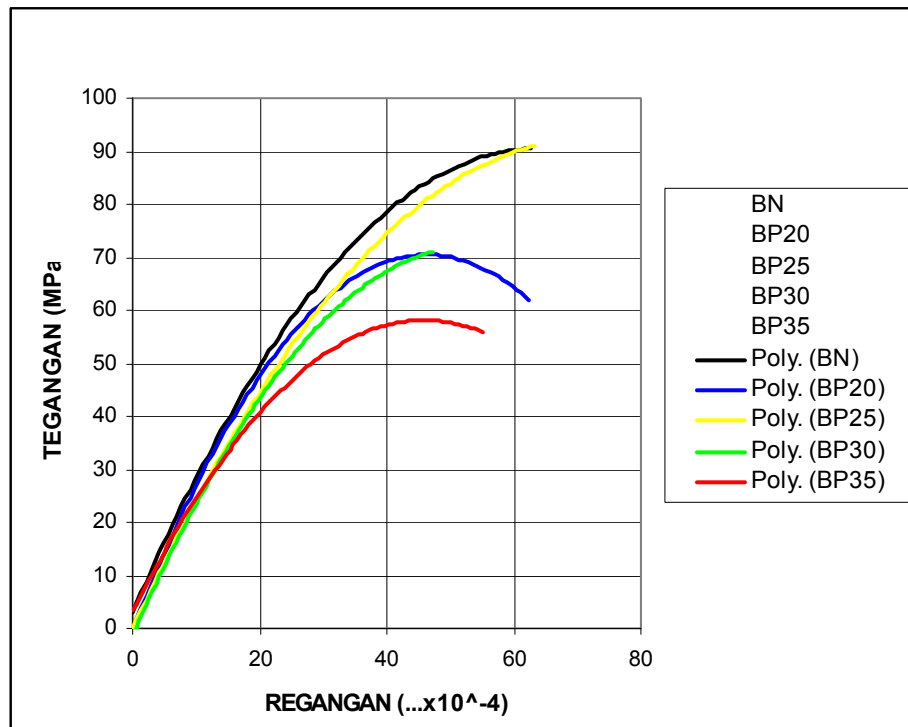


Gambar 5.2 Pecahan benda uji setelah pengujian kuat desak

5.3.4 Tegangan Regangan dan Modulus Elastisitas

Setiap bahan akan mengalami perubahan bentuk apabila mendapat beban dan apabila perubahan bentuk terjadi maka gaya internal didalam bahan tersebut akan menahannya, gaya internal ini disebut gaya dalam. Bila suatu bahan mengalami tegangan, maka bahan itu akan mengalami perubahan bentuk yang dikenal dengan regangan (M. J Smith, 1985). Pengujian tegangan regangan tidak dilakukan terhadap seluruh benda uji, diambil 2 sampel dari satu variasi berjumlah 10 sampel. Seluruh pengujian tegangan regangan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII..

Dengan memperhatikan gambar kurva tegangan-regangan yang terlihat pada gambar 5.3, menunjukkan terjadinya penurunan kuat tekan pada campuran beton penggantian sebagian semen dengan Fly Ash 35% (BP35). Hal ini membuktikan bahwa penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* dan *Sika Viscocrete-10* pada adukan beton memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton. Dan bila dilihat perilaku setelah tercapainya tegangan maksimum pada beton dengan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* dan penambahan *Sika Viscocrete-10*, beton masih dapat mempertahankan tegangan dan regangan cukup besar. Hal tersebut menunjukkan penggantian sebagian semen dengan *Fly Ash* dan penambahn *Sika Viscocrete-10* menjadikan beton semakin bersifat *ductile* (liat). Luasan dibawah kurva menunjukkan bahwa besarnya energi yang dapat diserap selama proses pembebanan. Semakin besar luasan dibawah kurva, maka semakin liat bahan tersebut.

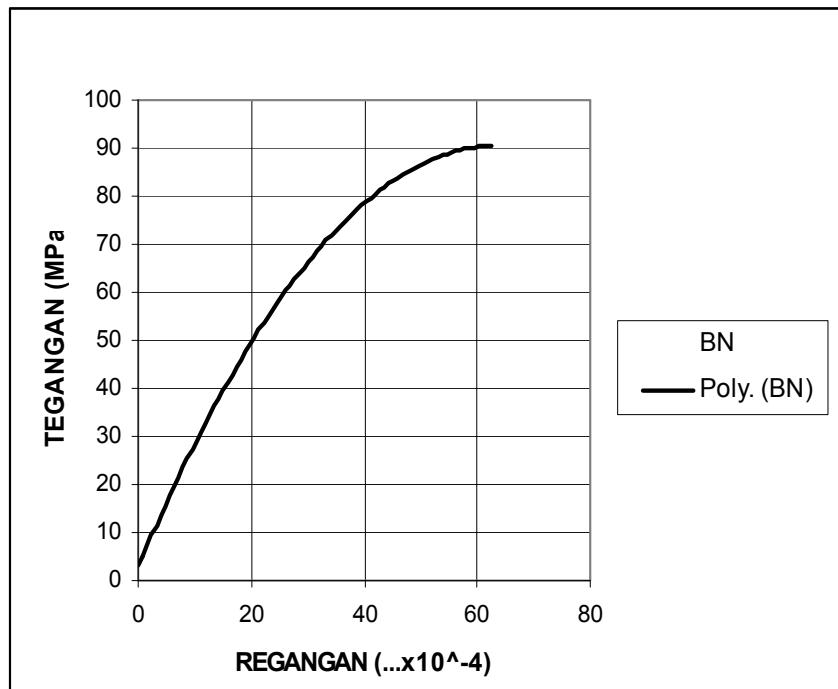


Gambar 5.3 Kurva Tegangan-Regangan Beton

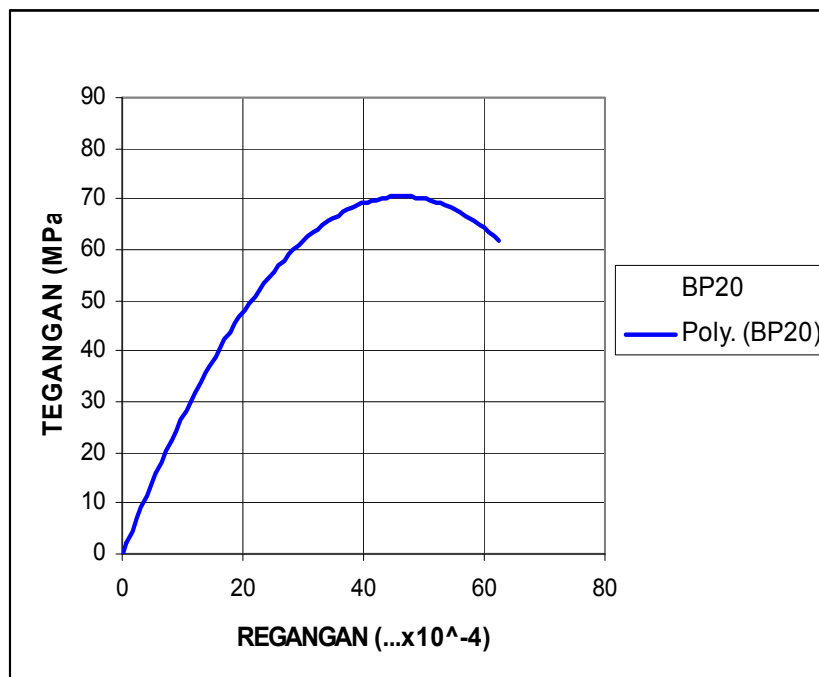
Bentuk kurva tegangan regangan dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan dan faktor pemadatan. Daerah terlemah pada beton adalah daerah antara pasta semen dan agregat kasar. Penggunaan agregat kasar batu pecah yang memiliki permukaan kasar akan mengurangi kelemahan tersebut, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan dan memperkecil deformasi yang terjadi akibat pembebanan.

Hal terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengujian tegangan-regangan adalah kondisi permukaan benda uji. Permukaan yang rata akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang cukup baik karena distribusi beban akan tersebar secara merata ke seluruh permukaan benda uji.

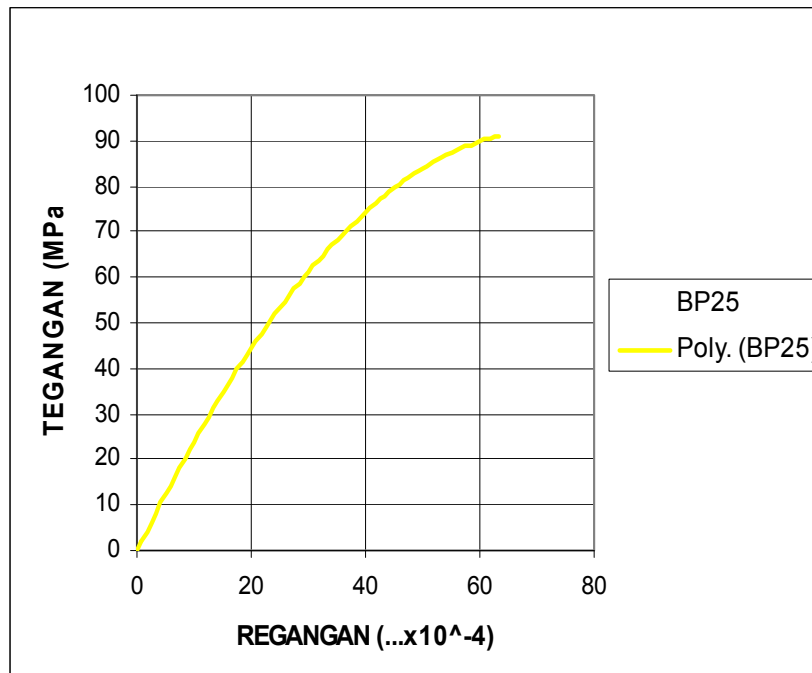
Grafik hubungan tegangan dan regangan benda uji beton normal dan beton campuran penggantian Fly Ash tersaji pada gambar 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, dan 5.8.



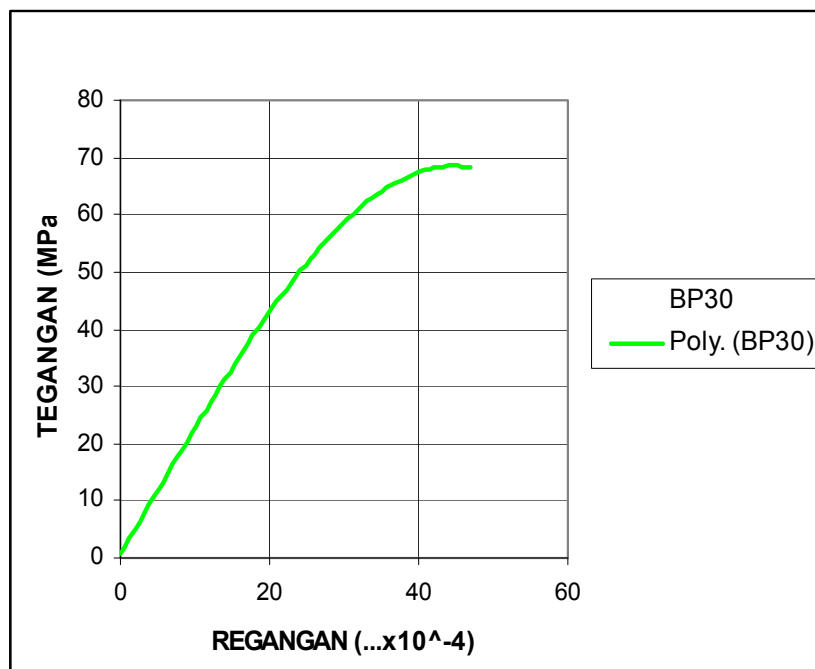
Gambar 5.4 Kurva Tegangan-Regangan Beton Normal



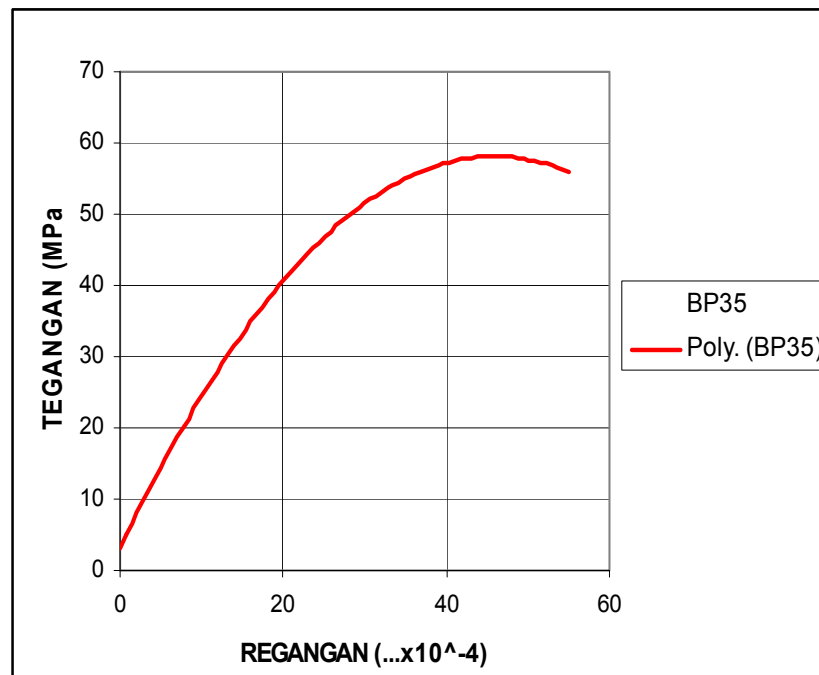
Gambar 5.5 Kurva Tegangan-Regangan BP-20%



Gambar 5.6 Kurva Tegangan-Regangan BP-25%



Gambar 5.7 Kurva Tegangan-Regangan BP-30%



Gambar 5.8 Kurva Tegangan-Regangan BP-35%

Modulus elastisitas merupakan sifat beton yang berkaitan dengan mudah atau tidaknya beton mengalami deformasi. Dan menurut Edward G. Nawy, modulus elastisitas adalah kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar $0,4.f'c$), modulus ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis. Pada kurva tegangan regangan bahwa sekitar 40% dari f_c pada umumnya dianggap linier dengan asumsi bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dianggap elastis. Semakin tinggi kekuatan beton maka panjang bagian linier pada kurva semakin bertambah dan ada reduksi daktilitas apabila kekuatan beton bertambah (Edward G Nawy, 1990).

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas (Ec)

Benda uji	Berat vol (kg/m ³)	σ maks (Mpa)	0.4 σ max (Mpa)	ϵ (10 ⁻⁴) interpolasi	Modulus elastis (MPa)	
					Uji (0,4f _c /ε)	Teoritis $0,043 \cdot W_c^{1,5} \cdot \sqrt{f_c}$
BN	2309.253	90.00	36.00	12.330	29197.080	45268.579
BP20	2320.725	70.00	28.00	10.780	25974.026	40221.007
BP25	2255.099	91.15	36.46	15.100	24145.695	43963.805
BP30	2249.762	68.848	27.539	12.371	22261.094	38073.171
BP35	2306.253	58.00	23.200	9.282	24994.613	36269.617

Pada penelitian ini nilai kuat tekan beton maksimum umur 28 hari didapat pada variasi penggantian Fly Ash 25% yaitu sebesar 91,15, sampel beton tersebut memiliki modulus elastisitas uji sebesar 24145,695 dan modulus elastisitas teoritis sebesar 43963,805.

Besarnya modulus elastis dipengaruhi sekali oleh karakteristik agregat. Daerah terlemah pada beton adalah daerah antara pasta semen dan agregat kasar. Pada beberapa sampel beton mengalami penurunan modulus elastis dikarenakan kurangnya kontrol terhadap pengerjaan dan dalam faktor pemadatan beton. Beton dengan pemadatan kurang baik akan menimbulkan keropos antara agregat sehingga daya ikat antar agregat menjadi lemah. Beton dengan kuat tekan tinggi akan mempunyai modulus elastis yang tinggi. Selain itu untuk mendapatkan modulus elastisitas yang tinggi yang perlu diperhatikan dalam pengujian tegangan-regangan adalah kondisi permukaan pada benda uji, semakin rata permukaan benda uji maka semakin baik hasilnya, permukaan yang rata akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang cukup baik karena distribusi beban akan tersebar secara merata ke seluruh permukaan benda uji.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian benda uji dan saran terhadap hal-hal yang terkait dengan penggunaan bahan tambah Fly Ash dan Superplasticizer terhadap kuat desak beton yang dapat dijadikan sebagai anjuran bagi penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi nilai slump berkisar antara 25-50 mm, oleh karena itu untuk mempermudah pengerjaan harus ditambah *Superplasticizer (Sika Viscrocrete-10)*.
2. Semua variasi campuran menggunakan fas $\left(\frac{W}{(c + p)}\right)$ tetap.
3. Kuat desak optimum dicapai pada penggantian semen dengan Fly Ash 20% yaitu sebesar 59,095 MPa.
4. Kuat tekan rencana tidak dapat dicapai, karena pada penelitian ini agregat kasar yang digunakan yaitu kurang keras.
5. Dalam penelitian ini bahan pengganti yaitu Fly Ash tidak bisa menggantikan semen.

6.2 Saran

Dari uraian di atas dengan merujuk pada pembahasan dan hasil penelitian ternyata masih banyak kekurangan dari penelitian ini, maka untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi diperlukan saran-saran yang bersifat membangun seperti yang disebutkan sebagai berikut:

1. Hendaknya dalam pembuatan beton mutu tinggi pengerjaannya harus sangat teliti dan ketat.
2. Agar diperoleh sampel yang baik perlu diperhatikan pada saat pengadukan dan pemadatan, karena apabila dalam pemadatan tidak baik, sampel akan mengalami keropos dan ini akan sangat mempengaruhi hasil uji.
3. Pada saat pengujian sebaiknya semua variasi sampel diuji kuat desak dan tegangan regangannya.
4. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan variasi Fly Ash yang berbeda lagi dan penggunaan Superplasticizer dengan jenis lain.
5. Pemakaian bahan tambah *Fly Ash* dan *Superplasticizer* dalam campuran terutama di lapangan harus diawasi dengan ketat, karena pemakaian bahan tambah yang berlebihan sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton terutama kuat desaknya.
6. Untuk penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan tekstur dan kekuatan dari agregat kasar agar diperoleh hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Antono, A, 1995, **TEKNOLOGI BETON**, Penerbit Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Antono, A, 1995, **BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL**, Penerbit Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Fitria dan Asna, 2003, **TINJAUAN PEMAKAIAN SUPERPLASTICIZER PADA BETON MUTU TINGGI TERHADAP KUAT DESAK DAN KADAR OPTIMUM**, Tugas Akhir Jenjang S-1 FTSP UII, Yogyakarta.
- Ilham, A, 2004, **PENGARUH PENGURANGAN KANDUNGAN AIR DAN PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER PADA KOMPOSISI CAMPURAN BETON KUAT TEKAN 30 DAN 40 MPa**, Jurnal Jurusan Teknik Sipil UII, Yogyakarta.
- Murdock, L. J., dan Brook, K. M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Terjemahan, Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L. J., dan Brook, K. M., 1991, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Erlangga, Jakarta.
- Muh. Rifai Syakuri dan Haryadi, 1997, **STUDI TENTANG BETON NORMAL DENGAN CAMPURAN ABU TERBANG**, Tugas Akhir Jenjang S-1 FTSP UII, Yogyakarta.
- Mursito, 1997, **PENGARUH BAHAN TAMBAH SUPERPLASTICIZER DAN SETRETARDER PADA KUAT TEKAN BETON, NILAI SLUMP DAN SETTING TIME DALAM ADUKAN BETON**, Tugas Akhir Jenjang S-1 FTSP UII, Yogyakarta.

- Mulyono, Tri, 2003, **TEKNOLOGI BETON**, Andi Offist, Yogyakarta.
- Nawy, Edward, G, 1985, **REINFORCE CONCRETE A FUNDAMENTAL APPROACH**, Terjemahan, Cetakan Pertama, Bandung.
- Nawy, Edward, G, 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan, PT ERESKO, Bandung.
- Richard, G, dkk, 1996, **EFFECT OF SUPERPLASTICIZER DOSAGE ON MECHANICAL PROPERTIES, PERMEABILITY AND FREEZE-THAW DURABILITY OF HIGH STRENGTH CONCRETE WITH AND WITHOUT SILICA FUME**, ACI Material Journal, Marc-April.
- Smith, M. J, **BAHAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR TEKNIK, 1985**.
- , **SK SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-19999-03), TATA CARA PERHITUNGAN CAMPURAN BETON BERKEKUATAN TINGGI**, Yayasan Penyelidik Masalah Bangunan, Bandung.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Biro Penerbit, Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, 1996, **TEKNOLOGI BETON, NAFIRI**, Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, 1995, **TEKNOLOGI BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.



HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN KADAR AIR AGREGAT HALUS

URAIAN	JUMLAH
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	485
Berat pasir jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat Piknometer berisi air dan pasir (Bt), gram	965
Berat Piknometer berisi air (B), gram	655
Berat Jenis curah, gram/cm ³ .....1 $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,552
Berat Jenis Jenuh kering Muka, gram/cm ³ .....2 $500 / (B + 500 - Bt)$	2,631
Berat Jenis Semu .....3 $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,771
Penyerapan Air .....4 $((500 - Bk) / Bk) \times 100\%$	3,092



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN NO 200

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
Sampai 4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	Jumlah
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500
Berat Agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	486
Berat yang lewat ayakan no 200, persen $((W1 - W2)/w1) \times 100\%$	2,8



HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN KADAR AIR AGREGAT KASAR

URAIAN	JUMLAH
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4857
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram	5000
Berat Kerikil dalam Air (Ba), gram	3065
Berat Jenis curah, gram/cm ³ .....1 Bk / (Bj – Ba)	2,510
Berat Jenis Jenuh kering Muka, gram/cm ³ .....2 Bj / (Bj – Ba)	2,583
Berat Jenis Semu .....3 Bk / (B - Ba)	2,710
Penyerapan Air .....4 ((Bj – Bk) / Bk)x 100%	2,944



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PENGUJIAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS

Uraian	Sampel 1
Berat Tabung (W1), gram	11100
Berat Tabung + Agregat Kering tungku (W2), gram	21500
Berat Agregat Bersih (W3), gram	10400
Volume Tabung (V)	5301,437
Berat isi padat = $W3 / V$, gram / cm ³	1,962



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PENGUJIAN BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR

Uraian	Sampel 1
Berat Tabung (W1), gram	11100
Berat Tabung + Agregat Kering tungku (W2), gram	19000
Berat Agregat Bersih (W3), gram	7900
Volume Tabung (V)	5301,437
Berat isi padat = $W3 / V$, gram / cm ³	1.490



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PENGUJIAN BERAT VOLUME AGREGAT HALUS

Uraian	Sampel 1
Berat Tabung (W1), gram	11100
Berat Tabung + Agregat Kering tungku (W2), gram	19400
Berat Agregat Bersih (W3), gram	8300
Volume Tabung (V)	5301,437
Berat isi gembur = $W3 / V$, gram / cm ³	1,565



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PENGUJIAN BERAT VOLUME AGREGAT KASAR

Uraian	Sampel 1
Berat Tabung (W1), gram	11100
Berat Tabung + Agregat Kering tungku (W2), gram	17600
Berat Agregat Bersih (W3), gram	6500
Volume Tabung (V)	5301,437
Berat isi gembur = $W3 / V$, gram / cm ³	1.226



HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4,80	3	0,15	0,15	99,85
2,40	60	3,0	3,15	96,85
1,20	344	17,2	20,35	79,65
0,60	586	29,3	49,65	50,3
0,30	492	24,6	74,25	25,75
0,15	399	19,95	94,20	5,8
Sisa	116	5,8	-	0
Jumlah	2000	100	241,75	-

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= 241,75 / 100 \\ &= 2,41 \end{aligned}$$



HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen Lolos Komulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	1195	23,9	23,9	100
10.00	3405	68.1	92	26,38
4,80	400	8	100	0
2,40			100	
1,20			100	
0,60			100	
0,30			100	
0,15			100	
Sisa			-	
Jumlah	5000	-	215,9*	-

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= 215,9 / 100 \\ &= 2,159\end{aligned}$$



Beton Normal (BN-4)

D : 14,9 cm
 A : 174,278 cm² = 17427,785 mm²
 T : 30,01 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan $\Delta L/Lo(...x10^{-4}$ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi 0.069
0	0	0	0	0	0	-0.069
10	1019.368	5	2.5	0.125	0.574	0.056
20	2038.736	14	7	0.35	1.148	0.281
30	3058.104	22	11	0.55	1.721	0.481
40	4077.472	31	15.5	0.775	2.295	0.706
50	5096.84	38	19	0.95	2.869	0.881
60	6116.208	45	22.5	1.125	3.443	1.056
70	7135.576	53	26.5	1.325	4.017	1.256
80	8154.944	60	30	1.5	4.590	1.431
90	9174.312	67	33.5	1.675	5.164	1.606
100	10193.68	74	37	1.85	5.738	1.781
110	11213.048	80	40	2	6.312	1.931
120	12232.416	86	43	2.15	6.886	2.081
130	13251.784	92	46	2.3	7.459	2.231
140	14271.152	98	49	2.45	8.033	2.381
150	15290.52	105	52.5	2.625	8.607	2.556
160	16309.888	112	56	2.8	9.181	2.731
170	17329.256	120	60	3	9.755	2.931
180	18348.624	126	63	3.15	10.328	3.081
190	19367.992	132	66	3.3	10.902	3.231
200	20387.36	140	70	3.5	11.476	3.431
210	21406.728	148	74	3.7	12.050	3.631
220	22426.096	155	77.5	3.875	12.624	3.806
230	23445.464	161	80.5	4.025	13.197	3.956
240	24464.832	169	84.5	4.225	13.771	4.156
250	25484.2	177	88.5	4.425	14.345	4.356
260	26503.568	185	92.5	4.625	14.919	4.556
270	27522.936	193	96.5	4.825	15.493	4.756
280	28542.304	203	101.5	5.075	16.066	5.006
290	29561.672	210	105	5.25	16.640	5.181
300	30581.04	218	109	5.45	17.214	5.381
310	31600.408	226	113	5.65	17.788	5.581
320	32619.776	234	117	5.85	18.361	5.781
330	33639.144	242	121	6.05	18.935	5.981
340	34658.512	251	125.5	6.275	19.509	6.206
350	35677.88	259	129.5	6.475	20.083	6.406
360	36697.248	268	134	6.7	20.657	6.631
370	37716.616	276	138	6.9	21.230	6.831
380	38735.984	285	142.5	7.125	21.804	7.056



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

390	39755.352	295	147.5	7.375	22.378	7.306
400	40774.72	302	151	7.55	22.952	7.481
410	41794.088	310	155	7.75	23.526	7.681
420	42813.456	319	159.5	7.975	24.099	7.906
430	43832.824	327	163.5	8.175	24.673	8.106
440	44852.192	336	168	8.4	25.247	8.331
450	45871.56	345	172.5	8.625	25.821	8.556
460	46890.928	354	177	8.85	26.395	8.781
470	47910.296	363	181.5	9.075	26.968	9.006
480	48929.664	373	186.5	9.325	27.542	9.256
490	49949.032	382	191	9.55	28.116	9.481
500	50968.4	393	196.5	9.825	28.690	9.756
510	51987.768	402	201	10.05	29.264	9.981
520	53007.136	411	205.5	10.275	29.837	10.206
530	54026.504	420	210	10.5	30.411	10.431
540	55045.872	429	214.5	10.725	30.985	10.656
550	56065.24	439	219.5	10.975	31.559	10.906
560	57084.608	450	225	11.25	32.133	11.181
570	58103.976	460	230	11.5	32.706	11.431
580	59123.344	470	235	11.75	33.280	11.681
590	60142.712	480	240	12	33.854	11.931
600	61162.08	493	246.5	12.325	34.428	12.256
610	62181.448	505	252.5	12.625	35.002	12.556
620	63200.816	514	257	12.85	35.575	12.781
630	64220.184	523	261.5	13.075	36.149	13.006
640	65239.552	532	266	13.3	36.723	13.231
641.9	65433.23192	538	269	13.45	36.832	13.381



Beton Normal (BN-6)

D : 15,1 cm
 A : 178,988 cm² = 17898,785 mm²
 T : 30,04 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.46
0	0	0	0	0	0	0.46
10	1019.368	5	2.5	0.125	0.559	0.585
20	2038.736	11	5.5	0.275	1.117	0.735
30	3058.104	16	8	0.4	1.676	0.86
40	4077.472	22	11	0.55	2.235	1.01
50	5096.84	27	13.5	0.675	2.793	1.135
60	6116.208	32	16	0.8	3.352	1.26
70	7135.576	36	18	0.9	3.911	1.36
80	8154.944	43	21.5	1.075	4.470	1.535
90	9174.312	48	24	1.2	5.028	1.66
100	10193.68	54	27	1.35	5.587	1.81
110	11213.048	59	29.5	1.475	6.146	1.935
120	12232.416	65	32.5	1.625	6.704	2.085
130	13251.784	71	35.5	1.775	7.263	2.235
140	14271.152	76	38	1.9	7.822	2.36
150	15290.52	82	41	2.05	8.380	2.51
160	16309.888	89	44.5	2.225	8.939	2.685
170	17329.256	95	47.5	2.375	9.498	2.835
180	18348.624	101	50.5	2.525	10.057	2.985
190	19367.992	108	54	2.7	10.615	3.16
200	20387.36	115	57.5	2.875	11.174	3.335
210	21406.728	122	61	3.05	11.733	3.51
220	22426.096	129	64.5	3.225	12.291	3.685
230	23445.464	135	67.5	3.375	12.850	3.835
240	24464.832	142	71	3.55	13.409	4.01
250	25484.2	149	74.5	3.725	13.967	4.185
260	26503.568	155	77.5	3.875	14.526	4.335
270	27522.936	163	81.5	4.075	15.085	4.535
280	28542.304	170	85	4.25	15.644	4.71
290	29561.672	176	88	4.4	16.202	4.86
300	30581.04	184	92	4.6	16.761	5.06
310	31600.408	192	96	4.8	17.320	5.26
320	32619.776	201	100.5	5.025	17.878	5.485
330	33639.144	209	104.5	5.225	18.437	5.685
340	34658.512	217	108.5	5.425	18.996	5.885
350	35677.88	225	112.5	5.625	19.554	6.085
360	36697.248	233	116.5	5.825	20.113	6.285
370	37716.616	241	120.5	6.025	20.672	6.485
380	38735.984	248	124	6.2	21.230	6.66



390	39755.352	256	128	6.4	21.789	6.86
400	40774.72	264	132	6.6	22.348	7.06
410	41794.088	271	135.5	6.775	22.907	7.235
420	42813.456	279	139.5	6.975	23.465	7.435
430	43832.824	286	143	7.15	24.024	7.61
440	44852.192	294	147	7.35	24.583	7.81
450	45871.56	303	151.5	7.575	25.141	8.035
460	46890.928	312	156	7.8	25.700	8.26
470	47910.296	320	160	8	26.259	8.46
480	48929.664	327	163.5	8.175	26.817	8.635
490	49949.032	334	167	8.35	27.376	8.81
500	50968.4	342	171	8.55	27.935	9.01
510	51987.768	351	175.5	8.775	28.494	9.235
520	53007.136	362	181	9.05	29.052	9.51
530	54026.504	370	185	9.25	29.611	9.71
540	55045.872	380	190	9.5	30.170	9.96
550	56065.24	389	194.5	9.725	30.728	10.185
560	57084.608	399	199.5	9.975	31.287	10.435
570	58103.976	407	203.5	10.175	31.846	10.635
580	59123.344	414	207	10.35	32.404	10.81
590	60142.712	422	211	10.55	32.963	11.01
600	61162.08	430	215	10.75	33.522	11.21
610	62181.448	438	219	10.95	34.081	11.41
620	63200.816	449	224.5	11.225	34.639	11.685
630	64220.184	459	229.5	11.475	35.198	11.935
640	65239.552	469	234.5	11.725	35.757	12.185
650	66258.92	481	240.5	12.025	36.315	12.485
660	67278.288	489	244.5	12.225	36.874	12.685
670	68297.656	497	248.5	12.425	37.433	12.885
680	69317.024	506	253	12.65	37.991	13.11
690	70336.392	515	257.5	12.875	38.550	13.335
700	71355.76	524	262	13.1	39.109	13.56
710	72375.128	533	266.5	13.325	39.667	13.785
720	73394.496	542	271	13.55	40.226	14.01
730	74413.864	550	275	13.75	40.785	14.21
740	75433.232	560	280	14	41.344	14.46
750	76452.6	569	284.5	14.225	41.902	14.685
760	77471.968	575	287.5	14.375	42.461	14.835
770	78491.336	591	295.5	14.775	43.020	15.235
780	79510.704	600	300	15	43.578	15.46
790	80530.072	608	304	15.2	44.137	15.66
800	81549.44	617	308.5	15.425	44.696	15.885
810	82568.808	627	313.5	15.675	45.254	16.135
820	83588.176	637	318.5	15.925	45.813	16.385
830	84607.544	651	325.5	16.275	46.372	16.735
840	85626.912	664	332	16.6	46.931	17.06



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

850	86646.28	674	337	16.85	47.489	17.31
860	87665.648	685	342.5	17.125	48.048	17.585
870	88685.016	697	348.5	17.425	48.607	17.885
880	89704.384	706	353	17.65	49.165	18.11
890	90723.752	716	358	17.9	49.724	18.36
900	91743.12	725	362.5	18.125	50.283	18.585
910	92762.488	736	368	18.4	50.841	18.86
920	93781.856	746	373	18.65	51.400	19.11
930	94801.224	761	380.5	19.025	51.959	19.485
940	95820.592	774	387	19.35	52.518	19.81
950	96839.96	783	391.5	19.575	53.076	20.035
960	97859.328	792	396	19.8	53.635	20.26
970	98878.696	796	398	19.9	54.194	20.36
980	99898.064	804	402	20.1	54.752	20.56
990	100917.432	811	405.5	20.275	55.311	20.735
1000	101936.8	817	408.5	20.425	55.870	20.885
1010	102956.168	822	411	20.55	56.428	21.01
1020	103975.536	829	414.5	20.725	56.987	21.185
1030	104994.904	835	417.5	20.875	57.546	21.335
1040	106014.272	839	419.5	20.975	58.105	21.435
1050	107033.64	845	422.5	21.125	58.663	21.585
1060	108053.008	859	429.5	21.475	59.222	21.935
1070	109072.376	880	440	22	59.781	22.46
1080	110091.744	894	447	22.35	60.339	22.81
1090	111111.112	896	448	22.4	60.898	22.86
1100	112130.48	900	450	22.5	61.457	22.96
1110	113149.848	906	453	22.65	62.015	23.11
1120	114169.216	935	467.5	23.375	62.574	23.835



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 20% (BP20-9)

D : 15,07 cm
 A : 178,277 cm² = 17827,73465 mm²
 T : 29,82 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.147
0	0	0	0	0	0	0.147
10	1019.368	3	1.5	0.075	0.561	0.222
20	2038.736	10	5	0.25	1.122	0.397
30	3058.104	11	5.5	0.275	1.683	0.422
40	4077.472	24	12	0.6	2.244	0.747
50	5096.84	31	15.5	0.775	2.805	0.922
60	6116.208	38	19	0.95	3.366	1.097
70	7135.576	45	22.5	1.125	3.926	1.272
80	8154.944	51	25.5	1.275	4.487	1.422
90	9174.312	56	28	1.4	5.048	1.547
100	10193.68	65	32.5	1.625	5.609	1.772
110	11213.048	72	36	1.8	6.170	1.947
120	12232.416	76	38	1.9	6.731	2.047
130	13251.784	84	42	2.1	7.292	2.247
140	14271.152	91	45.5	2.275	7.853	2.422
150	15290.52	98	49	2.45	8.414	2.597
160	16309.888	108	54	2.7	8.975	2.847
170	17329.256	115	57.5	2.875	9.536	3.022
180	18348.624	123	61.5	3.075	10.097	3.222
190	19367.992	131	65.5	3.275	10.658	3.422
200	20387.36	140	70	3.5	11.218	3.647
210	21406.728	148	74	3.7	11.779	3.847
220	22426.096	157	78.5	3.925	12.340	4.072
230	23445.464	163	81.5	4.075	12.901	4.222
240	24464.832	170	85	4.25	13.462	4.397
250	25484.2	178	89	4.45	14.023	4.597
260	26503.568	188	94	4.7	14.584	4.847
270	27522.936	198	99	4.95	15.145	5.097
280	28542.304	207	103.5	5.175	15.706	5.322
290	29561.672	216	108	5.4	16.267	5.547
300	30581.04	226	113	5.65	16.828	5.797
310	31600.408	235	117.5	5.875	17.389	6.022
320	32619.776	246	123	6.15	17.950	6.297
330	33639.144	256	128	6.4	18.510	6.547
340	34658.512	265	132.5	6.625	19.071	6.772
350	35677.88	274	137	6.85	19.632	6.997
360	36697.248	284	142	7.1	20.193	7.247
370	37716.616	293	146.5	7.325	20.754	7.472
380	38735.984	304	152	7.6	21.315	7.747



390	39755.352	314	157	7.85	21.876	7.997
400	40774.72	323	161.5	8.075	22.437	8.222
410	41794.088	334	167	8.35	22.998	8.497
420	42813.456	345	172.5	8.625	23.559	8.772
430	43832.824	354	177	8.85	24.120	8.997
440	44852.192	363	181.5	9.075	24.681	9.222
450	45871.56	370	185	9.25	25.242	9.397
460	46890.928	380	190	9.5	25.802	9.647
470	47910.296	391	195.5	9.775	26.363	9.922
480	48929.664	401	200.5	10.025	26.924	10.172
490	49949.032	412	206	10.3	27.485	10.447
500	50968.4	421	210.5	10.525	28.046	10.672
510	51987.768	431	215.5	10.775	28.607	10.922
520	53007.136	442	221	11.05	29.168	11.197
530	54026.504	453	226.5	11.325	29.729	11.472
540	55045.872	473	236.5	11.825	30.290	11.972
550	56065.24	452	226	11.3	30.851	11.447
560	57084.608	462	231	11.55	31.412	11.697
570	58103.976	468	234	11.7	31.973	11.847
580	59123.344	473	236.5	11.825	32.534	11.972
590	60142.712	484	242	12.1	33.095	12.247
600	61162.08	495	247.5	12.375	33.655	12.522
610	62181.448	507	253.5	12.675	34.216	12.822
620	63200.816	520	260	13	34.777	13.147
630	64220.184	530	265	13.25	35.338	13.397
640	65239.552	539	269.5	13.475	35.899	13.622
650	66258.92	548	274	13.7	36.460	13.847
660	67278.288	559	279.5	13.975	37.021	14.122
670	68297.656	570	285	14.25	37.582	14.397
680	69317.024	582	291	14.55	38.143	14.697
690	70336.392	594	297	14.85	38.704	14.997
700	71355.76	606	303	15.15	39.265	15.297
710	72375.128	622	311	15.55	39.826	15.697
720	73394.496	633	316.5	15.825	40.387	15.972
730	74413.864	644	322	16.1	40.947	16.247
740	75433.232	655	327.5	16.375	41.508	16.522
750	76452.6	667	333.5	16.675	42.069	16.822
760	77471.968	682	341	17.05	42.630	17.197
770	78491.336	693	346.5	17.325	43.191	17.472
780	79510.704	704	352	17.6	43.752	17.747
790	80530.072	717	358.5	17.925	44.313	18.072
800	81549.44	727	363.5	18.175	44.874	18.322
810	82568.808	739	369.5	18.475	45.435	18.622
820	83588.176	753	376.5	18.825	45.996	18.972
830	84607.544	768	384	19.2	46.557	19.347
840	85626.912	790	395	19.75	47.118	19.897



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

850	86646.28	804	402	20.1	47.679	20.247
860	87665.648	816	408	20.4	48.239	20.547
870	88685.016	830	415	20.75	48.800	20.897
880	89704.384	847	423.5	21.175	49.361	21.322
890	90723.752	865	432.5	21.625	49.922	21.772
900	91743.12	880	440	22	50.483	22.147
910	92762.488	892	446	22.3	51.044	22.447
920	93781.856	906	453	22.65	51.605	22.797
930	94801.224	922	461	23.05	52.166	23.197
940	95820.592	933	466.5	23.325	52.727	23.472
950	96839.96	945	472.5	23.625	53.288	23.772
960	97859.328	964	482	24.1	53.849	24.247
970	98878.696	987	493.5	24.675	54.410	24.822
980	99898.064	1004	502	25.1	54.971	25.247
990	100917.432	1019	509.5	25.475	55.531	25.622
1000	101936.8	1032	516	25.8	56.092	25.947
1010	102956.168	1043	521.5	26.075	56.653	26.222
1020	103975.536	1056	528	26.4	57.214	26.547
1030	104994.904	1068	534	26.7	57.775	26.847
1040	106014.272	1081	540.5	27.025	58.336	27.172
1050	107033.64	1106	553	27.65	58.897	27.797
1060	108053.008	1123	561.5	28.075	59.458	28.222
1070	109072.376	1138	569	28.45	60.019	28.597
1080	110091.744	1227	613.5	30.675	60.580	30.822
1090	111111.112	1267	633.5	31.675	61.141	31.822
1100	112130.48	1330	665	33.25	61.702	33.397
1110	113149.848	1359	679.5	33.975	62.263	34.122
1114	113557.5952	1450	725	36.25	62.487	36.397



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 20% (BP20-10)

D : 15,175 cm
 A : 180,770 cm² = 18077,02906 mm²
 T : 29,8 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.341
0	0	0	0	0	0	0.341
10	1019.368	6	3	0.15	0.553	0.491
20	2038.736	14	7	0.35	1.106	0.691
30	3058.104	20	10	0.5	1.660	0.841
40	4077.472	26	13	0.65	2.213	0.991
50	5096.84	32	16	0.8	2.766	1.141
60	6116.208	38	19	0.95	3.319	1.291
70	7135.576	44	22	1.1	3.872	1.441
80	8154.944	51	25.5	1.275	4.426	1.616
90	9174.312	58	29	1.45	4.979	1.791
100	10193.68	65	32.5	1.625	5.532	1.966
110	11213.048	72	36	1.8	6.085	2.141
120	12232.416	80	40	2	6.638	2.341
130	13251.784	87	43.5	2.175	7.191	2.516
140	14271.152	94	47	2.35	7.745	2.691
150	15290.52	102	51	2.55	8.298	2.891
160	16309.888	109	54.5	2.725	8.851	3.066
170	17329.256	116	58	2.9	9.404	3.241
180	18348.624	124	62	3.1	9.957	3.441
190	19367.992	131	65.5	3.275	10.511	3.616
200	20387.36	139	69.5	3.475	11.064	3.816
210	21406.728	147	73.5	3.675	11.617	4.016
220	22426.096	155	77.5	3.875	12.170	4.216
230	23445.464	163	81.5	4.075	12.723	4.416
240	24464.832	171	85.5	4.275	13.277	4.616
250	25484.2	180	90	4.5	13.830	4.841
260	26503.568	188	94	4.7	14.383	5.041
270	27522.936	198	99	4.95	14.936	5.291
280	28542.304	205	102.5	5.125	15.489	5.466
290	29561.672	214	107	5.35	16.042	5.691
300	30581.04	223	111.5	5.575	16.596	5.916
310	31600.408	231	115.5	5.775	17.149	6.116
320	32619.776	239	119.5	5.975	17.702	6.316
330	33639.144	248	124	6.2	18.255	6.541
340	34658.512	256	128	6.4	18.808	6.741
350	35677.88	265	132.5	6.625	19.362	6.966
360	36697.248	274	137	6.85	19.915	7.191
370	37716.616	283	141.5	7.075	20.468	7.416
380	38735.984	292	146	7.3	21.021	7.641



390	39755.352	302	151	7.55	21.574	7.891
400	40774.72	310	155	7.75	22.128	8.091
410	41794.088	321	160.5	8.025	22.681	8.366
420	42813.456	328	164	8.2	23.234	8.541
430	43832.824	337	168.5	8.425	23.787	8.766
440	44852.192	348	174	8.7	24.340	9.041
450	45871.56	357	178.5	8.925	24.893	9.266
460	46890.928	367	183.5	9.175	25.447	9.516
470	47910.296	376	188	9.4	26.000	9.741
480	48929.664	387	193.5	9.675	26.553	10.016
490	49949.032	397	198.5	9.925	27.106	10.266
500	50968.4	407	203.5	10.175	27.659	10.516
510	51987.768	417	208.5	10.425	28.213	10.766
520	53007.136	427	213.5	10.675	28.766	11.016
530	54026.504	437	218.5	10.925	29.319	11.266
540	55045.872	445	222.5	11.125	29.872	11.466
550	56065.24	455	227.5	11.375	30.425	11.716
560	57084.608	465	232.5	11.625	30.979	11.966
570	58103.976	476	238	11.9	31.532	12.241
580	59123.344	487	243.5	12.175	32.085	12.516
590	60142.712	498	249	12.45	32.638	12.791
600	61162.08	507	253.5	12.675	33.191	13.016
610	62181.448	518	259	12.95	33.744	13.291
620	63200.816	527	263.5	13.175	34.298	13.516
630	64220.184	538	269	13.45	34.851	13.791
640	65239.552	548	274	13.7	35.404	14.041
650	66258.92	559	279.5	13.975	35.957	14.316
660	67278.288	570	285	14.25	36.510	14.591
670	68297.656	581	290.5	14.525	37.064	14.866
680	69317.024	592	296	14.8	37.617	15.141
690	70336.392	604	302	15.1	38.170	15.441
700	71355.76	615	307.5	15.375	38.723	15.716
710	72375.128	629	314.5	15.725	39.276	16.066
720	73394.496	637	318.5	15.925	39.830	16.266
730	74413.864	646	323	16.15	40.383	16.491
740	75433.232	656	328	16.4	40.936	16.741
750	76452.6	665	332.5	16.625	41.489	16.966
760	77471.968	677	338.5	16.925	42.042	17.266
770	78491.336	689	344.5	17.225	42.595	17.566
780	79510.704	699	349.5	17.475	43.149	17.816
790	80530.072	713	356.5	17.825	43.702	18.166
800	81549.44	724	362	18.1	44.255	18.441
810	82568.808	735	367.5	18.375	44.808	18.716
820	83588.176	745	372.5	18.625	45.361	18.966
830	84607.544	758	379	18.95	45.915	19.291
840	85626.912	769	384.5	19.225	46.468	19.566



850	86646.28	783	391.5	19.575	47.021	19.916
860	87665.648	795	397.5	19.875	47.574	20.216
870	88685.016	808	404	20.2	48.127	20.541
880	89704.384	820	410	20.5	48.681	20.841
890	90723.752	833	416.5	20.825	49.234	21.166
900	91743.12	847	423.5	21.175	49.787	21.516
910	92762.488	860	430	21.5	50.340	21.841
920	93781.856	873	436.5	21.825	50.893	22.166
930	94801.224	886	443	22.15	51.447	22.491
940	95820.592	899	449.5	22.475	52.000	22.816
950	96839.96	914	457	22.85	52.553	23.191
960	97859.328	926	463	23.15	53.106	23.491
970	98878.696	944	472	23.6	53.659	23.941
980	99898.064	958	479	23.95	54.212	24.291
990	100917.432	973	486.5	24.325	54.766	24.666
1000	101936.8	949	474.5	23.725	55.319	24.066
1010	102956.168	971	485.5	24.275	55.872	24.616
1020	103975.536	988	494	24.7	56.425	25.041
1030	104994.904	1009	504.5	25.225	56.978	25.566
1040	106014.272	1027	513.5	25.675	57.532	26.016
1050	107033.64	1048	524	26.2	58.085	26.541
1060	108053.008	1061	530.5	26.525	58.638	26.866
1070	109072.376	1073	536.5	26.825	59.191	27.166
1080	110091.744	1086	543	27.15	59.744	27.491
1090	111111.112	1099	549.5	27.475	60.298	27.816
1100	112130.48	1109	554.5	27.725	60.851	28.066
1108	112945.9744	1118	559	27.95	61.293	28.291



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 25% (BP25-2)

D : 15,5 cm
 A : 188,596 cm² = 18859,625 mm²
 T : 29,5 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/L ₀ (...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.145
0	0	0	0	0	0	0.145
10	1019.368	5	2.5	0.125	0.530	0.27
20	2038.736	14	7	0.35	1.060	0.495
30	3058.104	22	11	0.55	1.591	0.695
40	4077.472	28	14	0.7	2.121	0.845
50	5096.84	36	18	0.9	2.651	1.045
60	6116.208	43	21.5	1.075	3.181	1.22
70	7135.576	49	24.5	1.225	3.712	1.37
80	8154.944	57	28.5	1.425	4.242	1.57
90	9174.312	64	32	1.6	4.772	1.745
100	10193.68	71	35.5	1.775	5.302	1.92
110	11213.048	78	39	1.95	5.833	2.095
120	12232.416	88	44	2.2	6.363	2.345
130	13251.784	98	49	2.45	6.893	2.595
140	14271.152	113	56.5	2.825	7.423	2.97
150	15290.52	125	62.5	3.125	7.953	3.27
160	16309.888	137	68.5	3.425	8.484	3.57
170	17329.256	150	75	3.75	9.014	3.895
180	18348.624	163	81.5	4.075	9.544	4.22
190	19367.992	174	87	4.35	10.074	4.495
200	20387.36	187	93.5	4.675	10.605	4.82
210	21406.728	198	99	4.95	11.135	5.095
220	22426.096	211	105.5	5.275	11.665	5.42
230	23445.464	222	111	5.55	12.195	5.695
240	24464.832	234	117	5.85	12.726	5.995
250	25484.2	247	123.5	6.175	13.256	6.32
260	26503.568	258	129	6.45	13.786	6.595
270	27522.936	266	133	6.65	14.316	6.795
280	28542.304	240	120	6	14.847	6.145
290	29561.672	250	125	6.25	15.377	6.395
300	30581.04	259	129.5	6.475	15.907	6.62
310	31600.408	269	134.5	6.725	16.437	6.87
320	32619.776	280	140	7	16.967	7.145
330	33639.144	288	144	7.2	17.498	7.345
340	34658.512	297	148.5	7.425	18.028	7.57
350	35677.88	308	154	7.7	18.558	7.845
360	36697.248	320	160	8	19.088	8.145
370	37716.616	331	165.5	8.275	19.619	8.42
380	38735.984	343	171.5	8.575	20.149	8.72



390	39755.352	354	177	8.85	20.679	8.995
400	40774.72	367	183.5	9.175	21.209	9.32
410	41794.088	380	190	9.5	21.740	9.645
420	42813.456	392	196	9.8	22.270	9.945
430	43832.824	406	203	10.15	22.800	10.295
440	44852.192	412	206	10.3	23.330	10.445
450	45871.56	425	212.5	10.625	23.860	10.77
460	46890.928	437	218.5	10.925	24.391	11.07
470	47910.296	448	224	11.2	24.921	11.345
480	48929.664	461	230.5	11.525	25.451	11.67
490	49949.032	474	237	11.85	25.981	11.995
500	50968.4	487	243.5	12.175	26.512	12.32
510	51987.768	498	249	12.45	27.042	12.595
520	53007.136	509	254.5	12.725	27.572	12.87
530	54026.504	521	260.5	13.025	28.102	13.17
540	55045.872	532	266	13.3	28.633	13.445
550	56065.24	515	257.5	12.875	29.163	13.02
560	57084.608	525	262.5	13.125	29.693	13.27
570	58103.976	539	269.5	13.475	30.223	13.62
580	59123.344	549	274.5	13.725	30.754	13.87
590	60142.712	558	279	13.95	31.284	14.095
600	61162.08	569	284.5	14.225	31.814	14.37
610	62181.448	580	290	14.5	32.344	14.645
620	63200.816	591	295.5	14.775	32.874	14.92
630	64220.184	599	299.5	14.975	33.405	15.12
640	65239.552	609	304.5	15.225	33.935	15.37
650	66258.92	621	310.5	15.525	34.465	15.67
660	67278.288	634	317	15.85	34.995	15.995
670	68297.656	648	324	16.2	35.526	16.345
680	69317.024	660	330	16.5	36.056	16.645
690	70336.392	671	335.5	16.775	36.586	16.92
700	71355.76	682	341	17.05	37.116	17.195
710	72375.128	694	347	17.35	37.647	17.495
720	73394.496	707	353.5	17.675	38.177	17.82
730	74413.864	722	361	18.05	38.707	18.195
740	75433.232	736	368	18.4	39.237	18.545
750	76452.6	747	373.5	18.675	39.767	18.82
760	77471.968	756	378	18.9	40.298	19.045
770	78491.336	751	375.5	18.775	40.828	18.92
780	79510.704	762	381	19.05	41.358	19.195
790	80530.072	773	386.5	19.325	41.888	19.47
800	81549.44	786	393	19.65	42.419	19.795
810	82568.808	803	401.5	20.075	42.949	20.22
820	83588.176	815	407.5	20.375	43.479	20.52
830	84607.544	824	412	20.6	44.009	20.745
840	85626.912	833	416.5	20.825	44.540	20.97



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

850	86646.28	842	421	21.05	45.070	21.195
860	87665.648	852	426	21.3	45.600	21.445
870	88685.016	863	431.5	21.575	46.130	21.72
880	89704.384	873	436.5	21.825	46.661	21.97
890	90723.752	886	443	22.15	47.191	22.295
900	91743.12	899	449.5	22.475	47.721	22.62
910	92762.488	921	460.5	23.025	48.251	23.17
920	93781.856	937	468.5	23.425	48.781	23.57
930	94801.224	948	474	23.7	49.312	23.845
940	95820.592	961	480.5	24.025	49.842	24.17
950	96839.96	972	486	24.3	50.372	24.445
960	97859.328	985	492.5	24.625	50.902	24.77
970	98878.696	998	499	24.95	51.433	25.095
980	99898.064	1015	507.5	25.375	51.963	25.52
990	100917.432	1034	517	25.85	52.493	25.995
1000	101936.8	1068	534	26.7	53.023	26.845
1010	102956.168	1083	541.5	27.075	53.554	27.22
1020	103975.536	1092	546	27.3	54.084	27.445
1030	104994.904	1099	549.5	27.475	54.614	27.62
1040	106014.272	1114	557	27.85	55.144	27.995
1050	107033.64	1128	564	28.2	55.674	28.345
1060	108053.008	1142	571	28.55	56.205	28.695
1070	109072.376	1116	558	27.9	56.735	28.045
1080	110091.744	1139	569.5	28.475	57.265	28.62
1090	111111.112	1155	577.5	28.875	57.795	29.02
1100	112130.48	1169	584.5	29.225	58.326	29.37
1110	113149.848	1189	594.5	29.725	58.856	29.87
1120	114169.216	1204	602	30.1	59.386	30.245
1130	115188.584	1219	609.5	30.475	59.916	30.62
1140	116207.952	1227	613.5	30.675	60.447	30.82
1145	116717.636	1245	622.5	31.125	60.712	31.27
1150	117227.32	1242	621	31.05	60.977	31.195
1160	118246.688	1261	630.5	31.525	61.507	31.67



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 25% (BP25-3)

D : 15 cm
 A : 176,625 cm² = 17662,5 mm²
 T : 29,5 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi 0.102
0	0	0	0	0	0	-0.102
10	1019.368	10	5	0.25	0.566	0.148
20	2038.736	15	7.5	0.375	1.132	0.273
30	3058.104	24	12	0.6	1.699	0.498
40	4077.472	34	17	0.85	2.265	0.748
50	5096.84	45	22.5	1.125	2.831	1.023
60	6116.208	52	26	1.3	3.397	1.198
70	7135.576	61	30.5	1.525	3.963	1.423
80	8154.944	71	35.5	1.775	4.529	1.673
90	9174.312	83	41.5	2.075	5.096	1.973
100	10193.68	91	45.5	2.275	5.662	2.173
110	11213.048	98	49	2.45	6.228	2.348
120	12232.416	106	53	2.65	6.794	2.548
130	13251.784	115	57.5	2.875	7.360	2.773
140	14271.152	125	62.5	3.125	7.926	3.023
150	15290.52	135	67.5	3.375	8.493	3.273
160	16309.888	143	71.5	3.575	9.059	3.473
170	17329.256	151	75.5	3.775	9.625	3.673
180	18348.624	158	79	3.95	10.191	3.848
190	19367.992	168	84	4.2	10.757	4.098
200	20387.36	175	87.5	4.375	11.323	4.273
210	21406.728	185	92.5	4.625	11.890	4.523
220	22426.096	194	97	4.85	12.456	4.748
230	23445.464	202	101	5.05	13.022	4.948
240	24464.832	212	106	5.3	13.588	5.198
250	25484.2	220	110	5.5	14.154	5.398
260	26503.568	231	115.5	5.775	14.720	5.673
270	27522.936	239	119.5	5.975	15.287	5.873
280	28542.304	247	123.5	6.175	15.853	6.073
290	29561.672	256	128	6.4	16.419	6.298
300	30581.04	265	132.5	6.625	16.985	6.523
310	31600.408	274	137	6.85	17.551	6.748
320	32619.776	283	141.5	7.075	18.117	6.973
330	33639.144	292	146	7.3	18.684	7.198
340	34658.512	303	151.5	7.575	19.250	7.473
350	35677.88	309	154.5	7.725	19.816	7.623
360	36697.248	321	160.5	8.025	20.382	7.923
370	37716.616	328	164	8.2	20.948	8.098
380	38735.984	337	168.5	8.425	21.515	8.323



390	39755.352	345	172.5	8.625	22.081	8.523
400	40774.72	355	177.5	8.875	22.647	8.773
410	41794.088	369	184.5	9.225	23.213	9.123
420	42813.456	378	189	9.45	23.779	9.348
430	43832.824	387	193.5	9.675	24.345	9.573
440	44852.192	395	197.5	9.875	24.912	9.773
450	45871.56	407	203.5	10.175	25.478	10.073
460	46890.928	416	208	10.4	26.044	10.298
470	47910.296	426	213	10.65	26.610	10.548
480	48929.664	437	218.5	10.925	27.176	10.823
490	49949.032	448	224	11.2	27.742	11.098
500	50968.4	457	228.5	11.425	28.309	11.323
510	51987.768	468	234	11.7	28.875	11.598
520	53007.136	477	238.5	11.925	29.441	11.823
530	54026.504	484	242	12.1	30.007	11.998
540	55045.872	496	248	12.4	30.573	12.298
550	56065.24	508	254	12.7	31.139	12.598
560	57084.608	519	259.5	12.975	31.706	12.873
570	58103.976	531	265.5	13.275	32.272	13.173
580	59123.344	542	271	13.55	32.838	13.448
590	60142.712	554	277	13.85	33.404	13.748
600	61162.08	565	282.5	14.125	33.970	14.023
610	62181.448	567	283.5	14.175	34.536	14.073
620	63200.816	577	288.5	14.425	35.103	14.323
630	64220.184	590	295	14.75	35.669	14.648
640	65239.552	604	302	15.1	36.235	14.998
650	66258.92	602	301	15.05	36.801	14.948
660	67278.288	614	307	15.35	37.367	15.248
670	68297.656	624	312	15.6	37.933	15.498
680	69317.024	639	319.5	15.975	38.500	15.873
690	70336.392	652	326	16.3	39.066	16.198
700	71355.76	665	332.5	16.625	39.632	16.523
710	72375.128	679	339.5	16.975	40.198	16.873
720	73394.496	691	345.5	17.275	40.764	17.173
730	74413.864	704	352	17.6	41.331	17.498
740	75433.232	715	357.5	17.875	41.897	17.773
750	76452.6	726	363	18.15	42.463	18.048
760	77471.968	738	369	18.45	43.029	18.348
770	78491.336	751	375.5	18.775	43.595	18.673
780	79510.704	763	381.5	19.075	44.161	18.973
790	80530.072	776	388	19.4	44.728	19.298
800	81549.44	789	394.5	19.725	45.294	19.623
810	82568.808	799	399.5	19.975	45.860	19.873
820	83588.176	813	406.5	20.325	46.426	20.223
830	84607.544	823	411.5	20.575	46.992	20.473
840	85626.912	836	418	20.9	47.558	20.798



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

850	86646.28	833	416.5	20.825	48.125	20.723
860	87665.648	843	421.5	21.075	48.691	20.973
870	88685.016	854	427	21.35	49.257	21.248
880	89704.384	869	434.5	21.725	49.823	21.623
890	90723.752	881	440.5	22.025	50.389	21.923
900	91743.12	894	447	22.35	50.955	22.248
910	92762.488	907	453.5	22.675	51.522	22.573
920	93781.856	923	461.5	23.075	52.088	22.973
930	94801.224	937	468.5	23.425	52.654	23.323
940	95820.592	952	476	23.8	53.220	23.698
950	96839.96	968	484	24.2	53.786	24.098
960	97859.328	980	490	24.5	54.352	24.398
970	98878.696	993	496.5	24.825	54.919	24.723
980	99898.064	1006	503	25.15	55.485	25.048
990	100917.432	1019	509.5	25.475	56.051	25.373
1000	101936.8	1033	516.5	25.825	56.617	25.723
1010	102956.168	1046	523	26.15	57.183	26.048
1020	103975.536	1061	530.5	26.525	57.749	26.423
1030	104994.904	1075	537.5	26.875	58.316	26.773
1040	106014.272	1090	545	27.25	58.882	27.148
1050	107033.64	1104	552	27.6	59.448	27.498
1060	108053.008	1120	560	28	60.014	27.898
1070	109072.376	1124	562	28.1	60.580	27.998
1080	110091.744	1148	574	28.7	61.146	28.598
1090	111111.112	1164	582	29.1	61.713	28.998
1100	112130.48	1182	591	29.55	62.279	29.448
1110	113149.848	1203	601.5	30.075	62.845	29.973
1119	114067.279	1222	611	30.55	63.355	30.448



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 30% (BP30-6)

D : 15,2 cm
 A : 181,366 cm² = 18136,64 mm²
 T : 29,9 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi 0.151
0	0	0	0	0	0	-0.151
10	1019.368	7	3.5	0.175	0.551	0.024
20	2038.736	19	9.5	0.475	1.103	0.324
30	3058.104	32	16	0.8	1.654	0.649
40	4077.472	43	21.5	1.075	2.205	0.924
50	5096.84	54	27	1.35	2.757	1.199
60	6116.208	65	32.5	1.625	3.308	1.474
70	7135.576	75	37.5	1.875	3.860	1.724
80	8154.944	88	44	2.2	4.411	2.049
90	9174.312	98	49	2.45	4.962	2.299
100	10193.68	106	53	2.65	5.514	2.499
110	11213.048	117	58.5	2.925	6.065	2.774
120	12232.416	126	63	3.15	6.616	2.999
130	13251.784	138	69	3.45	7.168	3.299
140	14271.152	149	74.5	3.725	7.719	3.574
150	15290.52	162	81	4.05	8.271	3.899
160	16309.888	171	85.5	4.275	8.822	4.124
170	17329.256	182	91	4.55	9.373	4.399
180	18348.624	192	96	4.8	9.925	4.649
190	19367.992	203	101.5	5.075	10.476	4.924
200	20387.36	212	106	5.3	11.027	5.149
210	21406.728	220	110	5.5	11.579	5.349
220	22426.096	234	117	5.85	12.130	5.699
230	23445.464	245	122.5	6.125	12.682	5.974
240	24464.832	255	127.5	6.375	13.233	6.224
250	25484.2	267	133.5	6.675	13.784	6.524
260	26503.568	277	138.5	6.925	14.336	6.774
270	27522.936	288	144	7.2	14.887	7.049
280	28542.304	299	149.5	7.475	15.438	7.324
290	29561.672	310	155	7.75	15.990	7.599
300	30581.04	321	160.5	8.025	16.541	7.874
310	31600.408	332	166	8.3	17.092	8.149
320	32619.776	344	172	8.6	17.644	8.449
330	33639.144	355	177.5	8.875	18.195	8.724
340	34658.512	367	183.5	9.175	18.747	9.024
350	35677.88	378	189	9.45	19.298	9.299
360	36697.248	389	194.5	9.725	19.849	9.574
370	37716.616	399	199.5	9.975	20.401	9.824
380	38735.984	410	205	10.25	20.952	10.099



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

390	39755.352	419	209.5	10.475	21.503	10.324
400	40774.72	420	210	10.5	22.055	10.349
410	41794.088	425	212.5	10.625	22.606	10.474
420	42813.456	434	217	10.85	23.158	10.699
430	43832.824	442	221	11.05	23.709	10.899
440	44852.192	443	221.5	11.075	24.260	10.924
450	45871.56	452	226	11.3	24.812	11.149
460	46890.928	464	232	11.6	25.363	11.449
470	47910.296	477	238.5	11.925	25.914	11.774
480	48929.664	491	245.5	12.275	26.466	12.124
490	49949.032	504	252	12.6	27.017	12.449
500	50968.4	516	258	12.9	27.569	12.749
510	51987.768	529	264.5	13.225	28.120	13.074
520	53007.136	538	269	13.45	28.671	13.299
530	54026.504	551	275.5	13.775	29.223	13.624
540	55045.872	567	283.5	14.175	29.774	14.024
550	56065.24	580	290	14.5	30.325	14.349
560	57084.608	596	298	14.9	30.877	14.749
570	58103.976	611	305.5	15.275	31.428	15.124
580	59123.344	629	314.5	15.725	31.979	15.574
590	60142.712	643	321.5	16.075	32.531	15.924
600	61162.08	654	327	16.35	33.082	16.199
610	62181.448	666	333	16.65	33.634	16.499
620	63200.816	677	338.5	16.925	34.185	16.774
630	64220.184	687	343.5	17.175	34.736	17.024
640	65239.552	688	344	17.2	35.288	17.049
650	66258.92	693	346.5	17.325	35.839	17.174
660	67278.288	710	355	17.75	36.390	17.599
670	68297.656	725	362.5	18.125	36.942	17.974
680	69317.024	734	367	18.35	37.493	18.199



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 30% (BP30-10)

D : 15,1 cm
 A : 178,988 cm² = 17898,785 mm²
 T : 29,8 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.134
0	0	0	0	0	0	0.134
10	1019.368	7	3.5	0.175	0.559	0.309
20	2038.736	14	7	0.35	1.117	0.484
30	3058.104	22	11	0.55	1.676	0.684
40	4077.472	29	14.5	0.725	2.235	0.859
50	5096.84	35	17.5	0.875	2.793	1.009
60	6116.208	42	21	1.05	3.352	1.184
70	7135.576	49	24.5	1.225	3.911	1.359
80	8154.944	56	28	1.4	4.470	1.534
90	9174.312	64	32	1.6	5.028	1.734
100	10193.68	71	35.5	1.775	5.587	1.909
110	11213.048	79	39.5	1.975	6.146	2.109
120	12232.416	87	43.5	2.175	6.704	2.309
130	13251.784	95	47.5	2.375	7.263	2.509
140	14271.152	104	52	2.6	7.822	2.734
150	15290.52	113	56.5	2.825	8.380	2.959
160	16309.888	120	60	3	8.939	3.134
170	17329.256	129	64.5	3.225	9.498	3.359
180	18348.624	138	69	3.45	10.057	3.584
190	19367.992	147	73.5	3.675	10.615	3.809
200	20387.36	158	79	3.95	11.174	4.084
210	21406.728	168	84	4.2	11.733	4.334
220	22426.096	179	89.5	4.475	12.291	4.609
230	23445.464	188	94	4.7	12.850	4.834
240	24464.832	198	99	4.95	13.409	5.084
250	25484.2	207	103.5	5.175	13.967	5.309
260	26503.568	218	109	5.45	14.526	5.584
270	27522.936	228	114	5.7	15.085	5.834
280	28542.304	239	119.5	5.975	15.644	6.109
290	29561.672	248	124	6.2	16.202	6.334
300	30581.04	259	129.5	6.475	16.761	6.609
310	31600.408	269	134.5	6.725	17.320	6.859
320	32619.776	278	139	6.95	17.878	7.084
330	33639.144	289	144.5	7.225	18.437	7.359
340	34658.512	298	149	7.45	18.996	7.584
350	35677.88	307	153.5	7.675	19.554	7.809
360	36697.248	318	159	7.95	20.113	8.084
370	37716.616	326	163	8.15	20.672	8.284
380	38735.984	338	169	8.45	21.230	8.584



390	39755.352	349	174.5	8.725	21.789	8.859
400	40774.72	358	179	8.95	22.348	9.084
410	41794.088	369	184.5	9.225	22.907	9.359
420	42813.456	380	190	9.5	23.465	9.634
430	43832.824	389	194.5	9.725	24.024	9.859
440	44852.192	397	198.5	9.925	24.583	10.059
450	45871.56	405	202.5	10.125	25.141	10.259
460	46890.928	414	207	10.35	25.700	10.484
470	47910.296	421	210.5	10.525	26.259	10.659
480	48929.664	430	215	10.75	26.817	10.884
490	49949.032	439	219.5	10.975	27.376	11.109
500	50968.4	447	223.5	11.175	27.935	11.309
510	51987.768	458	229	11.45	28.494	11.584
520	53007.136	475	237.5	11.875	29.052	12.009
530	54026.504	485	242.5	12.125	29.611	12.259
540	55045.872	494	247	12.35	30.170	12.484
550	56065.24	504	252	12.6	30.728	12.734
560	57084.608	515	257.5	12.875	31.287	13.009
570	58103.976	526	263	13.15	31.846	13.284
580	59123.344	537	268.5	13.425	32.404	13.559
590	60142.712	548	274	13.7	32.963	13.834
600	61162.08	559	279.5	13.975	33.522	14.109
610	62181.448	574	287	14.35	34.081	14.484
620	63200.816	583	291.5	14.575	34.639	14.709
630	64220.184	594	297	14.85	35.198	14.984
640	65239.552	605	302.5	15.125	35.757	15.259
650	66258.92	615	307.5	15.375	36.315	15.509
660	67278.288	624	312	15.6	36.874	15.734
670	68297.656	632	316	15.8	37.433	15.934
680	69317.024	643	321.5	16.075	37.991	16.209
690	70336.392	654	327	16.35	38.550	16.484
700	71355.76	664	332	16.6	39.109	16.734
710	72375.128	675	337.5	16.875	39.667	17.009
720	73394.496	687	343.5	17.175	40.226	17.309
730	74413.864	696	348	17.4	40.785	17.534
740	75433.232	705	352.5	17.625	41.344	17.759
750	76452.6	715	357.5	17.875	41.902	18.009
760	77471.968	726	363	18.15	42.461	18.284
770	78491.336	739	369.5	18.475	43.020	18.609
780	79510.704	752	376	18.8	43.578	18.934
790	80530.072	766	383	19.15	44.137	19.284
800	81549.44	781	390.5	19.525	44.696	19.659
810	82568.808	793	396.5	19.825	45.254	19.959
820	83588.176	805	402.5	20.125	45.813	20.259



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

830	84607.544	819	409.5	20.475	46.372	20.609
840	85626.912	834	417	20.85	46.931	20.984
843.1	85942.9161	847	423.5	21.175	47.104	21.309
820	83588.176	847	423.5	21.175	45.813	21.309
820	83588.176	892	446	22.3	45.813	22.434
770	78491.336	899	449.5	22.475	43.020	22.609



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 35% (BP35-2)

D : 15 cm
 A : 176,625 cm² = 17662,5 mm²
 T : 29,6 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.444
0	0	0	0	0	0	0.444
10	1019.368	3	1.5	0.075	0.566	0.519
20	2038.736	7	3.5	0.175	1.132	0.619
30	3058.104	13	6.5	0.325	1.699	0.769
40	4077.472	18	9	0.45	2.265	0.894
50	5096.84	24	12	0.6	2.831	1.044
60	6116.208	29	14.5	0.725	3.397	1.169
70	7135.576	35	17.5	0.875	3.963	1.319
80	8154.944	41	20.5	1.025	4.529	1.469
90	9174.312	47	23.5	1.175	5.096	1.619
100	10193.68	54	27	1.35	5.662	1.794
110	11213.048	60	30	1.5	6.228	1.944
120	12232.416	67	33.5	1.675	6.794	2.119
130	13251.784	75	37.5	1.875	7.360	2.319
140	14271.152	84	42	2.1	7.926	2.544
150	15290.52	93	46.5	2.325	8.493	2.769
160	16309.888	99	49.5	2.475	9.059	2.919
170	17329.256	107	53.5	2.675	9.625	3.119
180	18348.624	116	58	2.9	10.191	3.344
190	19367.992	124	62	3.1	10.757	3.544
200	20387.36	133	66.5	3.325	11.323	3.769
210	21406.728	142	71	3.55	11.890	3.994
220	22426.096	152	76	3.8	12.456	4.244
230	23445.464	161	80.5	4.025	13.022	4.469
240	24464.832	170	85	4.25	13.588	4.694
250	25484.2	179	89.5	4.475	14.154	4.919
260	26503.568	188	94	4.7	14.720	5.144
270	27522.936	196	98	4.9	15.287	5.344
280	28542.304	208	104	5.2	15.853	5.644
290	29561.672	214	107	5.35	16.419	5.794
300	30581.04	225	112.5	5.625	16.985	6.069
310	31600.408	239	119.5	5.975	17.551	6.419
320	32619.776	249	124.5	6.225	18.117	6.669
330	33639.144	258	129	6.45	18.684	6.894
340	34658.512	270	135	6.75	19.250	7.194
350	35677.88	281	140.5	7.025	19.816	7.469
360	36697.248	294	147	7.35	20.382	7.794
370	37716.616	304	152	7.6	20.948	8.044
380	38735.984	314	157	7.85	21.515	8.294



390	39755.352	324	162	8.1	22.081	8.544
400	40774.72	335	167.5	8.375	22.647	8.819
410	41794.088	348	174	8.7	23.213	9.144
420	42813.456	361	180.5	9.025	23.779	9.469
430	43832.824	372	186	9.3	24.345	9.744
440	44852.192	385	192.5	9.625	24.912	10.069
450	45871.56	395	197.5	9.875	25.478	10.319
460	46890.928	409	204.5	10.225	26.044	10.669
470	47910.296	422	211	10.55	26.610	10.994
480	48929.664	434	217	10.85	27.176	11.294
490	49949.032	446	223	11.15	27.742	11.594
500	50968.4	459	229.5	11.475	28.309	11.919
510	51987.768	471	235.5	11.775	28.875	12.219
520	53007.136	483	241.5	12.075	29.441	12.519
530	54026.504	495	247.5	12.375	30.007	12.819
540	55045.872	508	254	12.7	30.573	13.144
550	56065.24	522	261	13.05	31.139	13.494
560	57084.608	529	264.5	13.225	31.706	13.669
570	58103.976	544	272	13.6	32.272	14.044
580	59123.344	555	277.5	13.875	32.838	14.319
590	60142.712	564	282	14.1	33.404	14.544
600	61162.08	576	288	14.4	33.970	14.844
610	62181.448	584	292	14.6	34.536	15.044
620	63200.816	599	299.5	14.975	35.103	15.419
630	64220.184	613	306.5	15.325	35.669	15.769
640	65239.552	626	313	15.65	36.235	16.094
650	66258.92	639	319.5	15.975	36.801	16.419
660	67278.288	652	326	16.3	37.367	16.744
670	68297.656	665	332.5	16.625	37.933	17.069
680	69317.024	680	340	17	38.500	17.444
690	70336.392	695	347.5	17.375	39.066	17.819
700	71355.76	710	355	17.75	39.632	18.194
710	72375.128	721	360.5	18.025	40.198	18.469
720	73394.496	732	366	18.3	40.764	18.744
730	74413.864	744	372	18.6	41.331	19.044
740	75433.232	756	378	18.9	41.897	19.344
750	76452.6	772	386	19.3	42.463	19.744
760	77471.968	783	391.5	19.575	43.029	20.019
770	78491.336	781	390.5	19.525	43.595	19.969
760	77471.968	845	422.5	21.125	43.029	21.569
770	78491.336	864	432	21.6	43.595	22.044
780	79510.704	884	442	22.1	44.161	22.544
790	80530.072	913	456.5	22.825	44.728	23.269
800	81549.44	944	472	23.6	45.294	24.044
810	82568.808	964	482	24.1	45.860	24.544
820	83588.176	986	493	24.65	46.426	25.094



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

829.7	84576.963	996	498	24.9	46.975	25.344
800	81549.44	1042	521	26.05	45.294	26.494
810	82568.808	1076	538	26.9	45.860	27.344
800	81549.44	1084	542	27.1	45.294	27.544
810	82568.808	1160	580	29	45.860	29.444



Beton Campuran Superplasticizer Penggantian Fly Ash 35% (BP35-9)

D : 15,175 cm
 A : 180,770 cm² = 18077,0291 mm²
 T : 29,125 cm

Beban (kN)	Beban (kg)	Regangan (...x10 ⁻³ mm)	ΔL (...x10 ⁻³)	Regangan ΔL/Lo(...x10 ⁻⁴ mm)	Tegangan P/A (Mpa)	Koreksi -0.032
0	0	0	0	0	0	0.032
10	1019.368	6	3	0.15	0.553	0.182
20	2038.736	15	7.5	0.375	1.106	0.407
30	3058.104	22	11	0.55	1.660	0.582
40	4077.472	30	15	0.75	2.213	0.782
50	5096.84	37	18.5	0.925	2.766	0.957
60	6116.208	45	22.5	1.125	3.319	1.157
70	7135.576	52	26	1.3	3.872	1.332
80	8154.944	59	29.5	1.475	4.426	1.507
90	9174.312	68	34	1.7	4.979	1.732
100	10193.68	77	38.5	1.925	5.532	1.957
110	11213.048	86	43	2.15	6.085	2.182
120	12232.416	94	47	2.35	6.638	2.382
130	13251.784	103	51.5	2.575	7.191	2.607
140	14271.152	112	56	2.8	7.745	2.832
150	15290.52	121	60.5	3.025	8.298	3.057
160	16309.888	129	64.5	3.225	8.851	3.257
170	17329.256	139	69.5	3.475	9.404	3.507
180	18348.624	147	73.5	3.675	9.957	3.707
190	19367.992	156	78	3.9	10.511	3.932
200	20387.36	164	82	4.1	11.064	4.132
210	21406.728	175	87.5	4.375	11.617	4.407
220	22426.096	183	91.5	4.575	12.170	4.607
230	23445.464	192	96	4.8	12.723	4.832
240	24464.832	199	99.5	4.975	13.277	5.007
250	25484.2	209	104.5	5.225	13.830	5.257
260	26503.568	218	109	5.45	14.383	5.482
270	27522.936	228	114	5.7	14.936	5.732
280	28542.304	237	118.5	5.925	15.489	5.957
290	29561.672	248	124	6.2	16.042	6.232
300	30581.04	257	128.5	6.425	16.596	6.457
310	31600.408	270	135	6.75	17.149	6.782
320	32619.776	279	139.5	6.975	17.702	7.007
330	33639.144	289	144.5	7.225	18.255	7.257
340	34658.512	296	148	7.4	18.808	7.432
350	35677.88	305	152.5	7.625	19.362	7.657
360	36697.248	314	157	7.85	19.915	7.882
370	37716.616	322	161	8.05	20.468	8.082
380	38735.984	333	166.5	8.325	21.021	8.357



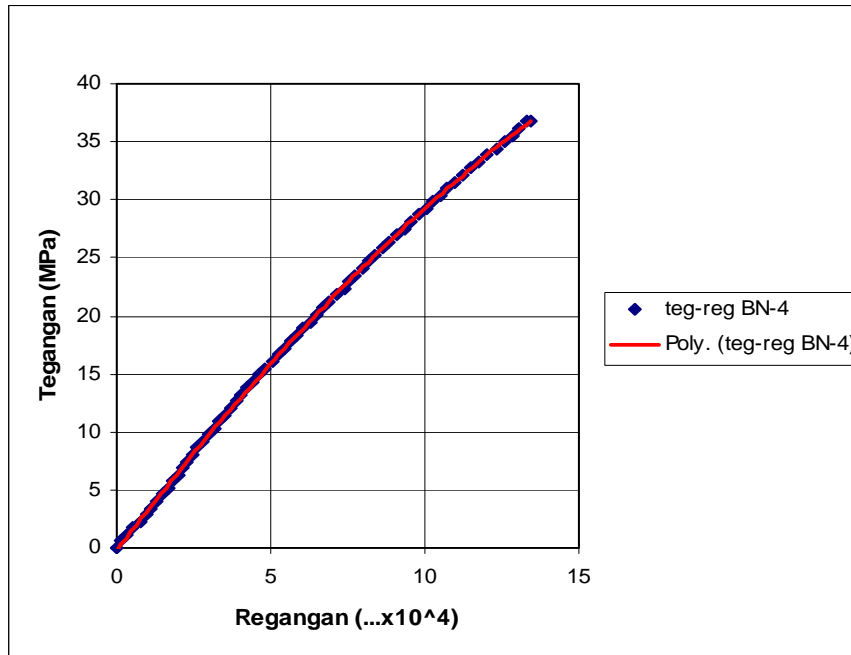
390	39755.352	344	172	8.6	21.574	8.632
400	40774.72	353	176.5	8.825	22.128	8.857
410	41794.088	364	182	9.1	22.681	9.132
420	42813.456	374	187	9.35	23.234	9.382
430	43832.824	383	191.5	9.575	23.787	9.607
440	44852.192	392	196	9.8	24.340	9.832
450	45871.56	403	201.5	10.075	24.893	10.107
460	46890.928	413	206.5	10.325	25.447	10.357
470	47910.296	423	211.5	10.575	26.000	10.607
480	48929.664	434	217	10.85	26.553	10.882
490	49949.032	445	222.5	11.125	27.106	11.157
500	50968.4	455	227.5	11.375	27.659	11.407
510	51987.768	467	233.5	11.675	28.213	11.707
520	53007.136	476	238	11.9	28.766	11.932
530	54026.504	487	243.5	12.175	29.319	12.207
540	55045.872	495	247.5	12.375	29.872	12.407
550	56065.24	505	252.5	12.625	30.425	12.657
560	57084.608	512	256	12.8	30.979	12.832
570	58103.976	523	261.5	13.075	31.532	13.107
580	59123.344	533	266.5	13.325	32.085	13.357
590	60142.712	544	272	13.6	32.638	13.632
600	61162.08	554	277	13.85	33.191	13.882
610	62181.448	568	284	14.2	33.744	14.232
620	63200.816	576	288	14.4	34.298	14.432
630	64220.184	589	294.5	14.725	34.851	14.757
640	65239.552	597	298.5	14.925	35.404	14.957
650	66258.92	607	303.5	15.175	35.957	15.207
660	67278.288	617	308.5	15.425	36.510	15.457
670	68297.656	628	314	15.7	37.064	15.732
680	69317.024	636	318	15.9	37.617	15.932
690	70336.392	648	324	16.2	38.170	16.232
700	71355.76	659	329.5	16.475	38.723	16.507
710	72375.128	670	335	16.75	39.276	16.782
720	73394.496	681	340.5	17.025	39.830	17.057
730	74413.864	692	346	17.3	40.383	17.332
740	75433.232	701	350.5	17.525	40.936	17.557
750	76452.6	710	355	17.75	41.489	17.782
760	77471.968	721	360.5	18.025	42.042	18.057
770	78491.336	732	366	18.3	42.595	18.332
750	76452.6	804	402	20.1	41.489	20.132
800	81549.44	853	426.5	21.325	44.255	21.357
810	82568.808	863	431.5	21.575	44.808	21.607
820	83588.176	874	437	21.85	45.361	21.882
830	84607.544	883	441.5	22.075	45.915	22.107
840	85626.912	894	447	22.35	46.468	22.382



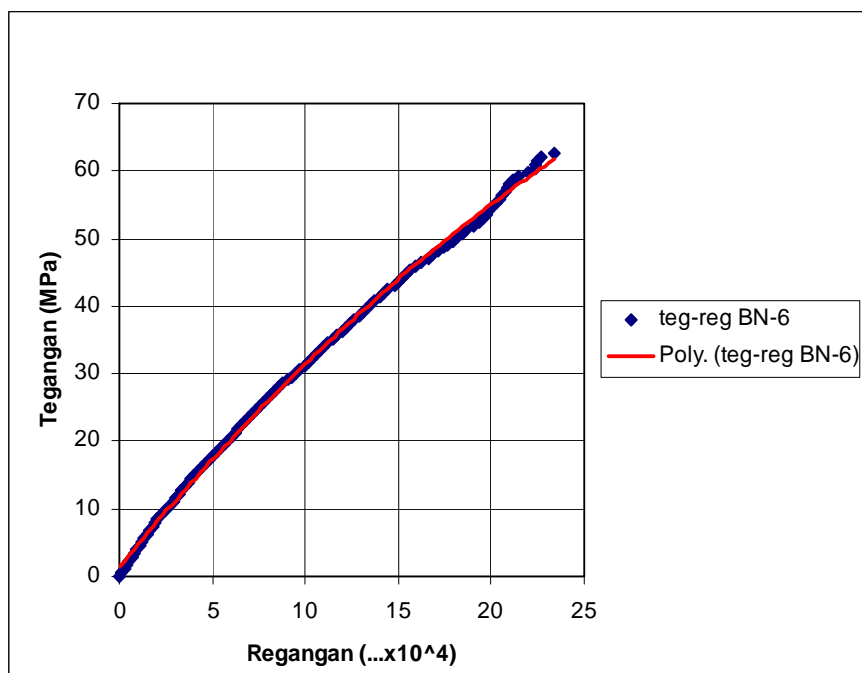
Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

850	86646.28	905	452.5	22.625	47.021	22.657
860	87665.648	915	457.5	22.875	47.574	22.907
870	88685.016	925	462.5	23.125	48.127	23.157
880	89704.384	935	467.5	23.375	48.681	23.407
890	90723.752	946	473	23.65	49.234	23.682
900	91743.12	956	478	23.9	49.787	23.932
910	92762.488	967	483.5	24.175	50.340	24.207
920	93781.856	992	496	24.8	50.893	24.832
920	93781.856	1002	501	25.05	50.893	25.082
930	94801.224	1015	507.5	25.375	51.447	25.407
930	94801.224	1017	508.5	25.425	51.447	25.457
940	95820.592	1034	517	25.85	52.000	25.882
950	96839.96	1046	523	26.15	52.553	26.182
960	97859.328	1053	526.5	26.325	53.106	26.357
970	98878.696	1062	531	26.55	53.659	26.582
980	99898.064	1072	536	26.8	54.212	26.832
994.9	101416.9223	1083	541.5	27.075	55.037	27.107

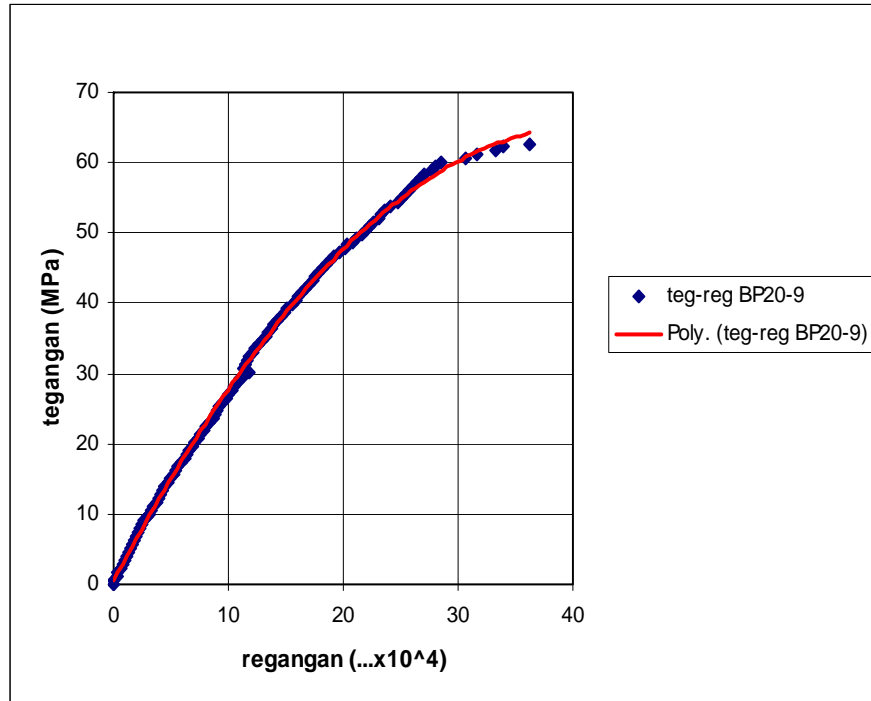
GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN – REGANGAN



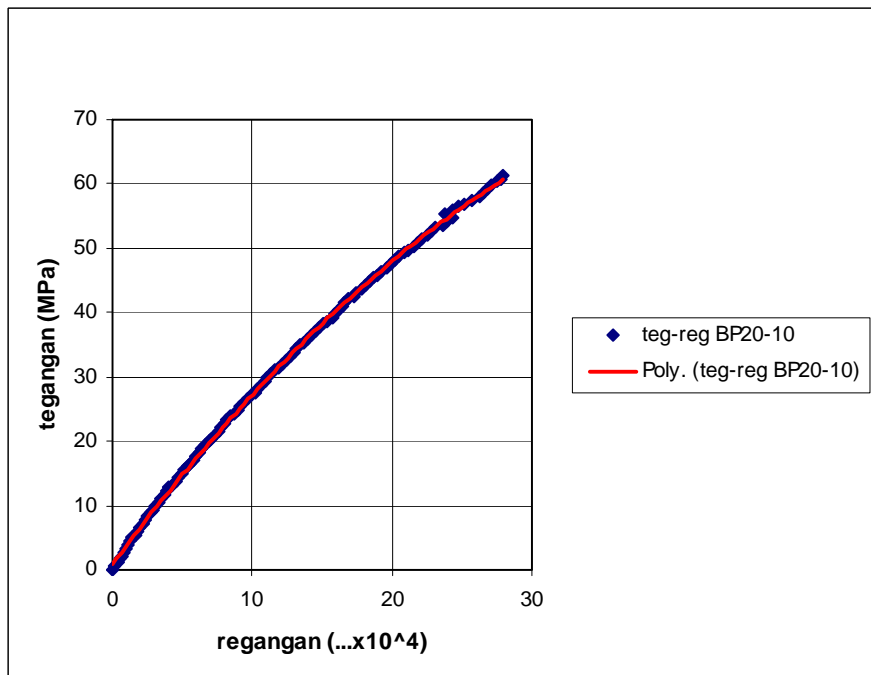
Grafik Tegangan Regangan Beton Normal (BN-4)



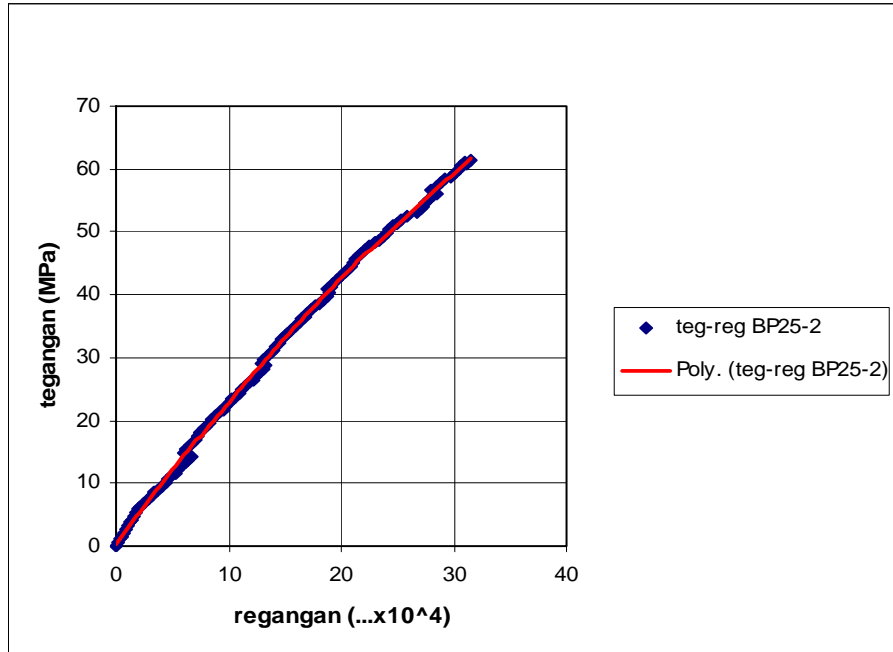
Grafik Tegangan Regangan Beton Normal (BN-6)



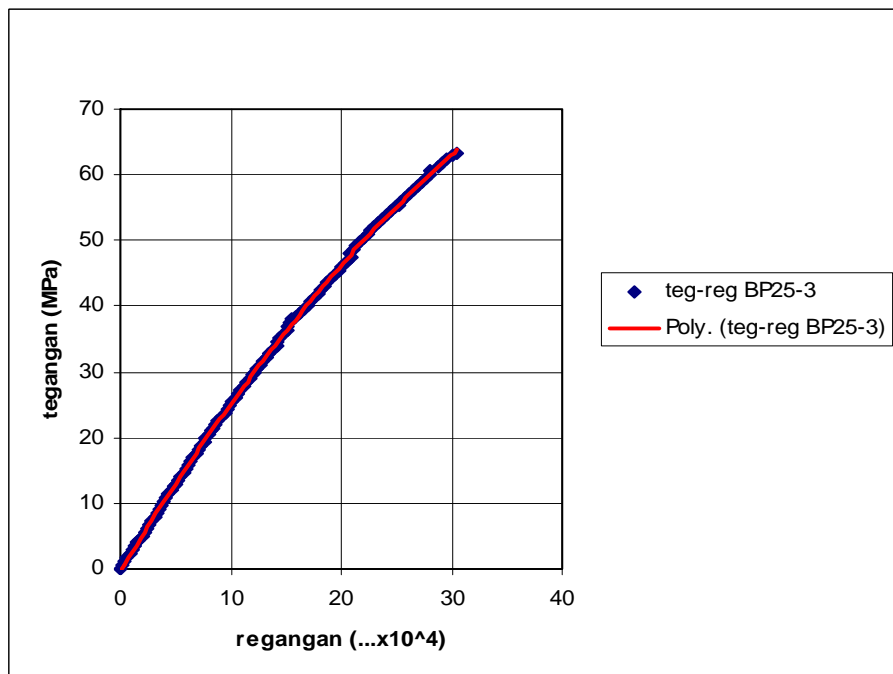
Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 20% (BP20-9)



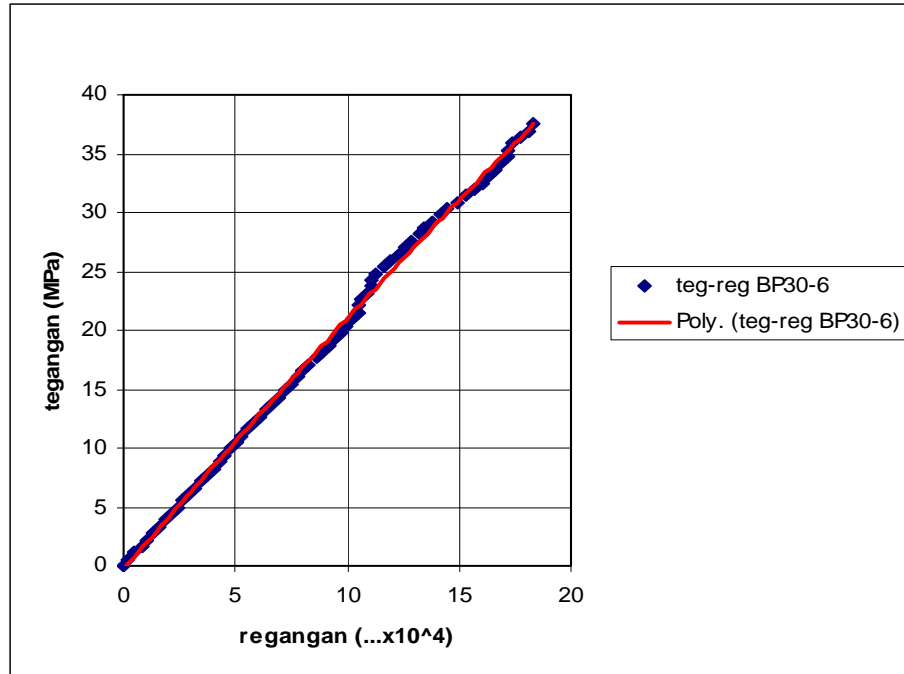
Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 20% (BP20-10)



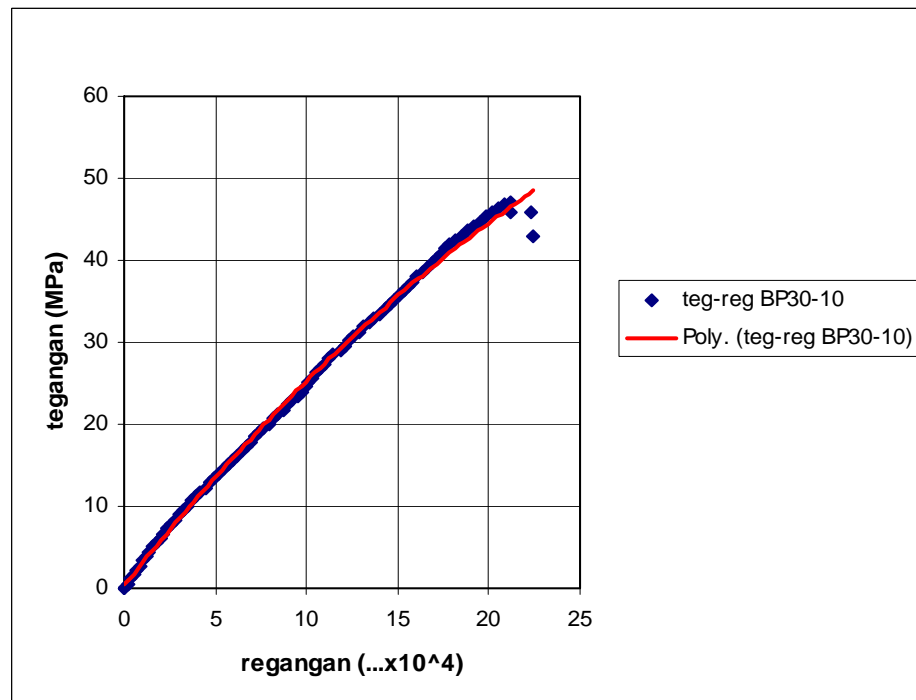
Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 25% (BP25-2)



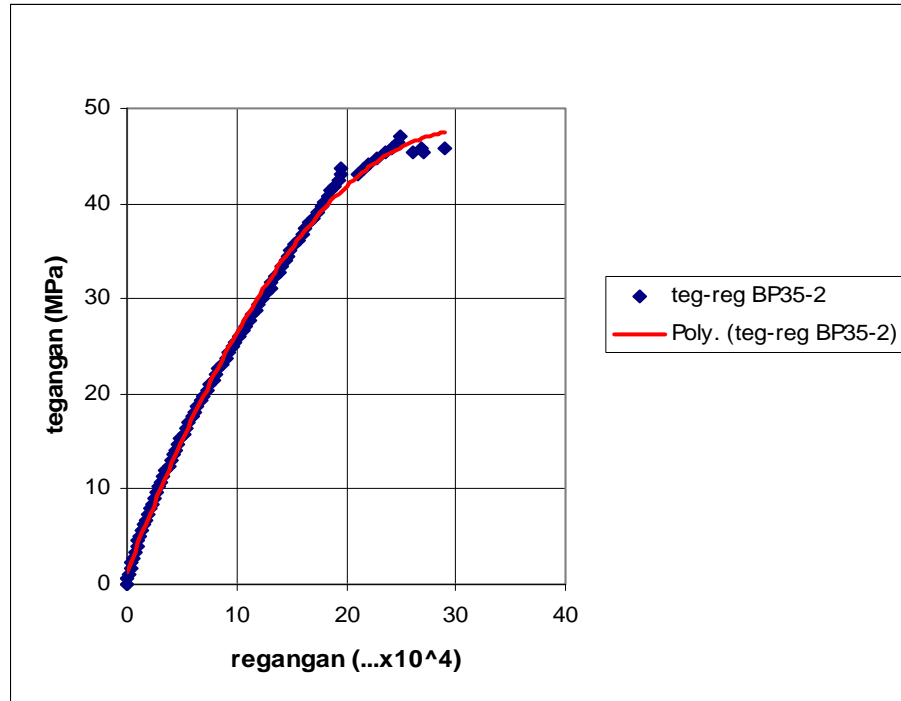
Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 25% (BP25-3)



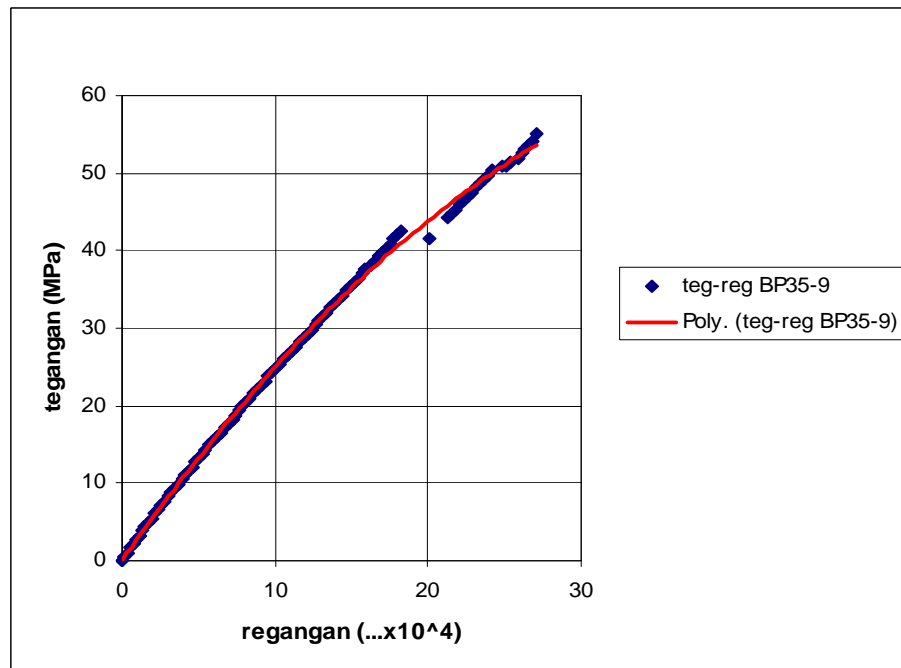
Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 30% (BP30-6)



Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 30% (BP30-10)



Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 35% (BP35-2)



Grafik Tegangan Regangan Beton Penggantian Fly Ash 35% (BP35-9)



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK BETON

Beton Normal

Kode	Dimensi		Volume (V) (cm ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Beban maks (KN)	Kuat desak (Mpa)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)						
BN 1	15	29	5122.125	12.308	2402.909	848.2	48.023	52.444
BN 2	15.3	30	5512.820	12.548	2276.149	894.2	48.661	
BN 3	15.1	30.2	5405.433	12.685	2346.713	1110	62.015	
BN 4	14.9	30.1	5245.763	12.596	2401.176	641.9	36.832	
BN 5	15.2	30.1	5459.129	12.525	2294.322	934.4	51.520	
BN 6	15.1	30.4	5441.231	12.065	2217.329	1120	62.574	
BN 7	15	30.4	5369.400	12.639	2353.894	842.8	47.717	
BN 8	15.2	29	5259.626	12.535	2383.249	904.4	49.866	
BN 9	15.2	30	5440.992	12.57	2310.240	1009	55.633	
BN 10	15	30.3	5351.738	12.645	2362.784	1088	61.599	



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

Beton campuran superplasticizer penggantian fly ash 20%

Kode	Dimensi		Volume (V) (cm ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Beban maks (KN)	Kuat desak (Mpa)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)						
BP20-1	15.07	29.66	5287.706	12.351	2335.795	1172	65.740	55.882
BP20-2	15.245	29.5	5382.035	12.396	2303.218	1079	59.142	
BP20-3	15.15	29.65	5342.194	12.468	2333.873	761.7	42.276	
BP20-4	15.12	29.8	5347.977	12.348	2308.911	847.9	47.247	
BP20-5	15.34	29.9	5523.210	12.681	2295.947	1090	59.007	
BP20-6	15.1	29.9	5351.737	12.427	2322.050	1204	67.267	
BP20-7	15.175	29.95	5414.070	12.544	2316.926	914.3	50.578	
BP20-8	15.165	29.925	5402.424	12.365	2288.788	790.5	43.787	
BP20-9	15.07	29.825	5317.122	12.356	2323.814	1114	62.487	
BP20-10	15.175	29.8	5386.955	12.485	2317.636	1108	61.293	



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

Kode	Dimensi		Volume (V) (cm ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Beban maks (KN)	Kuat desak (Mpa)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)						
BP25-1	14.9	29.8	5193.480	12.266	2361.808	1059	60.765	
BP25-2	15.5	29.5	5563.589	12.255	2202.715	1160	61.507	
BP25-3	15	29.5	5210.438	12.023	2307.484	1119	63.355	
BP25-4	15.2	29.5	5404.719	12.221	2279.675	831.5	45.846	
Beton campuran superplasticizer penggantian fly ash 30%								
BP25-5	15.1	29.4	5262.243	12.094	2298.260	735	41.064	Kuat desak rata-rata 55.405
BP25-6	15.2	29.1	5277.762	11.842	2243.754	903	50.081	
BP25-7	15.25	29.3	5349.054	12.44	2325.645	935.3	51.232	
BP25-8	15.1	29.75	5324.889	12.004	2254.319	962.7	53.786	
BP25-9	15.4	29.75	5538.575	12.247	2211.218	907.4	48.740	
BP25-10	15.1	29.3	5244.344	12.122	2311.443	1032	57.658	



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

BP30-1	15.3	30.1	5531.196	11.9	2151.434	760.1	41.364	39.225
BP30-2	15.08	29.7	5301.867	12.9	2433.105	898.1	50.310	
BP30-3	15.06	30	5341.225	12	2246.676	731.7	41.097	
BP30-4	14.93	30.5	5336.901	12.4	2323.446	781.2	44.645	
BP30-5	15.1	30.1	5387.534	12	2227.364	329.7	18.420	
BP30-6	15.2	29.9	5422.855	12.2	2249.737	680	37.493	
BP30-7	14.84	30.1	5203.601	12.1	2325.313	701	40.549	
BP30-8	15.25	29.86	5451.288	12	2201.315	721.3	39.510	
BP30-9	14.9	30	5228.336	12.3	2352.565	624.7	35.845	
BP30-10	15.1	29.8	5333.838	12	2249.787	770	43.020	



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jln. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta Telp. (0274) 895042, 895707

Beton campuran superplasticizer penggantian fly ash 35%

Kode	Dimensi		Volume (V) (cm ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Beban maks (KN)	Kuat desak (Mpa)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)						
BP35-1	15.15	29.72	5354.806	12.2	2278.327	722.4	40.094	52.179
BP35-2	15	29.6	5228.100	12	2295.289	810	45.860	
BP35-3	14.9	29.3	5106.341	12.2	2389.186	884.2	50.735	
BP35-4	15.05	30.2	5369.695	12.5	2327.879	772.2	43.430	
BP35-5	15.125	29.1	5225.808	12	2296.296	758.2	42.220	
BP35-6	15.1	29.5	5280.142	12.2	2310.544	989.2	55.266	
BP35-7	14.8	29.6	5089.613	12.3	2416.686	983.5	57.198	
BP35-8	15	29.4	5192.775	12.3	2368.676	1103	62.449	
BP35-9	15.175	29.125	5264.935	12.2	2317.218	994.9	55.037	
BP35-10	15.1	29.3	5244.344	12	2288.179	1244	69.502	



**DATA PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES
 (SK SNI M – 02 – 1990 – F)**

GRADASI PEMERIKSAAN			
SARINGAN			
LOLOS	TERTAHAN	BERAT SEBELUM (a)	BERAT SESUDAH (b)
76.2 mm (3")	63.5 mm (2 1/2")	.....	.....
63.5 mm (2 1/2")	50.8 mm (2")	.....	.....
50.8 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	.....	.....
37.5 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")	.....	.....
25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")	.....	.....
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	.....	.....
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	.....	.....
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	.....	.....
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (no.4)	.....	.....
4.75 mm (no.4)	2.36 mm (no.8)	.....	.....
Jumlah berat (gram)		5000	
Berat tertahan saringan no.12 (gram) B adalah yang tertahan seve no.12			2937

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai keausan rata-rata} &= ((a - b)/a) \times 100\% \\
 &= ((5000-2937)/5000) \times 100\% \\
 &= 41,26 \%
 \end{aligned}$$



Agregat Halus



Agregat Kasar



Air



Proses Pengadukan



Penuangan adukan kedalam Bekisting



Silinder Beton



Penimbangan Benda Uji



Pengujian kuat desak beton



Pengujian Tegangan – Regangan



Pecahan benda uji setelah pengujian kuat desak



Pecahan benda uji setelah pengujian tegangan dan regangan



Timbangan



Mesin Uji Desak Beton