



**PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA FUME DAN SUPERPLASTICIZER
DENGAN PEMAKAIAN SEMEN TIPE PPC DAN TIPE PCC TERHADAP
PENINGKATAN MUTU BETON**

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

Muhammad Afif

5101409043

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2013

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul ***“PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA FUME DAN SUPERPLASTICIZER DENGAN PEMAKAIAN SEMEN TIPE PPC DAN TIPE PCC TERHADAP PENINGKATAN MUTU BETON”*** telah disetujui oleh dosen pembimbing Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 20 Agustus 2013

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Drs. Heri Suroso, S.T, M.T
NIP. 19680419 199310 1 00

Mego Purnomo, S.T, M.T
NIP. 19730618 200501 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada senin, 2 September 2013.

Ketua

Sekretaris

Drs. Sucipto, M.T
NIP. 19630101 199102 1 001

Eko Nugroho J, S.Pd, M.T
NIP.19720702 199903 1 002

Pembimbing 1

Penguji 1

Drs. Heri Suroso, S.T, M.T
NIP. 19680419 199310 1 001

Endah Kanti Pangestuti, S.T, M.T
NIP. 19720709 199803 2 003

Pembimbing 2

Penguji 2

Mego Purnomo, S.T, M.T
NIP. 19730618 200501 1 001

Drs. Heri Suroso, S.T, M.T
NIP. 19680419 199310 1 001

Penguji 3

Mego Purnomo, S.T, M.T
NIP. 19730618 200501 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Drs. M. Harlanu, M.Pd
NIP. 19660215 199102 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur selalu penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang masih melimpahkan segala rahmat, hidayah, serta bimbinganNya. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada suri tauladan hidup sepanjang hayat, Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul *Pengaruh penambahan Silika Fume dan Superplasticizer dengan semen tipe PPC dan semen PCC terhadap peningkatan mutu beton* sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pendidikan.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fahtur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. M. Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Drs. Sucipto, M.T, Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Eko Nugroho J, S.Pd, M.T, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
5. Hanggoro Tri Cahyo A, S.T, M.T, Dosen wali yang telah membimbing dari awal kuliah hingga berakhirnya masa studi.
6. Drs. Hery Suroso, S.T, M.T, Dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
7. Mego Purnomo, S.T, M.T, Dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
8. Bapak dan ibu serta keluarga yang tak henti-hentinya memberikan dukungan baik moral maupun materiil dalam penulisan skripsi ini.
9. My fiancee yang telah membantu mengarahkan dan mendukung penulisan skripsi ini. Serta semua pihak yang telah membantu hingga selesainya skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu perlu kritik dan saran dari pembaca guna kemaslahatan bersama kelak dikemudian hari.

Akhirnya penulis hanya bisa berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi khalayak banyak yang mempunyai perhatian terhadap perkembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu teknik sipil agar dapat menuju kehidupan yang lebih baik dimasa yang akan datang, Amin.

Semarang, Agustus 2013

Penulis

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

- Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat
(Qs Mujadalah ayat 11)
- Seorang yang besar tidak diciptakan melalui kemudahan dan kenyamanan. Seberapa kencang syaraf otak menegang, seberapa banyak tetesan keringat yang mengalir. yakinlah, bahwa suatu saat nanti kita akan memetik hasil dari apa yang telah kita tanam (penulis).

PERSEMBAHAN

- Untuk kedua orang tuaku tercinta, Bapakku **Wardiyanto, S.T**, dan Ibuku **Siti Toinah** skripsi ini kupersembahkan sebagai jawaban atas kepercayaan yang telah bapak dan ibu berikan serta perwujudan baktiku kepada bapak dan ibu.
- Untuk My Fiancee **Dian Febrianti**, terima kasih untuk segalanya hingga penulisan skripsi ini selesai. Terima kasih **Adam Gumelar** dan **Agneta Risqiana** Kedua adikku tercinta.
- Teman-teman kuliah baik Ptb 09 dan Ptb 10, terima kasih untuk semuanya, dalam membantu menyelesaikan pengerjaan peniltian skripsi ini.
- Teman-teman kos macho
- Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- Almamater

ABSTRAK

Muhammad Afif. 2013. *Pengaruh Penambahan Silika Fume dan Superplasticizer dengan Pemakaian Semen Tipe PPC dan Tipe PCC Terhadap Peningkatan Mutu Beton.* Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing : Drs. Heri Suroso, S.T, M.T, Mego Purnomo, S.T, M.T.

Pemakaian semen yang berbeda menghasilkan kuat tekan beton yang berbeda. Hal ini disebabkan perbedaan panas hidrasi tiap semen berbeda-beda. Untuk menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi dibutuhkan nilai *fas* yang rendah dan kualitas agregat yang bagus. Superplasticizer digunakan sebagai bahan tambah untuk menambah kelecakan pada adukan beton dan Silika fume merupakan bahan aditif yang berguna untuk mengisi pori-pori udara dalam beton, karena butiran silika fume 1/100 lebih kecil dari butiran semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil kuat tekan dan prosentase peningkatan kuat tekan beton dengan umur beton.

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui nilai kelecakan setiap adukan beton. Pengujian kuat tekan benda uji silinder beton diuji dengan mesin UTM (Universal Testing Machine) pada umur 14,28, 45, dan 56 hari. Nilai modulus elastisitas beton pada umur 28 hari didapat melalui pengujian benda uji silinder beton dengan mesin UTM untuk mendapatkan nilai tegangan (MPa) dan dial gauge digunakan untuk mengetahui regangan (mm) dalam benda uji silinder beton.

Hasil penelitian beton dengan bahan tambah superplasticizer dan silika fume ditinjau pada umur 14, 28, 45 dan 56 hari. Sampel PPC SP 2% SF 0% menunjukkan prosentase kuat tekan sebesar 80,68%, 100%, 105,76 % dan 113,90%. Sampel PPC SP 2% SF 5% menunjukkan prosentase kuat tekan beton terhadap umur sebesar 86,45%, 100%, 116,77% dan 121,94%. Sampel PCC SP 2% SF 0% menunjukkan prosentase kuat tekan sebesar 95,77%, 100%, 103,58 % dan 105,54%. Begitu juga pada sampel PCC SP 2% SF 5% menunjukkan prosentase kuat tekan beton terhadap umur sebesar 88,83%, 100%, 100,54% dan 100,82%. kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh sampel PPC SP 2% SF 5% umur 56 hari dengan kuat tekan optimum sebesar 53.50 MPa. Dengan perbedaan dua jenis semen dapat diketahui prosentase kuat tekan tertinggi dicapai pada umur 56 hari terjadi pada sampel PPC SP 2% SF 5%.

Kata kunci : Superplasticizer, Silika Fume, Kuat tekan beton, Prosentase peningkatan kuat tekan, umur beton

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. LANDASAN TEORI.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.1.1. Pengertian Beton Mutu Tinggi.....	7
2.2. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan.....	9
2.2.1. Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan (1992).....	9

2.2.2. Pujiyanto A (2011).....	10
2.3. Material Beton Mutu Tinggi.....	12
2.3.1. Air.....	12
2.3.2. Agregat Halus (Pasir).....	13
2.3.3. Agregat Kasar (Kerikil).....	14
2.3.4. Semen.....	15
2.3.4.1. Portland Pozollan Cement (PPC).....	18
2.3.4.2. Portland Pozollan Cement (PCC).....	18
2.3.5. Superplasticizer.....	19
2.3.6. Silika Fume.....	21
2.4. Kerangka Berpikir.....	23
2.5. Hipotesis.....	24
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Bahan dan Alat.....	25
3.1.1. Bahan.....	25
3.1.2. Alat.....	25
3.2. Cara Pengujian.....	26
3.2.1. Agregat Halus (Pasir).....	26
3.2.2. Agregat Kasar (Kerikil)	29
3.3. Proses Pembuatan Benda uji Silinder Beton.....	34
3.3.1. Rancangan Mix Design Beton (Tjokrodimulyo S).....	34
3.4. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder Beton.....	43

3.5. Kuat Tekan Beton.....	45
3.6. Modulus Elastisitas Beton.....	45
3.7. Variabel Penelitian.....	47
3.8. Analisis Data.....	48
3.8.1. Perhitungan Hasil Penelitian.....	48
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1. Hasil Pemeriksaan Bahan Beton.....	52
4.1.1. Air.....	52
4.1.2. Agregat Halus (Pasir).....	52
4.1.3. Agregat Kasar (Kerikil).....	53
4.1.4. Mix Design.....	55
4.2. Hasil Pengujian Slump.....	56
4.3. Kuat Tekan Beton.....	57
4.4. Hubungan Antara Prosentase Kuat Tekan Dengan Umur Beton..	60
4.5. Modulus Elastisitas Beton.....	67
4.6. Analisis T Test Berat Beton.....	68
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1. Simpulan.....	69
5.2. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kuat tekan beton dengan silika fume (Tan sie Lok dan Robby Hendrawan, 1992).....	10
Gambar 2.2. Pengaruh Superplasticizer terhadap kuat tekan beton (Pujiyanto A, 2011).....	11
Gambar 2.3. Pengaruh Silika fume terhadap kuat tekan beton (Pujiyanto A, 2011).....	11
Gambar 3.1. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton.....	35
Gambar 3.2. Prosentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 10 mm.....	41
Gambar 3.3. Prosentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 20 mm.....	42
Gambar 3.4. Prosentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 40 mm.....	42
Gambar 3.5. Perkiraan berat jenis beton basah yang dimampatkan secara penuh.....	43
Gambar 4.1. Grafik uji gradasi pasir (zone 2).....	53
Gambar 4.2. Grafik uji gradasi kerikil.....	54
Gambar 4.3. Hubungan kuat tekan dengan umur beton.....	58
Gambar 4.4. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PPC SP 2% SF 0%.....	61
Gambar 4.5. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PPC SP 2% SF 5%.....	62
Gambar 4.6. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PCC SP 2% SF 0%.....	63
Gambar 4.7. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PCC SP 2% SF 5%.....	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Hasil uji tekan beton mutu tinggi (Tan sie Lok dan Robby Hendrawan, 1992).....	9
Tabel 2.2. Batasan prosentase gradasi agregat.....	14
Tabel 2.3. Perkembangan panas hidrasi semen portland pada suhu 21° C.....	17
Tabel 2.4. Properti kimia dan fisik dari semen PPC dan semen PCC.....	19
Tabel 2.5. Komposisi kimia dan fisika silika fume.....	23
Tabel 3.1. Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0,5.....	36
Tabel 3.2. Persyaratan faktor air-semen maksimum untuk berbagai pembedaan dan lingkungan khusus.....	36
Tabel 3.3. Faktor air-semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat.....	37
Tabel 3.4. Faktor air-semen untuk beton bertulang dalam air.....	38
Tabel 3.5. Penetapan nilai slump (cm).....	38
Tabel 3.6. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter).....	39
Tabel 3.7. Variabel penelitian.....	48
Tabel 4.1. Proporsi campuran adukan beton untuk setiap variasi sampel 1 m ³ ..	55
Tabel 4.2. Nilai slump.....	56
Tabel 4.3. Kuat tekan beton.....	58
Tabel 4.4. Hasil pengujian modulus elastisitas (Ec).....	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir
- Lampiran 2. Pemeriksaan Gradasi Pasir
- Lampiran 3. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir
- Lampiran 4. Pemeriksaan Berat Jenis Kerikil
- Lampiran 5. Pemeriksaan Gradasi Kerikil
- Lampiran 6. Pemeriksaan Kadar Lumpur Kerikil
- Lampiran 7. Keausan Agregat Kasar
- Lampiran 8. Analisis Gradasi Campuran
- Lampiran 9. MIX Design Beton PPC SP 2% SF 0%
- Lampiran 10. MIX Design Beton PPC SP 2% SF 5%
- Lampiran 11. MIX Design Beton PCC SP 2% SF 0%
- Lampiran 12. MIX Design Beton PCC SP 2% SF 5%
- Lampiran 13. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PPC SP 2% SF 0%
- Lampiran 14. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PPC SP 2% SF 5%
- Lampiran 15. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC SP 2% SF 0%
- Lampiran 16. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC SP 2% SF 5%
- Lampiran 17. Grafik Kuat Tekan Beton
- Lampiran 18. Analisis Regresi Kuat Tekan Beton PPC SP 2% SF 0%
- Lampiran 19. Analisis Regresi Kuat Tekan Beton PPC SP 2% SF 5%
- Lampiran 20. Analisis Regresi Kuat Tekan Beton PCC SP 2% SF 0%
- Lampiran 21. Analisis Regresi Kuat Tekan Beton PCC SP 2% SF 5%
- Lampiran 22. Data Pengujian Modulus Elastisitas Beton
- Lampiran 23. Analisis T test berat beton per m³
- Lampiran 24. Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton sejak dahulu dikenal sebagai material dengan kekuatan tekan yang memadai, mudah dibentuk, mudah diproduksi secara lokal, relatif kaku, dan ekonomis. Akan tetapi disisi lain, beton juga menunjukkan banyak keterbatasan baik dalam proses produksi maupun sifat-sifat mekaniknya, sehingga beton pada umumnya hanya digunakan untuk konstruksi seperti rumah tinggal dan gedung bertingkat.

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju, seperti jembatan dengan bentang panjang dan lebar, bangunan gedung bertingkat tinggi (terutama untuk kolom dan beton pracetak), dan fasilitas lain. Perencanaan fasilitas-fasilitas tersebut mengarah kepada digunakannya beton mutu tinggi, dimana mencakup kekuatan, ketahanan (keawetan), masa layan dan efisiensi.

Dengan beton mutu tinggi dari struktur dapat diperkecil sehingga berat struktur menjadi lebih ringan, hal tersebut menyebabkan beban yang diterima pondasi secara keseluruhan menjadi lebih kecil pula, jika ditinjau dari segi ekonomi hal tersebut tentu akan lebih menguntungkan. Disamping

itu untuk bangunan bertingkat tinggi dengan semakin kecilnya dimensi struktur kolom pemanfaatan ruangan akan semakin maksimal. Porositas yang dihasilkan beton mutu tinggi juga lebih rapat, sehingga akan menghasilkan beton yang relatif lebih awet dan tahan sulfat karena tidak dapat ditembus oleh air dan bakteri perusak beton. Oleh sebab itu penggunaan beton bermutu tinggi tidak dapat dihindarkan dalam perencanaan dan perancangan struktur bangunan.

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

Faktor air semen (fas) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi, pengertian fas bisa diartikan sebagai water to cementitious ratio, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif cementitious, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Faktor air semen yang rendah, merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Dengan demikian semakin besar volume faktor air semen (fas),

maka semakin rendah kuat tekan betonnya. Idealnya semakin rendah faktor kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan, maka di bawah faktor tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena beton kurang padat akibat kesulitan pemadatan.

Partikel terkecil bahan penyusun beton konvensional adalah semen. Untuk mengurangi porositas semen dapat digunakan aditif yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel sangat halus. Salah satu aditif tersebut adalah Silika fume (mikro silika), yang merupakan produk sampingan sebagai abu pembakaran dari proses pembuatan silikon metal atau silikon alloy dalam tungku pembakaran listrik. Mikrosilika ini bersifat pozzolan, dengan kadar kandungan senyawa silikon dioksida (SiO_2) yang sangat tinggi (> 90 %), dan ukuran butiran partikel yang sangat halus, yaitu sekitar 1/100 ukuran rata-rata partikel semen (Yogendran., et al, 1987). Dengan demikian penggunaan silika fume pada umumnya akan memberikan sumbangan yang lebih efektif pada kinerja beton, terutama untuk beton mutu tinggi.

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, maka penelitian ini mempunyai tujuan untuk merancang campuran beton mutu tinggi dengan bahan tambah superplasticizer dan silicafume, kemudian diperoleh hasil kuat tekan, nilai slump, kadar masing-masing bahan (air, semen, agregat, superplasticizer dan silika fume) dalam campuran. Dengan penambahan zat aditif tersebut ditargetkan kuat tekan beton memenuhi mutu beton yang

dicapai untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm x 300 mm pada umur 14, 28, 45 dan 56 hari.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah pengaruh perbedaan kuat tekan beton dengan konsentrasi pemakaian bahan tambah silika fume dan superplasticizer yang berbeda serta pemakaian dua jenis semen yang berbeda yaitu semen PPC (Portland Pozollan Cement) dan semen PCC (Portland Composite Cement).

Selanjutnya rumusan masalah tersebut dijabarkan dalam beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Superplasticizer dan Silica fume terhadap kelecakan dan nilai slump untuk menentukan proporsi campuran beton?
2. Benarkah kuat tekan yang dihasilkan beton dengan penambahan Superplasticizer dan Silica fume lebih tinggi dari kuat tekan beton normal?
3. Berapakah besar prosentase peningkatan kuat tekan beton pada umur 14, 28, 45 dan 56 hari dengan penambahan Superplasticizer dan Silica fume terhadap penggunaan tipe semen yang berbeda yaitu semen PPC (Portland Pozollan Cement) dan semen PCC (Portland Composite Cement)?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah diterapkan untuk menghindari perkembangan permasalahan yang terlalu luas. Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

a. Obyek penelitian

Beton dengan bahan tambah silika fume dan superplasticizer dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC.

b. Subyek penelitian

Subyek dalam penelitian ini adalah bahan silika fume dan superplasticizer pada campuran bahan beton dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC. Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui nilai kelecakan pada beton. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton dan prosentase kuat tekan beton dengan perbedaan konsentrasi pemakaian superplasticizer sebesar 2 % serta pemakaian silika fume 0 %, 5 % dari berat semen.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan pada latar belakang dan rumusan masalah adalah untuk mengetahui kuat tekan beton dengan bahan aditif silika fume dan bahan tambah superplasticizer dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC pada pengujian kuat tekan beton umur 14, 28, 45, dan 56 hari. Beberapa tujuan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Superplasticizer dan Silika fume terhadap nilai slump.

2. Untuk mengetahui nilai kuat tekan yang dihasilkan beton dengan penambahan Superplasticizer dan Silica fume.
3. Untuk mengetahui prosentase peningkatan kuat tekan dengan umur beton terhadap pemakaian bahan aditif silika fume dan bahan tambah superplasticizer dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan diantaranya adalah:

1. Dapat diketahui pengaruh penggunaan silika fume dan superplasticizer pada beton bisa menambah kuat tekan beton.
2. Didapatkan data mix design beton yang menghasilkan kuat tekan dengan mutu tinggi.
3. Didapatkan pengaruh kuat tekan beton dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC.
4. Dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan Ilmu Teknik Sipil khususnya dibidang struktur beton bangunan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Pengertian Beton Mutu Tinggi

Beton merupakan bahan bangunan yang sampai saat ini merupakan sangat populer karena beberapa sifat yang unggul dibandingkan bahan lain. Diantaranya adalah mudah dalam mendapatkan bahan bakunya, tahan api dalam tingkat suhu tertentu, mudah mengikuti bentuk arsitektur yang diinginkan. Meskipun teknologi beton telah terbukti kemampuannya, namun karena tuntutan konstruksi terhadap kekuatan dan keawetan, teknologi ini dapat ditingkatkan efektifitas kinerjanya dengan memperbaiki mutu beton yang dikenal dengan *beton mutu tinggi*. Banyak yang mendefinisikan tentang kategori beton mutu tinggi disesuaikan dengan kuat tekannya, seperti misalnya:

- a. CSA mendefinisikan beton mutu tinggi untuk beton dengan kuat tekan f'_c lebih besar dari 70 MPa.
- b. ACI mendefinisikan beton mutu tinggi untuk beton dengan kuat tekan f'_c lebih besar dari 50 MPa.
- c. Sedangkan Firlandia telah kategori beton sebagai berikut :
 - *Normal Strength Concrete* adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan nominal berkisar antara 20 MPa - 60 MPa.

- *High Strength Concrete* adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan nominal sampai dengan 100 MPa.

Karena beton ini memiliki kekuatan yang tinggi maka sering disebut dengan High Strength Concrete (HSC), selain memiliki kekuatan yang tinggi, beton ini juga memiliki keawetan yang tinggi sehingga disebut juga High Performance Concrete (HPC).

Perbedaan yang jelas antara beton mutu tinggi dengan beton normal adalah faktor air semen (fas) yang digunakan. Pada beton mutu tinggi faktor air semen yang digunakan rendah sehingga proses pengeringannya lebih cepat. Teknologi beton mutu tinggi telah banyak digunakan dalam konstruksi konstruksi, baik dalam konstruksi gedung, jembatan maupun untuk konstruksi beton pratekan.

Ada beberapa alasan mengapa beton mutu tinggi ini digunakan, diantaranya adalah:

1. Pada bangunan tinggi (struktur kolom, balok, pelat, *core* atau *shearwall*) Kekuatan yang dicapai dapat lebih tinggi dibandingkan beton biasa. Pengerjaannya yang lebih mudah.
 - Kekakuan *frame* yang lebih tinggi
 - Lebih ekonomis karena dapat dikerjakan lebih cepat dan mudah
 - Mempunyai daktilitas sendi-sendi balok pada frame yang lebih tinggi. digunakan pada struktur plat akan lebih tipis.
2. Industri Komponen Precast-Pretest (komponen balok, kolom, pipa tiang listrik, *sheet pile*, tiang pancang, pelat atap atau pelat lantai):

- Mempunyai berat yang ringan, sehingga memudahkan untuk pengangkatan.
 - Beban retaknya lebih tinggi.
 - Penggunaan untuk komponen pelat tidak memerlukan perancah.
3. Untuk jembatan
- Dapat meningkatkan bentang jembatan.
 - Mempunyai *creep* dan susut yang kecil.
 - Beban ringan sehingga dapat mengurangi beban struktur pondasi.

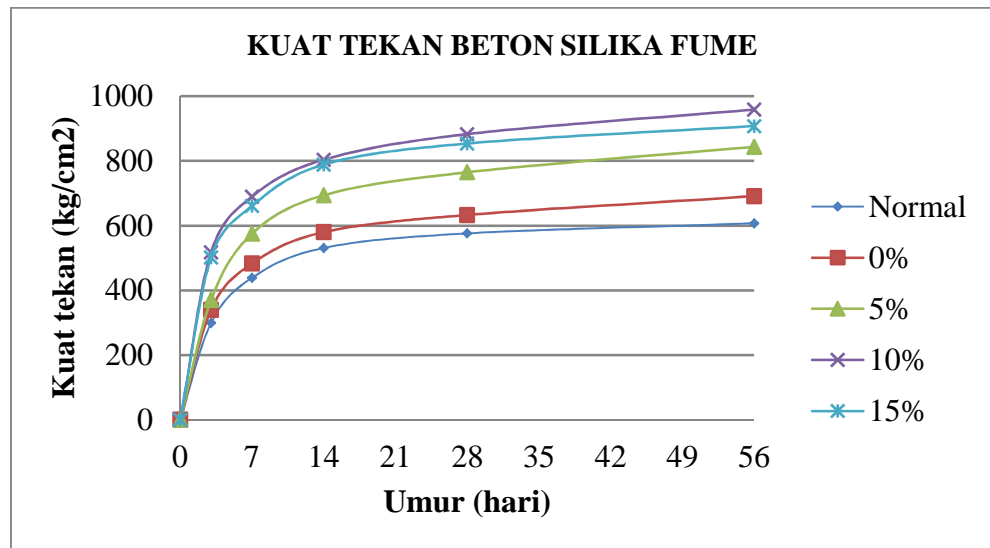
2.2. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan

2.2.1. Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan (1992)

Penambahan superplasticizer pada campuran beton pada penelitian mengurangi pemakaian air sebesar 25 % dan membuat beton lebih cair sehingga mudah untuk dikerjakan. Penambahan silikafume pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1 Kuat tekan yang tertinggi pada pemakaian silika fume sebesar 10 % dari berat semen pada benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm pada umur 56 hari yaitu 959 kg/cm².

Tabel 2.1. Hasil uji kuat tekan beton mutu tinggi (Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan, 1992)

Silika fume (%)	Kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)			
	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
Normal	439	531	576	607
0	483	580	633	691
5	575	694	765	844
10	690	804	883	959
15	661	789	854	908



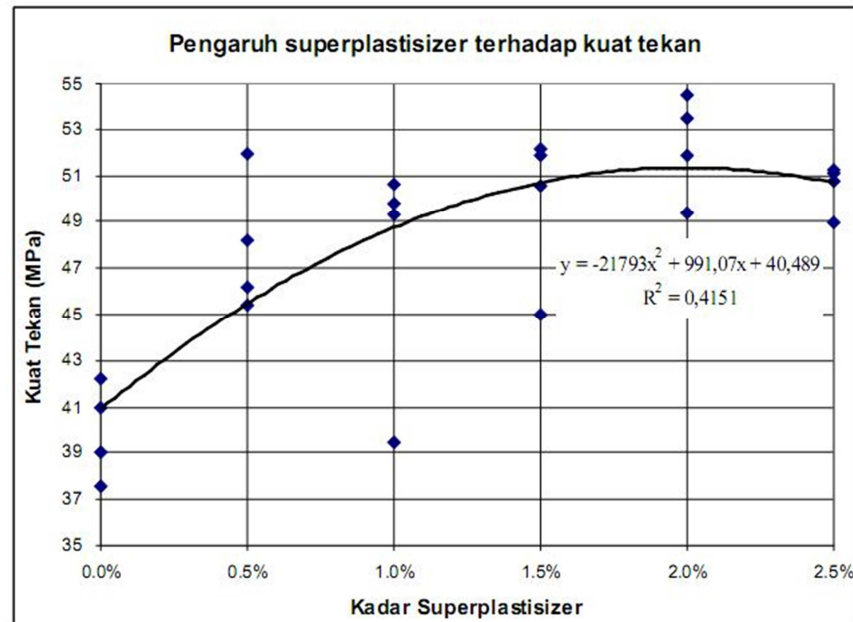
Gambar 2.1. Kuat tekan beton dengan silika fume (Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan, 1992)

2.2.2. Pujianto A (2011)

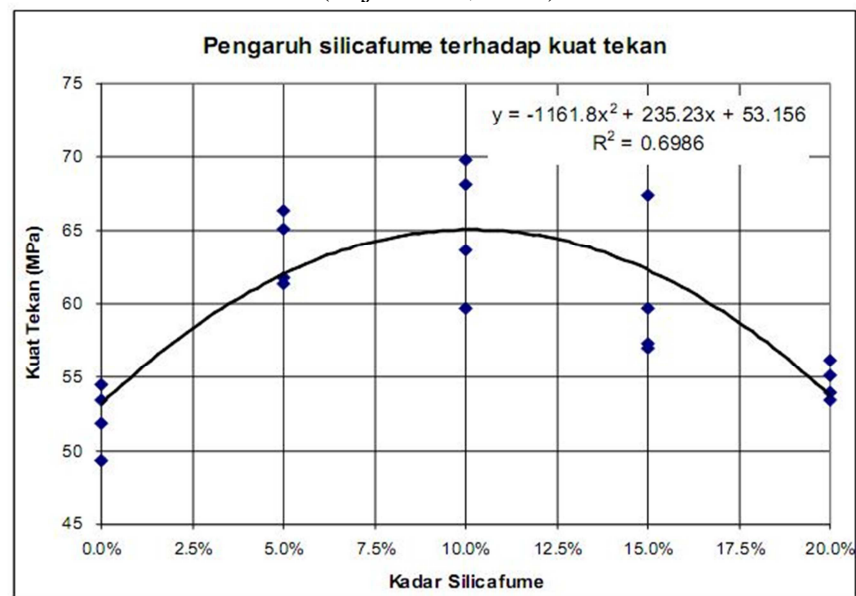
Kuat tekan beton optimum tanpa silika fume yang dapat dicapai sebesar 51,35 MPa dengan kadar superplasticizer sebesar 2 % dan slump sebesar 12,90 cm. Pada Gambar 2.2 didapat kuat tekan optimum sebesar 2 %, sehingga pada pembuatan benda uji berikutnya dipergunakan kadar superplasticizer sebesar 2% dengan kadar silika fume bervariasi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat semen.

Dari Gambar 2.3 tersebut terlihat bahwa semakin besar kadar silika fume semakin besar kuat tekannya, namun sampai dengan kadar 10% kuat tekan beton semakin kecil. Kuat tekan beton optimum yang dapat dicapai sebesar 65,06 MPa dengan kadar silika fume 10 % kadar superplasticizer 2 %, dan slump sebesar 9,20 cm. perbandingan berat bahan susun beton optimum dengan kadar silikafume 10 % dan

superplasticizer 2 % adalah 1 superplasticizer : 5,67 air : 2,22 silikafume
: 20 semen : 22,65 pasir : 20,91 koral.



Gambar 2.2. Pengaruh Superplasticizer terhadap kuat tekan beton (Pujianto A, 2011)



Gambar 2.3. Pengaruh Silika fume terhadap kuat tekan beton (Pujianto A, 2011)

2.3. Material Beton Mutu Tinggi

2.3.1. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut *fas* (*faktor air semen/water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mengakibatkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Untuk air yang tidak memenuhi syarat mutu, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar atau air suling (PB 1989:9)

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A)

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

2.3.2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir merupakan agregat halus yang ukurannya antara 0.15 mm dan 5 mm. Golongan pasir di bagi menjadi 4 yaitu :

1. pasir kasar
2. pasir agak kasar
3. pasir agak halus
4. pasir halus

Untuk menentukan golongan pasir dilakukan dengan analisa gradasi agregat. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir dari agregat. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam suatu susunan ayakan.

Berikut ini Tabel 2.2 adalah batasan prosentase batasan tiap-tiap golongan :

Tabel 2.2. Batasan prosentase gradasi agregat

Lubang ayakan	Persen berat butir yang lewat ayakan				
	mm	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50	15 – 50
0.15	0 – 20	0 – 10	0 – 10	0 – 15	0 – 15

Keterangan :

Daerah I : pasir kasar

Daerah II : pasir agak kasar

Daerah III : pasir agak halus

Daerah IV : pasir halus

2.3.3. Agregat Kasar (Kerikil)

Kerikil adalah agregat kasar yang berukuran antara 5 mm sampai 40 mm. Untuk agregat kasar tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih lebih dari 20% dari berat keseluruhan. Hal ini disebabkan kepipihan dan kepanjangan butir agregat berpengaruh jelek terhadap daya tahan atau keawetan beton, agregat tersebut cenderung berkedudukan pada bidang rata air atau horizontal sehingga terdapat rongga udara dibawahnya.

Agregat pipih adalah agregat yang ukuran terkecil agregatnya kurang dari $\frac{3}{5}$ ukuran rata-ratanya. Ukuran rata-rata agregat adalah rata-rata ukuran ayakan yang meloloskan dan yang menahan butiran agregat. Contoh : agregat yang lolos pada saringan 20 mm dan tertahan di saringan 10 mm mempunyai ukuran rata-rata 15 mm. Agregat akan dikatakan pipih jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari $\frac{3}{5} \times 15 = 9$ mm

Agregat panjang adalah bila ukuran terbesar (yang paling panjang) lebih dari $\frac{9}{5}$ dari ukuran rata-rata. Untuk agregat di atas maka ukuran terbesar butirannya lebih dari 27 mm.

Ukuran agregat maksimum yang membatasi adalah :

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

2.3.4. Semen

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik dan sector konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan membentuk bahan perekat. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau

padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Sesuai dengan kebutuhan pemakaian semen yang disebabkan oleh kondisi lokasi maupun kondisi tertentu yang dibutuhkan pada pelaksanaan konstruksi. Berdasarkan Peraturan Beton 1989 (SKBI.4.53.1989) membagi semen portland menjadi 5 jenis (SK.SNI T-15 -1990-03:2) yaitu :

1. Tipe I (*Normal portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Digunakan untuk bangunan- bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II (*high – early – strength portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertahan di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa.
3. Tipe III (*modified portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen jenis ini digunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*).

4. Tipe IV (*low heat portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, umpamanya untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya.
5. Tipe V (*Sulfate resisting portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi.
6. *Portland Pozzolan Cement (PPC)*, Semen portland pozzolan adalah campuran dari semen tipe I biasa dengan pozzolan.

Perkembangan panas hidrasi semen Portland dengan tipe yang berbeda terlihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Perkembangan panas hidrasi semen portland pada suhu 21° C

Jenis Semen Portland	Hari					
	1	2	3	7	28	90
Tipe I	33	53	61	80	96	104
Tipe II	-	-	-	58	75	-
Tipe III	53	67	75	92	101	107
Tipe IV	-	-	41	50	66	75
Tipe V	-	-	-	45	50	-

2.3.4.1. Portland Pozollan Cement (PPC)

Pozollan adalah sejenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium, yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai sifat-sifat semen. Semen portland pozollan menghasilkan panas hidrasi lebih sedikit daripada semen biasa.

Semen pozollan adalah bahan ikat yang mengandung silika amorf, yang apabila dicampur dengan kapur akan membentuk benda padat yang keras. Bahan yang mengandung pozollan adalah teras, semen merah, abu terbang, dan bubukan terak tanur tinggi (SK. SNI T-15-1990-03:2). Properti kimia dan fisik semen PPC tercantum dalam Tabel 2.4.

2.3.4.2. Portland Composite Cement (PCC)

Menurut SNI 15-7064-2004 “Semen portland komposit”, PCC merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat dan batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % sampai dengan 35 % dari

massa semen portland komposit. Properti kimia dan fisik semen PCC tercantum dalam Tabel 2.4.

Kegunaannya adalah untuk konstruksi umum, seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (paving block) dan sebagainya.

Tabel 2.4. Properti kimia dan fisik dari *semen PPC* dan *semen PCC*

Uraian	Jenis Semen	
	PPC	PCC
AL ₂ O ₃ (%)	8,76	7,40
CaO (%)	58,66	57,38
SiO ₂ (%)	23,13	23,04
Fe ₂ O ₃ (%)	4,62	3,36
Kehalusan (%)	5,00	2,00
Berat Isi (kg/l)	1,19	1,15

2.3.5. Superplasticizer

Bahan ini mengurangi jumlah air yang dipakai, untuk mendapatkan workability (*flowing concrete*) yang baik. Jika jumlah air tetap dan FAS tetap maka kebutuhan akan semen menjadi minimum. Hal tersebut akan sangat menghemat biaya karena mudah dikerjakan dengan tenaga sedikit. Beton semacam ini disebut dengan self-beveling concrete. Flowing concrete mempunyai sifat kohesif yang baik dan tidak menunjukkan segregation, dan kemampuan untuk mempertahankan nilai slump yang baik, tergantung dari jenis semen yang digunakan. Bahan ini akan meningkatkan kelecakan beton lebih lama pada waktu yang tinggi.

Beton mutu 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:

- a. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan workability tinggi.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.

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.

Superplasticizer terbagi atas beberapa jenis, yaitu tipe *sulphonate melamine formaldehyde condensates (SMFC)*, *sulphonate naphthalene formaldehyde condensates (SNFC)*, dan yang terbaru adalah tipe *Polycarboxylate ethers (PCE)*. Superplasticizer berbahan *polycarboxylate* telah secara luas digunakan untuk beton mutu tinggi dan self-compacting concrete. Sekalipun memiliki flowability yang tinggi, self-compacting concrete tidak menunjukkan adanya segregasi di antara agregat dan mortar, sehingga self-compacting dapat menjangkau setiap sudut cetakan.

2.3.6. Silika Fume

Silika Fume adalah hasil produksi sampingan dari reduksi quarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon. Silika fume mengandung kadar SiO_2 yang tinggi, dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat, yang berdiameter 1/100 kali diameter semen.

Ditinjau dari sifat mekanik, secara geometrikan silika fume mengisi rongga-rongga di antara bahan semen. Pengisian rongga-rongga dalam beton ini berdampak pada peningkatan kuat tekan beton secara signifikan. Silika Fume bersifat pozzolan sehingga silika fume akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang merupakan residu dari reaksi semen dan air semen menghasilkan $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$. $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ inilah yang merupakan sumber kekuatan beton. Penggunaan silika fume dalam beton akan memberikan dampak peningkatan kuat tekan beton jauh lebih besar dibandingkan fly ash. Peranan silika fume :

1. Sebagai water reduction, sehingga fas kecil dan kuat tekan meningkat.
2. Mempertinggi peranan beton akibat meningkatnya daerah lemah zone transisi yang meningkatkan lekatan antara pasta semen dan agregat.
3. Sebagai filler (pengisi rongga-rongga udara) karena ukurannya sangat kecil (1/100 diameter semen).

Penggunaan silika fume dalam pencampuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, precast dan beberapa keperluan lain. Kriteria kekuatan beton berkinerja tinggi saat ini sekitar 50-70 MPa untuk umur 28 hari. Untuk memperbaiki karakteristik kekuatan dan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0,34 dan 0,28 dengan atau tanpa bahan superplasticizer dan nilai slump 50 mm (Yogendran, et al, 1987:124-129).

Tercantum dalam Tabel 2.5 mengenai komposisi sifat kimia dan fisika silika fume.

Tabel 2.5. Komposisi kimia dan fisika silika fume

Kimia	Berat dalam persen
SiO ₂	92-94
Karbon	3-5
Fe ₂ O ₃	0.10-0.50
CaO	0.10-0.15
Al ₂ O ₃	0.20-0.30
MgO	0.10-0.20
MnO	0.008
K ₂ O	0.10
Na ₂ O	0.10
Fisika	Berat dalam persen
Berat Jenis	2.02
Rata-rata ukuran partikel, μm	0.1
Lolos ayakan	99.00
Keasaman pH (10% air dalam slurry)	7.3

Sumber: Yogendran., et al., ACI Material Journal, Maret/April, 1987:125

2.4. Kerangka Berpikir

Beton sejak dahulu dikenal sebagai material dengan kekuatan tekan yang memadai, mudah dibentuk, mudah diproduksi secara lokal, relatif kaku, dan ekonomis. Akan tetapi disisi lain, beton juga menunjukkan banyak keterbatasan baik dalam proses produksi maupun sifat-sifat mekaniknya. Kinerja mengenai mutu beton terus dikembangkan, yaitu dengan pemakaian bahan tambah yang dapat menghasilkan peningkatan mutu beton. Bahan tambah silika fume dan silika merupakan salah satu bahan tambah yang digunakan untuk meningkatkan mutu beton. Silika fume merupakan bahan pozolanik dengan diameter butiran 1/100 dari ukuran butiran semen, sehingga butiran silika fume dapat mengisi pori-pori dalam beton yang dapat

menghasilkan beton yang mempunyai mutu tinggi. Superplasticizer merupakan bahan tambah admixture yang digunakan untuk mempermudah workability pengerjaan beton.

Melalui penelitian ini, diharapkan Pemakaian semen PPC dan semen PCC dengan bahan tambah superplasticizer 2 % serta silika fume 0 % dan 5% dari berat semen dapat diketahui nilai slump beton, nilai kuat tekan beton dan prosentase peningkatan kuat tekan beton terhadap umur.

2.5. Hipotesis

Maka hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini berdasarkan pada landasan teoritis dan kerangka berpikir adalah beton mutu tinggi dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara dan campuran bahan tambah yang dapat meningkatkan mutu beton.

Adanya perbedaan komposisi bahan tambah dan pemakaian semen yang berbeda maka dapat dihasilkan proporsi campuran yang dapat menghasilkan kuat tekan beton tinggi dan nilai dari pengaruh peningkatan kuat tekan beton dengan umur.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan dan Alat

3.1.1. Bahan

Bahan penyusun beton mutu tinggi:

1. Air yang digunakan berasal dari instalasi air bersih Jurusan Teknik Sipil.
2. Agregat halus (pasir), digunakan pasir Muntilan.
3. Agregat kasar (kerikil), kerikil pudak payung.
4. Semen, Semen PPC dari Semen Gresik dan semen PCC dari Semen Tiga Roda.
5. Superplasticizer tipe polycarboxylate (Sika Viscocrete 10).
6. Silika fume dari PT. Sika.

3.1.2. Alat

1. Ayakan
Ayakan dengan diameter berturut-turut 10 mm, 4,8 mm, 2,40 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat pengetar.
2. Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan-bahan yang akan diuji.
3. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur banyaknya air yang dibutuhkan.

4. Picknometer, digunakan untuk mencari berat jenis
5. Oven, digunakan untuk memanaskan benda uji.
6. Desikator, digunakan untuk mendinginkan benda uji dan mengurangi udara pada benda uji.
7. Mesin aduk beton (molen), digunakan untuk mengaduk bahan beton.
8. Cetakan silinder (150 mm x 300 mm), untuk mencetak beton uji berbentuk silinder.
9. UTM (Universal Testing Machine), digunakan untuk menguji kuat tekan beton.
10. Dial Gauge, digunakan untuk membaca regangan beton.

3.2. Cara Pengujian

Bahan-bahan uji dalam pembuatan beton memiliki karakteristik masing-masing. Perlu pengujian untuk mendapatkan bahan yang memenuhi kriteria rancangan campuran beton.

3.2.1. Agregat Halus (Pasir)

1) Pemeriksaan Berat Jenis pasir

Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir adalah sebagai berikut:

- a. Mengeringkan pasir dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap, selanjutnya pasir didinginkan pada suhu ruang kemudian rendam pasir dalam air selama 24 jam.

- b. Setelah 24 jam air rendaman dibuang dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbang, menebarkan pasir dalam talam, kemudian dikeringkan di udara panas dengan cara membolak-balikan pasir sampai kering.
- c. Memasukkan pasir tersebut dalam piknometer sebanyak 500 gr, kemudian masukkan air dalam piknometer hingga mencapai 90% isi labu ukur, memutar dan mengguling - gulingkan labu ukur sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
- d. Merendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu standar 25°C.
- e. Menambahkan air sampai tanda batas kemudian ditimbang (Bt).
- f. Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° C sampai beratnya tetap kemudian didinginkan dalam desikator. Kemudian pasir ditimbang (Bk)

2) *Pemeriksaan Gradasi Pasir*

Tujuan untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir dan modulus kehalusan pasir. Alat : satu set ayakan 10 mm, 4,8mm, 2,4 mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm, 0,15mm, timbangan, alat penggetar (SK-SNI-T-15-1990-03).

Langkah-langkah pemeriksaan gradasi halus pasir adalah sebagai berikut :

- a. Mengeringkan pasir dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap.

- b. Mengeluarkan pasir dalam oven didinginkan dalam desikator selama 3 jam.
- c. Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan paling atas yaitu : 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm.
- d. Memasukkan pasir dalam ayakan paling atas, tutup dan diayak dengan cara digetarkan selama 10 menit kemudian diamkan pasir selama 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- e. Pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya.
- f. Gradasi pasir yang diperoleh dengan menghitung komulatif prosentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan. Nilai modulus halus butir pasir dihitung dengan menjumlahkan prosentase komulatif butir yang tertinggal kemudian dibagi seratus.

3) *Pemeriksaan kandungan lumpur*

Tujuan dari pengujian kandungan lumpur adalah untuk mengetahui banyaknya kandungan lumpur dalam pasir.

Alat : gelas ukur, timbangan, cawan, pipet, dan oven.

Langkah-langkah pemeriksaan kadar lumpur adalah sebagai berikut:

- a. Mengambil pasir yang telah kering oven selama 24 jam dengan suhu 110°C seberat 100 gr.

- b. Mencuci pasir dengan air bersih yaitu dengan memasukkkan pasir kedalam gelas ukur 250 cc setinggi 12 cm diatas permukaan pasir. Kemudian diguling-gulingkan 10 kali dan didiamkan selama 2 menit. Air yang kotor dibuang tanpa ada pasir yang ikut terbang, langkah ini dilakukan sampai air tampak jernih.
- c. Menuangkan pasir kedalam cawan kemudian membuang sisa air dengan pipet setelah itu pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- d. Setelah 24 jam pasir dikeluarkan dalam oven dan didinginkan hingga mencapai suhu kamar kemudian pasir ditimbang.

3.2.2. Agregat kasar (kerikil)

1) Pemeriksaan Berat Jenis kerikil

Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis kerikil adalah sebagai berikut:

- a. Ambil benda uji yang lolos saringan no. 4 sebanyak 1000 gram. Buat perempat bagian agar contoh dapat mewakili populasi penelitian, atau gunakan alat pemisah (sample spliter) kemudian ambil sebanyak 1000 gram.
- b. Masukkan ke dalam alat pemisah sehingga benda uji tersebut terbagi menjadi dua bagian.
- c. Keringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 24 jam lalu dinginkan.

- d. Rendam dalam air kurang lebih selama 24 jam.
- e. Tebarkan contoh di atas talam lalu aduk-aduk di udara terbuka dengan panas matahari, sehingga terjadi proses pengeringan yang merata, atau dengan cara dipanaskan di atas kompor.
- f. Apabila suhu contoh benda uji sudah sama dengan suhu ruang, masukkan ke dalam kerucut kuningan dibagi menjadi tiga bagian, lapis pertama dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 8 kali, lapis kedua dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 8 kali, lapis ketiga dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 9 kali, sehingga jumlah seluruh tumbukan sebanyak 25 kali dengan tinggi jatuh 5 mm di atas permukaan contoh secara merata dan jatuh bebas.
- g. Bersihkan daerah sekitar kerucut dari butiran agregat yang tercecer.
- h. Angkat kerucut dalam arah vertikal secara perlahan-lahan.
- i. Amati contoh saat dibuka, apabila masih terletak rapi, maka contoh masih basah, keringkan kembali contoh tersebut dan apabila contoh jatuh keseluruhan maka contoh terlalu kering. Ulangi dengan contoh yang baru tanpa adanya penambahan air, kemudian lakukan percobaan seperti langkah ke-7 di atas. Angkat kerucut (cone) apabila contoh berbentuk kerucut maka contoh tersebut dapat dinyatakan dalam kondisi SSD (saturated surface dry).

- j. Masukkan ke dalam pan dan cover untuk menghindari penguapan.
- k. Amati benda uji yang tercetak tersebut, apabila masih terdapat lapisan air di permukaannya, percobaan diulangi lagi setelah dilakukan pengeringan secukupnya. Bila tidak terdapat lapisan air di permukaannya dan terjadi penurunan pada permukaan benda uji, berarti sudah mencapai kondisi kering permukaan.
- l. Isi labu ukur dengan air suling setengahnya lalu masukkan benda uji tadi sebanyak 500 gram, jangan sampai ada butiran yang tertinggal. Tambahkan air suling sampai 90% kapasitas labu ukur.
- m. Gunakan pompa vacum untuk mengeluarkan gelembung-gelembung udara di dalamnya.
- n. Rendam dalam air sehingga suhunya mencapai 25° C lalu tambahkan air suling sampai tanda batas.
- o. Timbang dengan timbangan yang memiliki ketelitian 0,1 gram (C).
- p. Cari berat kering benda uji dengan memanaskannya dalam oven selama 24 jam pada suhu 100° C (A).
- q. Isi labu ukur tadi dengan air suling sampai tanda batas lalu timbang dengan timbangan yang memiliki ketelitian 0,1 gram (B).sampai beratnya tetap kemudian didinginkan dalam desikator. Kemudian pasir ditimbang (Bk)

2) *Pemeriksaan keausan agregat kasar*

Menurut SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), salah satu persyaratan bagi agregat kasar adalah butir-butirnya keras dan tidak berpori. Langkah-langkah pemeriksaan keausan agregat kasar:

- a. Ambil benda uji yang akan diperiksa lalu dicuci dengan air bersih sampai bersih dari debu yang kemungkinan melekat di agregat kasar.
- b. Keringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110° C sampai beratnya tetap.
- c. Pisahkan agregat tersebut sesuai dengan kelompoknya lalu campurkan sesuai dengan kombinasi yang diinginkan (A/B/C/D) dengan berat total 5000 gram. (A)
- d. Hidupkan lampu power pada mesin Abrasion Los Angeles.
- e. Putar drum abrasi dengan menekan tombol inching sehingga tutupnya mengarah ke atas.
- f. Buka tutup mesin abrasi, masukkan agregat yang telah dipersiapkan sebelumnya.
- g. Masukkan bola baja sebanyak yang disyaratkan (lihat tabel pada halaman berikut ini).
- h. Tutup kembali mesin abrasi tersebut.
- i. Buka tutup counter lalu atur angkanya menjadi 500 kemudian tutup kembali.

- j. Tekan tombol start sehingga mesin abrasi berputar, jumlah putaran akan terbaca pada counter dan mesin abrasi akan berhenti berputar secara otomatis pada jumlah putaran 500 kali.
- k. Pasang talam di bawah mesin abrasi.
- l. Buka tutup mesin abrasi lalu tekan tombol inching sehingga mesin abrasi berputar dan agregat serta bola baja tertampung pada talam yang telah dipesiapkan sebelumnya.
- m. Saringlah agregat tersebut dengan saringan no. 12, kemudian agregat yang tertahan dicuci sampai bersih.
- n. Keringkan lagi dalam oven selama 24 jam pada suhu 110° C.
- o. Timbang berat keringnya. (B)
- p. Kemudian hitung besar keausan agregat kasar dengan rumus :
$$\text{Keausan agregat kasar} = ((A-B) \times 100\%)$$

3) *Pemeriksaan gradasi agregat kasar*

- a. Ambil contoh agregat secukupnya, gunakan sample spliter untuk pembagian butir secara merata.
- b. Timbang contoh agregat yang akan digunakan, kemudian dioven pada suhu 110⁰ C selama 24 jam atau sampai berat agregatnya tetap.
- c. Timbang masing-masing saringan.
- d. Susun saringan pada mesin pengguncang, yang ukuran paling bawah adalah pan kemudian saringan dengan lubang terkecil dan seterusnya sampai dengan lubang yang terbesar, dengan ukuran

saringan 50 mm, 38.1 mm, 19 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.15 mm.

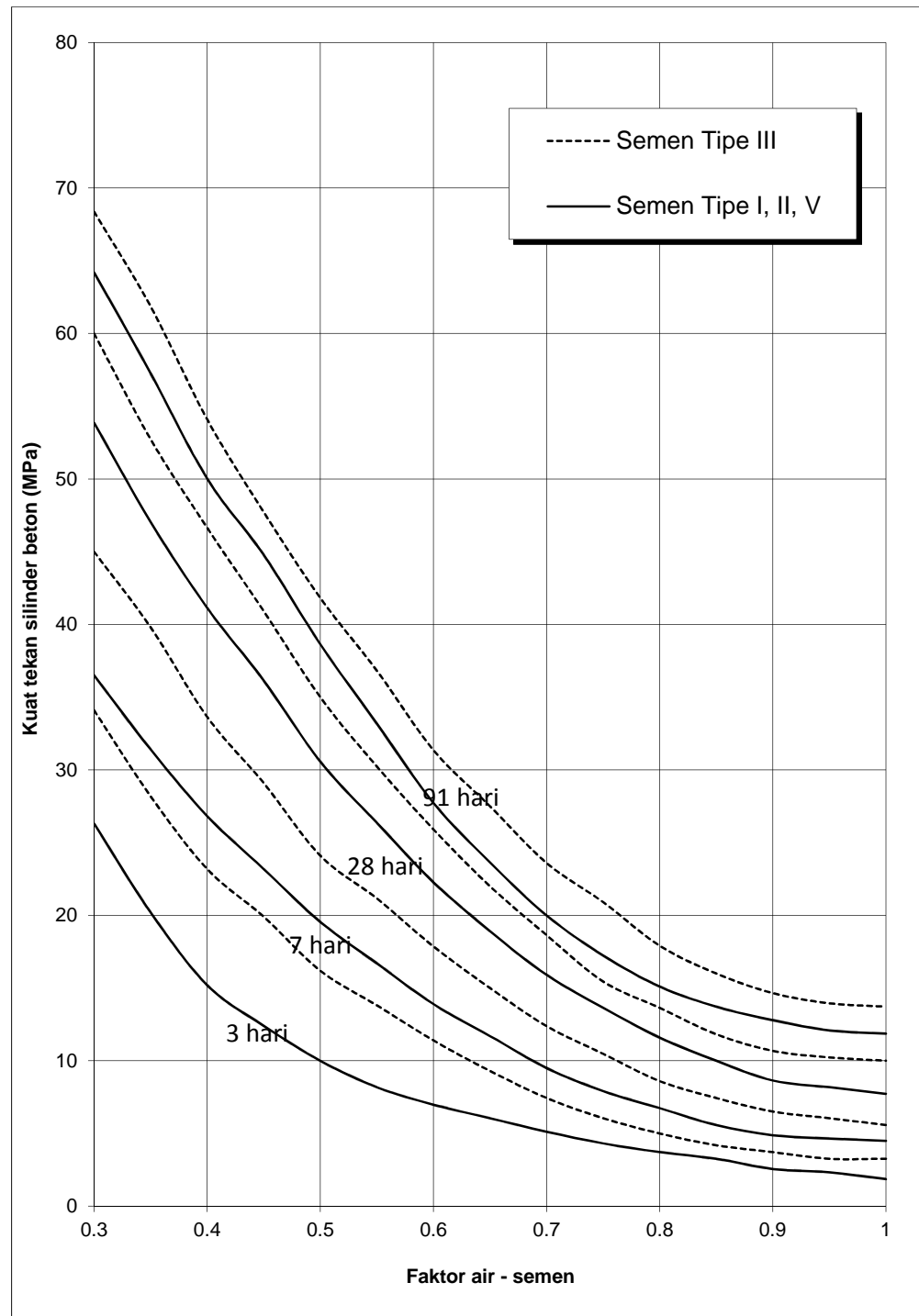
- e. Masukkan agregat pada saringan tersebut, selanjutnya hidupkan motor mesin pengguncang (atau diguncang secara manual) selama 10 menit.
- f. Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
- g. Buka saringan tersebut kemudian ditimbang berat masing-masing saringan berikut isinya.
- h. Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.

3.3. Proses Pembuatan Benda Uji Silinder Beton

3.3.1. Rancangan mix design beton (Tjokrodimulyo S)

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu.
2. Penetapan jenis semen Portland
Penetapan jenis semen sesuai penggunaan beton
3. Penetapan jenis agregat
Jenis agregat halus dan agregat kasar ditetapkan, digunakan bahan alami atau batu pecah.
4. Penetapan faktor air semen
Ada dua cara yaitu :
 - a. Berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, faktor air

semen campuran adukan direncanakan pada umur 28 hari. Faktor air semen ditetapkan dengan Gambar. 3.1.



Gambar 3.1. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton

Tabel 3.1. Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0.5

jenis semen	jenis agregat kasar	umur (28 hari)
I, II, V	Alami	33 Mpa
	Batu pecah	37 Mpa
III	Alami	38 Mpa
	Batu pecah	44 Mpa

5. Penetapan faktor air semen maksimum

Penetapan nilai faktor air semen maksimum dengan Tabel 3.2 Tujuan penetapan fas maksimum adalah agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak. Jika nilai fas ini lebih rendah dari langkah 6 maka fas maksimum ini yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 3.2. Persyaratan faktor air-semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non-korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52
Beton di luar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	lihat tabel 3.3.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar / payau / laut	lihat tabel 3.4.

Tabel 3.3. Faktor air-semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Jenis Semen	Fas maks.
Dalam Tanah		SO ₃ Dalam Air Tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (gr /ltr)			
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa pozolan (15 – 40 %)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau Semen Portland pozolan Tipe II atau V	0,50 0,55 0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau Semen portland pozolan Tipe II atau V	0,45 0,45
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	0,45

6. Penetapan nilai slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slam yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (triller) dapat dilakukan dengan slump yang agak kecil. Penetapan nilai slump pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4. Faktor air – semen untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan	Tipe Semen	Faktor air-semen
Air tawar	Semua semen I – V	0,5
Air payau	Tipe I + Pozolan (15 – 40 %) atau S.P. Pozolan	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

Tabel 3.5. Penetapan Nilai Slump (cm)

Pemakaian beton	Maks.	Min
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

7. Penetapan besar butir agregat maksimum

Ukuran agregat maksimum yang membatasi adalah :

- a. Ukuran maksimum butir tidak boleh lebih besar dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antar baja tulangan atau antara baja tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran agregat maksimum butir tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal plat

- c. Ukuran butir maksimum agregat tidak boleh lebih besar dari 1/5 kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

8. Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton

Tabel 3.6. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maks. kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Dari Tabel 3.6. apabila agregat halus dan agregat kasar dengan jenis berbeda maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A = 0.67 A_h + 0.33 A_k$$

A = jumlah air yang dibutuhkan Liter/m³

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus nya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

9. Perhitungan berat semen yang dibutuhkan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air dari langkah 11 dengan fas yang diperoleh dari langkah 7 dan 8.

10. Penyesuaian kebutuhan semen

Apabila kebutuhan yang diperoleh dari langkah 12 ternyata lebih sedikit dari kebutuhan semen minimum langkah 13 maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih besar).

11. Penyesuaian jumlah air

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah 14 maka nilai fas berubah. Maka dilakukan penyesuaian terhadap fas dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.

12. Penentuan daerah gradasi agregat halus

Dengan analisa gradasi dapat ditentukan golongan pasir yang digunakan.

13. Perbandingan agregat halus dan kasar

Nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air-semen, dan daerah gradasi agregat halus.

14. Penentuan berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$B_j \text{ camp} = 0.01P (B_j \text{ agr halus}) + 0.01K (B_j \text{ agr kasar})$$

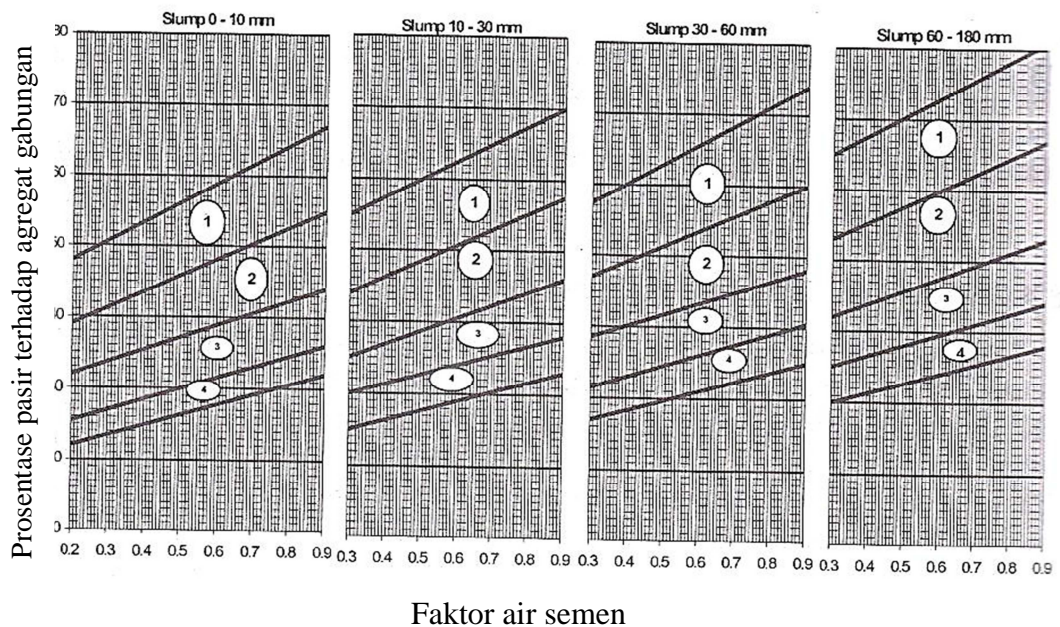
P = prosentase agregat halus terhadap campuran

K = prosentase agregat kasar terhadap agregat campuran

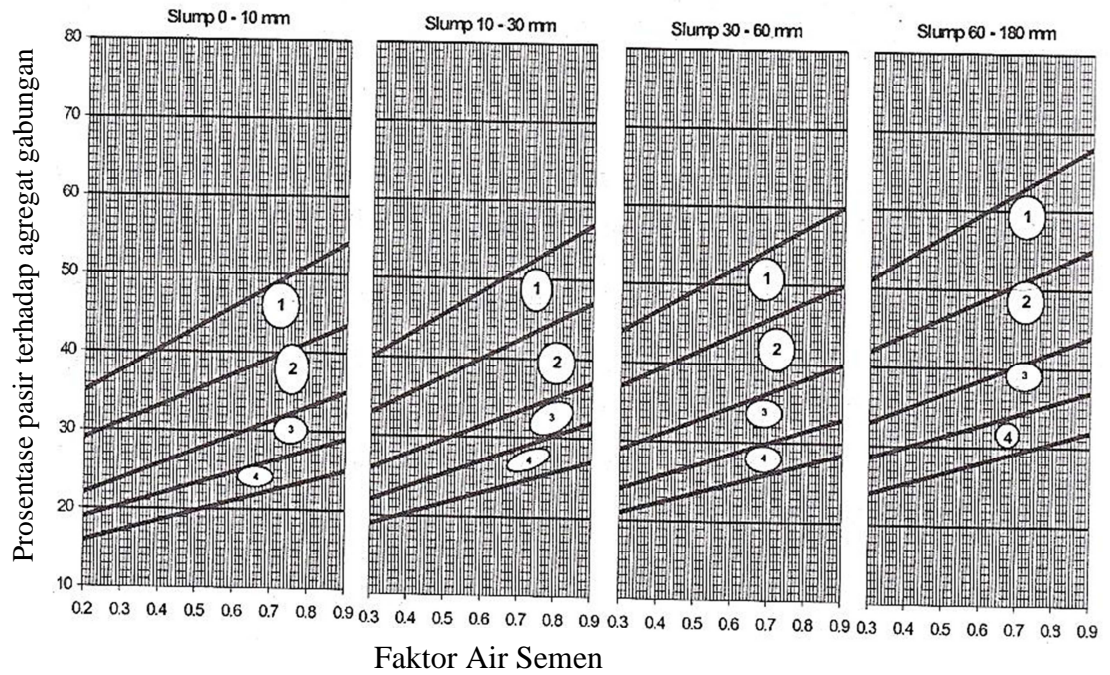
Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil 2.6 untuk agregat alami dan 2.7 untuk batu pecah.

15. Berat jenis beton

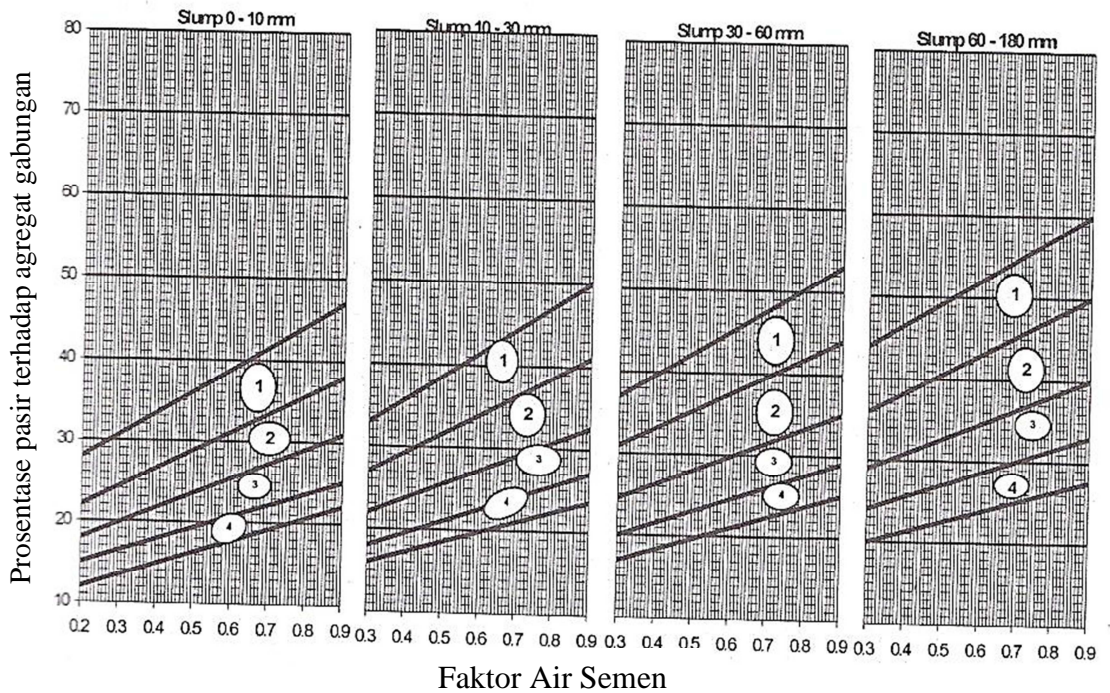
Dengan data berat jenis campuran dari langkah 18 dan kebutuhan air tiap meter kubik beton maka dengan Gambar 3.5 dapat diperkirakan berat jenis betonnya.



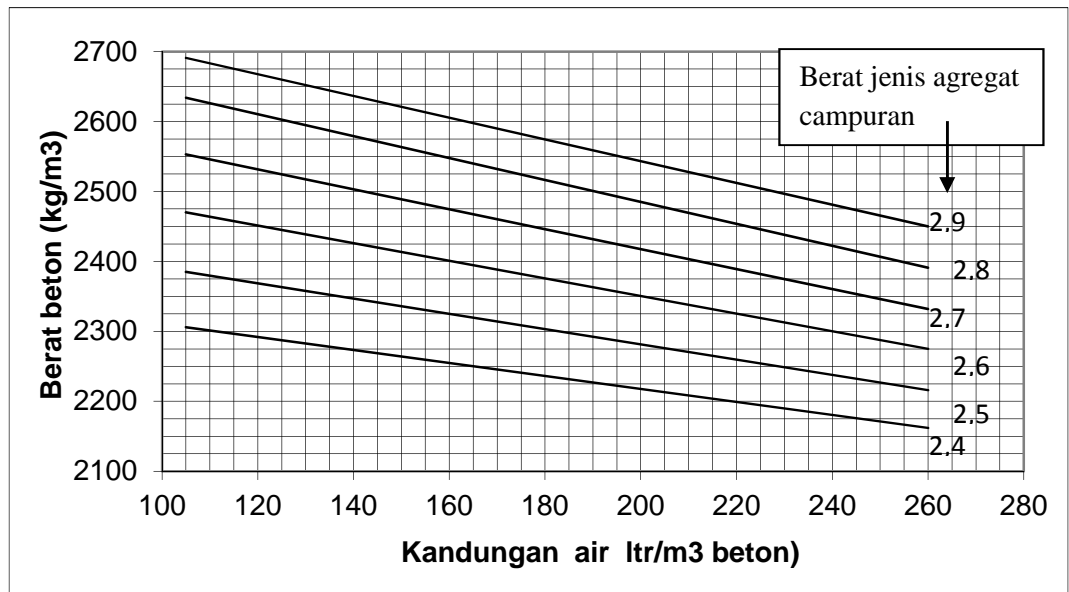
Gambar 3.2. Presentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 10mm



Gambar 3.3. Prosentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 20 mm.



Gambar 3.4. Prosentase jumlah pasir yang dianjurkan untuk daerah susunan butir 1, 2, 3, dan 4 dengan butir maksimum agregat 40 mm



Gambar 3.5. Perkiraan berat jenis beton basah yang dimampatkan secara penuh

16. Kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dengan kebutuhan air dan semen.

17. Kebutuhan agregat halus

Dihitung dengan cara mengkalikan kebutuhan agregat campuran dengan prosentase berat agregat halus.

18. Berat agregat kasar

Dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

3.4. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder Beton

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan dan perawatan benda uji silinder beton adalah sebagai berikut:

1. Setelah didapat perhitungan mix design beton. Setiap akan melakukan pengadukan beton maka kadar air material seperti agregat halus dan agregat kasar diperiksa lagi agar didapat agregat dalam kondisi SSD atau kering permukaan.
2. Menimbang bahan yang dibutuhkan sesuai dengan yang telah ditentukan dalam perencanaan.
3. Pengadukan bahan didahului dengan membasahi molen dengan sedikit air, kemudian kerikil dimasukan terlebih dahulu serta sebagian pasir dan semen, tambahkan air dan 3/4 bagian superplasticizer, sisa dari pasir dan silika fume dimasukan dalam molen pengaduk, dan langkah yang terakhir setelah kurang lebih 5-7 menit sisa dari superplasticizer dimasukan.
4. Setelah adukan homogen, tuang ke alas campuran beton.
5. Diukur nilai slump dengan memasukan adukan beton ke dalam kerucut slump.
6. Setelah didapat nilai slump. Kemudian adukan beton dimasukan kedalam cetakan silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm. pengisian adukan beton dilakukan tiga tahap, masing-masing 1/3 dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja (dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 60 cm) sebanyak 25 kali.
7. Setelah padat dan cetakan penuh, kemudian permukaannya diratakan.
8. Cetakan yang berisi adukan beton disimpan di tempat dengan suhu ruang yang sejuk, diletakan di tempat yang rata dan bebas dari gangguan lain serta dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam benda uji silinder beton

dikeluarkan dari cetakan. Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji silinder beton di dalam kolam perendaman hingga satu hari sebelum benda uji silinder diuji.

3.5. Kuat Tekan Beton

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

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji UTM (Universal Testing Machine) dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran 150 mm dan tinggi 300 mm. selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin UTM hingga hancur. 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.

3.6. Modulus Elastisitas Beton

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 dilakukan terhadap seluruh sampel pada umur 28 hari sebanyak 16 buah benda uji beton silinder. Pengujian tegangan regangan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Modulus elastisitas merupakan sifat beton yang berkaitan dengan mudah atau tidaknya beton mengalami deformasi. Dan menurut Nawy Edward G. 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 linier pada kurva semakin bertambah dan ada reduksi daktilitas apabila kekuatan beton bertambah (Nawy Edward G, 1990).

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan desain pada struktur beton. Kurva hubungan tegangan-regangan diperoleh dari pengujian terhadap benda uji silinder beton. Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock L.J dan Brook, 1999).

Pengujian modulus elastisitas menggunakan alat Universal Testing Machine dan dial manometer pengukur regangan vertikal. Metode pengujian sesuai standar ASTM C 469. Nilai modulus elastisitas beton bervariasi tergantung dari mutu atau kekuatan beton, umur pengujian, sifat-sifat (kekuatan) agregat halus, kasar dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan dimensi benda uji yang dipakai.

3.7. Variabel Penelitian

Pada penelitian beton mutu tinggi pengujian kuat tekan dilakukan sebanyak empat kali, yakni pada umur 14 hari, 28 hari, 45 hari dan 56 hari. Pada penelitian ini, kuat tekan beton hanya ditinjau sampai umur 56 hari. Sebagian besar kuat tekan beton terjadi dalam panas hidrasi awal ikatan beton. Akan tetapi, kuat tekan beton akan terus meningkat sampai umur 56 hari, meskipun dengan peningkatan yang lambat (Andrew L, et al, 2009). Penentuan variabel penelitian didasarkan pada penelitian Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan (1992), dengan melakukan variasi pendekatan terhadap variasi komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan beton optimum, diharapkan akan didapat data mengenai prosentase kandungan superplasticizer dan silika fume terhadap kuat tekan beton. Prosentase berat superplasticizer dan silika fume merupakan prosentase dari berat semen. Adapun variabel penelitian pada tiap pengujian merupakan rancangan bahan penyusun beton mutu tinggi seperti yang tercantum pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Variabel penelitian

Kode Sampel	Komposisi campuran beton			Jumlah benda uji			
	fas	Silica fume	Superplasticizer	Umur (hari)			
				14	28	45	56
PPC SF 0% SP 2 %	0,3	0%	2%	4	4	4	4
PCC SF 0% SP 2%	0,3	0%	2%	4	4	4	4
PPC SF 5% SP 2 %	0,3	5%	2%	4	4	4	4
PPC SF 5% SP 2 %	0,3	5%	2%	4	4	4	4

Keterangan:

- PPC SP 2% SF 0% = Beton Semen PPC (Portland Pozzolan Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dari berat semen dan bahan aditif Silika fume sebesar 0 % dari berat semen.
- PPC SP 2% SF 5% = Beton Semen PPC (Portland Pozzolan Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dari berat semen dan bahan aditif Silika fume sebesar 5 % dari berat semen.
- PCC SP 2% SF 0% = Beton Semen PCC (Portland Composite Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dari berat semen dan bahan aditif Silika fume sebesar 0 % dari berat semen.
- PCC SP 2% SF 5% = Beton Semen PCC (Portland Composite Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dari berat semen dan bahan aditif Silika fume sebesar 5 % dari berat semen.

3.8. Analisis Data

3.8.1. Perhitungan Hasil Penelitian

a. Berat jenis agregat halus (pasir)

$$\text{Bulk specific gravity} = B / ((C + A) - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.1})$$

$$\text{Bulk specific gravity (SSD)} = A / ((C + A) - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.2})$$

$$\text{Apparent specific gravity} = B / (C + B - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.3})$$

$$\text{Absorbtion (penyerapan)} = ((A - B) / B) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.4})$$

Dimana

A = Berat pasir dalam keadaan kering permukaan

B = Berat pasir setelah kering oven

C = Berat labu ukur berisi air

D = Berat labu ukur berisi pasir dan air

b. Kandungan lumpur agregat halus (pasir)

$$\text{Kadar Lumpur} = (A - B) / A \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.5})$$

Dimana:

A = Berat pasir kering oven

B = Berat pasir kering setelah dicuci

c. Berat jenis agregat kasar (kerikil)

$$\text{Bulk specific gravity} = B / ((C + A) - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.6})$$

$$\text{Bulk specific gravity (SSD)} = A / ((C + A) - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.7})$$

$$\text{Apparent specific gravity} = B / (C + B - D) \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.8})$$

$$\text{Absorbtion (penyerapan)} = ((A - B) / B) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.9})$$

Dimana

A = Berat kerikil dalam keadaan kering permukaan

B = Berat kerikil setelah kering oven

C = Berat labu ukur berisi air

D = Berat labu ukur berisi kerikil dan air

d. Kandungan lumpur agregat kasar (kerikil)

$$\text{Kadar Lumpur} = (A - B) / A \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Pers. 3.10})$$

Dimana:

A = Berat kerikil kering oven

B = Berat kerikil kering setelah dicuci

e. Kuat tekan beton

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (Pers. 3.11)$$

Dimana:

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang silinder (cm²)

f. Modulus elastisitas beton

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots \dots \dots (Pers. 3.12)$$

Dimana:

E = Modulus Elastitas Beton

S_1 = tegangan untuk regangan 0,00005

S_2 = tegangan 40 % dari tegangan hancur ultimate

ϵ_2 = Regangan yang menghasilkan S_2

g. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton

1. Branson, dalam BPPU (1994)

$$f_c(t \text{ hari}) (\%) = \frac{t \text{ hari}}{4 + 0,85 \cdot t \text{ hari}} f_{c, 28 \text{ hari}} \dots \dots \dots (Pers. 3.13)$$

Dimana:

f_c = kuat tekan beton (MPa)

f_c (%) = kuat tekan beton dalam persen

t hari = umur beton yang dikehendaki

2. Suroso H, hasil penelitian Tanpa Pasir Pantai (2001)

$$Y = 0,9029 \left(A \cdot B + \frac{(1-A) \cdot (B)}{(1+B^R)^{\frac{1}{R}}} \right) + 0,164 \dots\dots\dots(Pers. 3.14)$$

$$\text{Dengan: } A = 3,5126 \times 10^{-6} ; B = \frac{x-0,005}{6,27} ; R = 1,435$$

Dimana:

x = umur beton yang dikehendaki

Dengan peninjauan pada umur 14 hari, 28 hari, 45 hari dan 56 hari didapat prosentase kuat tekan 90,96 %, 100 %, 103,15 %, dan 104,07 %.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pemeriksaan Bahan Beton

4.1.1. Air

Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan garam sesuai persyaratan air minum. Dalam pemeriksaan air dari laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang dalam kondisi tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga dapat digunakan dalam pembuatan beton karena telah memenuhi syarat SK SNI-S-04-1989-F.

4.1.2. Agregat Halus (Pasir)

a. Berat Jenis Pasir

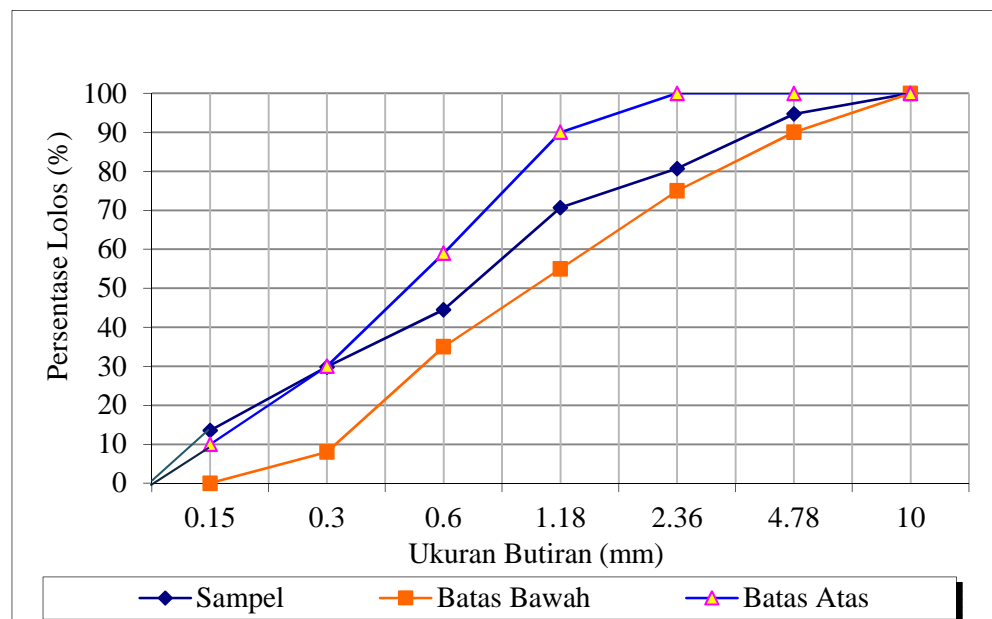
Pasir yang digunakan merupakan pasir Muntilan. Pemeriksaan berat jenis pasir dilakukan dengan 2 sampel, kemudian diambil nilai rata-rata. Pemeriksaan berat jenis pasir didapat nilai sebesar 2,56 (Lampiran 1).

Pasir yang dipakai dalam pembuatan beton termasuk dalam agregat normal (berat jenis antara 2,5-2,7) sehingga dapat dipakai untuk beton normal dengan kuat tekan 15-40 MPa (Tjokrodimuljo S, 1996).

b. Gradasi Pasir

Dari Gambar 4.1 hasil pengujian gradasi agregat halus bahwa pasir Muntilan masuk dalam gradasi agregat halus agak kasar (zone 2)

dengan angka modulus halus butir sebesar 3,661. Berdasarkan SK SNI-S-04-1989-F MHB agregat halus antara 1,50-3,80. sehingga memenuhi syarat (Lampiran 2).



Gambar 4.1. Grafik uji gradasi pasir (zone 2)

c. Kadar Lumpur Pasir

Untuk pemeriksaan kadar lumpur pasir dilakukan dengan 2 sampel yang kemudian diambil nilai rata-rata. Kadar lumpur pasir sebesar 3,37%, sehingga pasir yang digunakan memenuhi syarat SK SNI-S-04-1989-F (<5%) (Lampiran 3).

4.1.3. Agregat Kasar (Kerikil)

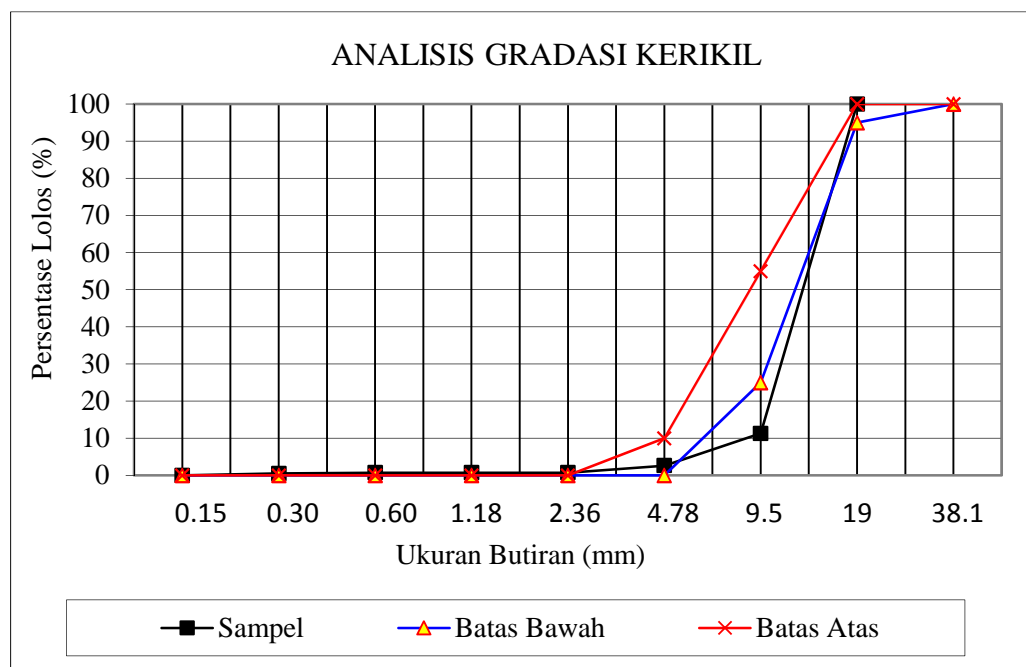
a. Berat Jenis Kerikil

Kerikil yang digunakan dalam pembuatan beton merupakan kerikil Puduk payung,. Dengan butiran maksimum agregat kasar sebesar 20

mm. pemeriksaan berat jenis kerikil didapat nilai sebesar 2,65 (Lampiran 4).

b. Gradasi Kerikil

Dari Gambar 4.2 pengujian gradasi kerikil dengan butiran maksimum 20 mm didapat nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat kasar sebesar 6,835. (berdasarkan SK SNI-S-04-1989-F MHB agregat halus antara 6-7,10) sehingga memenuhi syarat (Lampiran 5).



Gambar 4.2. Grafik analisis gradasi kerikil

c. Kadar Lumpur Kerikil

Untuk pemeriksaan kadar lumpur kerikil dilakukan dengan 2 sampel yang kemudian diambil nilai rata-rata. Kadar lumpur kerikil sebesar 0,86%, sehingga kerikil yang digunakan memenuhi syarat SK SNI-S-04-1989-F (<1%) (Lampiran 6).

d. Keausan Agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam pemeriksaan keausan agregat kasar atau Los angles test dengan butir maksimum 20 mm didapat prosentase keausan agregat sebesar 24,05% (Lampiran 7).

4.1.4. Mix Design

Berdasarkan perhitungan rancangan campuran (mix design) adukan beton dengan bahan tambah superplasticizer dan silika fume dengan pemakaian semen PPC dan semen PCC diperoleh kebutuhan bahan untuk 1 m³ beton seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Proporsi campuran adukan beton untuk setiap variasi sampel per 1 m³

Kode Sampel	Air (kg)	Semen (kg)	Super Plasticizer (kg)	Silika Fume (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
PPC SP 2% SF 0%	127.5	444	8.88	0	652	855
PPC SP 2% SF 5%	127.5	444	8.88	22.2	652	855
PCC SP 2% SF 0%	127.5	444	8.88	0	652	855
PCC SP 2% SF 5%	127.5	444	8.88	22.2	652	855

Keterangan:

- PPC SP 2% SF 0% = Beton Semen PPC (Portland Pozzolan Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dan bahan aditif Silika fume sebesar 0 % dari berat semen.
- PPC SP 2% SF 5% = Beton Semen PPC (Portland Pozzolan Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dan bahan aditif Silika fume sebesar 5 % dari berat semen.
- PCC SP 2% SF 0% = Beton Semen PCC (Portland Composite Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dan bahan aditif Silika fume sebesar 0 % dari berat semen.
- PCC SP 2% SF 5% = Beton Semen PCC (Portland Composite Cement) dengan campuran bahan tambah Superplasticizer sebesar 2% dan bahan aditif Silika fume sebesar 5 % dari berat semen.

4.2. Hasil Pengujian Slump

Dengan penggunaan nilai fas 0,3 dan bahan tambah superplasticizer (*Sika Viscocrete-10*) menjadikan nilai slump lebih tinggi. Dalam penelitian ini, pemakaian bahan tambah superplasticizer (*Sika Viscocrete-10*) untuk semua variasi sama yaitu sebesar 2%. Superplasticizer merupakan bahan tambah kimia yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workability beton sampai pada tingkat yang cukup besar.

Dengan menambahkan bahan tambah superplasticizer (*Sika Viscocrete-10*), tingkat penurunan workability dapat dihindari sehingga saat pengerjaan beton dapat dikerjakan dengan mudah. Dari Tabel 4.2 menunjukkan nilai slump pada setiap sampel beton dengan bahan tambah Superplasticizer dan bahan aditif silika fume maupun tanpa silika fume. Satu adukan pengecoran beton digunakan untuk 4 buah silinder benda uji beton.

Tabel 4.2. Nilai slump

No	Kode Sampel	Nilai Slump (cm)	Rata-rata (cm)
1	PPC SP 2% SF 0% (14 hari)	14.4	14.22
2	PPC SP 2% SF 0% (28 hari)	13	
3	PPC SP 2% SF 0% (45 hari)	14.2	
4	PPC SP 2% SF 0% (56 hari)	15.3	
5	PPC SP 2% SF 5% (14 hari)	13.4	12.95
6	PPC SP 2% SF 5% (28 hari)	13	
7	PPC SP 2% SF 5% (45 hari)	12.9	
8	PPC SP 2% SF 5% (56 hari)	12.5	
9	PCC SP 2% SF 0% (14 hari)	13.6	13.37
10	PCC SP 2% SF 0% (28 hari)	12.7	
11	PCC SP 2% SF 0% (45 hari)	13.4	
12	PCC SP 2% SF 0% (56 hari)	13.8	
13	PCC SP 2% SF 5% (14 hari)	13.2	13.12
14	PCC SP 2% SF 5% (28 hari)	12.8	
15	PCC SP 2% SF 5% (45 hari)	12.7	
16	PCC SP 2% SF 5% (56 hari)	13.8	

Dari Tabel 4.2 nilai slump pada setiap sampel dengan penambahan Superplasticizer (Sika Viscocrete-10) sebesar 2% dari berat semen didapat nilai slump yang berbeda. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa workability adukan beton yang terjadi semakin tinggi dengan ditambahkan Superplasticizer (Sika Viscocrete-10). Hal ini dikarenakan Superplasticizer (Sika Viscocrete-10) itu sendiri digolongkan dalam High Range Water Reducer yang mampu meningkatkan kinerja kelecakan atau workability adukan beton dan mengurangi terjadinya bleeding dan segregasi. Selain itu Sika Viscocrete-10 juga difungsikan untuk memperlambat proses hidrasi semen.

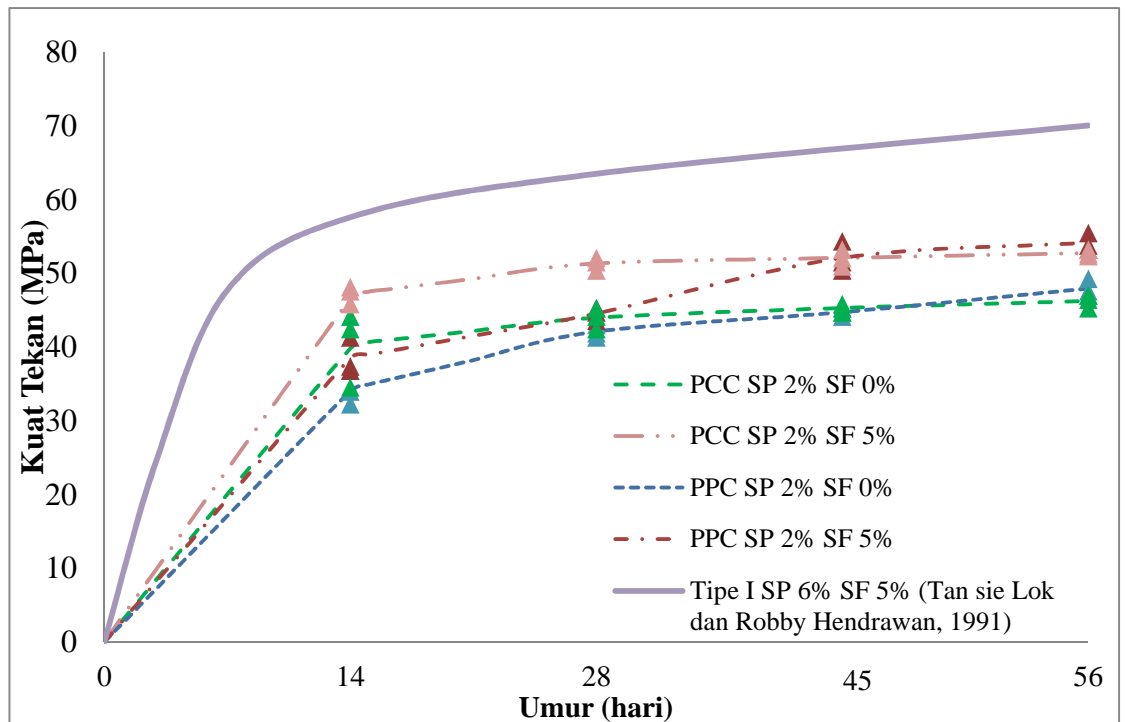
4.3. Kuat Tekan Beton

Setelah dilakukan pembuatan benda uji, dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji berumur 14, 28, 45, dan 56 hari dengan kuat tekan yang direncanakan (f'_{cr}) sebesar 60 MPa sebanyak 64 sampel beton silinder. Untuk masing-masing variasi dengan pemberian bahan tambah superplasticizer (*Sika Viscocrete-10*) sebesar 2 % dari berat semen dan penambahan Silika fume sebesar 5% dari berat semen.

Dari Tabel 4.3 didapat hasil kuat tekan benda uji beton silinder dengan menggunakan persamaan 3.11.

Tabel 4.3. Kuat tekan beton

Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)			
	14 hari	28 hari	45 hari	56 hari
PPC SP 2 % SF 0 %	32.27	41.9	44.73	47.56
	33.97	41.33	45.29	46.99
	36.8	43.03	44.16	49.26
Rata-rata	34.35	42.09	44.73	47.94
PPC SP 2 % SF 5 %	36.8	45.29	50.39	53.79
	37.37	44.73	54.35	55.48
	41.33	43.6	51.52	53.22
Rata-rata	38.50	44.54	52.09	54.16
PCC SP 2 % SF 0 %	34.54	42.46	44.73	45.29
	44.16	45.29	45.86	46.99
	42.46	44.16	45.29	46.43
Rata-rata	40.39	43.97	45.29	46.24
PCC SP 2 % SF 5 %	47.56	52.09	53.22	53.22
	45.86	51.52	52.09	52.65
	48.12	50.39	50.96	52.37
Rata-rata	47.18	51.33	52.09	52.75



Gambar 4.3. Hubungan kuat tekan dengan umur beton

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat kuat tekan beton dengan bahan tambah silika fume pada umur 14, 28, 45 dan 56 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa silika fume dengan umur yang sama. Dari hasil penelitian Tan Sie Lok dan Robby Hendrawan dapat dilihat hasil kuat tekan lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini. Hal tersebut dikarenakan perbedaan pemakaian jenis semen yang berbeda. Pada penelitian Tan Sie Lok dan Robby Hendrawan menggunakan semen tipe I sehingga pada awal umur beton kuat tekan sudah mengalami kenaikan dibandingkan penggunaan jenis semen lain.

Silika fume memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton. Karena butiran silika fume yang sangat halus, $0,1 \mu\text{m}$ dan kandungan SiO_2 yang tinggi, 92 % sehingga reaksi pozollan yang terjadi lebih cepat, ditandai dengan peningkatan kuat tekan beton. Setelah umur 28 hari maka kuat tekan beton silika fume menunjukkan peningkatan kuat tekan yang besar. Sehingga terbentuknya calcium silikat hidrat CSH lebih lama (lebih dari 28 hari). Selanjutnya senyawa CSH inilah yang memberikan kekuatan tambahan pada beton. Secara mekanik ukuran butiran silika fume yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan beton, yang pada akhirnya akan meningkatkan kekuatan beton.

Pengurangan senyawa kalsium hidroksida pada beton akibat telah bereaksi dengan SiO_2 pada silika fume akan meningkatkan kekuatan beton. Pada penelitian ini, kuat tekan beton hanya ditinjau sampai umur 56 hari. Sebagian besar kuat tekan beton terjadi dalam panas hidrasi awal ikatan

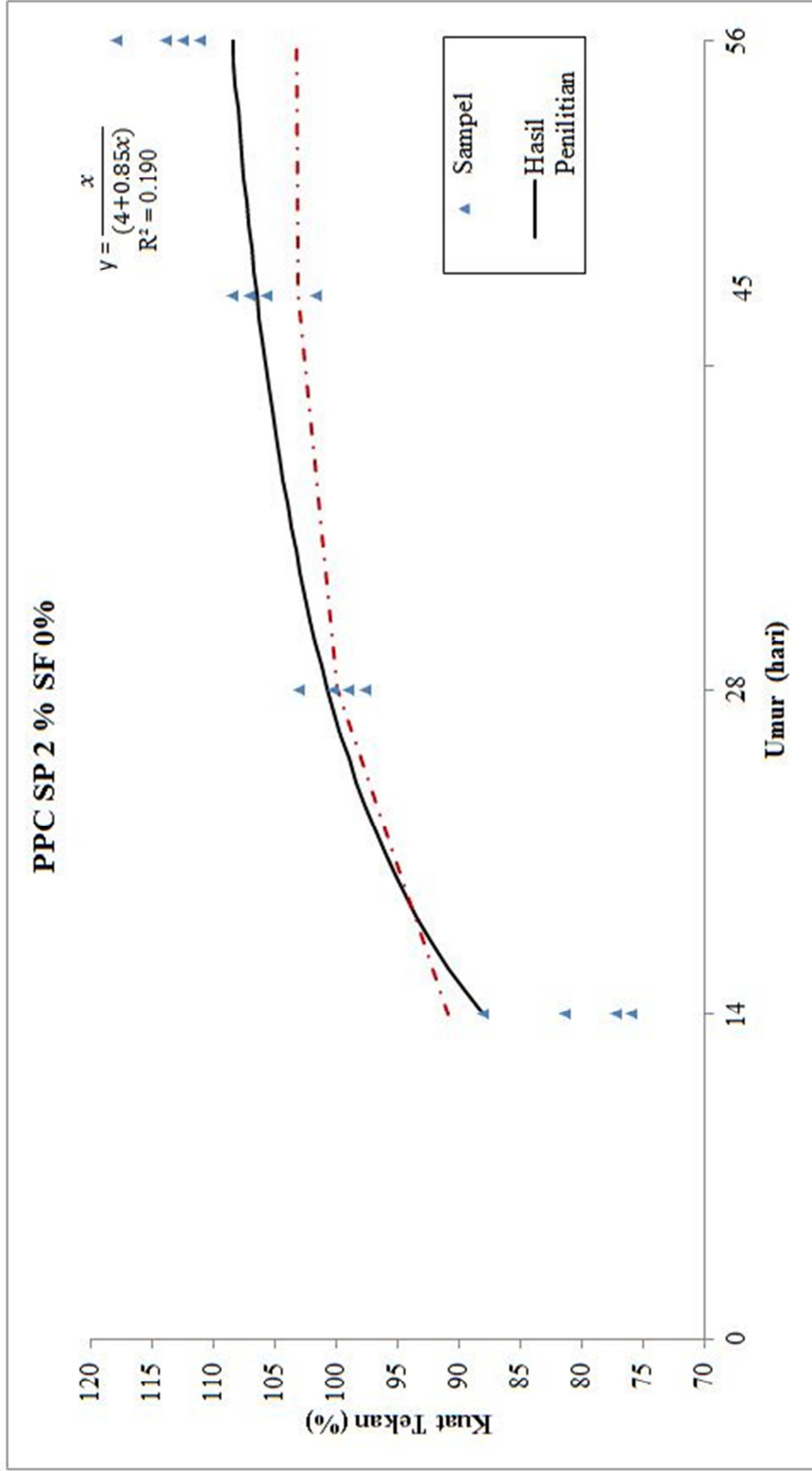
beton. Akan tetapi, kuat tekan beton akan terus meningkat sampai umur 56 hari, meskipun dengan peningkatan yang lambat. Dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 terlihat pada PPC SP 2 % SF 5 % yaitu pemakaian jenis semen PPC dengan penambahan superplasticizer 2 % dan penambahan silika fume sebanyak 5 % dari berat semen pada umur 56 hari memberikan kuat tekan optimum sebesar 53.50 MPa.

4.4. Hubungan Antara Prosentase Kuat Tekan dengan Umur Beton

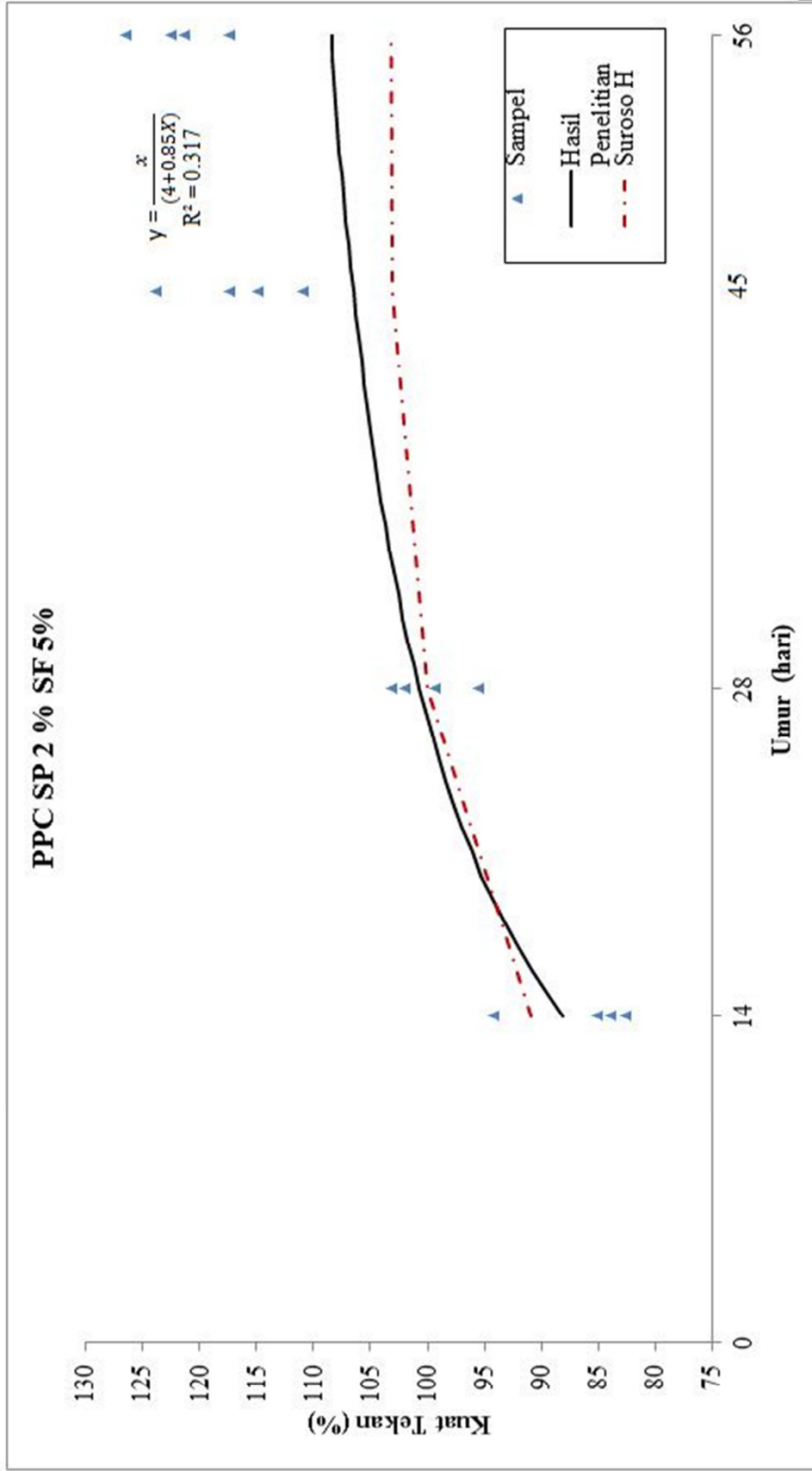
Hasil penelitian prosentase kuat tekan dengan umur beton ditujukan untuk mengetahui peningkatan prosentase kuat tekan beton yang dipengaruhi penggunaan bahan tambah silika fume dan superplasticizer serta pengaruh penggunaan tipe semen yang berbeda yaitu semen PPC dan semen PCC.

Perhitungan prosentase kuat tekan dengan umur beton dilakukan pendekatan dengan pers. 3.13 untuk mengetahui peningkatan prosentase kuat tekan pada umur 14, 28,45, dan 56 hari. Pers. 3.14 ditinjau untuk mencari perbandingan prosentase kuat tekan beton penelitian dengan penelitian Suroso H.

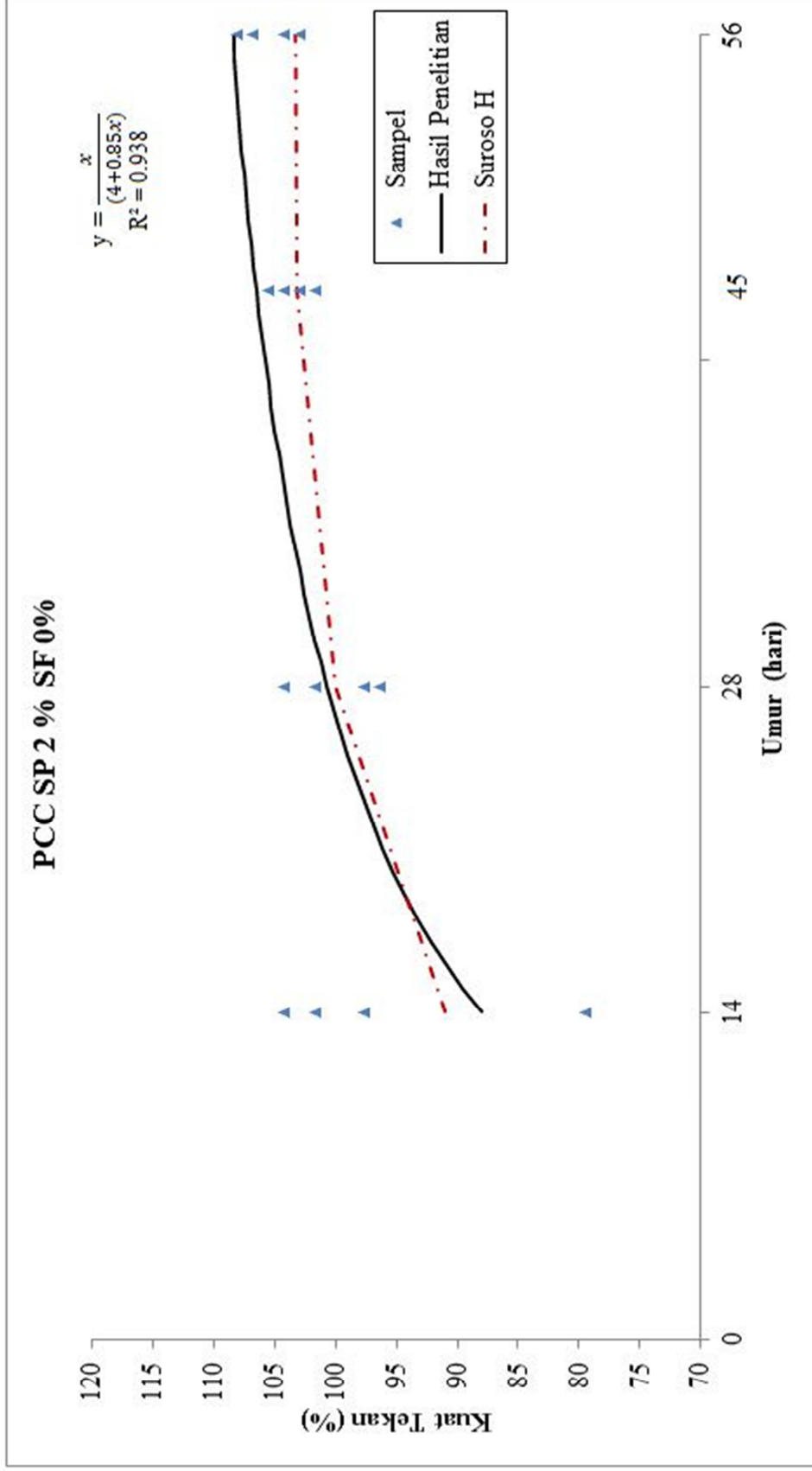
Gambar 4.4 dan gambar 4.5 merupakan grafik peningkatan prosentase kuat tekan dengan umur beton untuk pemakaian semen PPC. Gambar 4.6 dan gambar 4.7 merupakan grafik peningkatan prosentase kuat tekan dengan umur beton untuk pemakaian semen PCC.



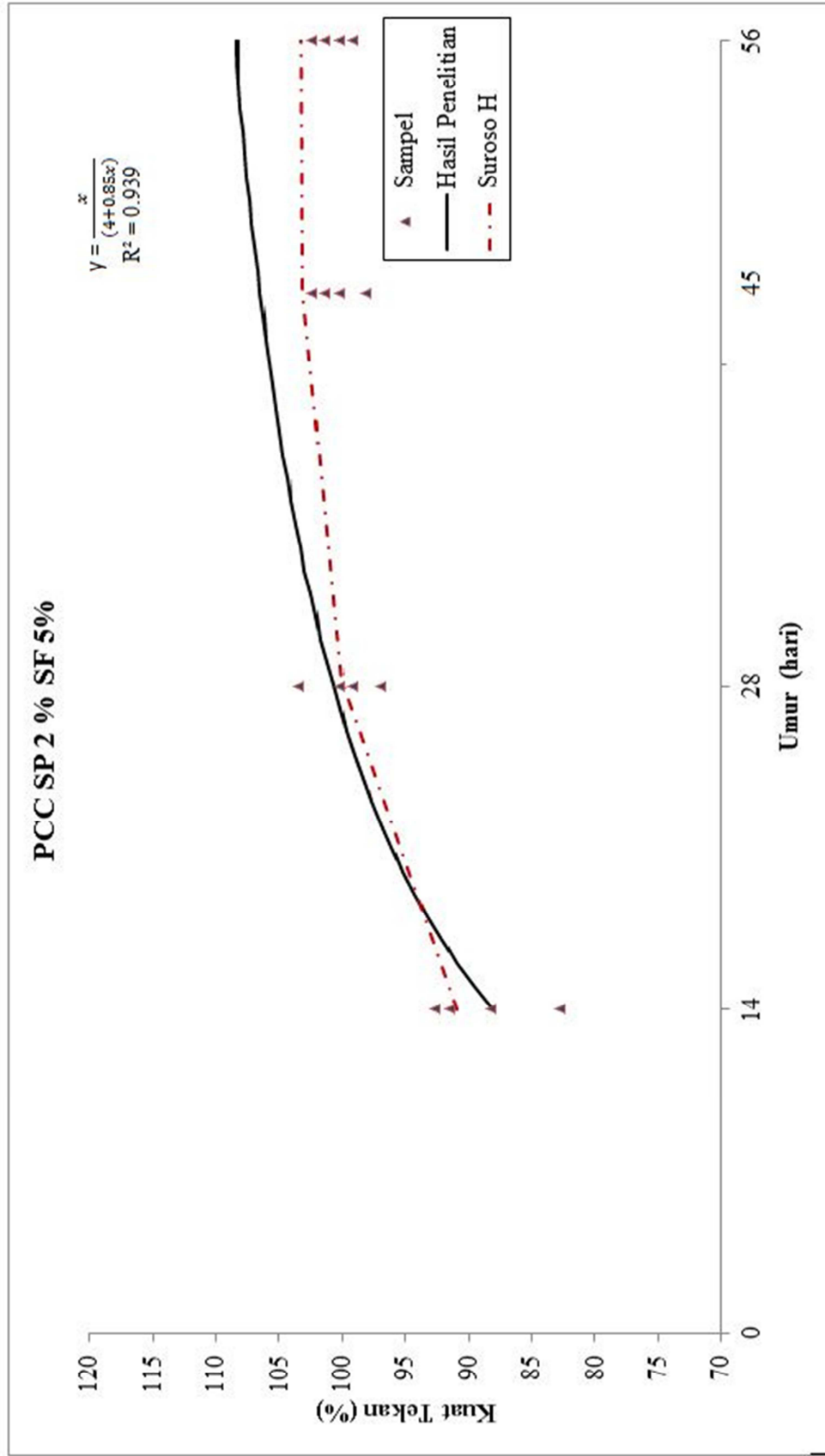
Gambar 4.5. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PPC SP 2% SF 0%



Gambar 4.5. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PPC SP 2% SF 5%



Gambar 4.6. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PCC SP 2% SF 0%



Gambar 4.7. Hubungan antara prosentase kuat tekan dengan umur beton pada sampel PCC SP 2% SF 5%

Berdasarkan hasil pengujian hubungan prosentase kuat tekan dengan umur beton Branson (dalam BPPU), prosentase kenaikan kuat tekan beton pada umur 14, 28, 45, dan 56 hari sebesar 88,05%, 100%, 106,51 % dan 108,53%. Begitu juga halnya, pada hasil penelitian Tanpa Pasir Pantai (Suroso H, 2001) prosentase kuat tekan terhadap umur 90,96 %, 100 %, 103,15 %, dan 104,07%.

Dari Gambar 4.4 pada sampel beton PPC SP 2% SF 0% umur 14, 28, 45 dan 56 hari, prosentase kuat tekan sebesar 80,68%, 100%, 105,76 % dan 113,90%. Dari Gambar 4.5 pada sampel beton PPC SP 2% SF 5% umur 14, 28, 45 dan 56 hari, prosentase kuat tekan beton terhadap umur sebesar 86,45%, 100%, 116,77% dan 121,94%. Hubungan antara prosentase kuat tekan beton dengan pemakaian semen PPC dan umur pada beton dengan bahan tambah superplasticizer dan silika fume mengalami prosentase peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur.

Dari penelitian ini terlihat penggunaan semen PPC pada beton masih mengalami peningkatan prosentase kuat tekan setelah umur 28 hari. Lambatnya perkembangan kuat tekan pada beton dengan pemakaian semen jenis PPC erat kaitanya dengan lambatnya reaksi pozzolanik yang terjadi karena kapur bebas yang diperlukan untuk reaksi pozzolan hanya bersumber dari hasil reaksi mineral C_3S dan C_2S dengan air. Mineral C_3S dan C_2S dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pozzolan untuk menghasilkan senyawa perekat C-S-H (kalsium Siklat Hidrat) tambahan.

Dari Gambar 4.6 Hubungan antara prosentase kuat tekan dan umur beton pada sampel beton PCC SP 2% SF 0% umur 14, 28, 45 dan 56 hari, prosentase kuat tekan sebesar 95,77%, 100%, 103,58 % dan 105,54%. Begitu juga dengan Gambar 4.7 menunjukkan pada sampel beton PCC SP 2% SF 5% umur 14, 28, 45 dan 56 hari, prosentase kuat tekan beton terhadap umur sebesar 88,83%, 100%, 100,54% dan 100,82%. Beton dengan pemakaian semen PCC nampak telah menunjukkan stabilisasi kuat tekan setelah umur 28 hari. Dari sisi kandungan kimia semen PCC proporsi kandungan CaO dan SiO₂ pada semen PCC merupakan komposisi yang dapat menghasilkan perekat C-S-H lebih masif, sehingga perkembangan kekuatan maupun nilainya meningkat dengan pesat hingga umur 28 hari.

Prosentase kuat tekan beton dengan bahan tambah silika fume lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa silika fume. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan tambah silika fume yang bersifat pozolanik dengan ukuran butiran 0,1 μm sehingga pori-pori dalam beton dapat terisi oleh silika fume, sehingga kuat tekan beton dengan penggunaan silika fume lebih tinggi dibandingkan kuat tekan beton tanpa silika fume.

Dari hasil pengujian prosentase kuat tekan beton masih mengalami peningkatan dan dimungkinkan setelah beton berumur 56 hari beton tersebut masih mengalami peningkatan prosentase kuat tekan. Sedangkan dalam penelitian Suroso H (2001) prosentase kenaikan setelah umur 28 hari lebih konstan. Dengan pendekatan rumus apabila umur beton

mencapai umur 1 tahun (365 hari) dari hasil penelitian prosentase kuat tekan sebesar 116,15% dan pendekatan dengan Suroso didapat prosentase kuat tekan sebesar 106,52%.

4.5. Modulus Elastisitas Beton

Dari Tabel 4.4 didapat hasil pengujian modulus elastisitas dengan persamaan 3.12. Dengan persamaan tersebut dapat diketahui besar modulus elastisitas beton tanpa bahan tambah silika fume dan dengan bahan tambah silika fume untuk pengujian benda uji umur 28 hari.

Tabel 4.4. Hasil pengujian Modulus Elastitas (E_c)

Kode Sampel	f_{max}	Tegangan (σ) (Mpa)		Regangan (ϵ)		Modulus Elastisitas (Mpa)
		S_2 $0,4 f_{max}$	S_1	ϵ_2	ϵ_1	
PPC SP 2 % SF 0% (1)	38,55	15,42	3,90	0,00043	0,00005	30.401,445
PPC SP 2 % SF 0% (2)	39,67	15,87	4,12	0,00040	0,00005	33.186,096
PPC SP 2 % SF 0% (3)	40,89	16,36	2,53	0,00043	0,00005	35.943,706
PPC SP 2 % SF 0% (4)	42,75	16,66	1,24	0,00051	0,00005	33.806,314
PPC SP 2 % SF 5% (1)	44,70	17,88	3,78	0,00045	0,00005	35.368,522
PPC SP 2 % SF 5% (2)	40,75	16,30	2,49	0,00044	0,00005	35.551,038
PPC SP 2 % SF 5% (3)	44,25	17,36	5,09	0,00038	0,00005	37.246,525
PPC SP 2 % SF 5% (4)	42,19	16,88	3,73	0,00042	0,00005	35.482,310
PCC SP 2 % SF 0% (1)	41,34	16,22	4,67	0,00040	0,00005	33.459,270
PCC SP 2 % SF 0% (2)	44,70	17,53	4,22	0,00042	0,00005	36.413,538
PCC SP 2 % SF 0% (3)	41,63	16,65	4,61	0,00038	0,00005	37.017,987
PCC SP 2 % SF 0% (4)	43,58	17,43	4,66	0,00041	0,00005	35.304,424
PCC SP 2 % SF 5% (1)	51,40	20,56	3,80	0,00051	0,00005	36.448,090
PCC SP 2 % SF 5% (2)	44,40	17,76	2,94	0,00046	0,00005	35.960,834
PCC SP 2 % SF 5% (3)	52,73	21,09	4,23	0,00048	0,00005	39.629,066
PCC SP 2 % SF 5% (4)	50,17	20,07	5,39	0,00043	0,00005	38.653,963

Pada pengujian modulus elastisitas beton didapat nilai kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari dihasilkan oleh sampel PCC SP 2 % SF 5% (3) sebesar 52.73 MPa dengan nilai modulus elastisitas sebesar 39629.066 MPa.

4.6. Analisis T Test Berat Beton

Setelah dilakukan pengukuran dan pengujian terhadap berat dan volume beton didapat besar berat beton benda uji per m^3 . Data dari pengujian dimasukkan dalam rumus untuk memperoleh harga t dari perbandingan berat benda uji beton per m^3 dengan berat beton per m^3 dalam perencanaan mix design.

Berdasarkan lampiran 23 hasil perhitungan didapat nilai t_o (t hitung) pada sampel SP 2% SF 0%, berat beton sebesar 2,643. Jadi, t_o (2,643) > t_t 5% (2,040). Nilai t hitung yang diperoleh lebih besar dari nilai tabel sehingga perbedaan itu secara statistik dapat diterima. Dengan demikian, hipotesis dapat disimpulkan “Ada perbedaan yang signifikan antara berat benda uji beton per m^3 dengan berat beton per m^3 dalam perencanaan mix design pada sampel SP 2 % SF 0 %”. Dari perhitungan didapat nilai t_o pada sampel SP 2% SF 5%, berat beton sebesar 1,624. Jadi, t_o (1,624) < t_t 5% (2,040). Nilai t hitung yang diperoleh lebih kecil dari nilai tabel sehingga perbedaan itu secara statistik dipandang sama dengan nol atau tidak ada perbedaan. Dengan demikian, hipotesis nol yang berbunyi “Tidak ada perbedaan yang signifikan antara berat benda uji beton per m^3 dengan berat beton per m^3 dalam perencanaan mix design”.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdiri dari simpulan dari hasil penelitian benda uji dan saran terhadap hal-hal yang terkait dengan penggunaan superplasticizer dan silika fume terhadap kuat tekan beton yang dapat dijadikan sebagai acuan penelitian selanjutnya.

5.1. SIMPULAN

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

1. Pengaruh penambahan superplasticizer oleh karena itu dalam mempermudah pekerjaan digunakan bahan tambah admixture superplasticizer (Sika viscocrete 10).
2. Kuat tekan tertinggi dicapai pada sampel beton PPC SP 2% SF 5% dengan umur 56 hari sebesar 53.50 MPa. kuat tekan beton normal <40 MPa, dengan penambahan bahan superplasticizer dan silika fume pada beton didapat hasil kuat tekan beton lebih tinggi dari beton normal.
3. Prosentase kuat tekan pada sampel beton PPC SP 2% SF 0% umur 14, 28, 45 dan 56 hari, didapat prosentase kuat tekan sebesar 80,68%, 100%, 105,76 % dan 113,90%. Sampel beton PPC SP 2% SF 5% prosentase kuat tekan beton terhadap umur sebesar 86,45%, 100%, 116,77% dan 121,94%. Sampel beton PCC SP 2% SF 0% didapat prosentase kuat

tekan sebesar 95,77%, 100%, 103,58 % dan 105,54%. Sampel beton PCC SP 2% SF 5% prosentase kuat tekan beton terhadap umur didapat nilai sebesar 88,83%, 100%, 100,54% dan 100,82%.

4. Prosentase kuat tekan beton 100% terjadi pada umur beton 28 hari. Prosentase kuat tekan beton dengan pemakaian semen PPC masih mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur. Sedangkan, prosentase kuat tekan beton dengan pemakaian semen PCC setelah umur 28 hari cenderung stabil.

5.2. SARAN

Dari uraian diatas dengan merujuk pada hasil dan pembahasan 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 diberikut ini:

1. Dalam pembuatan beton hendaknya perlu quality control yang baik.
2. Agar diperoleh sampel yang baik perlu diperhatikan pada saat pengadukan dan pemadatan beton, karena apabila dalam pemadatan kurang baik, sampel akan mengalami keropos dan ini akan sangat mempengaruhi hasil uji.
3. Perlu varian sampel yang lebih banyak lagi agar dapat diperoleh hasil penelitian beton yang dikehendaki, yaitu beton mutu tinggi.
4. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian pada beton pemakaian semen tipe PPC dan bahan tambah Silika fume pada umur 90 hari, karena beton tersebut masih mengalami peningkatan kuat tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andre L, et al. 2009. ACI Materials Journal September/October No. 106-M46
- Burhan N, Gunawan, Marzuki. 2002. *Statistik Terapan Untuk Penelitian Ilmu-ilmu Social*, Yogyakarta
- I Putu, L I Nyoman Suta, dan I wayan Artana. 2009. *Buku Ajar Konstruksi Beton I*, Denpasar
- Ilham A. 2005. *Pengaruh Sifat-sifat Fisik dan Kimia Bahan Pozolan Pada Beton Kinerja Tinggi*, Media Komunikasi Teknik Sipil Vol. 13, No. 3, Edisi XXXIII Oktober 2005, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*, Jakarta
- Murdock L. J dan Brook. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*, Erlanga, Jakarta
- Nawy Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Terjemahan PT ERESCO, Bandung.
- Nugraha, P. dan Antoni. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan Ke Beton Kinerja Tinggi*
- Pujianto A. 2011. *Beton Mutu Tinggi dengan Admixture Superplasticizer dan Aditif Silicafume*, Jurnal ilmiah semesta Vol.14, No. 2, 177-185, November 2011 : Yogyakarta
- Sobolev, K. 2003. *The development of a new method for the proportioning of high-performance concrete mixtures*. Monterrey: Universidad Autonoma de Nuevo Leon
- Steven H. Beatrix K. and William C. 2003. *Design and Control of Concrete Mixtures*. High-Performance Concrete Chapter 17. Illinoss. USA
- Surya S. 2011. *Jurnal Rekayasa Vol. 15 No.2, Tinjauan Sifat-sifat Mekanik Beton Alir Mutu Tinggi Dengan Silika Fume Sebagai Bahan Tambahan*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- Suroso H. 2001. *Pemanfaatan Pasir Pantai Sebagai Bahan Agregat Halus Pada Beton*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan. 1992. *Sifat-sifat beton mutu sangat tinggi dengan menggunakan fly ash cement, silicafume dan superplasticizers*, Universitas Kristen Petra : Surabaya
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Yogyakarta

Yogendran., et al. 1987. *Silica Fume in High-Strength Concrete*, Technical Paper,
Title no.84-M.15 ACI Material Journal, March-April.Pp.124-129

-----,ASTM C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical
Concrete Specimens

-----,ASTM C 469 The “Standard Test Method for Static Modulus of
Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression,”

-----,SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan A

-----,SK SNI T-15-1990 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton
Normal

-----,SK BI 4.53.1989 Membagi Semen Portland Menjadi 5 Jenis

-----,SK SNI 15-7064-2004 Semen Portland Komposit

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1

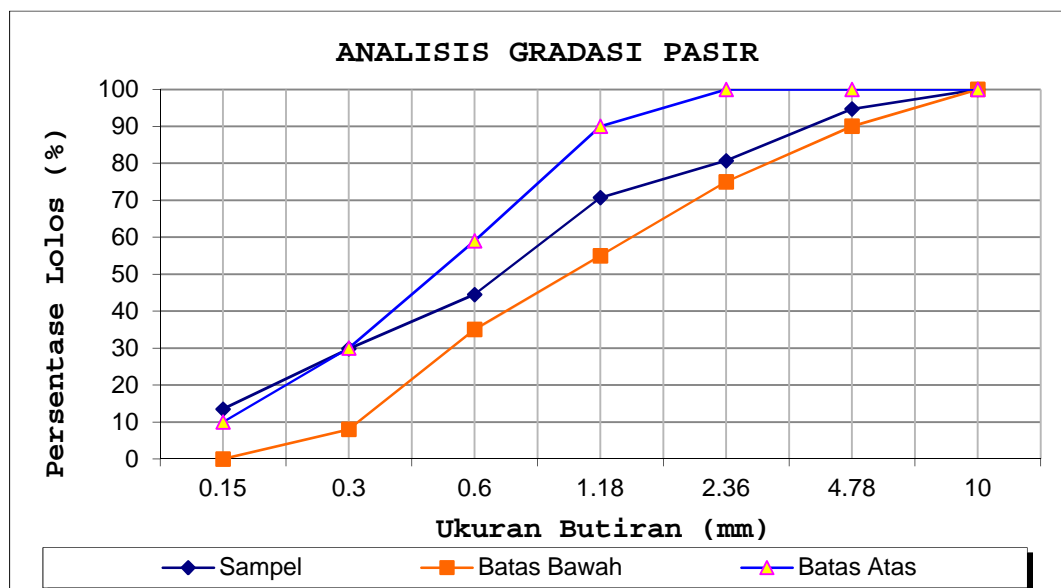
PEMERIKSAAN BERAT JENIS PASIR				
No	Uraian	Hasil		
1	No cawan	1	2	
2	Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) gram	200	200	
3	Berat sampel kering (B) gram	185	183.5	
4	Berat labu ukur + air (C) gram	669	669	
5	Berat labu ukur + berat (SSD) + Air (D) gram	798	796	
6	Berat jenis (bulk) ($B / (C + A) - D$)	2.61	2.51	
7	Berat jenis (SSD) ($A / (C + A) - D$)	2.82	2.74	
8	Berat jenis semu ($B / (C + B - D)$)	3.30	3.25	
9	Penyerapan ($(A - B) / B \times 100\%$)	8.11	8.99	
Berat jenis rata-rata		2.56		

LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES

Lampiran 2

PEMERIKSAAN GRADASI PASIR					
Diameter ayakan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat tertahan (gram)	Prosentase berat tertahan (%)	Berat komulatif tertahan (%)	Berat komulatif lolos (%)
10	432	0	0	0	100
4.8	317	53	5.3	5.3	94.7
2.4	320	140	14	19.3	80.7
1.2	418	100	10	29.3	70.7
0.6	292	262	26.2	55.5	44.5
0.3	293	147	14.7	70.2	29.8
0.15	287	163	16.3	86.5	13.5
PAN	263	135	13.5	100	0
Jumlah		1000	100	366.1	

Modulus Halus Butir (MHB) : 3.661



Keterangan : Dari grafik analisa gradasi pasir, pasir masuk Zone 2 (pasir agak kasar)

Lampiran 3

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR PASIR				
No	Uraian		Hasil	
			1	2
1	Berat cawan		124	119
2	Berat pasir kering sebelum dicuci (A)	gram	500	500
3	Berat pasir kering setelah dicuci (B)	gram	485.3	481
4	Kadar lumpur ((A) - (B) / A) x 100 %		2.94	3.8
Kadar lumpur Rata-rata			3.37	
<p>* Dari hasil pengujian kadar lumpur pasir di atas, kerikil memenuhi syarat yang ditetapkan SKSNI < 5 %</p>				
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES				

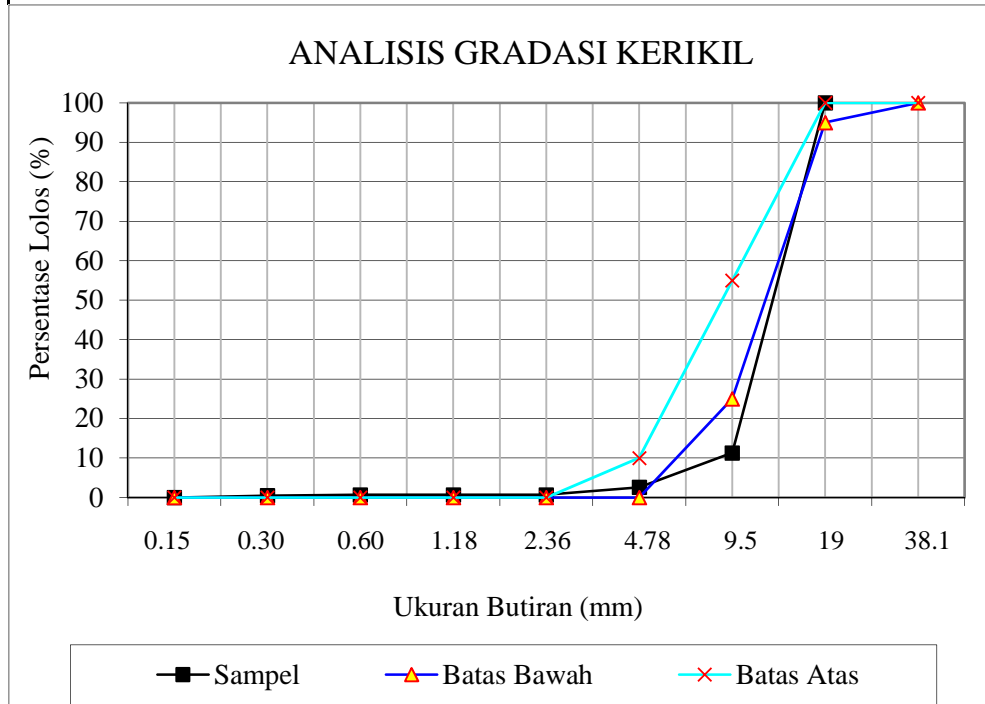
Lampiran 4

PEMERIKSAAN BERAT JENIS KERIKIL				
No	Uraian	Hasil		
1	No Cawan	1	2	
2	Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) gram	500	500	
3	Berat sampel dalam air (B) gram	318	315	
4	Berat contoh kering (C) gram	486	488	
5	Berat Jenis (Bulk Specific Gravity) (C / (A - B)	2.67	2.64	
6	Berat jenis (SSD) (A / (A - B)	2.75	2.70	
7	Berat jenis Semu (C / (C - B)	2.89	2.82	
8	Penyerapan agregat ((A - C) / C) x 100 %	2.88	2.46	
Berat jenis rata-rata		2.65		

Lampiran 5

PEMERIKSAAN GRADASI KERIKIL				
Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Prosentase berat Tertahan (%)	Berat komulatif Tertahan (%)	Berat komulatif Lolos (%)
50	0	0	0	100
38.1	0	0.00	0.00	100
19	0	0.00	0.00	100.00
9.5	887	88.70	88.70	11.30
4.75	87	8.70	97.40	2.60
2.36	19	1.90	99.30	0.70
1.18	0	0.00	99.30	0.70
0.6	0	0.00	99.30	0.70
0.3	2	0.20	99.50	0.50
0.15	5	0.50	100.00	0.00
PAN				
Jumlah	1000	100.00	683.50	

Modulus Halus Butir (MHB) :6.835



Grafik kerikil butiran maksimum 20 mm

Lampiran 6

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR KERIKIL

No	Uraian		Hasil	
			1	2
1	Berat Cawan	gram	124	119
2	Berat kering sebelum dicuci (A)	gram	500	500
3	Berat kerikil kering setelah dicuci (B)	gram	496	495.4
4	Kadar lumpur ((A) - (B) / A) x 100 %		0.8	0.92
Kadar lumpur Rata-rata			0.86	

* Dari hasil pengujian kadar lumpur kerikil di atas,
pasir memenuhi syarat yang ditetapkan SKSNI < 1%

Lampiran 7

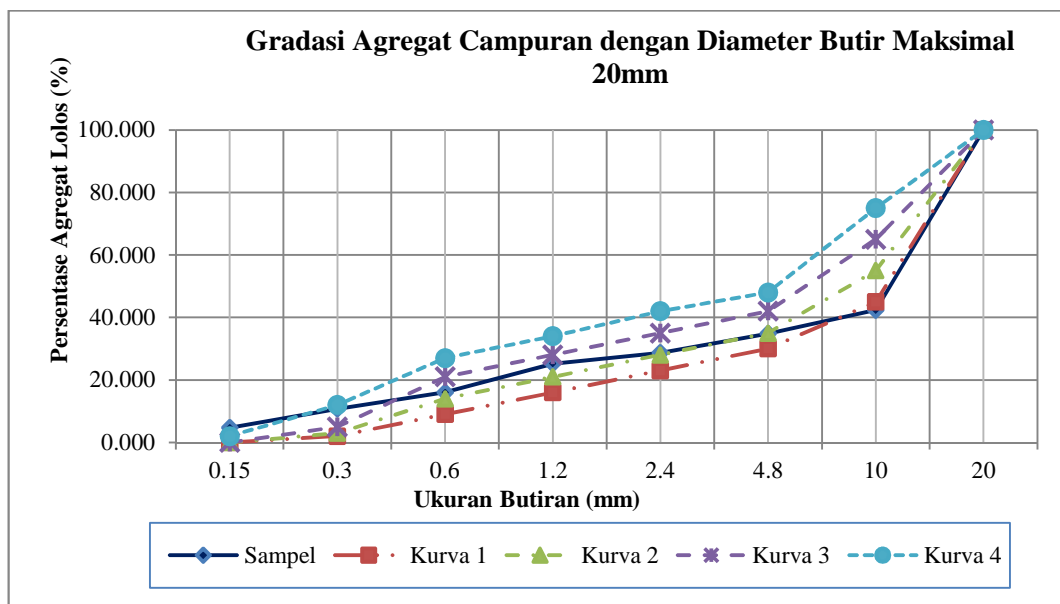
PEMERIKSAAN KEAUSAN AGERGAT KASAR				
(LOS ANGGLES TEST)				
No	Uraian	Hasil		
		1	2	
1	Berat sampel sebelum diuji (A)	gram	1000	1000
2	Berat sampel setelah diuji (B)	gram	747	772
3	prosentase keausan ((A) - (B)) / A x 100	%	25.30	22.80
Prosentase rata-rata			24.05	
Agregat kasar ukuran maks 20 mm				
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES				

Lampiran 8

ANALISIS GRADASI CAMPURAN

Diameter saringan (mm)	Persentase Berat Kumulatif yang Lolos (%)		Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar (%)	Persentase Berat Lolos pada Agregat Campuran (%)		Persentase Berat Kumulatif	
	Agregat Halus	Agregat Kasar		Agregat Halus	Agregat Kasar	Lolos (%)	Tertahan (%)
20	100	100	35 : 65	35	65	100	0
10	100	11.3		35.000	7.345	42.345	57.655
4.8	94.7	2.6		33.145	1.690	34.835	65.165
2.4	80.7	0.7		28.245	0.455	28.700	71.300
1.2	70.7	0.7		24.745	0.455	25.200	74.800
0.6	44.5	0.7		15.575	0.455	16.030	83.970
0.3	29.8	0.5		10.430	0.325	10.755	89.245
0.15	13.5	0		4.725	0	4.725	95.275
PAN	-	-		-	-	-	-
Jumlah					162.590	537.410	

Modulus Halus Butir (MHB) : 5.374



Lampiran 9

MIX DESIGN BETON PPC SP 2% SF 0%

1	Deviasi standar (S)	2.8	Mpa
2	Nilai Tambah (m)	4.592	Mpa
3	Kuat tekan beton pada umur 28 hari, (fc')	60	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata (fcr = fc' + m)	64.592	Mpa
5	Jenis semen	PPC	
6	Jenis agregrat		
	a. agregrat halus (alami/pecahan)	Alami	
	b. agregrat kasar (alami/pecahan)	Pecahan	
7	Faktor air semen (w/s)	0.3	
8	Faktor silika fume semen (s/c)	0	%
9	Nilai Slump	70	mm
10	Ukuran maksimum butiran	20	mm
11	Kebutuhan air per m3	133.2	kg/m3
12	Kebutuhan semen per m3	444	kg/m3
13	Kebutuhan silika fume per m3	0	kg/m3
14	Kebutuhan Super Plasticizer	8.88	kg/m3
15	Jenis Agregrat halus (Tulis : 1, 2, 3, dan 4)	2	
16	Proporsi berat agregrat halus thd campuran	35	%
17	Berat jenis agregrat campuran	2.619	
18	Perkiraan berat beton per m3	2478.08	kg/m3
19	Kebutuhan agregrat campuran per m3	1892	kg/m3
20	kebutuhan agregrat halus per m3	662.2	kg/m3
21	Kebutuhan agregrat kasar per m3	1229.8	kg/m3

volume silinder: 0.0053 m3

Rencana pembuatan Beton

Kebutuhan dasar beton (kg) + 10 %

	Volume	Berat (kg)	Air	Semen (PPC)	Super Plasticizer (2%)	Silica fume (0%)	Agregat halus	Agregat Kasar
Jumlah	1 m3	2478.08	133.2	444	8.88	0	662.2	1229.8
1	0.0053		0.71	2.35	0.05	0	3.51	6.52
16	0.08478		11.29	37.64	0.75	0	56.14	104.26
10%	0.09326		12.42	41.41	0.83	0	61.76	114.69

Lampiran 10

MIX DESIGN PPC SP 2% SF 5%

1	Deviasi standar (S)	2.8	Mpa
2	Nilai Tambah (m)	4.592	Mpa
3	Kuat tekan beton pada umur 28 hari, (fc')	60	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata (fcr = fc' + m)	64.592	Mpa
5	Jenis semen	PPC	
6	Jenis agregrat		
	a. agregrat halus (alami/pecahan)	Alami	
	b. agregrat kasar (alami/pecahan)	Pecahan	
7	Faktor air semen (w/s)	0.3	
8	Faktor silika fume semen (s/c)	5	%
9	Nilai Slump	70	mm
10	Ukuran maksimum butiran	20	mm
11	Kebutuhan air per m ³	133.2	kg/m ³
12	Kebutuhan semen per m ³	444	kg/m ³
13	Kebutuhan silika fume per m ³	22.2	kg/m ³
14	Kebutuhan Super Plasticizer	8.88	kg/m ³
15	Jenis Agregrat halus (Tulis : 1, 2, 3, dan 4)	2	
16	Proporsi berat agregrat halus thd campuran	35	%
17	Berat jenis agregrat campuran	2.619	
18	Perkiraan berat beton per m ³	2500.28	kg/m ³
19	Kebutuhan agregrat campuran per m ³	1892	kg/m ³
20	kebutuhan agregrat halus per m ³	662.2	kg/m ³
21	Kebutuhan agregrat kasar per m ³	1229.8	kg/m ³

volume silinder: 0.0053 m³

Rencana pembuatan Beton

Kebutuhan dasar beton (kg) + 10 %

	Volume	Berat (kg)	Air	Semen (PPC)	Super Plasticizer (2%)	Silica fume (5%)	Agregat halus	Agregat Kasar
Jumlah	1 m ³	2478.08	133.2	444	8.88	22.2	662.2	1229.8
1	0.0053		0.71	2.35	0.05	0.12	3.51	6.52
16	0.08478		11.29	37.64	0.75	1.88	56.14	104.26
10%	0.09326		12.42	41.41	0.83	2.07	61.76	114.69

Lampiran 11

MIX DESIGN PCC SP 2% SF 0%

1	Deviasi standar (S)	2.8	Mpa
2	Nilai Tambah (m)	4.592	Mpa
3	Kuat tekan beton pada umur 28 hari, (fc')	60	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata (fcr = fc' + m)	64.592	Mpa
5	Jenis semen	PCC	
6	Jenis agregrat		
	a. agregrat halus (alami/pecahan)	Alami	
	b. agregrat kasar (alami/pecahan)	Pecahan	
7	Faktor air semen (w/s)	0.3	
8	Faktor silika fume semen (s/c)	0	%
9	Nilai Slump	70	mm
10	Ukuran maksimum butiran	20	mm
11	Kebutuhan air per m ³	133.2	kg/m ³
12	Kebutuhan semen per m ³	444	kg/m ³
13	Kebutuhan silika fume per m ³	0	kg/m ³
14	Kebutuhan Super Plasticizer	8.88	kg/m ³
15	Jenis Agregrat halus (Tulis : 1, 2, 3, dan 4)	2	
16	Proporsi berat agregrat halus thd campuran	35	%
17	Berat jenis agregrat campuran	2.619	
18	Perkiraan berat beton per m ³	2478.08	kg/m ³
19	Kebutuhan agregrat campuran per m ³	1892	kg/m ³
20	kebutuhan agregrat halus per m ³	662.2	kg/m ³
21	Kebutuhan agregrat kasar per m ³	1229.8	kg/m ³

volume silinder: 0.0053 m³

Rencana pembuatan Beton

Kebutuhan dasar beton (kg) + 10 %

	Volume	Berat (kg)	Air	Semen (PCC)	Super Plasticizer (2%)	Silica fume (0%)	Agregat halus	Agregat Kasar
Jumlah	1 m ³	2478.08	133.2	444	8.88	0	662.2	1229.8
1	0.0053		0.71	2.35	0.05	0	3.51	6.52
16	0.08478		11.29	37.64	0.75	0	56.14	104.26
10%	0.09326		12.42	41.41	0.83	0	61.76	114.69

Lampiran 12

MIX DESIGN PCC SP 2% SF 5%

1	Deviasi standar (S)	2.8	Mpa
2	Nilai Tambah (m)	4.592	Mpa
3	Kuat tekan beton pada umur 28 hari, (fc')	60	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata (fcr = fc' + m)	64.592	Mpa
5	Jenis semen	PCC	
6	Jenis agregrat		
	a. agregrat halus (alami/pecahan)	Alami	
	b. agregrat kasar (alami/pecahan)	Pecahan	
7	Faktor air semen (w/s)	0.3	
8	Faktor silika fume semen (s/c)	5	%
9	Nilai Slump	70	mm
10	Ukuran maksimum butiran	20	mm
11	Kebutuhan air per m ³	133.2	kg/m ³
12	Kebutuhan semen per m ³	444	kg/m ³
13	Kebutuhan silika fume per m ³	22.2	kg/m ³
14	Kebutuhan Super Plasticizer	8.88	kg/m ³
15	Jenis Agregrat halus (Tulis : 1, 2, 3, dan 4)	2	
16	Proporsi berat agregrat halus thd campuran	35	%
17	Berat jenis agregrat campuran	2.619	
18	Perkiraan berat beton per m ³	2500.28	kg/m ³
19	Kebutuhan agregrat campuran per m ³	1892	kg/m ³
20	kebutuhan agregrat halus per m ³	662.2	kg/m ³
21	Kebutuhan agregrat kasar per m ³	1229.8	kg/m ³

volume silinder: 0.0053 m³

Rencana pembuatan Beton

Kebutuhan dasar beton (kg) + 10 %

	Volume	Berat (kg)	Air	Semen (PCC)	Super Plasticizer (2%)	Silica fume (0%)	Agregat halus	Agregat Kasar
Jumlah	1 m ³	2478.08	133.2	444	8.88	22.2	662.2	1229.8
1	0.0053		0.71	2.35	0.05	0.12	3.51	6.52
16	0.08478		11.29	37.64	0.75	1.88	56.14	104.26
10%	0.09326		12.42	41.41	0.83	2.07	61.76	114.69

Lampiran 13

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Kode sampel	Slump (cm)	No. Benda Uji	Dimensi		Volume (V)	Berat (kg)	Berat Volume (Kg/m3)	P (Ton)	P (kg)	K kg/cm ²	f _c ' N/mm ² (Mpa)	Rata-rata f _c '
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)								
PPC SP 2% SF 0%												
PPC SP 2% SF 0% 14 hari	14.4	1	15.2	30.3	0.00550	13.48	2452.96	56	56000	382	31.71	33.69
		2	15.1	29.8	0.00533	13.05	2446.64	57	57000	388.82	32.27	
		3	15	30.2	0.00533	13.608	2551.15	60	60000	409.28	33.97	
		4	15.1	30.1	0.00539	13.621	2528.24	65	65000	443.39	36.80	
PPC SP 2% SF 0% 28 hari	13	1	15.1	30.1	0.00539	13.598	2523.97	74	74000	504.78	41.90	41.76
		2	15.16	30.2	0.00545	13.619	2499.60	72	72000	491.14	40.76	
		3	15.08	30.05	0.00536	13.361	2490.70	73	73000	497.96	41.33	
		4	15.1	30.15	0.00540	13.497	2501.07	76	76000	518.42	43.03	
PPC SP 2% SF 0% 45 hari	14.2	1	14.94	30.1	0.00527	13.225	2507.60	75	75000	511.60	42.46	44.16
		2	15.12	30.25	0.00543	13.368	2462.45	79	79000	538.89	44.73	
		3	15.1	30.3	0.00542	13.406	2471.91	80	80000	545.71	45.29	
		4	15.1	30.1	0.00539	13.312	2470.89	78	78000	532.06	44.16	
PPC SP 2% SF 0% 56 hari	15.3	1	15.13	30.1	0.00541	13.475	2491.24	82	82000	559.35	46.43	47.56
		2	15.1	30.3	0.00542	13.516	2492.19	84	84000	572.99	47.56	
		3	15.2	30.12	0.00546	13.676	2503.50	83	83000	566.17	46.99	
		4	15.1	30.2	0.00541	13.349	2469.55	87	87000	593.46	49.26	

Lampiran 14

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Kode sampel	Slump (cm)	No. Benda Uji	Dimensi		Volume (V)	Berat (kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	P (Ton)	P (kg)	K kg/cm ²	fc' N/mm ² (Mpa)	Rata-rata fc'
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)								
PPC SP 2% SF 5%												
PPC SP 2% SF 5% 14	13.4	1	15.1	30	0.00537	13.467	2507.991	65	65000	443.39	36.80	37.93
		2	15	29.5	0.00521	13.347	2561.589	66	66000	450.21	37.37	
		3	15.1	30	0.00537	13.532	2520.097	73	73000	497.96	41.33	
		4	15	30	0.00530	13.466	2541.354	64	64000	436.57	36.23	
PPC SP 2% SF 5% 28	13	1	15.1	30.1	0.00539	13.539	2513.023	80	80000	545.71	45.29	43.88
		2	15.21	30.1	0.00547	13.471	2464.366	74	74000	504.78	41.90	
		3	15.08	30.3	0.00541	13.561	2507.129	79	79000	538.89	44.73	
		4	15.1	30.25	0.00541	13.431	2480.615	77	77000	525.24	43.60	
PPC SP 2% SF 5% 45	12.9	1	15.06	30.3	0.00539	13.566	2514.720	96	96000	654.85	54.35	51.24
		2	15.16	30.1	0.00543	13.678	2518.767	89	89000	607.10	50.39	
		3	15.18	30.2	0.00546	13.546	2479.653	86	86000	586.64	48.69	
		4	15.1	30.1	0.00539	13.436	2493.905	91	91000	620.74	51.52	
PPC SP 2% SF 5% 60	12.5	1	15.12	30.15	0.00541	13.489	2492.982	91	91000	620.74	51.52	53.50
		2	15.1	30.1	0.00539	13.658	2535.111	95	95000	648.03	53.79	
		3	15.05	30.2	0.00537	13.593	2531.429	98	98000	668.49	55.48	
		4	15.25	30.3	0.00553	13.621	2462.391	94	94000	641.21	53.22	

Lampiran 15

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

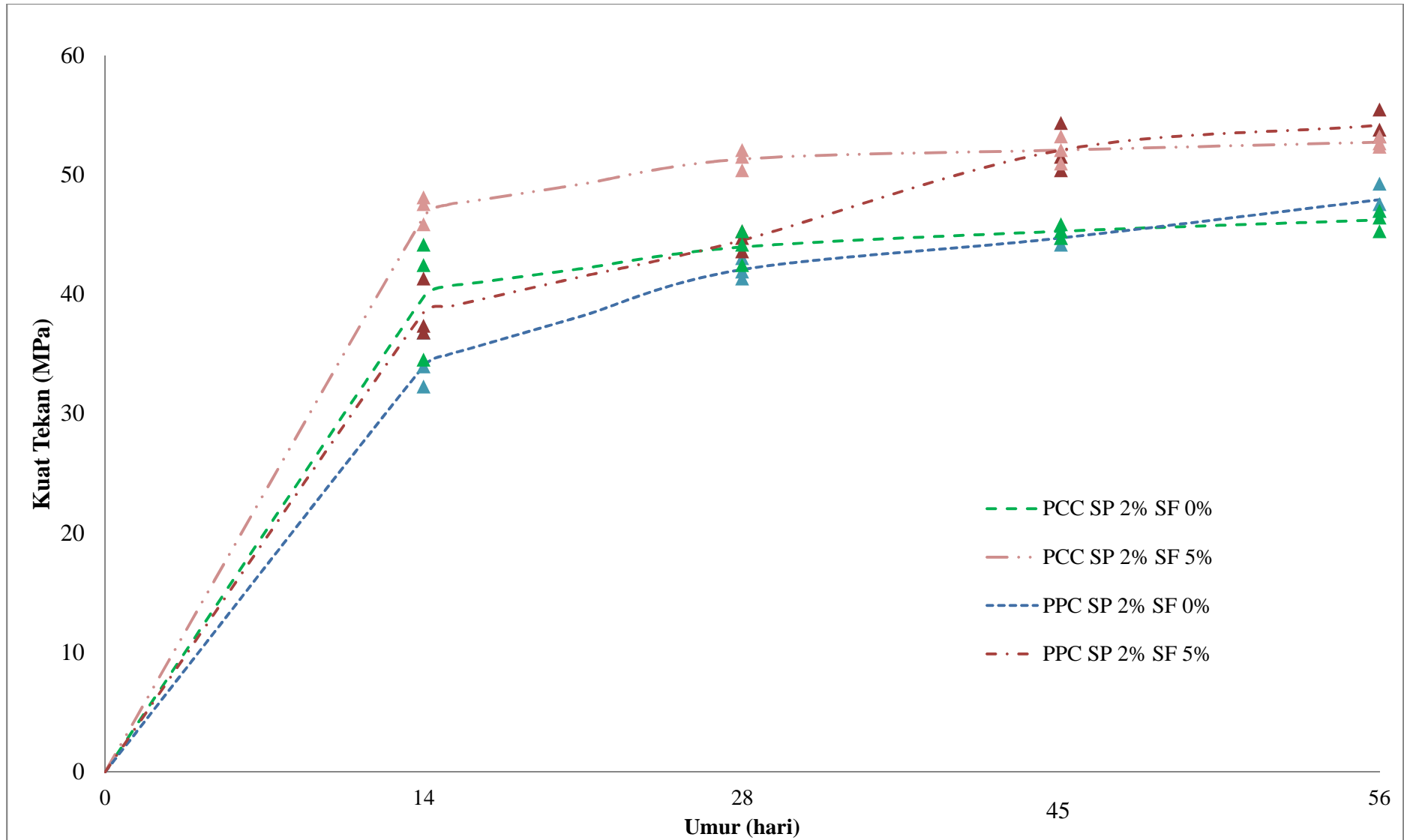
Kode sampel	Slump (cm)	No. Benda Uji	Dimensi		Volume (V)	Berat (kg)	Berat Volume (Kg/m3)	P (Ton)	P (kg)	K kg/cm ²	f _c ' N/mm ² (Mpa)	Rata-rata f _c '
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)								
PCC SP 2% SF 0%												
PCC SP 2% SF 0% 14 hari	13.6	1	15.2	30	0.00544	13.482	2477.857	61	61000	416.10	34.54	41.61
		2	15.05	29.5	0.00525	13.561	2585.396	80	80000	545.71	45.29	
		3	15	30.3	0.00535	13.562	2534.130	78	78000	532.06	44.16	
		4	15.1	30.1	0.00539	13.335	2475.158	75	75000	511.60	42.46	
PCC SP 2% SF 0% 28 hari	12.7	1	15.1	30.4	0.00544	13.556	2491.348	74	74000	504.78	41.90	43.45
		2	15.1	30.2	0.00541	13.57	2510.437	80	80000	545.71	45.29	
		3	15.15	30.2	0.00544	13.554	2490.953	75	75000	511.60	42.46	
		4	15.1	30.2	0.00541	13.449	2488.052	78	78000	532.06	44.16	
PCC SP 2% SF 0% 45 hari	13.4	1	15.1	30.1	0.00539	13.66	2535.483	81	81000	552.53	45.86	45.01
		2	15.08	30	0.00536	13.214	2467.407	78	78000	532.06	44.16	
		3	15.1	30.3	0.00542	13.283	2449.232	79	79000	538.89	44.73	
		4	15.12	30.1	0.00540	13.367	2474.538	80	80000	545.71	45.29	
PCC SP 2% SF 0% 56 hari	13.8	1	15.1	30.2	0.00540	13.534	2503.777	83	83000	566.17	46.99	45.86
		2	15.13	30.15	0.00541	13.287	2452.405	80	80000	545.71	45.29	
		3	15.05	30.3	0.00538	13.365	2480.754	82	82000	559.35	46.43	
		4	15.1	30	0.00536	13.334	2483.223	79	79000	538.89	44.73	

Lampiran 16

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Kode sampel	Slump (cm)	No. Benda Uji	Dimensi		Volume (V)	Berat (kg)	Berat Volume (Kg/m3)	P (Ton)	P (kg)	K kg/cm ²	fc' N/mm2 (Mpa)	Rata-rata fc'
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)								
PCC SP 2% SF 5%												
PCC SP 2% SF 5% 14	13.2	1	15.1	30.3	0.00542	13.532	2495.145	84	84000	572.99	47.56	46.14
		2	15.2	30.1	0.00546	13.598	2490.874	85	85000	579.81	48.12	
		3	15.05	30.1	0.00535	13.562	2534.047	76	76000	518.42	43.03	
		4	15.1	30.1	0.00539	13.402	2487.594	81	81000	552.53	45.86	
PCC SP 2% SF 5% 28	12.8	1	15.1	30.2	0.00541	13.631	2521.722	92	92000	627.56	52.09	51.95
		2	15.15	30.3	0.00546	13.570	2485.663	89	89000	607.10	50.39	
		3	15.15	30.5	0.00550	13.645	2483.012	95	95000	648.03	53.79	
		4	15.2	30.1	0.00546	13.587	2488.859	91	91000	620.74	51.52	
PCC SP 2% SF 5% 45	12.7	1	15.12	30.2	0.00542	13.612	2511.550	92	92000	627.56	52.09	52.23
		2	15.1	30.3	0.00542	13.556	2499.570	93	93000	634.38	52.65	
		3	15.1	30.2	0.00541	13.542	2505.257	94	94000	641.21	53.22	
		4	15.15	30.2	0.00544	13.568	2493.526	90	90000	613.92	50.96	
PCC SP 2% SF 5% 60	13.8	1	15.1	30.1	0.00539	13.564	2517.664	91	91000	620.74	51.52	52.37
		2	15	30.2	0.00533	13.432	2518.150	94	94000	641.21	53.22	
		3	15.05	30.4	0.00541	13.562	2509.040	92	92000	627.56	52.09	
		4	14.95	30.3	0.00532	13.671	2571.613	93	93000	634.38	52.65	

Lampiran 17

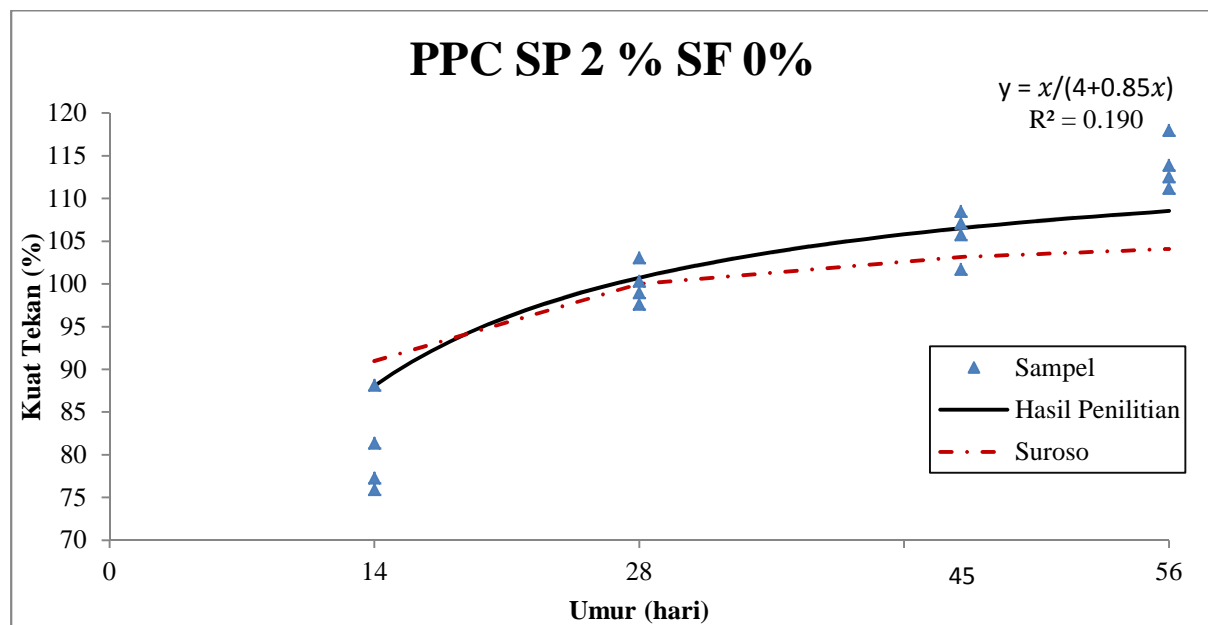


**ANALISIS REGRESI KUAT TEKAN BETON
PPC SP 2% SF 0%**

No	Umur (hari)	fc Mpa	Y (%) fc	Ŷ	ŷ = Y-Ŷ	(ŷ) ²	y = Y - Ŷ	(Y-Ŷ) ²	(Y - Ŷ) ²	
1	14	31.71	75.93	88.05	-12.12	146.85	-22.36	146.85	499.81	
2	14	32.27	77.29	88.05	-10.76	115.82	-21.00	115.82	441.02	
3	14	33.97	81.36	88.05	-6.69	44.81	-16.93	44.81	286.72	
4	14	36.80	88.14	88.05	0.09	0.01	-10.15	0.01	103.09	
5	28	41.90	100.34	100.72	-0.38	0.14	2.05	0.14	4.20	
6	28	40.76	97.63	100.72	-3.09	9.56	-0.66	9.56	0.44	
7	28	41.33	98.98	100.72	-1.74	3.01	0.69	3.01	0.48	
8	28	43.03	103.05	100.72	2.33	5.44	4.76	5.44	22.68	
9	45	42.46	101.69	106.51	-4.81	23.17	3.41	23.17	11.60	
10	45	44.73	107.12	106.51	0.61	0.37	8.83	0.37	77.97	
11	45	45.29	108.47	106.51	1.97	3.86	10.19	3.86	103.75	
12	45	44.16	105.76	106.51	-0.75	0.56	7.47	0.56	55.86	
13	56	46.43	111.19	108.53	2.66	7.07	12.90	7.07	166.35	
14	56	47.56	113.90	108.53	5.37	28.85	15.61	28.85	243.66	
15	56	46.99	112.54	108.53	4.02	16.12	14.25	16.12	203.17	
16	56	49.26	117.97	108.53	9.44	89.09	19.68	89.09	387.20	
				Ŷ = 98.29					Σ(Y-Ŷ) ² = 494.76	Σ(Y - Ŷ) ² = 2608.00

Rata-rata fc pada 28 hari 41,75 MPa (100 %)

$$F = \frac{JK_{reg}}{JK_{res}} = \frac{\sum (Y-\hat{Y})^2}{\sum (Y-\bar{Y})^2} = \frac{494.76}{2608.00} = 0.190$$

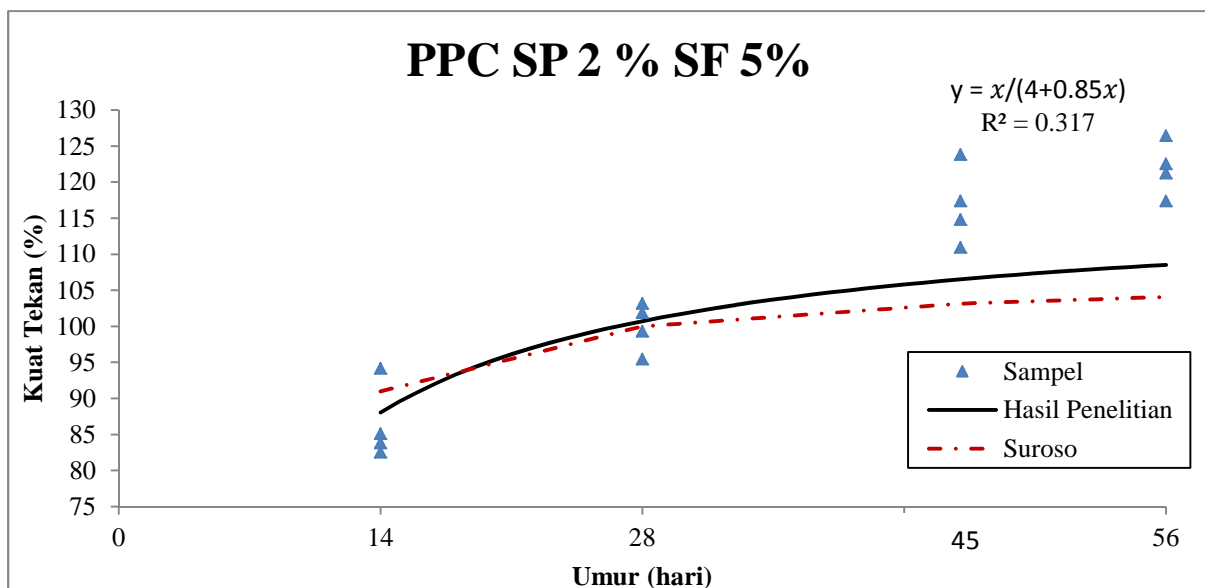


**ANALISIS REGRESI KUAT TEKAN BETON
PPC SP 2% SF 5%**

No	Umur (hari)	fc Mpa	Y (% fc)	Ŷ	ŷ = Y - Ŷ	(ŷ) ²	y = Y - Ȳ	(Y - Ŷ) ²	(Y - Ȳ) ²
1	14	36.80	83.87	88.05	-4.2	17.5	-14.42	17.47	207.87
2	14	37.37	85.16	88.05	-2.9	8.3	-13.13	8.35	172.33
3	14	41.33	94.19	88.05	6.1	37.7	-4.10	37.74	16.77
4	14	36.23	82.58	88.05	-5.5	29.9	-15.71	29.92	246.74
5	28	45.29	103.23	100.72	2.5	6.3	4.94	6.28	24.37
6	28	41.90	95.48	100.72	-5.2	27.4	-2.80	27.41	7.87
7	28	44.73	101.94	100.72	1.2	1.5	3.65	1.48	13.30
8	28	43.60	99.35	100.72	-1.4	1.9	1.07	1.86	1.14
9	45	54.35	123.87	106.51	17.4	301.4	25.58	301.44	654.45
10	45	50.39	114.84	106.51	8.3	69.4	16.55	69.39	273.90
11	45	48.69	110.97	106.51	4.5	19.9	12.68	19.88	160.76
12	45	51.52	117.42	106.51	10.9	119.0	19.13	119.04	365.98
13	56	51.52	117.42	108.53	8.9	79.1	19.13	79.07	365.98
14	56	53.79	122.58	108.53	14.1	197.5	24.29	197.50	590.10
15	56	55.48	126.45	108.53	17.9	321.3	28.16	321.29	793.15
16	56	53.22	121.29	108.53	12.8	162.9	23.00	162.90	529.07
				Ȳ = 98.29				Σ(Y - Ŷ) ² = 1401.011	Σ(Y - Ȳ) ² = 4423.785

Rata-rata fc pada 28 hari 43,87 MPa (100 %)

$$F = \frac{JK_{reg}}{JK_{res}} = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} = \frac{1401.011}{4423.785} = 0.317$$

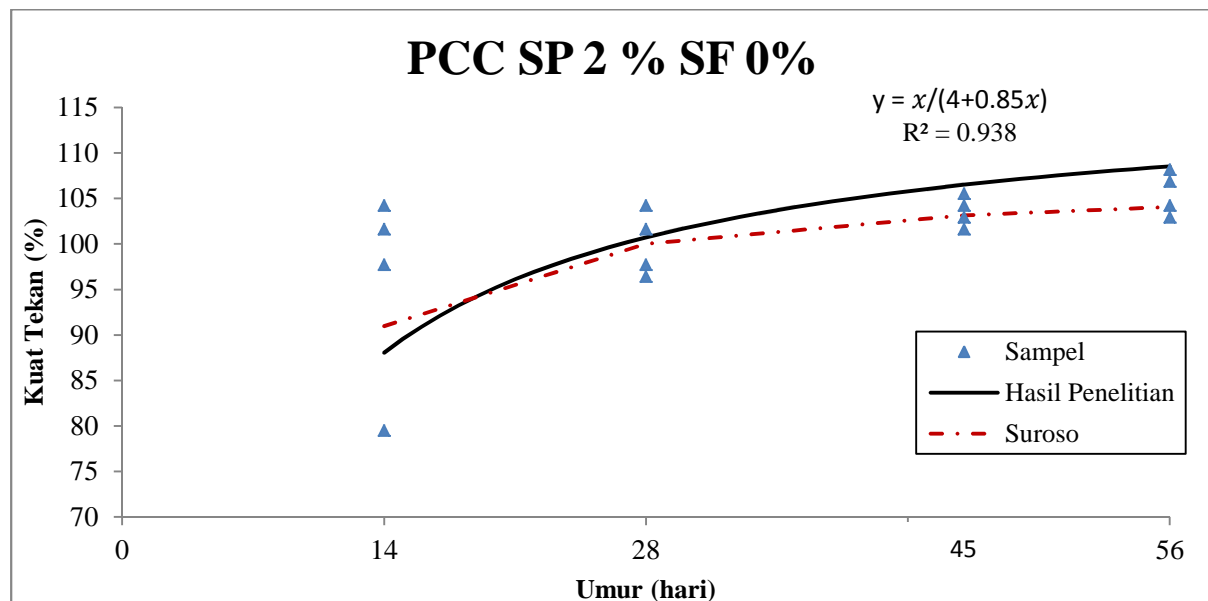


**ANALISIS REGRESI KUAT TEKAN BETON
PCC SP 2% SF 0%**

No	Umur (hari)	fc Mpa	Y (% fc)	Ŷ	ŷ = Y - Ŷ	(ŷ)²	y = Y - Ȳ	(Y - Ŷ)²	(Y - Ȳ)²
1	14	34.54	79.48	88.05	-8.57	73.47	-18.81	73.47	353.81
2	14	45.29	104.23	88.05	16.18	261.93	5.95	261.93	35.35
3	14	44.16	101.63	88.05	13.58	184.37	3.34	184.37	11.16
4	14	42.46	97.72	88.05	9.67	93.50	-0.57	93.50	0.32
5	28	41.90	96.42	100.72	-4.30	18.51	-1.87	18.51	3.50
6	28	45.29	104.23	100.72	3.52	12.36	5.95	12.36	35.35
7	28	42.46	97.72	100.72	-3.00	9.00	-0.57	9.00	0.32
8	28	44.16	101.63	100.72	0.91	0.83	3.34	0.83	11.16
9	45	45.86	105.54	106.51	-0.97	0.94	7.25	0.94	52.54
10	45	44.16	101.63	106.51	-4.88	23.82	3.34	23.82	11.16
11	45	44.73	102.93	106.51	-3.58	12.80	4.64	12.80	21.56
12	45	45.29	104.23	106.51	-2.27	5.17	5.95	5.17	35.35
13	56	46.99	108.14	108.53	-0.38	0.15	9.85	0.15	97.11
14	56	45.29	104.23	108.53	-4.29	18.43	5.95	18.43	35.35
15	56	46.43	106.84	108.53	-1.69	2.85	8.55	2.85	73.13
16	56	44.73	102.93	108.53	-5.60	31.31	4.64	31.31	21.56
				Ȳ = 98.29				Σ(Y - Ŷ)² = 749.42	Σ(Y - Ȳ)² = 798.74

Rata-rata fc pada 28 hari 43,45 MPa (100 %)

$$F = \frac{JK_{reg}}{JK_{res}} = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} = \frac{749.42}{798.74} = 0.938$$



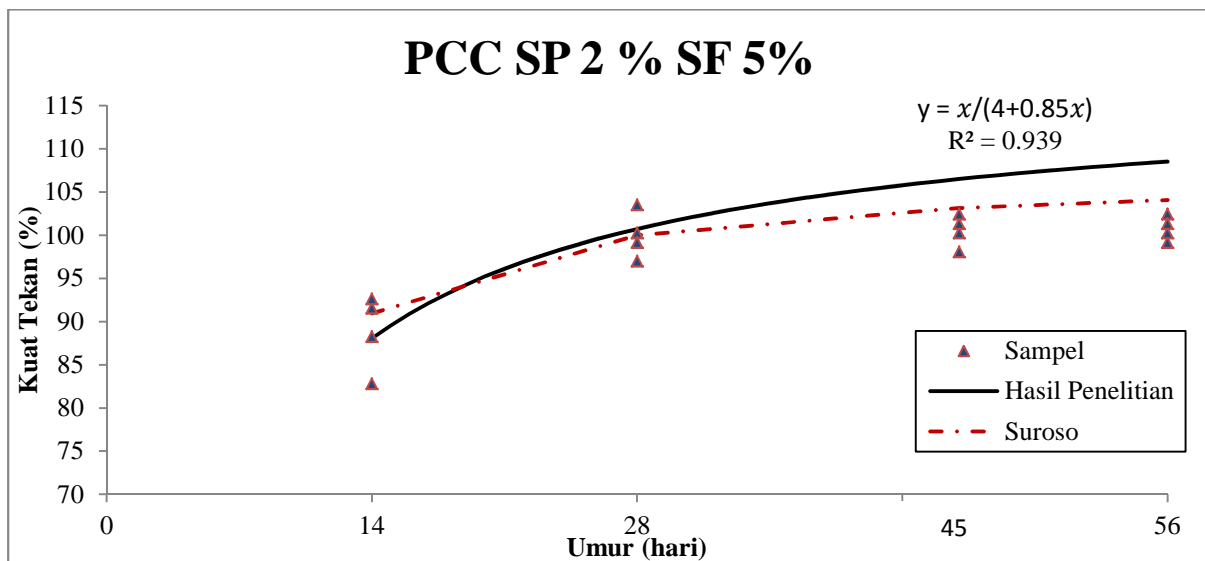
ANALISIS REGRESI KUAT TEKAN BETON

PCC SP 2% SF 5%

No	Umur (hari)	fc Mpa	Y (%) fc	Ŷ	ŷ = Y-Ŷ	(ŷ) ²	y = Y - Ŷ	(Y-Ŷ) ²	(Y - Ŷ) ²
1	14	47.56	91.55	88.1	3.5	12.3	-6.74	12.27	45.37
2	14	48.12	92.64	88.1	4.6	21.1	-5.65	21.09	31.87
3	14	43.03	82.83	88.1	-5.2	27.2	-15.45	27.21	238.86
4	14	45.86	88.28	88.1	0.2	0.1	-10.01	0.05	100.11
5	28	52.09	100.27	100.7	-0.4	0.2	1.98	0.20	3.94
6	28	50.39	97.00	100.7	-3.7	13.8	-1.29	13.81	1.65
7	28	53.79	103.54	100.7	2.8	8.0	5.25	7.97	27.60
8	28	51.52	99.18	100.7	-1.5	2.4	0.89	2.36	0.80
9	45	52.09	100.27	106.5	-6.2	38.9	1.98	38.89	3.94
10	45	52.65	101.36	106.5	-5.1	26.5	3.07	26.49	9.45
11	45	53.22	102.45	106.5	-4.1	16.5	4.16	16.46	17.34
12	45	50.96	98.09	106.5	-8.4	70.8	-0.20	70.83	0.04
13	56	51.52	99.18	108.5	-9.3	87.3	0.89	87.32	0.80
14	56	53.22	102.45	108.5	-6.1	36.9	4.16	36.90	17.34
15	56	52.09	100.27	108.5	-8.3	68.1	1.98	68.14	3.94
16	56	52.65	101.36	108.5	-7.2	51.3	3.07	51.33	9.45
				Ŷ = 98.29				Σ(Y-Ŷ) ² = 481.338	Σ(Y - Ŷ) ² = 512.465

Rata-rata fc pada 28 hari 51,94 MPa (100 %)

$$F = \frac{JK_{reg}}{JK_{res}} = \frac{\sum (Y-\hat{Y})^2}{\sum (Y-\bar{Y})^2} = \frac{481.338}{512.465} = 0.939$$



Branson, BPPU (1994)

Dalam BPPU (1994)

$$\hat{Y} = \frac{t \text{ hari}}{4+0,85 \cdot t \text{ hari}}$$

No	Hari	\hat{Y}
1	14	88.05
2	15	89.55
3	16	90.91
4	17	92.14
5	18	93.26
6	19	94.29
7	20	95.24
8	21	96.11
9	22	96.92
10	23	97.66
11	24	98.36
12	25	99.01
13	26	99.62
14	27	100.19
15	28	100.72

No	Hari	\hat{Y}
16	29	101.22
17	30	101.69
18	31	102.14
19	32	102.56
20	33	102.96
21	34	103.34
22	35	103.70
23	36	104.05
24	37	104.37
25	38	104.68
26	39	104.98
27	40	105.26
28	41	105.53
29	42	105.79
30	43	106.04

No	Hari	\hat{Y}
31	44	106.28
32	45	106.51
33	46	106.73
34	47	106.94
35	48	107.14
36	49	107.34
37	50	107.53
38	51	107.71
39	52	107.88
40	53	108.05
41	54	108.22
42	55	108.37
43	56	108.53
44	356	116.15

Suroso , Penelitian Tanpa Pasir Pantai (TPP)

$$Y = 0,9029 \left[A \cdot B + \frac{(1-A)(B)}{(1+B^R)(1+B^R)^{\frac{1}{R}}} \right] + 0,164$$

dengan $A = 3,5126 \times 10^{-6}$; $B = \frac{x - 0,005}{6,27}$; $R = 1,435$

No	Umur	A	B	R	y (%)
1	14	0.0000035126	2.232	1.435	90.97
2	28	0.0000035126	4.465	1.435	100.00
3	45	0.0000035126	7.176	1.435	103.15
4	56	0.0000035126	8.931	1.435	104.07
5	356	0.0000035126	58.213	1.435	106.52

DATA HASIL PERHITUNGAN MODULUS ELASTISITAS

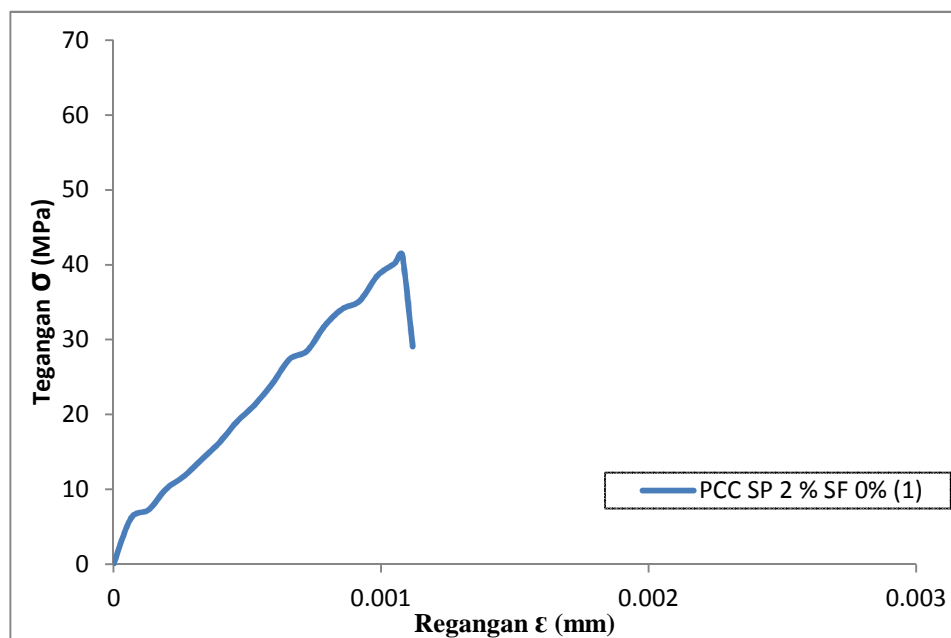
No	Kode sampel	Berat benda uji Kg	Ukuran benda uji			P max (Ton)	P max 40%	f max (Mpa)	ΔL 40% (mm)	Tegangan (Mpa)		Regangan		Modulus elastisitas (Mpa)	Rata-rata Modulus Elastisitas (Mpa)
			D (mm)	t (mm)	A (mm ²)					S2 0,4 f max	S1	ϵ_2	ϵ_1		
1	PPC SP 2 % SF 0% (1)	13.598	151	301	17898.8	69	27.6	38.55	0.000310	15.42	3.90	0.00043	0.00005	30.401,445	33.334,390
2	PPC SP 2 % SF 0% (2)	13.619	151.6	302	18041.3	72	28.8	39.67	0.000344	15.87	4.12	0.00040	0.00005	33.186,096	
3	PPC SP 2 % SF 0% (3)	13.361	150.8	300.5	17851.4	73	29.2	40.89	0.000346	16.36	2.53	0.00043	0.00005	35.943,706	
4	PPC SP 2 % SF 0% (4)	13.497	151	300.5	17898.8	76	30.4	42.75	0.000358	16.66	1.24	0.00051	0.00005	33.806,314	
5	PPC SP 2 % SF 5% (1)	13.539	151	301.5	17898.8	80	32	44.70	0.000469	17.88	3.78	0.00045	0.00005	35.368,522	35.912,099
6	PPC SP 2 % SF 5% (2)	13.471	152.1	301	18160.5	74	29.6	40.75	0.000352	16.30	2.49	0.00044	0.00005	35.551,038	
7	PPC SP 2 % SF 5% (3)	13.561	150.8	301	17851.4	79	31.6	44.25	0.000462	17.36	5.09	0.00038	0.00005	37.246,525	
8	PPC SP 2 % SF 5% (4)	13.431	151	303	17898.8	77	30.8	42.19	0.000450	16.88	3.73	0.00042	0.00005	35.482,310	
9	PCC SP 2 % SF 0% (1)	13.556	151	302.5	17898.8	74	29.6	41.34	0.000432	16.22	4.671	0.00040	0.00005	33.459,270	35.548,804
10	PCC SP 2 % SF 0% (2)	13.57	151	304	17898.8	80	32	44.70	0.000417	17.53	4.22	0.00042	0.00005	36.413,538	
11	PCC SP 2 % SF 0% (3)	13.554	151.5	302	18017.5	75	30	41.63	0.000397	16.65	4.61	0.00038	0.00005	37.017,987	
12	PCC SP 2 % SF 0% (4)	13.449	151	302	17898.8	78	31.2	43.58	0.000415	17.43	4.66	0.00041	0.00005	35.304,424	
13	PCC SP 2 % SF 5% (1)	13.398	151	302	17898.8	92	36.8	51.40	0.000450	20.56	3.80	0.00051	0.00005	36.448,090	37.672,988
14	PCC SP 2 % SF 5% (2)	13.57	151.5	303	18017.5	89	35.6	44.40	0.000449	17.76	2.94	0.00046	0.00005	35.960,834	
15	PCC SP 2 % SF 5% (3)	13.314	151.5	305	18017.5	95	38	52.73	0.000501	21.09	4.23	0.00048	0.00005	39.629,066	
16	PCC SP 2 % SF 5% (4)	13.491	152	301	18136.6	91	36.4	50.17	0.000478	20.07	5.39	0.00043	0.00005	38.653,963	

MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PCC SP 2 % SF 0% (1)

D = 15.1 cm ; t = 30.4 cm (304 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	11	0.02	0.000066	61.46	6.15
3	40	13	0.04	0.000132	72.63	7.26
4	60	18	0.06	0.000197	100.57	10.06
5	80	21	0.08	0.000263	117.33	11.73
6	100	25	0.1	0.000329	139.67	13.97
7	120	29	0.12	0.000395	162.02	16.20
8	140	34	0.14	0.000461	189.96	19.00
9	160	38	0.16	0.000526	212.30	21.23
10	180	43	0.18	0.000592	240.24	24.02
11	200	49	0.2	0.000658	273.76	27.38
12	220	51	0.22	0.000724	284.94	28.49
13	240	57	0.24	0.000789	318.46	31.85
14	260	61	0.26	0.000855	340.81	34.08
15	280	63	0.28	0.000921	351.98	35.20
16	300	69	0.3	0.000987	385.50	38.55
17	320	72	0.32	0.001053	402.26	40.23
18	328	74	0.328	0.001079	413.44	41.34
19	340	52	0.34	0.001118	290.52	29.05

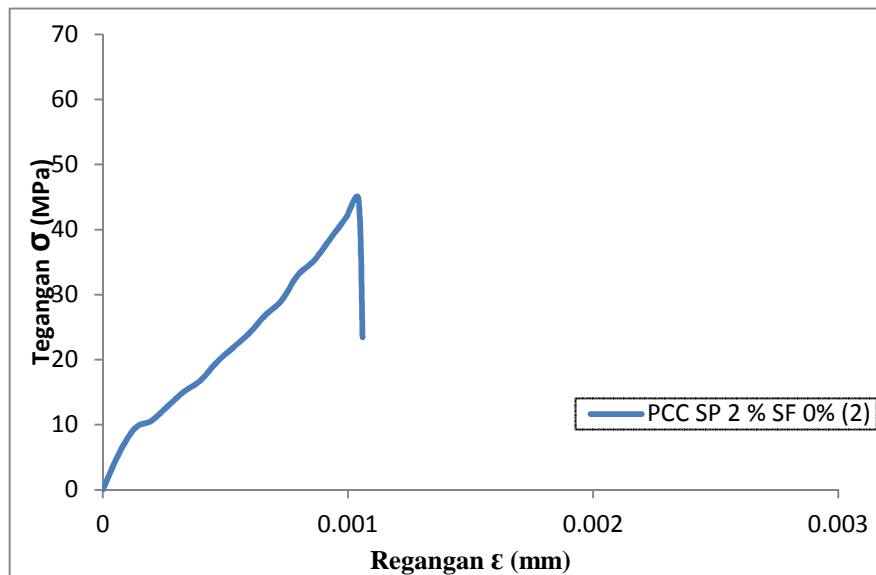


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PCC SP 2 % SF 0% (2)

D = 15.1 cm ; t = 30.2 cm (302 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	10	0.02	0.00007	55.87	5.59
3	40	17	0.04	0.00013	94.98	9.50
4	60	19	0.06	0.00020	106.15	10.62
5	80	23	0.08	0.00026	128.50	12.85
6	100	27	0.1	0.00033	150.85	15.08
7	120	30	0.12	0.00040	167.61	16.76
8	140	35	0.14	0.00046	195.54	19.55
9	160	39	0.16	0.00053	217.89	21.79
10	180	43	0.18	0.00060	240.24	24.02
11	200	48	0.2	0.00066	268.17	26.82
12	220	52	0.22	0.00073	290.52	29.05
13	240	59	0.24	0.00079	329.63	32.96
14	260	63	0.26	0.00086	351.98	35.20
15	280	69	0.28	0.00093	385.50	38.55
16	300	75	0.3	0.00099	419.02	41.90
17	315	80	0.315	0.00104	446.96	44.70
18	320	42	0.32	0.00106	234.65	23.47

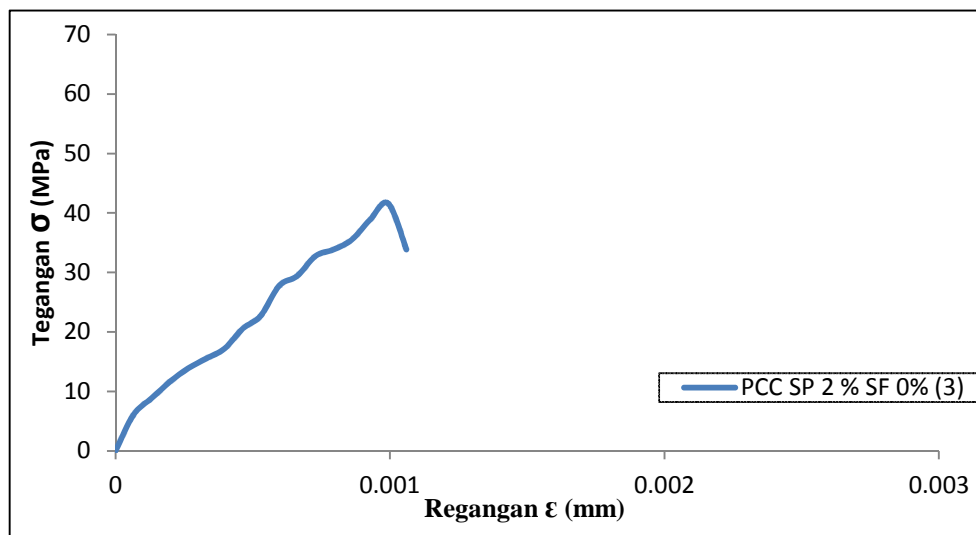


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel **PCC SP 2 % SF 0% (3)**

D = 15.15 cm ; t = 30.2 cm (302 mm) ; A = 180.175 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	11	0.02	0.00007	61.052	6.11
3	40	16	0.04	0.00013	88.802	8.88
4	60	21	0.06	0.00020	116.553	11.66
5	80	25	0.08	0.00026	138.754	13.88
6	100	28	0.1	0.00033	155.404	15.54
7	120	31	0.12	0.00040	172.055	17.21
8	140	37	0.14	0.00046	205.356	20.54
9	160	41	0.16	0.00053	227.556	22.76
10	180	50	0.18	0.00060	277.508	27.75
11	200	53	0.2	0.00066	294.158	29.42
12	220	59	0.22	0.00073	327.459	32.75
13	240	61	0.24	0.00079	338.559	33.86
14	260	64	0.26	0.00086	355.210	35.52
15	280	70	0.28	0.00093	388.511	38.85
16	300	75	0.3	0.00099	416.262	41.63
17	320	61	0.32	0.00106	338.559	33.86



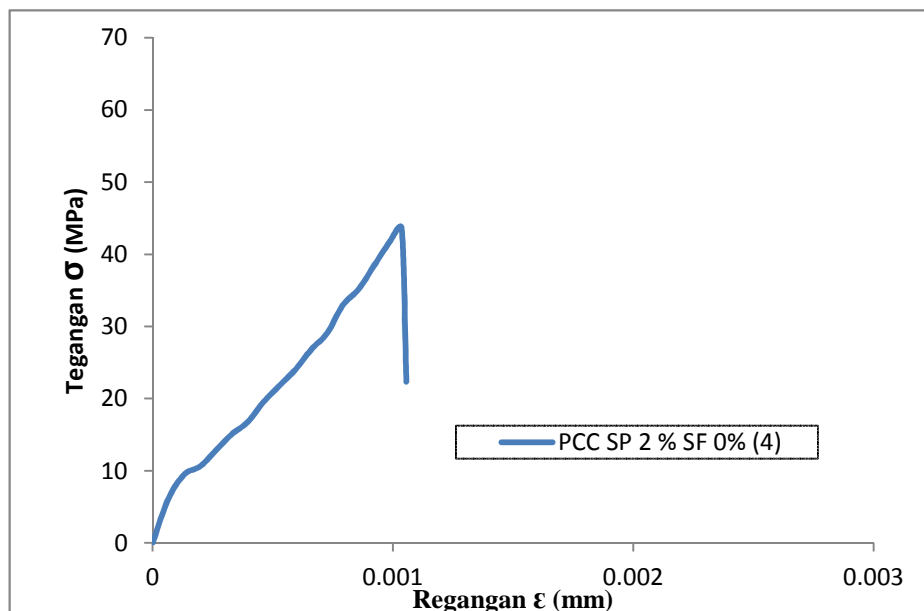
MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel

PCC SP 2 % SF 0% (4)

D = 15.1 cm ; t = 30.3 cm (303 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ)	Tegangan (σ)
					Kg/cm ²	Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	11	0.02	0.00007	61.457	6.15
3	40	17	0.04	0.00013	94.979	9.50
4	60	19	0.06	0.00020	106.152	10.62
5	80	23	0.08	0.00026	128.500	12.85
6	100	27	0.1	0.00033	150.848	15.08
7	120	30	0.12	0.00040	167.609	16.76
8	140	35	0.14	0.00046	195.544	19.55
9	160	39	0.16	0.00053	217.892	21.79
10	180	43	0.18	0.00059	240.240	24.02
11	200	48	0.2	0.00066	268.175	26.82
12	220	52	0.22	0.00073	290.523	29.05
13	240	59	0.24	0.00079	329.631	32.96
14	260	63	0.26	0.00086	351.979	35.20
15	280	69	0.28	0.00092	385.501	38.55
16	300	75	0.3	0.00099	419.023	41.90
17	314	78	0.314	0.00104	435.784	43.58
18	320	40	0.32	0.00106	223.479	22.35

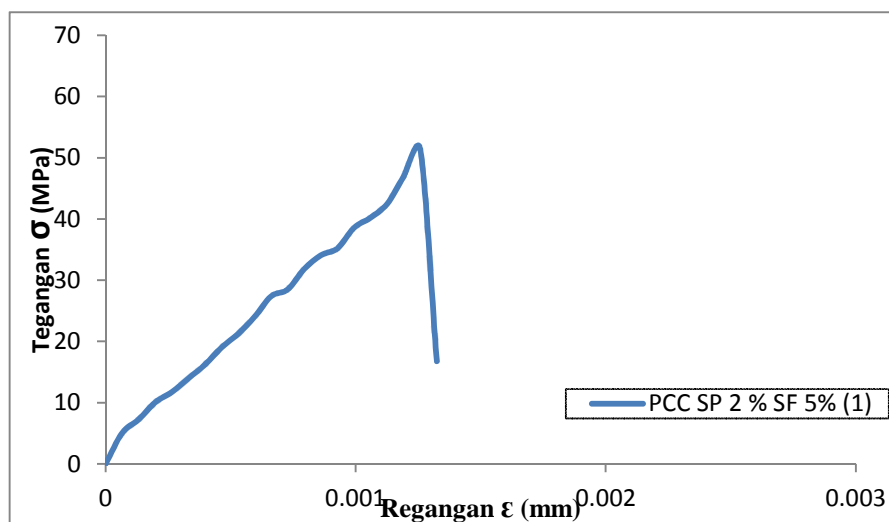


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PCC SP 2 % SF 5% (1)

D = 15.1 cm ; t = 30.2 cm (302 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO(0.0001)$	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	9	0.02	0.000066	50.28	5.03
3	40	13	0.04	0.000132	72.63	7.26
4	60	18	0.06	0.000199	100.57	10.06
5	80	21	0.08	0.000265	117.33	11.73
6	100	25	0.1	0.000331	139.67	13.97
7	120	29	0.12	0.000397	162.02	16.20
8	140	34	0.14	0.000464	189.96	19.00
9	160	38	0.16	0.000530	212.30	21.23
10	180	43	0.18	0.000596	240.24	24.02
11	200	49	0.2	0.000662	273.76	27.38
12	220	51	0.22	0.000728	284.94	28.49
13	240	57	0.24	0.000795	318.46	31.85
14	260	61	0.26	0.000861	340.81	34.08
15	280	63	0.28	0.000927	351.98	35.20
16	300	69	0.3	0.000993	385.50	38.55
17	320	72	0.32	0.001060	402.26	40.23
18	340	76	0.34	0.001126	424.61	42.46
19	360	84	0.36	0.001192	469.31	46.93
20	380	92	0.38	0.001258	514.00	51.40
21	400	30	0.4	0.001325	167.61	16.76

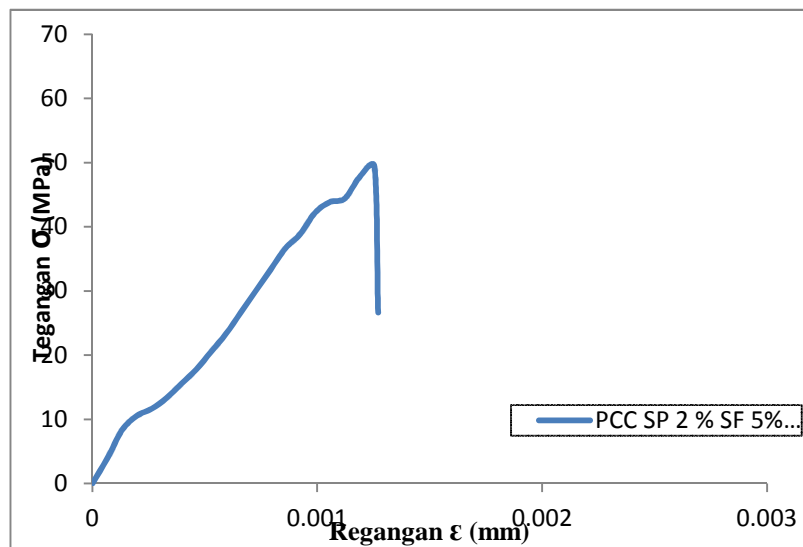


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel **PCC SP 2 % SF 5% (2)**

D = 15.15 cm ; t = 30.3 cm ; A = 180.17516 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	7	0.02	0.000066	38.85	3.89
3	40	15	0.04	0.000132	83.25	8.33
4	60	19	0.06	0.000198	105.45	10.55
5	80	21	0.08	0.000264	116.55	11.66
6	100	24	0.1	0.000330	133.20	13.32
7	120	28	0.12	0.000396	155.40	15.54
8	140	32	0.14	0.000462	177.60	17.76
9	160	37	0.16	0.000528	205.36	20.54
10	180	42	0.18	0.000594	233.11	23.31
11	200	48	0.2	0.000660	266.41	26.64
12	220	54	0.22	0.000726	299.71	29.97
13	240	60	0.24	0.000792	333.01	33.30
14	260	66	0.26	0.000858	366.31	36.63
15	280	70	0.28	0.000924	388.51	38.85
16	300	76	0.3	0.000990	421.81	42.18
17	320	79	0.32	0.001056	438.46	43.85
18	340	80	0.34	0.001122	444.01	44.40
19	360	86	0.36	0.001188	477.31	47.73
20	380	89	0.38	0.001254	493.96	49.40
21	385	48	0.385	0.001271	266.41	26.64

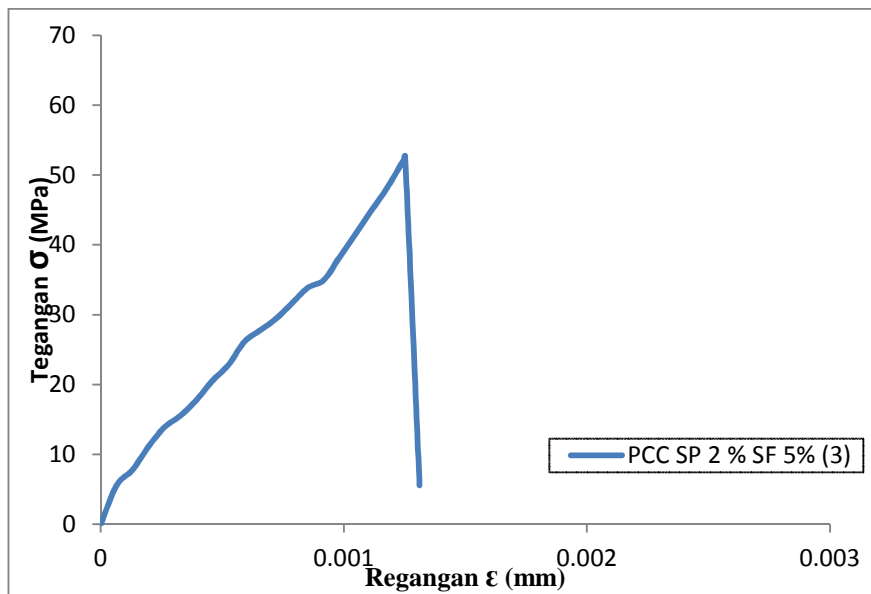


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PCC SP 2 % SF 5% (3)

D = 15.15 cm ; t = 30.5 cm (305 mm) ; A = 180.175 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	10	0.02	0.000066	55.50	5.55
3	40	14	0.04	0.000131	77.70	7.77
4	60	20	0.06	0.000197	111.00	11.10
5	80	25	0.08	0.000262	138.75	13.88
6	100	28	0.1	0.000328	155.40	15.54
7	120	32	0.12	0.000393	177.60	17.76
8	140	37	0.14	0.000459	205.36	20.54
9	160	41	0.16	0.000525	227.56	22.76
10	180	47	0.18	0.000590	260.86	26.09
11	200	50	0.2	0.000656	277.51	27.75
12	220	53	0.22	0.000721	294.16	29.42
13	240	57	0.24	0.000787	316.36	31.64
14	260	61	0.26	0.000852	338.56	33.86
15	280	63	0.28	0.000918	349.66	34.97
16	300	69	0.3	0.000984	382.96	38.30
17	320	75	0.32	0.001049	416.26	41.63
18	340	81	0.34	0.001115	449.56	44.96
19	360	87	0.36	0.001180	482.86	48.29
20	380	94	0.38	0.001246	521.71	52.17
21	382	95	0.382	0.001252	527.26	52.73
22	400	10	0.4	0.001311	55.50	5.55



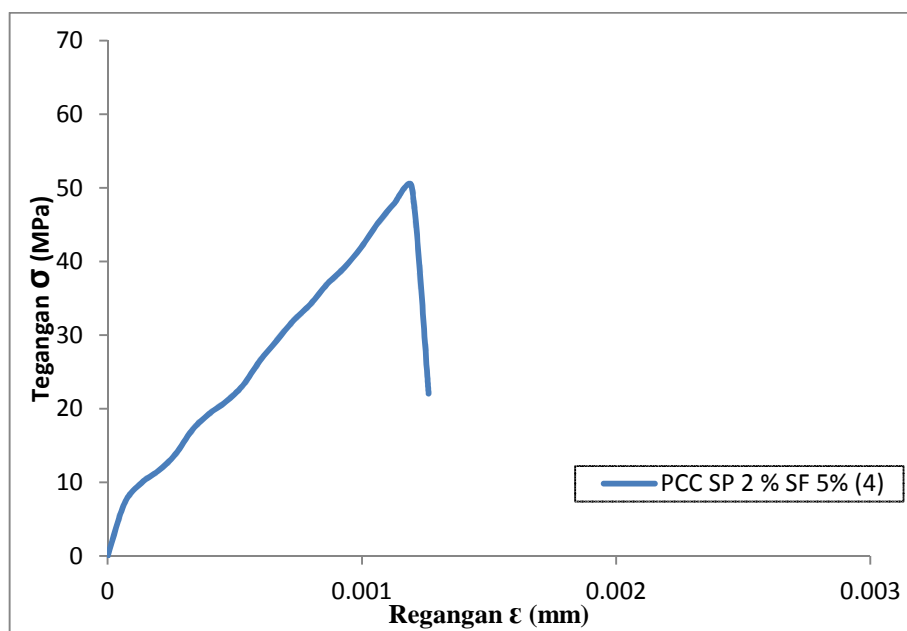
MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel

PCC SP 2 % SF 5% (4)

D = 15.2 cm ; t = 30.1 cm (301 mm) ; A = 181.366 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	13	0.02	0.000066	71.68	7.17
3	40	18	0.04	0.000133	99.25	9.92
4	60	21	0.06	0.000199	115.79	11.58
5	80	25	0.08	0.000266	137.84	13.78
6	100	31	0.1	0.000332	170.92	17.09
7	120	35	0.12	0.000399	192.98	19.30
8	140	38	0.14	0.000465	209.52	20.95
9	160	42	0.16	0.000532	231.58	23.16
10	180	48	0.18	0.000598	264.66	26.47
11	200	53	0.2	0.000664	292.23	29.22
12	220	58	0.22	0.000731	319.79	31.98
13	240	62	0.24	0.000797	341.85	34.18
14	260	67	0.26	0.000864	369.42	36.94
15	280	71	0.28	0.000930	391.47	39.15
16	300	76	0.3	0.000997	419.04	41.90
17	320	82	0.32	0.001063	452.12	45.21
18	340	87	0.34	0.001130	479.69	47.97
19	360	91	0.36	0.001196	501.75	50.17
20	380	40	0.38	0.001262	220.55	22.05

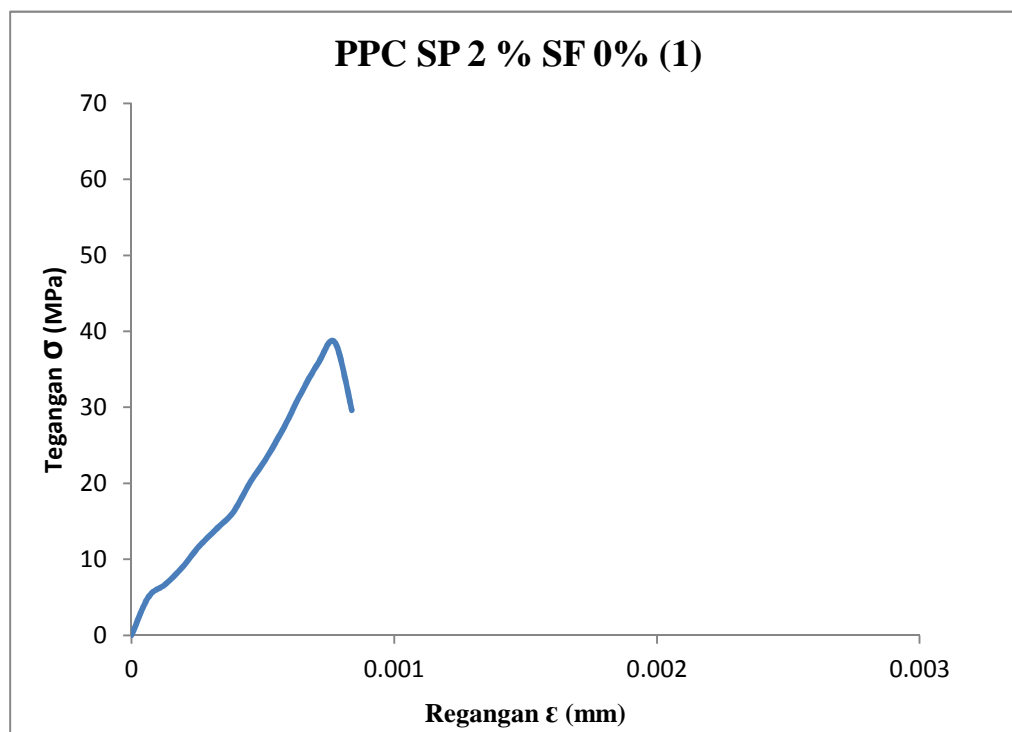


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PPC SP 2 % SF 0% (1)

D = 15.1 cm ; t = 30.1 cm (301 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	9	0.02	0.000065	50.283	5.03
3	40	12	0.04	0.000129	67.044	6.70
4	60	16	0.06	0.000194	89.392	8.94
5	80	21	0.08	0.000258	117.326	11.73
6	100	25	0.1	0.000323	139.674	13.97
7	120	29	0.12	0.000387	162.022	16.20
8	140	36	0.14	0.000452	201.131	20.11
9	160	42	0.16	0.000516	234.653	23.47
10	180	49	0.18	0.000581	273.762	27.38
11	200	57	0.2	0.000645	318.457	31.85
12	220	64	0.22	0.000710	357.566	35.76
13	240	69	0.24	0.000774	385.501	38.55
14	260	53	0.26	0.000839	296.109	29.61

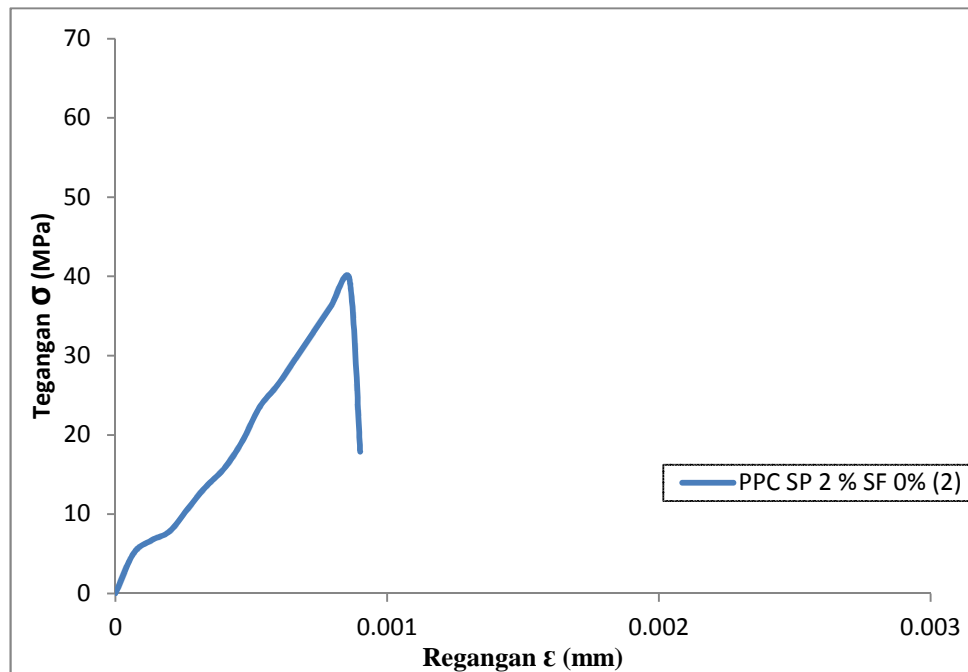


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PPC SP 2 % SF 0% (2)

D = 15.1 cm ; t = 30.2 cm (302 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	9	0.02	0.00007	50.283	5.03
3	40	12	0.04	0.00013	67.044	6.70
4	60	14	0.06	0.00020	78.218	7.82
5	80	19	0.08	0.00026	106.152	10.62
6	100	24	0.1	0.00033	134.087	13.41
7	120	28	0.12	0.00040	156.435	15.64
8	140	34	0.14	0.00046	189.957	19.00
9	160	42	0.16	0.00053	234.653	23.47
10	180	47	0.18	0.00060	262.588	26.26
11	200	53	0.2	0.00066	296.109	29.61
12	220	59	0.22	0.00073	329.631	32.96
13	240	65	0.24	0.00079	363.153	36.32
14	260	72	0.26	0.00086	396.675	39.67
15	272	32	0.272	0.00090	178.783	17.88

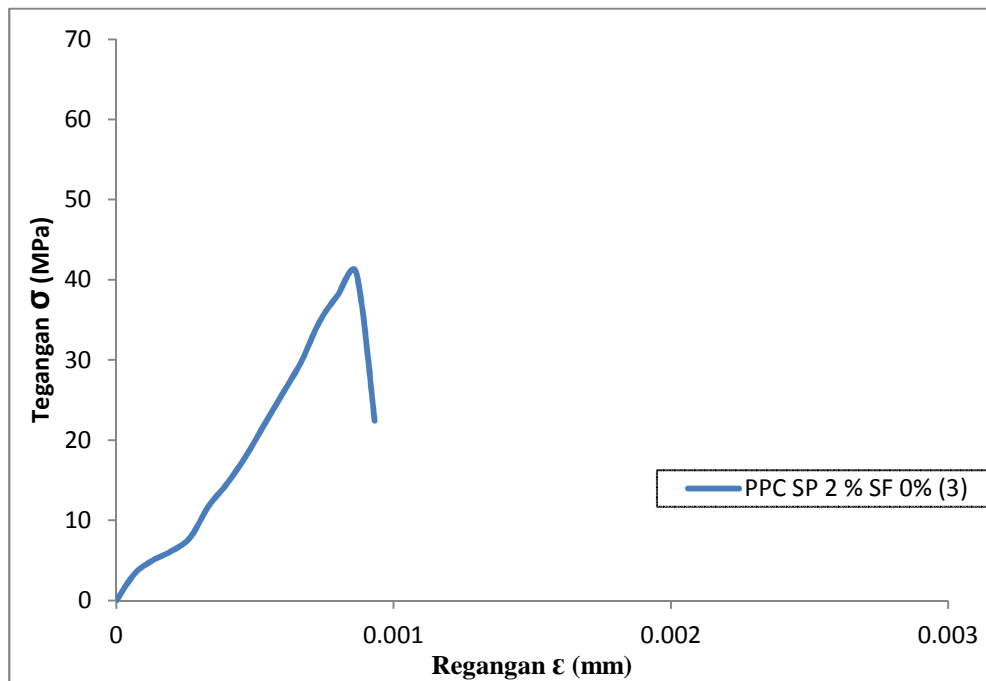


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel **PPC SP 2 % SF 0% (3)**

D = 15.08 cm ; t = 30.05 cm (300.5 mm) ; A = 178.514 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ)	Tegangan (σ)
					Kg/cm ²	Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	6	0.02	0.00007	33.611	3.361
3	40	9	0.04	0.00013	50.416	5.042
4	60	11	0.06	0.00020	61.620	6.162
5	80	14	0.08	0.00027	78.425	7.843
6	100	21	0.1	0.00033	117.638	11.764
7	120	26	0.12	0.00040	145.647	14.565
8	140	32	0.14	0.00047	179.258	17.926
9	160	39	0.16	0.00053	218.470	21.847
10	180	46	0.18	0.00060	257.683	25.768
11	200	53	0.2	0.00067	296.895	29.690
12	220	62	0.22	0.00073	347.312	34.731
13	240	68	0.24	0.00080	380.922	38.092
14	260	73	0.26	0.00087	408.931	40.893
15	280	40	0.28	0.00093	224.072	22.407

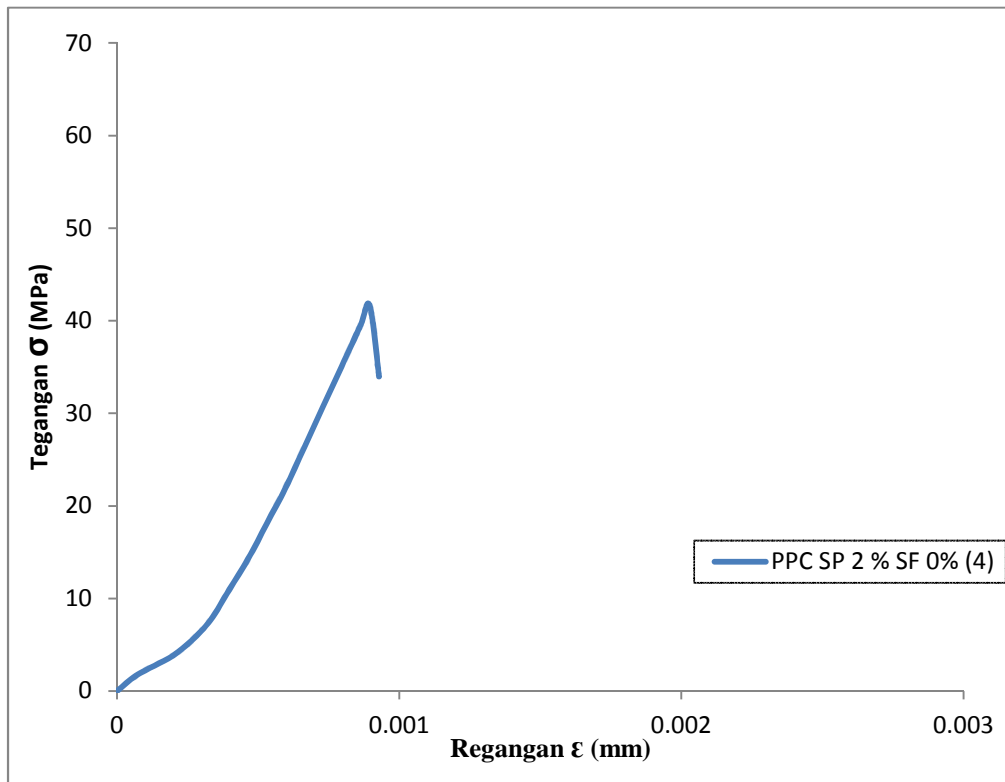


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PPC SP 2 % SF 0% (4)

D = 15.1 cm ; t = 30.15 cm (300.15 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) Mpa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	3	0.02	0.00007	16.761	1.644
3	40	5	0.04	0.00013	27.935	2.739
4	60	7	0.06	0.00020	39.109	3.835
5	80	10	0.08	0.00027	55.870	5.479
6	100	14	0.1	0.00033	78.218	7.671
7	120	20	0.12	0.00040	111.739	10.958
8	140	26	0.14	0.00046	145.261	14.245
9	160	33	0.16	0.00053	184.370	18.081
10	180	40	0.18	0.00060	223.479	21.916
11	200	48	0.2	0.00066	268.175	26.299
12	220	56	0.22	0.00073	312.870	30.682
13	240	64	0.24	0.00080	357.566	35.065
14	260	72	0.26	0.00086	402.262	39.448
15	270	76	0.27	0.00090	424.610	41.640
16	280	62	0.28	0.00093	346.392	33.969

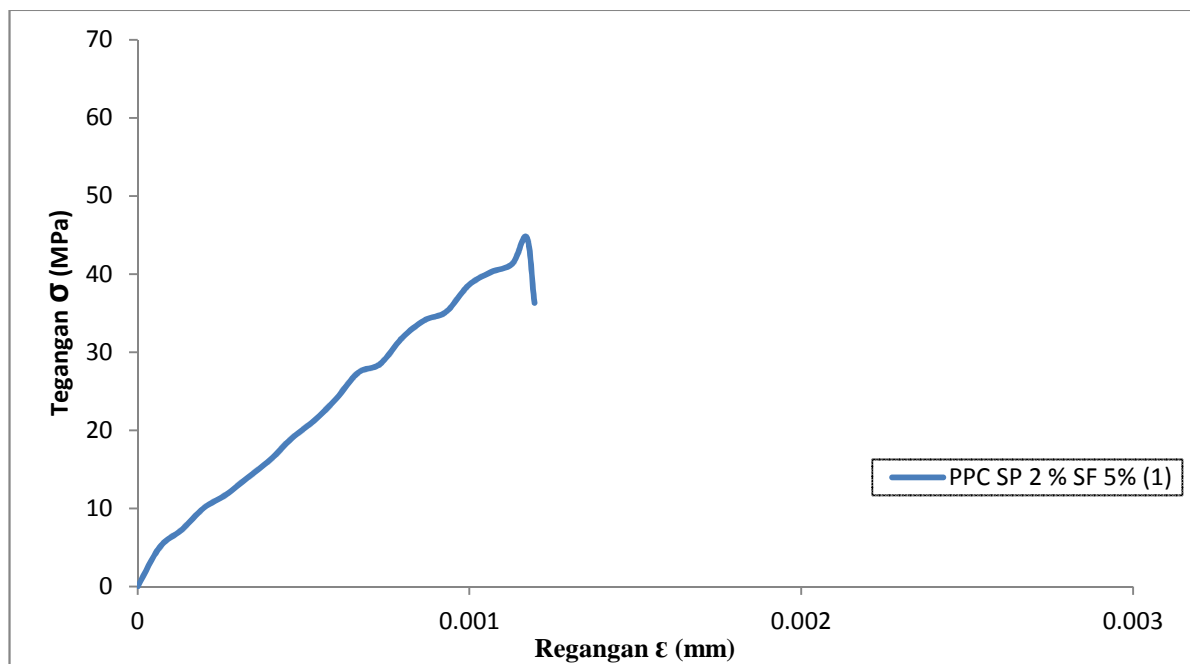


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PPC SP 2 % SF 5% (1)

D = 15.1 cm ; t = 30.1 cm (301 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	9	0.02	0.000066	50.28	5.03
3	40	13	0.04	0.000133	72.63	7.26
4	60	18	0.06	0.000199	100.57	10.06
5	80	21	0.08	0.000266	117.33	11.73
6	100	25	0.1	0.000332	139.67	13.97
7	120	29	0.12	0.000399	162.02	16.20
8	140	34	0.14	0.000465	189.96	19.00
9	160	38	0.16	0.000532	212.30	21.23
10	180	43	0.18	0.000598	240.24	24.02
11	200	49	0.2	0.000664	273.76	27.38
12	220	51	0.22	0.000731	284.94	28.49
13	240	57	0.24	0.000797	318.46	31.85
14	260	61	0.26	0.000864	340.81	34.08
15	280	63	0.28	0.000930	351.98	35.20
16	300	69	0.3	0.000997	385.50	38.55
17	320	72	0.32	0.001063	402.26	40.23
18	340	74	0.34	0.001130	413.44	41.34
19	353	80	0.353	0.001173	446.96	44.70
20	360	65	0.36	0.001196	363.15	36.32

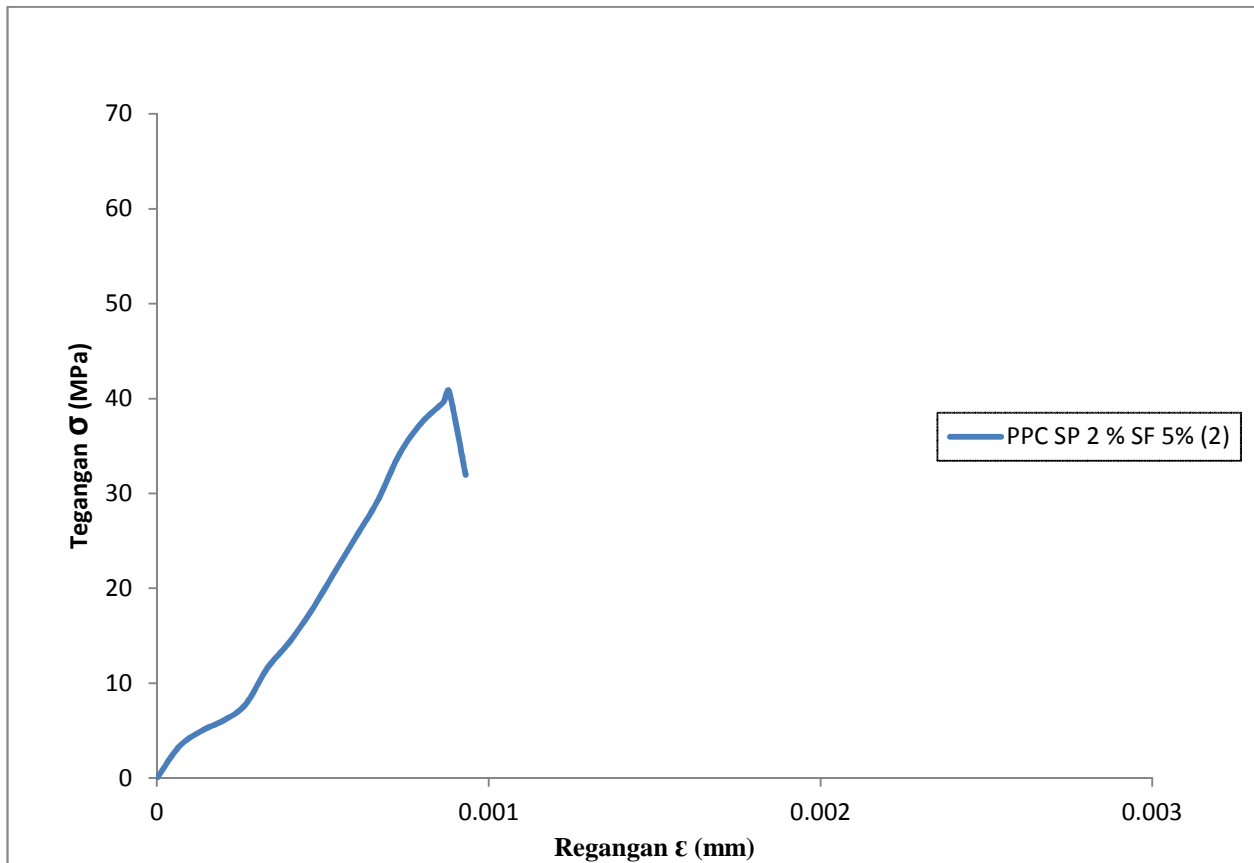


MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel PPC SP 2 % SF 5% (2)

D = 15.21 cm ; t = 30.1 cm (301 mm) ; A = 181.605 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	6	0.02	0.000066	33.04	3.30
3	40	9	0.04	0.000133	49.56	4.96
4	60	11	0.06	0.000199	60.57	6.06
5	80	14	0.08	0.000266	77.09	7.71
6	100	21	0.1	0.000332	115.64	11.56
7	120	26	0.12	0.000399	143.17	14.32
8	140	32	0.14	0.000465	176.21	17.62
9	160	39	0.16	0.000532	214.75	21.48
10	180	46	0.18	0.000598	253.30	25.33
11	200	53	0.2	0.000664	291.84	29.18
12	220	62	0.22	0.000731	341.40	34.14
13	240	68	0.24	0.000797	374.44	37.44
14	260	72	0.26	0.000864	396.46	39.65
15	265	74	0.265	0.000880	407.48	40.75
16	280	58	0.28	0.000930	319.37	31.94



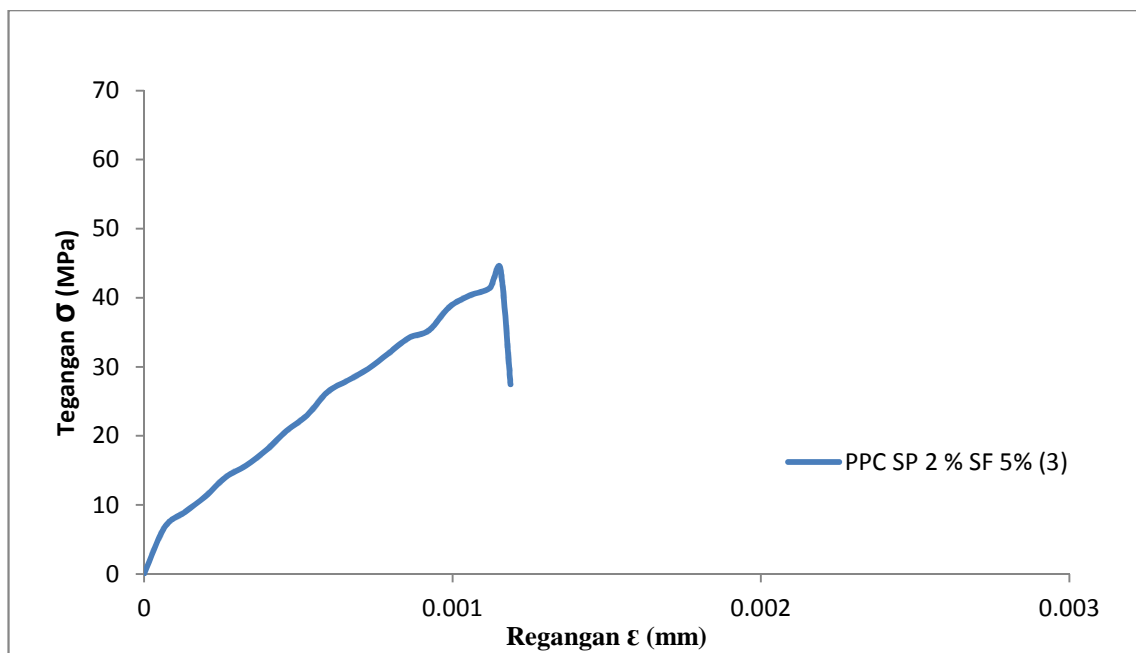
MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel

PPC SP 2 % SF 5% (3)

D = 15.08 cm ; t = 30.3 cm (303 mm) ; A = 178.514 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	12	0.02	0.000066	67.22	6.72
3	40	16	0.04	0.000132	89.63	8.96
4	60	20	0.06	0.000198	112.04	11.20
5	80	25	0.08	0.000264	140.05	14.00
6	100	28	0.1	0.000330	156.85	15.69
7	120	32	0.12	0.000396	179.26	17.93
8	140	37	0.14	0.000462	207.27	20.73
9	160	41	0.16	0.000528	229.67	22.97
10	180	47	0.18	0.000594	263.28	26.33
11	200	50	0.2	0.000660	280.09	28.01
12	220	53	0.22	0.000726	296.90	29.69
13	240	57	0.24	0.000792	319.30	31.93
14	260	61	0.26	0.000858	341.71	34.17
15	280	63	0.28	0.000924	352.91	35.29
16	300	69	0.3	0.000990	386.52	38.65
17	320	72	0.32	0.001056	403.33	40.33
18	340	74	0.34	0.001122	414.53	41.45
19	350	79	0.35	0.001155	442.54	44.25
20	360	49	0.36	0.001188	274.49	27.45



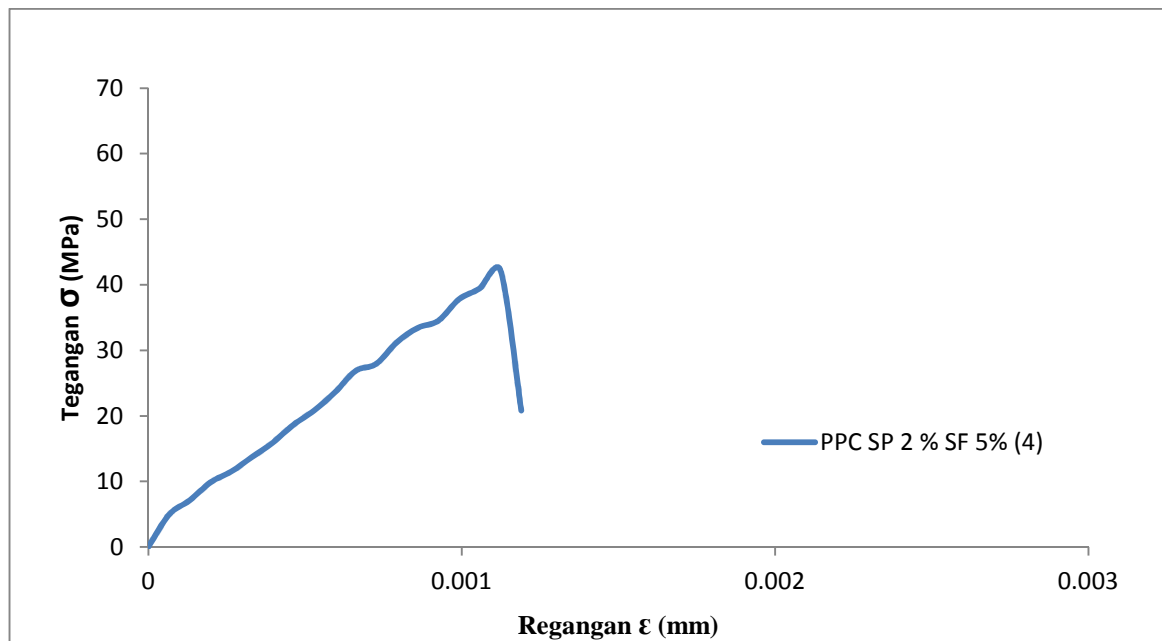
MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode sampel

PPC SP 2 % SF 5% (4)

D = 15.1 cm ; t = 30.25 cm (300.25 mm) ; A = 178.988 cm²

No	Skala Manometer	P (ton)	ΔL 0.001	Regangan $\Delta L/LO$ (0.0001)	Tegangan (σ) Kg/cm ²	Tegangan (σ) MPa
1	0	0	0	0	0	0
2	20	9	0.02	0.000066	50.28	4.93
3	40	13	0.04	0.000132	72.63	7.12
4	60	18	0.06	0.000198	100.57	9.86
5	80	21	0.08	0.000264	117.33	11.51
6	100	25	0.1	0.000331	139.67	13.70
7	120	29	0.12	0.000397	162.02	15.89
8	140	34	0.14	0.000463	189.96	18.63
9	160	38	0.16	0.000529	212.30	20.82
10	180	43	0.18	0.000595	240.24	23.56
11	200	49	0.2	0.000661	273.76	26.85
12	220	51	0.22	0.000727	284.94	27.94
13	240	57	0.24	0.000793	318.46	31.23
14	260	61	0.26	0.000860	340.81	33.42
15	280	63	0.28	0.000926	351.98	34.52
16	300	69	0.3	0.000992	385.50	37.80
17	320	72	0.32	0.001058	402.26	39.45
18	340	77	0.34	0.001124	430.20	42.19
19	360	38	0.36	0.001190	212.30	20.82



Lampiran 23

Analisis T Test Berat Beton per m³ Sampel Beton SP 2% SF 0%

No	X1	x2	D (x1-x2)	D ² (x1-x2) ²
1	2452.96	2478.08	-25.12	631.02
2	2446.64	2478.08	-31.44	988.25
3	2551.15	2478.08	73.07	5338.53
4	2528.24	2478.08	50.16	2516.40
5	2523.97	2478.08	45.89	2106.32
6	2499.60	2478.08	21.52	463.04
7	2490.70	2478.08	12.62	159.37
8	2501.07	2478.08	22.99	528.68
9	2507.60	2478.08	29.52	871.46
10	2462.45	2478.08	-15.63	244.23
11	2471.91	2478.08	-6.17	38.04
12	2470.89	2478.08	-7.19	51.71
13	2491.24	2478.08	13.16	173.06
14	2492.19	2478.08	14.11	199.23
15	2503.50	2478.08	25.42	646.09
16	2469.55	2478.08	-8.53	72.72
17	2477.86	2478.08	-0.22	0.05
18	2585.40	2478.08	107.32	11516.69
19	2534.13	2478.08	56.05	3141.63
20	2475.16	2478.08	-2.92	8.54
21	2491.35	2478.08	13.27	176.04
22	2510.44	2478.08	32.36	1046.99
23	2490.95	2478.08	12.87	165.73
24	2488.05	2478.08	9.97	99.45
25	2535.48	2478.08	57.40	3295.07
26	2467.41	2478.08	-10.67	113.92
27	2449.23	2478.08	-28.85	832.19
28	2474.54	2478.08	-3.54	12.54
29	2503.78	2478.08	25.70	660.35
30	2452.40	2478.08	-25.68	659.23
31	2480.75	2478.08	2.67	7.15
32	2483.22	2478.08	5.14	26.45
N = 32	ΣX1 = 79763.83 X̄1 = 2492.62	ΣX2 = 79298.56 X̄2 = 2478.08	ΣD = 465.27 D = 14.54	ΣD ² = 36790.15

$$t = \frac{\frac{\Sigma D}{N}}{\sqrt{\frac{\Sigma D^2 - (\Sigma D)^2}{N - 1}}} = \frac{\frac{465,27}{32}}{\sqrt{\frac{32.465,27^2 - (465,27)^2}{32 - 1}}} = \frac{14,54}{176,05} = 2,643$$

Besarnya derajat kebebasan untuk uji t sampel berhubungan adalah N-1, jadi sebesar 31(32-1=31). Dengan derajat kebebasan 31 pada taraf signifikansi 5% tabel nilai-nilai kritis t menunjukkan t sebesar 2,040.

Perhitungan menggunakan Microsoft Excel

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	2492.6196	2478.08
Variance	968.55898	1.921194E-24
Observations	32	32
Hypothesized Mean Difference	0	
df	31	
t Stat	2.643	
P(T<=t) one-tail	0.006	
t Critical one-tail	1.695	
P(T<=t) two-tail	0.012	
t Critical two-tail	2.040	

Uji t	t tabel	t hitung	Kriteria
Berat beton	2,040	2,643	Hipotesis diterima

Analisis T Test Berat Beton per m³ Sampel Beton SP 2% SF 5%

No	X1	x2	D (x1-x2)	D ² (x1-x2) ²
1	2507.99	2500.28	7.71	59.47
2	2561.59	2500.28	61.31	3758.81
3	2520.10	2500.28	19.82	392.70
4	2541.35	2500.28	41.07	1687.08
5	2513.02	2500.28	12.74	162.40
6	2464.37	2500.28	-35.91	1289.80
7	2507.13	2500.28	6.85	46.91
8	2480.62	2500.28	-19.66	386.70
9	2514.72	2500.28	14.44	208.50
10	2518.77	2500.28	18.49	341.78
11	2479.65	2500.28	-20.63	425.47
12	2493.91	2500.28	-6.37	40.64
13	2492.98	2500.28	-7.30	53.26
14	2535.11	2500.28	34.83	1213.23
15	2531.43	2500.28	31.15	970.25
16	2462.39	2500.28	-37.89	1435.57
17	2495.15	2500.28	-5.13	26.37
18	2490.87	2500.28	-9.41	88.48
19	2534.05	2500.28	33.77	1140.18
20	2487.59	2500.28	-12.69	160.92
21	2521.72	2500.28	21.44	459.76
22	2485.66	2500.28	-14.62	213.65
23	2483.01	2500.28	-17.27	298.19
24	2488.86	2500.28	-11.42	130.45
25	2511.55	2500.28	11.27	127.00
26	2499.57	2500.28	-0.71	0.50
27	2505.26	2500.28	4.98	24.77
28	2493.53	2500.28	-6.75	45.61
29	2517.66	2500.28	17.38	302.20
30	2518.15	2500.28	17.87	319.33
31	2509.04	2500.28	8.76	76.73
32	2571.61	2500.28	71.33	5088.40
N = 32	ΣX1 = 80238.41 X̄1 = 2507.45	ΣX2 = 80008.96 X̄2 = 2500.28	ΣD = 229.45 D = 7.17	ΣD ² = 20975.10

$$t = \frac{\Sigma D}{\sqrt{\frac{N \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2}{N - 1}}} = \frac{229,45}{\sqrt{\frac{32 \cdot 229,45^2 - (229,45)^2}{32 - 1}}} = \frac{229,45}{143,26} = 1,624$$

Besarnya derajat kebebasan untuk uji t sampel berhubungan adalah N-1, jadi sebesar 31(32-1=31). Dengan derajat kebebasan 31 pada taraf signifikansi 5% tabel nilai-nilai kritis t menunjukkan t sebesar 2,040.

Perhitungan menggunakan Microsoft Excel

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	2507.45	2500.28
Variance	623.54	0
Observations	32	32
Hypothesized Mean Difference	0	
df	31	
t Stat	1.624	
P(T<=t) one-tail	0.057	
t Critical one-tail	1.696	
P(T<=t) two-tail	0.114	
t Critical two-tail	2.040	

Uji t	t tabel	t hitung	Kriteria
Berat beton	2,040	1,624	Hipotesis nol

Lampiran 24



Gambar 1. Silika Fume



Gambar 2. Superplasticizer (Sika Viscocrete-10)



Gambar 3. Semen PPC (Semen Gresik) dan Semen PCC (Semen Tiga roda)



Gambar 4. Adukan beton dan pengujian slump



Gambar 5. Sampel beton silinder



Gambar 6. Pengujian kuat tekan beton silinder