

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL FAKTOR KONVERSI
KUAT TEKAN BETON MUTU NORMAL DAN
TINGGI UMUR 3 HINGGA 28 HARI:
PENGARUH JENIS SEMEN PCC DAN PPC
(*EXPERIMENTAL STUDY ON CONVERSION FACTORS
OF COMPRESSIVE STRENGTH FOR NORMAL AND
HIGH-STRENGTH CONCRETE AT AGES OF 3 TO 28
DAYS: THE INFLUENCE OF PCC AND PPC CEMENT*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mohammad Sigit Setyatama
20511042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL FAKTOR KONVERSI KUAT TEKAN BETON MUTU NORMAL DAN TINGGI UMUR 3 HINGGA 28 HARI: PENGARUH JENIS SEMEN PCC DAN PPC (*EXPERIMENTAL STUDY ON CONVERSION FACTORS OF COMPRESSIVE STRENGTH FOR NORMAL AND HIGH-STRENGTH CONCRETE AT AGES OF 3 TO 28 DAYS: THE INFLUENCE OF PCC AND PPC CEMENT*)

Disusun oleh

Mohammad Sigit Setyatama
20511042

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil
Diuji pada tanggal 20 Desember 2024



Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

23/12/2024

Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK: 205111302

Penguji I

Ir. Suharyatma, M.T.
NIK: 865110201

Penguji II

23.12.24

Astria Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301



Mengesahkan,
Ketua Prodi Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng), IPM.
NIK: 095110101

24/12/2024

Karya ini saya persembahkan sebagai wujud rasa syukur, bakti, dan dedikasi kepada:

Sosok yang tak pernah lelah mendoakan setiap langkah saya,

Sosok pekerja keras yang pantang menyerah, tak mengenal lelah dalam setiap perjuangan,

Sosok yang selalu mengasihi, menyayangi, dan mencintai saya tanpa syarat,

Sosok teladan yang mengajarkan banyak hal berharga dan penuh makna dalam hidup saya,

Sosok yang selalu mengutamakan kebahagiaan buah hati mereka,

Tanpa peduli seberapa banyak saya mengecewakan, tanpa peduli seberapa dalam saya terjatuh, mereka selalu ada, menjadi tempat pulang yang hangat dan penuh kasih.

Dengan segenap hati, saya mengucapkan rasa syukur dan terima kasih atas cinta serta pengorbanan yang tiada henti. Setiap langkah yang saya ambil adalah buah dari doa dan dukungan tanpa pamrih yang selalu kalian berikan.

Orang tua saya tercinta,

Utomo

&

Anik Setyarini

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,


Mohammad Sigit Setyatama
(20511042)

56499AMX072565555
METERAI TEMPEL

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimental Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Normal Dan Tinggi Umur 3 Hingga 28 Hari: Pengaruh Jenis Semen PCC dan PPC” dengan maksimal. Selawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, saran, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng), IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran, semangat, dorongan dan waktu yang diluangkan. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan kepada beliau, sehingga beliau selalu diberi kesempatan untuk membagi ilmu yang bermanfaat bagi orang lain. Terima kasih untuk selalu mengingatkan dan menanyakan tugas akhir saya Pak.
3. Ir. Suharyatma, M.T. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

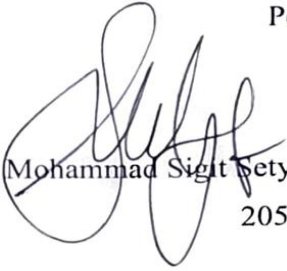
4. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang sudah memberikan ragam ilmu sejak awal perkuliahan.
6. Bapak Daru Salam, Suwarno, Mas Win dan Mbak Zahwa selaku Laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membantu saya dalam proses penelitian.
7. Utomo dan Anik Setyarini, kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan pengorbanan spiritual maupun material hingga selesainya Tugas Akhir ini.
8. H.A Purwadi, kakek penulis yang senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan lewat pesan singkat SMS.
9. Reforma Dimas Setyatama S.Pd. dan Ramadhan Adi Wicaksono Setyatama, kakak dan adik penulis yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan tanggung jawab penulis dengan memberikan semangat, motivasi, serta dorongan dalam perjalanan hidup ini, semoga hal-hal baik selalu menyertai kita.
10. Mozza, Mozzi, Boi, Bociel, Mozzu, Mozzo, dan Pupu, kucing penulis yang selalu menghibur dari awal perkuliahan 2020 hingga waktu yang tidak ditentukan, terima kasih sudah hadir melengkapi hari-hari penulis.
11. Nilnannisa Alifiyah S.Pd., selaku sosok yang selalu mendukung, menyemangati penulis untuk selalu berkembang dalam segala rintangan.
12. Sobat ngelab Umar, Bayu Pamungkas yang ikut membantu dalam proses penelitian dari awal hingga akhir.
13. Teman-teman Teknik Sipil 2020 yang juga terlibat dalam proses penelitian penulis.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 18 Desember 2024

Penulis,



Mohammad Sigit Setyatama
20511042

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Faktor Konversi Kuat Tekan Pada Berbagai Umur Beton	7
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.3 Keaslian Penelitian	10
2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu	10
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Material Beton	13
3.2 Material Penyusun Beton	14
3.2.1 Agregat	14
3.2.2 Semen	17
3.2.3 Bahan Tambah (<i>Admixture</i>)	19

3.2.4	Bahan Tambah yang Digunakan Pada Penelitian	20
3.2.5	Air	21
3.3	Beton Mutu Tinggi (High Strength Concrete)	23
3.4	Karakteristik dan Sifat Beton	23
3.4.1	Kuat Tekan Beton	23
3.4.2	Umur Beton	24
3.5	<i>Mix Design</i> (Perencanaan Campuran) Beton	25
3.6	Perawatan Beton	39
3.7	Pengujian Normalitas Shapiro-Wilk	40
3.8	Faktor Konversi Kuat Tekan Beton	41
3.9	Koefisien Korelasi	42
BAB IV METODE PENELITIAN		43
4.1	Umum	43
4.2	Variabel Penelitian	43
4.3	Bahan yang Digunakan	44
4.4	Alat yang Digunakan	47
4.5	Benda Uji	54
4.6	Pelaksanaan Penelitian	55
4.6.1	Persiapan Penelitian	55
4.6.2	Pengujian Agregat	55
4.6.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	56
4.6.4	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Trial pada Umur 3 Hari	56
4.6.5	Pembuatan dan Perawatan Sampel Benda Uji	56
4.6.6	Pengujian Sampel Benda Uji	57
4.6.7	Analisis Data	57
4.6.8	Pembahasan	57
4.6.9	Kesimpulan dan Saran	57
4.6.10	Kerangka Konsep Penelitian	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		60
5.1	Pengujian Agregat	60
5.1.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	60

5.1.2.	Agregat Kasar	69
5.2	Desain Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) Mutu Normal PCC	78
5.3	Desain Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) Mutu Normal PPC	89
5.4	Desain Campuran (<i>Mix Design</i>) Beton Mutu Tinggi	100
5.4.1.	Komposisi Campuran Beton Mutu Tinggi	104
5.5	Pengujian <i>Trial</i> Sampel Beton Mutu Normal Semen PCC dan PPC	106
5.6	Pengujian <i>Trial</i> Sampel Beton Mutu Tinggi Semen PCC dan PPC	108
5.7	Hasil Pengujian <i>Slump</i> Beton Mutu Normal dan Tinggi PCC dan PPC	111
5.8	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal Semen PCC dan PPC	116
5.9	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Semen PCC dan PPC	125
5.10	Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Persentase Selisih Kuat Tekan	133
5.11	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Pengujian Beton	137
5.12	Uji Normalitas Shapiro-Wilk Menggunakan SPSS	143
5.13	Perhitungan Faktor Konversi	148
5.14	Validasi Hasil Faktor Konversi Kuat Tekan Beton	153
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		159
6.1.	Kesimpulan	159
6.2.	Saran	161
DAFTAR PUSTAKA		162
LAMPIRAN		166

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perbandingan Kekuatan Beton Pada Berbagai Umur	2
Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3. 1 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus	16
Tabel 3. 2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Kasar	17
Tabel 3. 3 Jenis Portland Semen	18
Tabel 3. 4 Faktor Konversi Umur Benda Uji	24
Tabel 3. 5 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30	26
Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar	27
Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Diperlukan Untuk Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	29
Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	30
Tabel 3. 9 Fas Maksimum Akibat Pengaruh Sulfat dan Alkali dari Tanah	31
Tabel 3. 10 Fraksi Volume Optimum Agregat Kasar	37
Tabel 3. 11 Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara Beton Segar	37
Tabel 3. 12 Rasio (w/c) yang Disarankan Tanpa Bahan Tambah Superplasticizer	38
Tabel 3. 13 Rasio (w/c) yang Disarankan Dengan Bahan Tambah Superplasticizer	39
Tabel 3. 14 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi	42
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji	54
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	61
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	64
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	64
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus	65
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	68
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	68

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	69
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	70
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	73
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	73
Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar	74
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	77
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	77
Tabel 5. 14 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30	78
Tabel 5. 15 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar	79
Tabel 5. 16 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	81
Tabel 5. 17 Persyaratan Kebutuhan Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	82
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal PCC	87
Tabel 5. 19 Proporsi Campuran Beton Mixing 1 dan Mixing 2	89
Tabel 5. 20 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30	90
Tabel 5. 21 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar	90
Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	92
Tabel 5. 23 fas Maksimum untuk Beton yang berhubungan Air Tanah yang mengandung Sulfat	93
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal PPC	98
Tabel 5. 25 Proporsi Campuran Beton Mixing 1 dan Mixing 2	100
Tabel 5. 26 Hasil Campuran Mix Design Beton Mutu Tinggi PCC	105
Tabel 5. 27 Hasil Campuran Mix Design Beton Mutu Tinggi PPC	105
Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Sampel Trial Beton Mutu Normal Semen PCC	106
Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Sampel Trial Beton Mutu Normal Semen PPC	106
Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Sampel Trial Beton Mutu Tinggi Semen PCC	109
Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Sampel Trial Beton Mutu Tinggi Semen PPC	109

Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Slump Mutu Normal PCC dan PPC	111
Tabel 5. 33 Hasil Pengujian Slump Mutu Tinggi PCC dan PPC	113
Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal PCC	122
Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal PPC	123
Tabel 5. 36 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PCC	130
Tabel 5. 37 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PPC	131
Tabel 5. 38 Selisih Nilai Kuat Tekan Mutu Normal Antara PPC Dengan PCC	134
Tabel 5. 39 Selisih Nilai Kuat Tekan Mutu Tinggi Antara PPC Dengan PCC	136
Tabel 5. 40 Nilai Kuat Tekan Beton Optimum	141
Tabel 5. 41 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC Mutu Normal	144
Tabel 5. 42 Hasil Uji Normalitas PCC Mutu Normal	144
Tabel 5. 43 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC Mutu Normal	145
Tabel 5. 44 Hasil Uji Normalitas PPC Mutu Normal	145
Tabel 5. 45 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC Mutu Tinggi	146
Tabel 5. 46 Hasil Uji Normalitas PCC Mutu Tinggi	146
Tabel 5. 47 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PPC Mutu Tinggi	147
Tabel 5. 48 Hasil Uji Normalitas PPC Mutu Tinggi	147
Tabel 5. 49 Hasil Kuat Tekan Beton Rata-rata	149
Tabel 5. 50 Hasil Faktor Konversi Kuat Tekan Beton	150
Tabel 5. 51 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Normal PCC	154
Tabel 5. 52 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Normal PPC	156
Tabel 5. 53 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Tinggi	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan faktor air semen (fas)	28
Gambar 3. 2 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 10 mm	32
Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 20 mm	32
Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 40 mm	33
Gambar 3. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan	34
Gambar 4. 1 Semen PCC Gresik	44
Gambar 4. 2 Semen PPC Bima	44
Gambar 4. 3 Agregat Halus	45
Gambar 4. 4 Agregat Kasar	45
Gambar 4. 5 Tampilan Kemasan SikaFume dan Silica Fume	46
Gambar 4. 6 Cairan Sika Viscocrete 1003	47
Gambar 4. 7 Saringan Agregat Halus dan Saringan Agregat Kasar	47
Gambar 4. 8 Timbangan	48
Gambar 4. 9 Piknometer	48
Gambar 4. 10 Gelas Ukur	49
Gambar 4. 11 Mesin Pengayak Agregat Halus dan Agregat Kasar	49
Gambar 4. 12 Oven	50
Gambar 4. 13 Sekop	50
Gambar 4. 14 Bekisting Beton	51
Gambar 4. 15 Alat Ukur	51
Gambar 4. 16 Ember	52
Gambar 4. 17 Concrete Mixer	52
Gambar 4. 18 Kerucut Abrams	53
Gambar 4. 19 Mesin Uji Kuat Tekan Automax Pro-M	53
Gambar 4. 20 Diagram Alir Penelitian	58

Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	66
Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	66
Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum Sampel 1	75
Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum Sampel 2	75
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm	80
Gambar 5. 6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran butir Maksimum 20 mm	83
Gambar 5. 7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan	85
Gambar 5. 8 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm	91
Gambar 5. 9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran butir Maksimum 20 mm	95
Gambar 5. 10 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan	96
Gambar 5. 11 Hasil Pengujian Trial Kuat Tekan PCC	106
Gambar 5. 12 Hasil Pengujian Trial Kuat Tekan PPC	107
Gambar 5. 13 Hasil Pengujian Trial Kuat Tekan PCC Mutu Tinggi	109
Gambar 5. 14 Hasil Pengujian Trial Kuat Tekan PPC Mutu Tinggi	110
Gambar 5. 15 Grafik Nilai Slump Beton Mutu Normal	112
Gambar 5. 16 Hasil Pengujian Slump PPC Normal	113
Gambar 5. 17 Hasil Pengujian <i>Slump</i> PCC Normal	113
Gambar 5. 18 Grafik Nilai Slump Beton Mutu Tinggi	114
Gambar 5. 19 Hasil Pengujian Slump PPC Tinggi	115
Gambar 5. 20 Hasil Pengujian Slump PCC Tinggi	116
Gambar 5. 21 Hasil Pengujian PCC Normal 3 Hari	117
Gambar 5. 22 Hasil Pengujian PCC Normal 7 Hari	117
Gambar 5. 23 Hasil Pengujian PCC Normal 14 Hari	117
Gambar 5. 24 Hasil Pengujian PCC Normal 21 Hari	118
Gambar 5. 25 Hasil Pengujian PCC Normal 28 Hari	118
Gambar 5. 26 Hasil Pengujian PPC Normal 3 Hari	119
Gambar 5. 27 Hasil Pengujian PPC Normal 7 Hari	119

Gambar 5. 28 Hasil Pengujian PPC Normal 14 Hari	119
Gambar 5. 29 Hasil Pengujian PPC Normal 21 Hari	120
Gambar 5. 30 Hasil Pengujian PPC Normal 28 Hari	120
Gambar 5. 31 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Normal PCC	124
Gambar 5. 32 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Normal PPC	124
Gambar 5. 33 Hasil Pengujian PCC Tinggi 3 Hari	125
Gambar 5. 34 Hasil Pengujian PCC Tinggi 7 Hari	126
Gambar 5. 35 Hasil Pengujian PCC Tinggi 14 Hari	126
Gambar 5. 36 Hasil Pengujian PCC Tinggi 21 Hari	126
Gambar 5. 37 Hasil Pengujian PCC Tinggi 28 Hari	127
Gambar 5. 38 Hasil Pengujian PPC Tinggi 3 Hari	127
Gambar 5. 39 Hasil Pengujian PPC Tinggi 7 Hari	127
Gambar 5. 40 Hasil Pengujian PPC Tinggi 14 Hari	128
Gambar 5. 41 Hasil Pengujian PPC Tinggi 21 Hari	128
Gambar 5. 42 Hasil Pengujian PPC Tinggi 28 Hari	128
Gambar 5. 43 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Tinggi PCC	132
Gambar 5. 44 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Tinggi PPC	132
Gambar 5. 45 Grafik Perbandingan Nilai dan Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Mutu Normal	134
Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan Nilai dan Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi	136
Gambar 5. 47 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC Normal	138
Gambar 5. 48 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PPC Normal	138
Gambar 5. 49 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC Tinggi	139
Gambar 5. 50 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PPC Tinggi	139
Gambar 5. 51 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC dan PPC Mutu Beton Normal dan Tinggi	141
Gambar 5. 52 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Normal PCC	151
Gambar 5. 53 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Normal PPC	152
Gambar 5. 54 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PCC	152
Gambar 5. 55 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PPC	153

Gambar 5. 56 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton PCC Normal	155
Gambar 5. 57 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton PPC Normal	156
Gambar 5. 58 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi	158

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Rencana Penelitian	167
Lampiran 2 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	168
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	169
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	186
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	192
Lampiran 6 Spesifikasi Material	195

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PPC	= <i>Portland Pozzolan Cement</i>
OPC	= <i>Ordinary Portland Cement</i>
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
MPa	= Megapascal
f_c	= Kuat tekan beton (MPa)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
M	= Margin atau nilai tambah
S_r	= Standar Deviasi.
f_{cr}	= kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)
f_c	= Kuat tekan beton rencana (Mpa)
M	= Margin atau Nilai Tambah
fas	= faktor air semen
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
w_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
w_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
c	= Jumlah semen (kg/m^3)
$BJ_{Ag. Gab}$	= Berat jenis relatif agregat gabungan (%)
% Ag. Halus	= Persentase agregat halus (%)
% Ag. Kasar	= Persentase agregat kasar (%)
$BJ_{Ag. Halus}$	= Berat jenis agregat halus
$BJ_{Ag. Kasar}$	= Berat jenis agregat kasar
$W_{Ag. Gab}$	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
W_{beton}	= Berat isi atau volume beton (kg/m^3)
W_{semen}	= Kadar semen (kg/m^3)

$W_{Ag. Kasar}$	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)
$W_{Ag. Halus}$	= Kadar agregat halus (kg/m^3)
f'_{cr}	= Target kuat tekan rata-rata (MPa)
f'_c	= Kuat tekan rata-rata yang disyaratkan (MPa)
V	= Kadar rongga udara
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
N	= Newton
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
W	= Statistik uji Shapiro Wilk

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi beton meliputi jenis semen, material, aditif, bentuk benda uji, dan kondisi lingkungan, nilai faktor konversi kuat tekan beton mutu normal dan beton mutu tinggi dapat berbeda dengan PBI 1971, karena pada PBI 1971 nilai faktor konversi kuat tekan beton didasarkan pada penggunaan semen OPC. PBI 1971 untuk sekarang masih menjadi pedoman, namun belum membahas mengenai faktor konversi untuk beton mutu tinggi dan juga perlu dilakukan penyesuaian dalam penggunaan semen PCC dan PPC, mengingat sifat dan komposisi keduanya berbeda agar nilai faktor konversi kuat tekan beton yang digunakan menjadi lebih relevan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai faktor konversi kuat tekan beton pada beton mutu normal dan tinggi umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan penggunaan semen PCC dan PPC serta mengetahui pengaruh penggunaan semen PCC dan PPC terhadap *workability*, kuat tekan, laju kuat tekan.

Penelitian menggunakan semen PPC dan PCC dengan perencanaan campuran beton untuk mutu normal menggunakan SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 25 MPa dan beton mutu tinggi menggunakan SNI 6468-2000 dengan mutu rencana 42 MPa. Beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah *silica fume* sebanyak 10% dan *superplasticizer* Sika *Visconcrete* – 1003 sebanyak 0,5% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan berupa kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder. Hasil pengujian kuat tekan dimodelkan persamaan regresinya dan hasil digunakan untuk menghitung nilai faktor konversi beton dengan cara membagi kuat tekan rata-rata beton pada umur tertentu dengan kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari.

Pada penelitian ini mutu rencana beton untuk mutu normal maupun mutu tinggi menggunakan semen PCC dan PPC memenuhi kuat tekan yang direncanakan. Pada semen PCC dan PPC mutu normal diperoleh kuat tekan tertinggi 26,568 MPa dan 32,879 MPa. Sementara itu, untuk beton mutu tinggi semen PCC dan PPC diperoleh nilai kuat tekan tertinggi 42,830 MPa dan 49,320 MPa. Didapatkan nilai faktor konversi kuat tekan beton pada beton mutu normal dengan semen PCC dan PPC untuk umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut sebesar 0,45, 0,67, 0,77, 0,95, 1,00 dan 0,62, 0,78, 0,88, 0,93, 1,00. Sementara itu, untuk beton mutu tinggi dengan penggunaan jenis semen PCC dan PPC dan umur beton yang sama berturut-turut didapatkan 0,46, 0,67, 0,88, 0,94, 1,00 dan 0,57, 0,65, 0,85, 0,91, 1,00. Semen PCC baik mutu beton normal maupun tinggi memiliki *workability* yang lebih baik dari pada PPC. Semen PPC (mutu normal dan tinggi) menghasilkan kuat tekan lebih tinggi di setiap umur ujinya dibandingkan PCC. Kekuatan beton PPC umur awal dan akhir lebih tinggi baik pada mutu beton normal maupun tinggi dibandingkan dengan semen PCC. Semen PCC lebih efektif dalam mempercepat laju peningkatan (pertumbuhan) kuat tekan beton dibandingkan semen PPC baik pada mutu beton normal maupun tinggi.

Kata kunci: Faktor Konversi, PPC, PCC, Mutu Tinggi, Mutu Normal.

ABSTRACT

With the advancement of concrete technology, including cement types, materials, additives, test specimen shapes, and environmental conditions, the conversion factor values for the compressive strength of normal-strength concrete and high-strength concrete may differ from those specified in PBI 1971. This is because PBI 1971 based its conversion factors on the use of OPC cement. Although PBI 1971 remains a reference today, it does not address conversion factors for high-strength concrete and requires adjustments for the use of PCC and PPC cements, considering their differing properties and compositions, to ensure the relevance of the compressive strength conversion factors applied. This study aims to determine the conversion factor values for the compressive strength of normal-strength and high-strength concrete at the ages of 3, 7, 14, 21, and 28 days using PCC and PPC cements and to assess the impact of these cements on workability, compressive strength, and strength development rates.

The study employs PPC and PCC cements, with mix designs for normal-strength concrete based on SNI 2834-2000 targeting a strength of 25 MPa, and for high-strength concrete based on SNI 6468-2000 targeting a strength of 42 MPa. High-strength concrete incorporates 10% silica fume and 0.5% Sika Visconcrete-1003 superplasticizer by cement weight. Compressive strength testing is conducted using cylindrical specimens. The test results are modeled using regression equations, and the results are used to calculate concrete conversion factors by dividing the average compressive strength at a given age by the average compressive strength at 28 days.

The results show that the target compressive strength for both normal-strength and high-strength concrete using PCC and PPC cements is achieved. For normal-strength concrete, the highest compressive strengths using PCC and PPC are 26.568 MPa and 32.879 MPa, respectively. For high-strength concrete, the highest compressive strengths using PCC and PPC are 42.830 MPa and 49.320 MPa, respectively. The conversion factors for normal-strength concrete with PCC and PPC cements at the ages of 3, 7, 14, 21, and 28 days are 0.45, 0.67, 0.77, 0.95, 1.00, and 0.62, 0.78, 0.88, 0.93, 1.00, respectively. For high-strength concrete with PCC and PPC cements, the conversion factors at the same ages are 0.46, 0.67, 0.88, 0.94, 1.00, and 0.57, 0.65, 0.85, 0.91, 1.00, respectively. PCC cement exhibits better workability for both normal-strength and high-strength concrete compared to PPC. However, PPC cement (both normal and high strength) achieves higher compressive strength at all test ages compared to PCC. Additionally, PPC concrete shows higher early and final strength for both normal-strength and high-strength concrete compared to PCC. PCC cement is more effective in accelerating the rate of compressive strength growth than PPC for both normal-strength and high-strength concrete.

Keywords: Conversion Factor, PPC, PCC, High Strength, Normal Strength.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari beberapa material penyusun, yaitu kerikil, pasir, semen, air dan dapat di tambahkan bahan tambah (*admixture*). Kemudahan dalam memperoleh material penyusun dan pengerjaannya menjadikan beton masih banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi pada masa kini. Namun dalam pengerjaan pembuatan beton di lapangan perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu kualitas material, proses pengadonan material, proses pengecoran serta proses pemadatan untuk mencapai kualitas beton dengan kekuatan yang tinggi dan sesuai rencana.

Kekuatan beton diidentifikasi dengan karakteristik kekuatannya. Waktu yang diperlukan beton untuk mencapai kekuatan 100% adalah pada saat berumur 28 hari, namun untuk keperluan pengawasan pada mutu beton hasil pelaksanaan pekerjaan konstruksi maka dibutuhkan prediksi awal mengenai kuat tekan yang terjadi sebelum beton mencapai umur 28 hari. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan dengan menggunakan faktor konversi kekuatan beton pada berbagai umur yaitu 3, 7, 14, 21, 28 hari untuk mengetahui kekuatan kuat tekan beton memenuhi kekuatan yang disyaratkan atau tidak. Dalam pelaksanaannya pengujian sampel beton untuk penelitian laboratorium, pembuatan *trial mix*, ataupun kekuatan beton pada proyek konstruksi dilakukan dengan pengujian kuat tekan beton. Pada Pedoman Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 Pasal 4.1 telah dilakukan pengujian yang membahas faktor konversi kekuatan pada berbagai umur beton yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 sebagai berikut.

Tabel 1. 1 Perbandingan Kekuatan Beton Pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
<i>Portland Semen Biasa</i>	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
<i>Portland Semen</i> (dengan kekuatan awal tinggi)	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,2

Sumber: PBI (1971)

Hingga saat ini, PBI (1971) masih dipergunakan dan menjadi dasar rekomendasi dalam pemeriksaan kuat tekan beton. Namun pada PBI (1971) belum ada nilai yang membedakan faktor konversi untuk beton mutu tinggi untuk jenis semen PCC dan PPC dan hal tersebut menjadikan prediksi dan pemeriksaan kuat tekan pada umur sekian menjadi sulit dan dapat menyebabkan kesalahan dalam perkiraan kekuatan yang disyaratkan pada suatu pekerjaan. Sehingga hal tersebut, berdampak negatif terhadap kelayakan dan kualitas konstruksi. Selain itu pada PBI 1971, benda uji standar yang dipergunakan masih menggunakan bentuk kubus yang sudah tidak relevan dan berbeda dengan aturan SNI 03-2847 (2019) yang menggunakan benda uji standar berbentuk silinder 15 x 30 cm.

Seiring perkembangan dalam teknologi beton yang mencakup jenis semen, material pembentuk beton, penggunaan aditif sesuai kebutuhan pelaksanaan pekerjaan konstruksi, bentuk benda uji dan kondisi lingkungan dimungkinkan nilai faktor konversi pada PBI (1971), khususnya pada umur awal beton, berbeda dengan kondisi saat ini yang mulai menggunakan jenis semen PCC dan PPC. Pada PBI (1971), nilai faktor konversi kuat tekan beton ditetapkan berdasarkan penggunaan semen OPC (*Ordinary Portland Cement*). Namun, dengan berkembangnya penggunaan jenis semen lain seperti PCC (*Portland Composite Cement*) dan PPC (*Pozzolana Portland Cement*), diperlukan penyesuaian karena komposisi dan sifat masing-masing jenis semen yang berbeda. Pada saat ini pekerjaan konstruksi lebih sering menggunakan semen PCC dan PPC dikarenakan kedua semen tersebut lebih mudah didapatkan, harganya yang terjangkau dan lebih ramah terhadap lingkungan.

PCC (*Portland Composite Cement*) dan PPC (*Pozzolana Portland Cement*) memiliki sifat khas yang membedakannya dari OPC (*Ordinary Portland Cement*), terutama karena adanya bahan tambahan. PCC mengandung material seperti gips, *fly ash*, *slag*, *pozzolan*, batu kapur, atau senyawa silika hingga 35% dari total komposisinya. Bahan tambahan ini memberikan keunggulan, seperti efisiensi penggunaan air yang lebih baik dan peningkatan *workability*. Sementara itu, PPC yang mengandung bahan *pozzolan*, memiliki kemampuan unik melalui reaksi pozzolanik yang mengubah kalsium hidroksida menjadi senyawa C-S-H. PPC juga unggul dalam ketahanan terhadap lingkungan agresif, seperti serangan sulfat dan klorida, serta lebih ramah lingkungan karena emisi karbon yang lebih rendah dalam produksinya. Oleh karena itu, penelitian terhadap faktor konversi kuat tekan beton pada berbagai umur, baik untuk beton mutu normal maupun tinggi, menjadi penting untuk memastikan hasil yang lebih tepat dan relevan dengan perkembangan penggunaan jenis semen PCC dan PPC.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ray dkk. (2016), pada beton mutu normal dengan kuat tekan rencana 25 MPa dan 40 MPa dengan beton uji berbentuk silinder didapatkan faktor konversi kekuatan untuk umur beton 3, 7, 14, 21, dan 28 hari secara berturut-turut yaitu 0,37, 0,61, 0,86, 0,92, 1,00 dan 0,40, 0,68, 0,91, 0,94, 1,00. Merujuk kepada PBI 1971 untuk beton mutu tinggi atau beton dengan tambahan *aditive* masih belum ada pedoman yang dapat digunakan. Sedangkan pada penelitian di atas terjadi perbedaan dengan PBI (1971) mengenai faktor konversi kuat tekan beton, untuk beton mutu 25 MPa pada umur beton 3, 7, 14, dan 21 hari. Lalu, pada beton mutu 40 MPa terjadi perbedaan dengan PBI 1971 pada umur beton 7, 14, dan 21 hari.

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa terjadi perbedaan faktor konversi berbagai umur kuat tekan beton normal dan belum adanya pedoman faktor konversi berbagai umur untuk beton mutu tinggi menggunakan semen PCC dan PPC. Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk melakukan pengujian pada beton normal dan beton mutu tinggi guna menyelidiki faktor konversi pada keduanya untuk umur beton 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan serta uraian pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Berapa nilai faktor konversi kuat tekan beton pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan semen PCC dan PPC pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diperoleh tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai faktor konversi kuat tekan beton pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi menggunakan semen PCC dan PPC pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan semen PCC dan PPC pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh melalui penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Menjadi referensi mengenai nilai faktor konversi kuat tekan beton berbagai umur pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC.
2. Memperoleh hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari untuk beton mutu normal dan beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC.
3. Menjadi panduan dalam penentuan faktor konversi kuat tekan beton berdasarkan umur dan jenis beton mutu normal serta beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terarah, tidak keluar dari tujuan, dan mudah dipahami serta untuk memperjelas ruang lingkup dari penelitian ini, batasan masalah adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana untuk beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC $f'_c = 42$ MPa.
2. Kuat tekan beton rencana untuk beton mutu normal untuk semen PCC dan PPC $f'_c = 25$ MPa.
3. Umur pengujian kuat tekan yaitu 3, 7, 14, 21, 28 hari.
4. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
5. Agregat halus berasal dari Sungai Progo, Kulon Progo, DIY.
6. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm.
7. Air yang digunakan berasal dari Lab BKT Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, UII
8. Bahan tambah *silica fume* menggunakan produk PT. Sika Indonesia, yaitu SikaFume.
9. Bahan tambah *superplasticizer* menggunakan produk yang berasal dari PT. Sika Indonesia yaitu Sika Viscocrete 1003.
10. Semen PCC = *Portland Composite Cement* yang digunakan bermerek Semen Gresik dan semen PPC = *Portland Pozzolan Cement* yang digunakan bermerek Semen Bima.
11. *Mix design* untuk beton mutu tinggi menggunakan SNI 03-6468 2000
12. *Mix design* untuk beton mutu normal menggunakan SNI 2834-2000
13. Variabel kontrol pada penelitian ini untuk beton mutu normal adalah bentuk benda uji, kerikil, pasir, semen, air.
14. Variabel kontrol pada penelitian ini untuk beton mutu tinggi adalah bentuk benda uji, kerikil, pasir, semen, air, kadar *silica fume* (10% dari berat semen), kadar *superplasticizer* (0,5% dari berat semen). *Superplasticizer* yang digunakan adalah Sika Viscocrete 1003, dengan persentase 0,5% dari berat semen berdasarkan rekomendasi PT Sika Indonesia (0,2%–0,6%) dan

penelitian Martonogaro (2023) yang menunjukkan hasil optimum pada 0,4%–0,5%. Sementara itu, menurut Nst (2017), silica fume kurang dari 3% tidak meningkatkan kuat tekan karena tidak cukup menutupi partikel agregat kasar, sedangkan kadar optimal tidak boleh melebihi 10%. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan silica fume sebesar 10% dari berat semen.

15. Variabel bebas adalah umur beton pada saat dilakukan pengujian kuat tekan (3, 7, 14, 21, 28 hari).
16. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan.
17. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), UII

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Faktor Konversi Kuat Tekan Pada Berbagai Umur Beton

Berdasarkan SNI 03-6468 (2000) beton diklasifikasikan menjadi 3 bagian mutu beton, yaitu beton mutu rendah dengan $f'c$ kurang dari 20 MPa, beton mutu normal atau sedang dengan $f'c$ 20 MPa – 41,4 MPa dan beton mutu tinggi dengan $f'c$ lebih dari 41,4 Mpa. Pada pelaksanaan di lapangan mutu beton dengan $f'c$ normal dan mutu tinggi lebih banyak digunakan, hal tersebut bergantung pada kebutuhan rencana. Dalam merencanakan suatu struktur bangunan yang berbahan dasar beton perlu dilakukannya prediksi atau perkiraan kuat tekan beton yang akan digunakan dan juga untuk memantau kualitas mutu beton seiring waktu perlu dilakukannya konversi kuat tekan beton dengan angka faktor konversi pada berbagai umur untuk mengetahui telah sesuai nya kuat tekan beton dengan rencana dan persyaratan. Angka konversi ini juga berfungsi untuk mencegah kegagalan struktur akibat mutu beton yang tidak terpenuhi sehingga dapat dilakukan pencegahan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terhadap angka konversi kuat tekan beton terhadap berbagai umur beton sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti terdahulu, oleh karena itu dapat dijadikan sebagai referensi dalam penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan untuk referensi akan diuraikan sebagai berikut.

1. Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Semen Bima dan Semen Holcim Dengan Variasi Umur 7, 14, dan 28 Hari Menggunakan Nilai FAS 0,5.

Penelitian yang dilakukan oleh (Prakoso, 2016), ini bertujuan memperoleh nilai kuat tekan beton, memperoleh nilai perbandingan kuat tekan beton pada semen Bima dan semen Holcim, dan memperoleh faktor pengali yang dihasilkan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini menggunakan semen

Bima dan Holcim dengan FAS 0,5 dan benda uji silinder 15 cm x 30 cm. Metode *mix design* yang digunakan SNI 03-2834-2002. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Menggunakan mutu rencana 33,5 MPa. Hasil penelitian ini menunjuk perbandingan nilai kuat tekan beton semen Bima lebih besar dari semen Holcim dengan selisih sebesar 10,50 MPa (33,50%) pada umur 28 hari. Didapatkan hasil pengujian kuat tekan untuk Semen Bima pada umur 7, 14, 28 hari sebesar 21,48, 22,60, 31,34 MPa dan semen Holcim 17,51, 20,27, 20,84 MPa. Didapatkan faktor pengali pada umur 7, 14, 28 hari berturut - turut untuk semen Bima adalah 1,48, 1,38, 1 dan untuk semen Holcim 1,20, 1,02, 1. Faktor konversi kuat tekan beton pada umur 7, 14, 28 hari secara berturut-turut didapatkan untuk semen Bima sebesar 0,67, 0,72, 1 dan semen Holcim sebesar 0,84, 0,97, dan 1.

2. Studi Angka Koefisien Korelasi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Umur dan Bentuk Benda Uji Standar SNI 03-2847-2002.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ray dkk., 2016), ini bertujuan memperoleh angka korelasi kuat tekan beton mutu tinggi, membandingkan rasio angka korelasi bentuk benda uji antara kubus dan silinder. Menggunakan *mix design* SK SNI-T-15-1990-03. Benda uji menggunakan silinder sesuai dengan SNI 03-2847-2002 atau SNI 1974-2011 dan kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm. Kuat tekan diukur pada umur beton 3,7,14,21, dan 28 hari. Mutu beton yang dipakai 25 MPa dan mutu beton 40 MPa. Didapatkan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 23,92 Mpa untuk mutu rencana 25 MPa dan mutu rencana 40 MPa didapatkan 39,06 MPa. Dilakukan analisis data menggunakan statistik probabilitas dalam distribusi normal dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil penelitian ini didapatkan nilai korelasi kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari untuk mutu 25 MPa berturut-turut sebesar 0,37, 0,61, 0,86, 0,92, 1 dan mutu 40 MPa didapatkan sebesar 0,40, 0,68, 0,91, 0,94, 1,00.

3. Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen PCC (*Portland Composite Cement*).

Penelitian yang dilakukan oleh (Ibrahim, 2021), ini menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm menggunakan semen PCC yang berasal dari PT Tonasa dan PT Bosowa dengan kuat tekan rencana sebesar $f'_c = 225 \text{ kg/cm}^2$. *Mix design* menggunakan metode DOE yang tertuang pada SNI 03-284-1992 (SK SNI T-15-1990-03). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 3, 14, 28, 60, dan 90 hari yang selanjutnya dibandingkan kuat tekan tiap-tiap umur tersebut terhadap beton 28 hari. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan umur dan kuat tekan beton dengan menggunakan semen PCC berupa koefisien umur beton untuk dikonversi ke 28 hari. Hasil penelitian didapatkan nilai koefisien umur beton umur 3, 14, 28, 60, 90 hari dengan semen PCC PT Semen Tonasa memberikan hasil berturut-turut sebesar 0,45, 0,84, 1,0, 1,12, 1,22 dan PCC PT Semen Bosowa sebesar 0,47, 0,79, 1,0, 1,06, 1,20.

4. Penggunaan Semen Jenis OPC, PPC, dan PCC Pada Beton Terhadap Variasi Umur Beton Dengan Metode Pengujian *Destructive* dan *Non-Destructive*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Salam, 2023), menggunakan semen jenis OPC, PPC, PCC dalam penelitiannya bermaksud untuk mengetahui kuat tekan awal sebelum mencapai umur 28 hari, mengetahui korelasi kerapatan beton dengan kuat tekan beton, dan membandingkan angka konversi umur beton dengan PBI 1971. Pengujian yang dilakukan menggunakan benda uji silinder dengan pengujian kuat tekan dan *Ultrasonic Pulse Velocity* yang selanjutnya dilakukan analisa data. Pengujian dilakukan untuk tiap jenis semen pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari. Perencanaan campuran *mix design* menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton yang direncanakan sebesar 22,80 MPa. Menggunakan benda uji berbentuk silinder 30 x 15 cm. Hasil penelitian didapatkan angka konversi umur beton pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari secara berturut – turut menggunakan semen OPC sebesar 0,49, 0,73, 0,89, 0,92, 1,00. Semen PCC sebesar 0,36, 0,64, 0,71, 0,84, 1,00 dan semen PPC sebesar 0,44, 0,62, 0,82, 0,89, 1,00.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan berbeda dengan penelitian sebelumnya yang akan dijelaskan pada Tabel 2.1 pada sub bab 2.4. Pada penelitian kali ini terdapat perbedaan pada mutu beton dan jenis semen yang digunakan. Pengujian dilakukan menggunakan semen PCC = *Portland Composite Cement* dan PPC = *Portland Pozzolan Cement* dengan mutu beton tinggi 42 MPa dan mutu beton normal 25 Mpa. Pada beton mutu tinggi menggunakan campuran *silica fume* (10% dari berat semen), *superplasticizer* (0,5% dari berat semen). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai faktor konversi kuat tekan beton dan mengetahui pengaruh penggunaan semen PCC dan PPC pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan dua jenis semen tersebut. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan akan diuji menggunakan pengujian kuat tekan beton.

2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Berikut dijelaskan penelitian mengenai angka faktor konversi mutu beton pada berbagai umur yang pernah dilakukan dan perbedaannya terhadap penelitian ini pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Ray dkk. (2016)	Prakoso (2016)	Ibrahim (2021)	Salam (2023)	Penulis (2024)
Judul Penelitian	Studi Angka Koefisien Korelasi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Umur dan Bentuk Benda Uji Standar SNI 03-2847-2002	Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Semen Bima dan Semen Holcim Dengan Variasi Umur 7, 14, dan 28 Hari Menggunakan Nilai FAS 0,5	Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen PCC (<i>Portland Composite Cement</i>).	Penggunaan Semen Jenis OPC, PPC, dan PCC Pada Beton Terhadap Variasi Umur Beton Dengan Metode Pengujian <i>Destructive</i> dan <i>Non-Destructive</i>	Analisis Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Pada Beton Mutu Normal Dan Beton Mutu Tinggi PCC Dan PPC
Tujuan Penelitian	Memperoleh angka korelasi kuat tekan beton mutu tinggi sesuai dengan benda uji standar SNI 03- 2847-2002, dan membandingkan nilai rasio korelasi bentuk benda uji antara kubus dengan silinder.	Memperoleh nilai kuat tekan beton, memperoleh nilai perbandingan kuat tekan beton pada semen Bima dan semen Holcim, dan memperoleh faktor pengali yang dihasilkan pada umur 7, 14, dan 28 hari	Memperoleh hubungan antara umur dan kuat tekan beton berupa koefisien umur beton untuk dikonversikan ke umur 28 hari.	Mengetahui kuat awal semen yang dipakai sebelum 28 hari, mengetahui korelasi antara kerapatan beton dengan kuat tekan, membandingkan angka konversi umur beton yang diperoleh dengan faktor umur PBI 1971.	Menentukan nilai faktor konversi kuat tekan beton pada beton mutu normal dan tinggi PCC, PPC umur 3,7,14,21,28 hari. mengetahui pengaruh penggunaan PCC dan PPC pada beton mutu normal dan beton mutu tinggi
Jenis Semen	-	PCC dan PPC	PCC	OPC, PPC, dan PCC.	PPC dan PCC
Kuat Tekan Rencana	25 Mpa dan 40 MPa	33,5 MPa	225 kg/cm ²	22,80 MPa	25 MPa dan 42 MPa
Jenis Pengujian	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan
Benda Uji	Silinder 15 x 30 cm Kubus 15 x 15 x 15 cm	Silinder 15 x 30 cm	Kubus 15 x 15 x 15 cm	Silinder 15 x 30 cm	Silinder 15 x 30 cm

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Ray dkk. (2016)	Prakoso (2016)	Ibrahim (2021)	Salam (2023)	Penulis (2024)
Umur Beton	3, 7, 14, 21, dan 28 hari	17, 14, dan 28 hari	3, 14, 28, 60 dan 90 hari	3, 7, 14, 21, dan 28 hari	3, 7, 14, 21, dan 28 hari
Hasil Pengujian	Diperoleh nilai korelasi umur pada beton mutu 40 Mpa untuk umur 3,7,14,21,28 hari berturut-turut adalah 0,40 0,68 0,91 0,94 1. Pada beton mutu 25 MPa adalah 0,37, 0,61, 0,86, 0,92, 1,00. Rasio angka korelasi bentuk benda uji dari silinder khususnya pada mutu tinggi adalah sama besar atau dengan angka korelasi sebesar 1,00, dengan kata lain bentuk benda uji antara kubus dan silinder tidak memberikan pengaruh.	Hasil penelitian ini menunjuk perbandingan nilai kuat tekan beton semen Bima lebih besar dari semen Holcim dengan selisih sebesar 10,50 MPa (33,50%) pada 28 hari, faktor pengali pada umur 7, 14, 28 hari berturut - turut untuk Bima 1,48, 1,38, 1 dan Holcim 1,20, 1,02, 1. Faktor konversi kuat tekan beton pada umur 7, 14, 28 hari berturut-turut didapatkan untuk Bima sebesar 0,67, 0,72, 1 dan Holcim sebesar 0,84, 0,97, dan 1.	Pada penelitian ini diperoleh koefisien umur beton untuk semen PCC PT Tonasa untuk umur 3, 14, 28, 60, dan 90 berturut-turut adalah 0,45, 0,84, 1,0, 1,12, 1,22. dan untuk PCC PT Bosowa adalah 0,47,079, 1, 1,06, 1,20. Koefisien kedua semen PCC yang digunakan memberikan hasil yang tidak terlampau jauh perbedaanya dengan koefisien semen OPC tipe 1 yang tertera pada PBI untuk umur 3, 14, 28, dan 90 berturut-turut adalah 0,46, 0,88, 1, dan 1,18.	Diperoleh nilai perbandingan prosentase kuat tekan pada berbagai umur untuk semen jenis PPC pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut adalah 0,44, 0,62, 0,82, 0,89, dan 1. Semen jenis PCC pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut adalah 0,36, 0,64, 0,71, 0,84 dan 1. Semen jenis OPC pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut adalah 0,49, 0,73, 0,89, 0,92, dan 1. Angka konversi prosentase umur beton terhadap kuat tekan beton pada jenis semen PPC dan PCC relatif sama dengan tabel konversi umur yang telah tertera pada PBI 1971, sedangkan untuk semen OPC pada berbagai umur beton menunjukkan prosesentase nilai yang lebih tinggi.	Faktor konversi kuat tekan beton yang didapatkan pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari untuk beton normal semen PCC serta PPC berturut-turut sebagai berikut 0,45, 0,67, 0,77, 0,95, 1,00 dan 0,62, 0,78, 0,88, 0,93, 1,00. Sementara itu, beton mutu tinggi dengan PCC dan PPC berturut-turut sebagai berikut 0,46, 0,67, 0,88, 0,94, 1,00 dan 0,57, 0,65, 0,85, 0,91, 1,00. Pengaruh semen PCC dan PPC antara lain, PCC memiliki <i>workability</i> yang lebih baik dibandingkan PPC, PPC menghasilkan kuat tekan lebih tinggi di setiap umur pengujian. PPC menghasilkan kuat tekan awal dan akhir yang lebih tinggi dibandingkan PCC, PCC memiliki laju peningkatan (pertumbuhan) kuat tekan beton yang lebih cepat dibandingkan PPC.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Material Beton

Beton merupakan pencampuran *portland* semen atau semen hidrolik lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa campuran bahan tambah (*admixture*) (SNI 2847, 2019). Beton adalah material bangunan yang paling sering digunakan, seperti pada bendungan, pipa saluran, pondasi, *basement*, gedung bertingkat tinggi, jembatan, maupun perkerasan jalan. Bahan aktif pada beton terdiri dari semen dan air yang berfungsi sebagai perekat. Sementara itu, bahan pasif terdiri dari agregat berupa pasir dan kerikil sebagai pengisi atau filer. Campuran kedua bahan tersebut bila dituang ke dalam cetakan lalu dibiarkan, maka akan mengeras seperti batuan dengan kuat tekan yang tinggi (Tjokrodinuljo, 1995).

Beton mempunyai peranan krusial dalam menentukan kekuatan dan umur sebuah bangunan, hal tersebut dikarenakan beton mempunyai kelebihan dan kekurangan. Menurut McCormac (2005) beton memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu.

a) Kelebihan Beton

1. Beton mempunyai kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dari kebanyakan bahan lain.
2. Beton mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air.
3. Beton memiliki umur layan yang sangat panjang.
4. Beton memiliki kemampuan untuk dicetak menjadi berbagai bentuk.
5. Struktur beton bertulang merupakan struktur yang sangat kokoh.
6. Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal seperti pasir, kerikil, dan air yang murah dan memerlukan sedikit semen dan tulangan yang mungkin saja harus diperoleh dari daerah lainnya.
7. Beton tidak memerlukan pemeliharaan dengan biaya yang tinggi.

8. Dalam pengerjaan membangun konstruksi beton bertulang kemampuan atau keahlian buruh yang diperlukan lebih rendah dibandingkan dengan bahan lain seperti struktur baja.
 9. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang terjangkau untuk pondasi tapak, dinding *besment*, tumpuan tiang jembatan, dan bangunan semacamnya.
- b) Kekurangan Beton
1. Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah, sehingga dibutuhkan tulangan untuk mengatasi hal tersebut.
 2. Beton memerlukan bekisting untuk membentuk serta menahan beton tetap di tempatnya sampai beton mengeras.
 3. Beton memiliki kekuatan per satuan berat yang rendah mengakibatkan beton bertulang menjadi berat yang dapat mempengaruhi momen lentur.
 4. Beton memiliki kekuatan per satuan berat yang rendah mengakibatkan beton akan berukuran relatif besar, hal tersebut harus dipertimbangkan dalam pembangunan gedung tinggi dan struktur berbentang panjang.

3.2 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), air, dan semen. Dalam perencanaannya dapat ditambahkan bahan tambah (*admixture*) untuk memenuhi sifat dan karakteristik yang diinginkan. Setiap material penyusun beton memiliki fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda serta memiliki persyaratan yang harus dipenuhi sebagai penyusun beton.

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan butiran yang memiliki fungsi sebagai pengisi (*filer*) dalam beton atau campuran mortar. Agregat dapat diperoleh secara alami (kerikil, batu, pasir) dan dapat diperoleh dari proses pembuatan dari bahan material lain seperti batu split atau batu pecah. Seiring berkembangnya ilmu bahan konstruksi material selain agregat dapat digunakan atau ditambahkan sebagai agregat (*plastik*, *fly ash*, dan lempung) (Putra, 2021). Secara umum, kategori agregat dibedakan menjadi 2 macam yaitu.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 1970 (2016), agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan memiliki ukuran butir paling besar 4,75 mm atau no 4. Adapun persyaratan agregat halus untuk campuran beton berdasarkan ASTM C-33 (2003) adalah sebagai berikut.

- a. Kandungan lumpur atau butiran kecil dari 0,074 mm atau ayakan no 200 pada agregat halus tidak boleh melebihi 3% berat kering untuk beton yang mengalami abrasi dan 5% untuk jenis beton lainnya, apabila kadar lumpur lebih dari persyaratan, maka agregat harus dilakukan penyucian.
- b. Bentuk agregat halus memiliki butiran yang tajam dan kuat, tidak mudah hancur oleh panas atau hujan.
- c. Agregat harus terdiri dari butiran yang beragam.
- d. Modulus halus butir berada pada rentang 2,3 – 3,1.
- e. Kadar gumpalan tanah liat atau partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
- f. Untuk beton ekspos kandungan arang atau lignit maksimum 0,5% dan beton jenis lainnya maksimum 1,0%.
- g. Kadar zat organik ditentukan dengan mencampur larutan Natrium Sulfat (NaSO_4) sebesar 3% dengan agregat halus, warna yang dihasilkan tidak lebih tua dibandingkan dengan warna standar. Apabila agregat halus memiliki warna yang lebih tua maka agregat halus tersebut tidak diperkenankan digunakan kecuali sebagai berikut.
 - 1) Warna tersebut timbul dikarenakan terdapat kandungan sedikit arang lignit atau sejenisnya.
 - 2) Ketika dilakukan pengujian kuat tekan beton berdasarkan ASTM C.87 yang dibuat dengan pasir standar silika menghasilkan kuat tekan dengan nilai lebih besar dari 95%.
- h. Ketahanan agregat halus bila dilakukan pengujian menggunakan natrium sulfat bagian yang hancur tidak lebih dari 10%, dan bila menggunakan magnesium sulfat tidak melebihi 15%.

- i. Agregat halus jika digunakan pada beton yang berhubungan dengan kelembaban dan basah maka agregat tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali. Agregat juga tidak diperbolehkan berhubungan dengan bahan yang memiliki sifat reaktif dengan alkali semen, di mana penggunaan semen mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- j. Susunan gradasi agregat halus harus memenuhi persyaratan berikut yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)		Berat Benda Uji (gram)		
Lewat	Tertinggal	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C
38,10	25,40	1250		
25,40	19,05	1250		
19,05	12,70	1250	1250	
12,70	9,51	1250	1250	
9,51	6,35			1250
6,35	4,75			1250

Sumber : ASTM C-33 (2003)

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 1969 (2016), agregat kasar merupakan batuan sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan memiliki ukuran butir paling kecil 4,75 mm sampai 40 mm (No. 1 ½ inci). Agregat kasar sering disebut sebagai kerikil atau batu pecah (split). Adapun persyaratan agregat kasar untuk campuran beton berdasarkan ASTM C-33 (2003) adalah sebagai berikut.

- a. Kerikil yang digunakan memiliki sifat keras, tidak berpori, dan bersifat kekal(tidak mudah hancur karena faktor cuaca). Butir agregat yang berbentuk pipih dapat digunakan kurang dari 20% dari berat keseluruhan agregat.
- b. Agregat yang digunakan tidak boleh terdapat bahan yang dapat merusak beton, seperti zat yang reaktif terhadap alkali semen.
- c. Kadar lumpur yang terkandung tidak lebih dari 1%.

- d. Agregat kasar harus terdiri dari butiram yang beragam.
- e. Susunan agregat kasar harus memenuhi persyaratan berikut yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40mm	20mm	10mm
80	100	-	-
40	95 – 100	100	-
20	35 – 70	95 – 100	100
10	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 - 10	0 - 10

Sumber: SNI 03 2834-2000

3.2.2 Semen

Semen merupakan material utama dalam pembuatan campuran beton yang berfungsi sebagai pengikat agregat menjadi kesatuan beton yang kuat. Butiran semen bereaksi dengan air sehingga sering disebut sebagai bahan ikat hidraulis. *Portland* semen merupakan semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* yang terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidraulis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau beberapa bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan diperbolehkan untuk ditambah bahan tambahan lain (Putra, 2021).

Portland Composite Cement (PCC), menurut SNI 15-7064 (2004), PCC adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersamaan dengan terak *portland* semen dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil campuran antara bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik lainnya dapat berupa terak tanur tinggi (*blast furnance slag*), pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur. Total kadar bahan anorganik pada semen *portland* komposit berada pada rentang 6%-35% dari berat semen. Semen PCC memiliki kegunaan untuk konstruksi beton umum, pekerjaan beton, pemasangan batu dan batu bata, acian, plesteran, jalan, irigasi, elemen bangunan khusus seperti beton *pre-cast*, beton prategang, panel beton dan lainnya.

Menurut SNI 15-0302 (2004), PPC merupakan semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara *portland* semen dengan bahan yang bersifat pozzolan halus, yang diproduksi dengan penggilingan klinker *portland* semen dan pozzolan. Kadar pozzolan pada PPC berada pada rentang 6-40% dari massa *portland* semen. Semen PPC memiliki kegunaan untuk konstruksi beton umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang seperti, jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bangunan irigasi, bendungan. Menurut SNI 03-2915 (2002), semen PPC dapat digunakan untuk membuat beton di daerah sulfat. Daerah yang lingkungannya memiliki kadar sulfat antara lain adalah pesisir pantai, daerah di sekitar pegunungan kapur, di sekitar danau yang memiliki endapan mineral sulfat.

Campuran beton dan mortar yang menggunakan PPC memiliki sifat pengerjaan yang mudah, namun akan mengalami perpanjangan waktu pengikatan dikarenakan reaksi hidrasi yang lambat. Kuat tekan beton dengan pozzolan *cement* seiring bertambahnya umur akan semakin tinggi kekuatannya dikarenakan masih terjadi reaksi antara silika aktif pozzolan dengan Ca(OH)_2 yang membentuk senyawa CSH. Selain itu terdapat semen jenis lain, yaitu OPC = *Ordinary Portland Cement*) berdasarkan SNI 2049 (2015), semen jenis ini dikategorikan menjadi lima berdasarkan jenis dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Jenis *Portland* Semen

Jenis <i>Portland</i> Semen	Penggunaan
Tipe I	Semen yang digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain.
Tipe II	Semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
Tipe III	Semen yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada permulaan setelah pengikatan terjadi.
Tipe IV	Semen yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
Tipe V	Semen yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Sumber : SNI 2049-2015

3.2.3 Bahan Tambah (*Admixture*)

Penggunaan bahan tambah (*admixture*) dalam pencampuran beton bertujuan untuk memenuhi kebutuhan sifat dan karakteristik beton yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja (*performance*), mutu (*quality*), ketahanan (*durability*), kemudahan pengerjaan (*workability*). Adapun bahan tambah (*admixture*) dapat dibedakan menjadi dua jenis, sebagai berikut.

1. Bahan Tambah Kimia (*Chemical Admixture*)

Menurut SNI 2495 (1991), bahan tambah kimia dapat dikategorikan sebagai berikut.

a. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)

Water-Reducing Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi sebagai pengurang kadar penggunaan air dalam campuran beton, sehingga mampu menghasilkan beton dengan faktor air semen yang lebih rendah, namun memiliki kemampuan pengerjaan yang sama dengan beton tanpa bahan tambah.

b. Tipe B (*Retarding Admixture*)

Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk memperlambat waktu ikat (*setting time*) beton.

c. Tipe C (*Accelerating Admixture*)

Accelerating Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi sebagai *accelerator*, yaitu mempercepat waktu ikat beton (*setting time*) dan peningkatan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Water Reducing and Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi jumlah air pada campuran beton dan mempercepat waktu ikat (*setting time*) beton.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water Reducing and Accelerating Admixtures merupakan bahan tambah yang berfungsi mengurangi jumlah air pada campuran beton dan mempercepat waktu ikat (*setting time*) beton

f. Tipe F (*Water Reducing, High Range Admixtures*)

Water Reducing, High Range Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi mengurangi kadar air pada campuran 12% atau lebih yang bertujuan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

g. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi mengurangi kadar air pada campuran sebesar 12% atau lebih guna menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan sekaligus memperlambat waktu ikat (*setting time*) beton.

2. Bahan Tambah Mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral merupakan bahan padat yang dihaluskan untuk ditambahkan pada campuran beton yang memiliki fungsi untuk mencapai sifat beton agar mudah dikerjakan, kekuatan, dan keawetannya meningkat. Bahan tambah mineral dapat berupa pozzolan, slag, abu terbang (*fly ash*), abu sekam, dan *silica fume*.

3.2.4 Bahan Tambah yang Digunakan Pada Penelitian

a. *Superplasticizer*

Menurut Murdock dan Brook (1999), *superplasticizer* merupakan suatu bahan tambah (*admixture*) yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton atau mortar. Penambahan tersebut dilakukan saat proses pengadukan berlangsung. *Superplasticizer* termasuk ke dalam bahan tambah kimia yang memiliki fungsi mengurangi kadar air dalam jumlah yang besar dan memberikan kelecakan (kemudahan campuran beton diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan). Kelecakan tersebut membuat ikatan antar molekul menjadi semakin baik, lalu membentuk beton yang padat dan memperkecil rongga udara pada beton. *Superplasticizer* juga dapat meningkatkan *slump* pada beton.

Superplasticizer yang digunakan yaitu Sika Viscocrete 1003. PT Sika Indonesia menganjurkan kadar persentase penggunaan *superplasticizer* sebesar 0,2% - 0,6% dari berat semen. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Martonogaro (2023), menunjukkan bahwa hasil

kuat tekan beton yang optimum terjadi pada penggunaan *Superplasticizer* dengan produk dari PT Sika Indonesia sebesar 0,4 dan 0,5%. Berdasarkan rekomendasi dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka pada penelitian ini digunakan persentase *Superplasticizer* sebesar 0,5%.

b. *Silica Fume*

Silica fume merupakan material yang memiliki kandungan SiO_2 berdiameter 1/100 dari diameter semen dan sangat halus. *Silica fume* memiliki peran dalam mempengaruhi sifat kimia serta mekanik beton. Ditinjau dari sifat kimianya *silica fume* dapat menempati celah antar semen yang mengakibatkan pori serta volume pori total menjadi lebih kecil. Sementara pada sifat mekaniknya, *silica fume* memiliki reaksi yang disebut pozzolan yang dapat bereaksi terhadap semen yang dilepaskan oleh batu kapur, karena memiliki kadar SiO_2 yang tinggi dapat membuat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ serta SiO_2 bereaksi menghasilkan C-S-H (Davendra dan Trimurtiningrum, 2022).

Menurut Nst (2017) pemanfaatan *silica fume* dengan jumlah kurang dari 3% dari berat semen tidak mampu menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari kuat tekan awal beton. Hal tersebut terjadi dikarenakan kadar *silica fume* dalam campuran tidak cukup menutupi permukaan partikel agregat kasar. Sementara itu, penggunaan *silica fume* yang menguntungkan tidak boleh melebihi 10% dari berat semen. Maka untuk penelitian ini digunakan persentase *silica fume* sebesar 10% dari berat total semen.

3.2.5 Air

Air merupakan material penyusun beton yang digunakan untuk memicu proses kimiawi pada semen serta perekat antar butir-butir agregat. Selain itu, air juga mempermudah dalam pengerjaan beton. Kadar air dalam perbandingan jumlah air dan semen pada campuran beton merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan. Air yang berlebihan dapat mengakibatkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan, bila terlalu sedikit menyebabkan tidak maksimalnya proses hidrasi. Air yang diperlukan pada suatu campuran beton dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

1. Ukuran Agregat Maksimum

Semakin besar ukuran butiran agregat, maka kebutuhan air akan menurun begitu pula sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh luas permukaan agregat yang diselimuti air menjadi lebih kecil.

2. Bentuk Butir Agregat

Agregat batu pecah membutuhkan jumlah air yang lebih banyak dibandingkan pada agregat dengan bentuk bulat.

3. Gradasi Agregat

Agregat dengan gradasi baik akan menurunkan kadar kebutuhan air pada campuran beton untuk kelecakan yang sama. Gradasi baik yaitu gradasi agregat dengan butiran yang beragam serta tersusun padat dengan rongga udara yang mendekati nol.

4. Kotoran Dalam Agregat

Kebutuhan air pada campuran beton akan meningkat bila kondisi agregat yang dipakai kotor. Kotoran tersebut dapat berupa lanau, tanah liat, dan lumpur.

Menurut SNI 6861.1 (2002), adapun persyaratan air untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Air harus bersih, tidak didapati kandungan lumpur, minyak ataupun benda lainnya.
2. Tidak mengandung benda tersuspensi (partikel – partikel padat yang tidak larut dalam cairan) tidak lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton seperti zat asam, zat organik dan sebagainya) tidak lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan Cl (Klorida) kurang dari 0,50 gram/liter serta kandungan senyawa sulfat (SO₃) kurang dari 1 gram/liter.

3.3 Beton Mutu Tinggi (High Strength Concrete)

Menurut SNI 03-6468 (2000), beton mutu tinggi atau *high strength concrete* merupakan beton yang memiliki kuat tekan sebesar lebih besar atau sama dengan f'_c 41,4 MPa. Dalam perencanaannya perlu mempertimbangkan komposisi campuran. Komposisi campuran tersebut diperoleh dari *mix design*. Salah satu hal yang harus diperhitungkan adalah faktor air semen.

Rasio air dengan bahan bersifat semen disebut sebagai *water cement ratio* (w/c). Termasuk jika ada bahan-tambah (*admixture*) yang bersifat semen, juga harus dihitung dengan menambahkan ke berat semen. Menurut SNI 03-6468-2000, water cement ratio untuk beton berkekuatan tinggi secara tipikal berada pada rentang 0,2 sampai 0,5. Kadar air juga akan memengaruhi nilai slump campuran beton. *Slump* adalah tingkat kelecakan beton, semakin tinggi nilai *slump* berarti beton semakin mudah mengalir dan *workability* baik. Tingkat *workability* beton dapat dilihat dari nilai slump, semakin tinggi nilai slump, maka tingkat *workability*-nya makin tinggi. Menurut SNI 03-6468 (2000), nilai *slump* untuk beton berkekuatan tinggi umumnya sebesar 50-100 mm. Sedangkan bila ditambahkan dengan *superplasticizer*, nilai slump-nya boleh lebih dari 200 mm.

3.4 Karakteristik dan Sifat Beton

Berikut merupakan karakteristik dan sifat beton.

1. Beton memiliki kuat tekan yang baik namun memiliki kuat tarik yang rendah yang berada pada rentang 9 sampai 15% dari pada kuat tekannya.
2. Sering berjalanya waktu dikarenakan beton memiliki kuat tarik yang rendah, maka akan terjadi keretakan pada beton tersebut.
3. Pada umur 28 hari beton mencapai kekuatan optimalnya.
4. Beton akan bersifat hidrasi yaitu beton menghasilkan panas ketika terjadinya proses kimia saat semen dan air bereaksi.

3.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan besaran beban yang diterima per satuan luas yang akan mengakibatkan suatu sampel uji hancur ketika menerima beban gaya tekan aksial yang disebabkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan rencana f'_c adalah

kuat tekan yang di tentukan oleh perencana, kuat tekan tersebut didapatkan dari uji laboratorium menggunakan sampel uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Berdasarkan SNI 1974 (2011), kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan beton (f'c)} = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

3.4.2 Umur Beton

Kekuatan tekan beton akan terus bertambah seiring berjalanya waktu hal tersebut dikarenakan umur beton yang bertambah . kekuatan beton akan mengalami kenaikan sampai umur 28 hari. Kenaikan kuat tekan beton akan terus bertambah namun kenaikannya lebih rendah (Mulyono, 2004). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari untuk memperoleh kekuatan beton yang maksimum. Kuat tekan beton juga dapat diuji pada umur beton 3, 7, 14, 21, 28 hari, tetapi perlu suatu faktor konversi untuk mencapai kekuatan ke umur beton 28 hari. Adapun faktor konversi pada beton menggunakan jenis semen *portland* biasa dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Faktor Konversi Umur Benda Uji

Umur Benda Uji	Faktor Konversi
3 hari	0,40
7 hari	0,65
14 hari	0,88
21 hari	0,95
28 hari	1,00

Sumber: PBI (1971)

3.5 *Mix Design* (Perencanaan Campuran) Beton

Mix Design (perencanaan campuran) beton pada penelitian ini menggunakan metode yang berpedoman kepada SNI 03-6468 (2000), agar beton menghasilkan mutu yang tinggi. Untuk beton mutu tinggi kuat tekan rencana sebesar 42 MPa yang menggunakan bahan tambah silica fume (10% dari berat semen), kadar *superplasticizer* (0,5% dari berat semen). Sementara itu, pembuatan rencana campuran beton normal menggunakan SNI 2834 (2000), dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Keduanya akan diuji tekan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Berikut langkah-langkah menghitung proporsi campuran beton mutu normal adalah sebagai berikut.

a. *Mix Design* (Perencanaan Campuran) Beton Mutu Normal

Dalam perencanaan campuran beton mutu normal, menggunakan acuan SNI 2834 (2000) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Standar ini memberikan pedoman dalam menentukan komposisi material (semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan) untuk mencapai kualitas beton yang memenuhi kriteria kuat tekan, *workability*, dan durabilitas sesuai kekuatan beton yang dibutuhkan.

1. Menentukan kuat tekan beton ($f'c$) yang diisyaratkan pada umur dan bentuk benda uji tertentu.
2. Menghitung nilai standar deviasi (S_r)

Nilai standar deviasi yang didapatkan dari pengalaman di lapangan pada proses produksi beton menggunakan rumus persamaan 3.2 berikut.

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

S_r = Standar Deviasi

x_i = Kuat tekan beton yang diperoleh dari tiap-tiap benda uji

\bar{x} = Rerata kuat beton

$$x_{\text{rerata}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

n = Jumlah nilai hasil pengujian, diambil minimum 30 buah (satu hasil pengujian merupakan rerata dari dua benda uji).

Dua hasil uji yang digunakan dalam perhitungan untuk memperoleh standar deviasi harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi pembuatan serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton persyaratan ($f'c$) nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai $f'c$ yang ditetapkan.
- c. Minimal hasil pengujian terdiri dari 30 hasil uji yang urut atau dua kelompok hasil pengujian diambil dalam produksi dengan rentang waktu ≥ 45 hari.
- d. Jika pembuatan beton tidak memiliki dua hasil pengujian yang memenuhi persyaratan standar deviasi (S_r), namun hanya terdapat sebanyak 15-29 hasil pengujian yang urut, maka nilai standar deviasi adalah perkalian standar deviasi yang dihitung dari data hasil pengujian tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2834 (2000)

- e. Jika hasil pengujian data lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan beton rerata yang di targetkan $f'cr$ yang harus diambil tidak kurang dari $f'c + 12$ MPa.
3. Menghitung nilai tambah atau *margin* (M) menggunakan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.3)$$

Keterangan:

M = Margin atau nilai tambah

S_r = Standar Deviasi.

4. Menghitung kuat tekan beton rerata (f'_{cr}) yang ditargetkan dengan persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c \times M \quad (3.4)$$

Keterangan:

f'_{cr} = kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton rencana (Mpa)

M = Margin atau Nilai Tambah

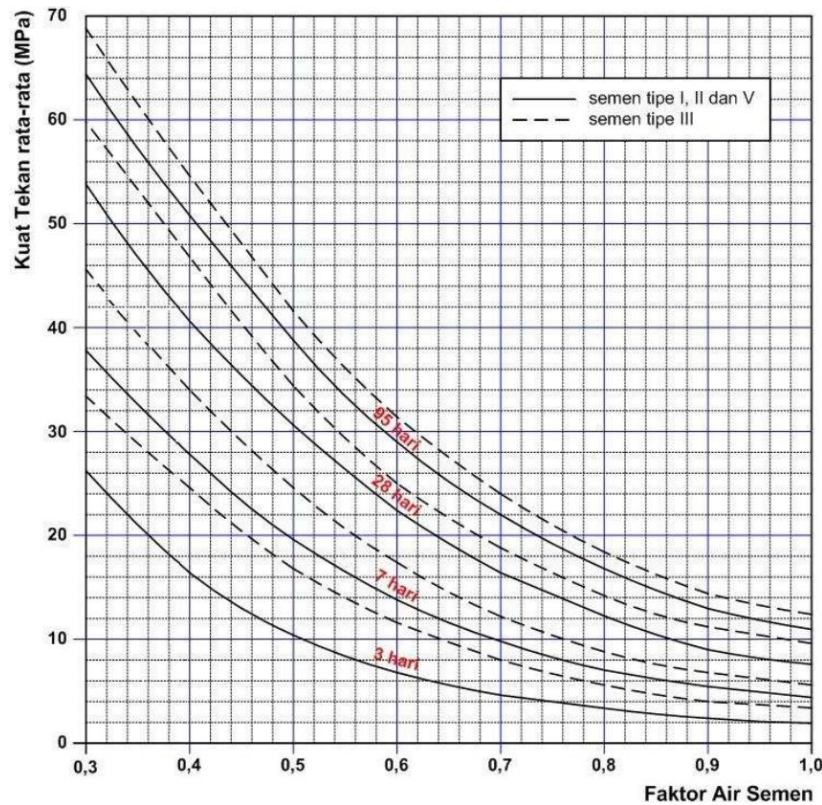
5. Menetapkan jenis semen.
6. Menetapkan jenis agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan.
7. Menetapkan faktor air semen (fas) dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Menentukan kuat tekan pada umur 28 hari menggunakan Tabel 3.6 berikut sesuai jenis semen dan agregat yang digunakan.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan Beton (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen <i>Portland</i> Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II. V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Kubus
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834 (2000)

- b. Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang didapatkan pada butir 7a dengan faktor air semen (fas) sebesar 0,5 pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan faktor air semen (fas)
(Sumber: SNI 2834, 2000)

- c. Menetapkan faktor air semen yang dibutuhkan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang telah diperoleh pada butir 4 dengan kurva lengkung pada butir 7b.
8. Menentukan faktor air maksimum, selanjutnya ambil nilai faktor air semen (fas) terkecil antara langkah perhitungan butir 7 dan butir 8.
 9. Menentukan ketinggian *slump*.
 10. Menentukan ukuran agregat maksimum yang diperoleh dari pengujian properties agregat.
 11. Menetapkan nilai kadar air bebas menggunakan Tabel 3.7 dan persamaan 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Diperlukan Untuk Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	115	175	190	205

Sumber: SNI 2834 (2000)

$$w = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.5)$$

Keterangan:

w = Kadar air bebas (kg/m³)

w_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m³)

w_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m³)

12. Menetapkan kadar semen yang diperlukan menggunakan persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.6)$$

Keterangan:

c = Jumlah semen (kg/m³)

w = Kadar air bebas (kg/m³)

fas = faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen minimum berdasarkan lokasi beton rencana yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

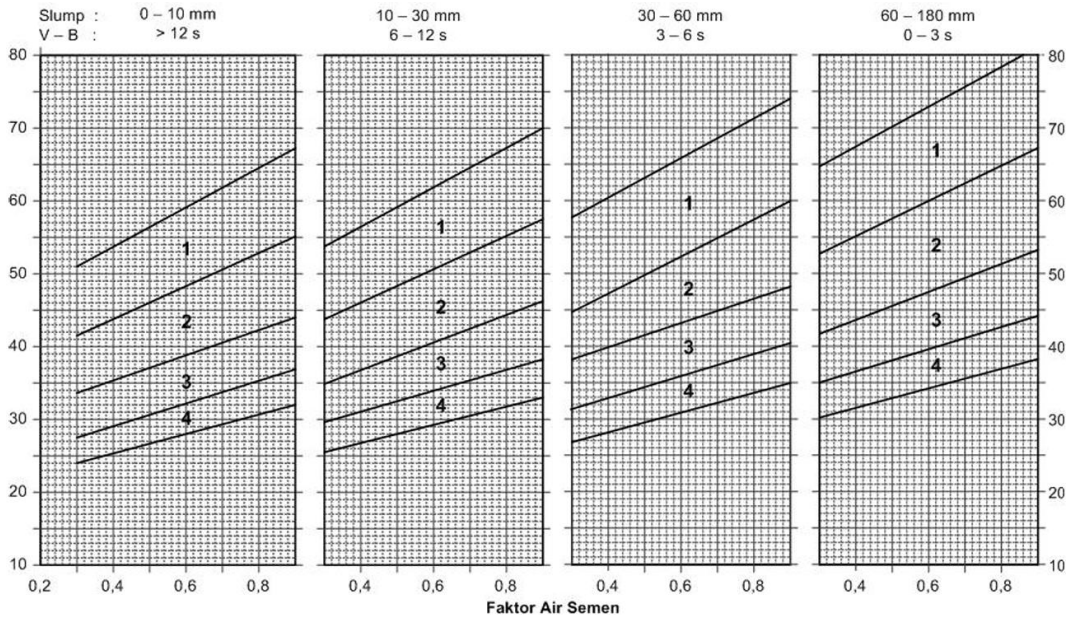
Lokasi	Jumlah Semen Minimum (kg/m³)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton terletak di dalam tanah:		
a. Mengalami kondisi basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		Lihat Tabel 6
b. Air laut		

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Tabel 3. 9 Fas Maksimum Akibat Pengaruh Sulfat dan Alkali dari Tanah

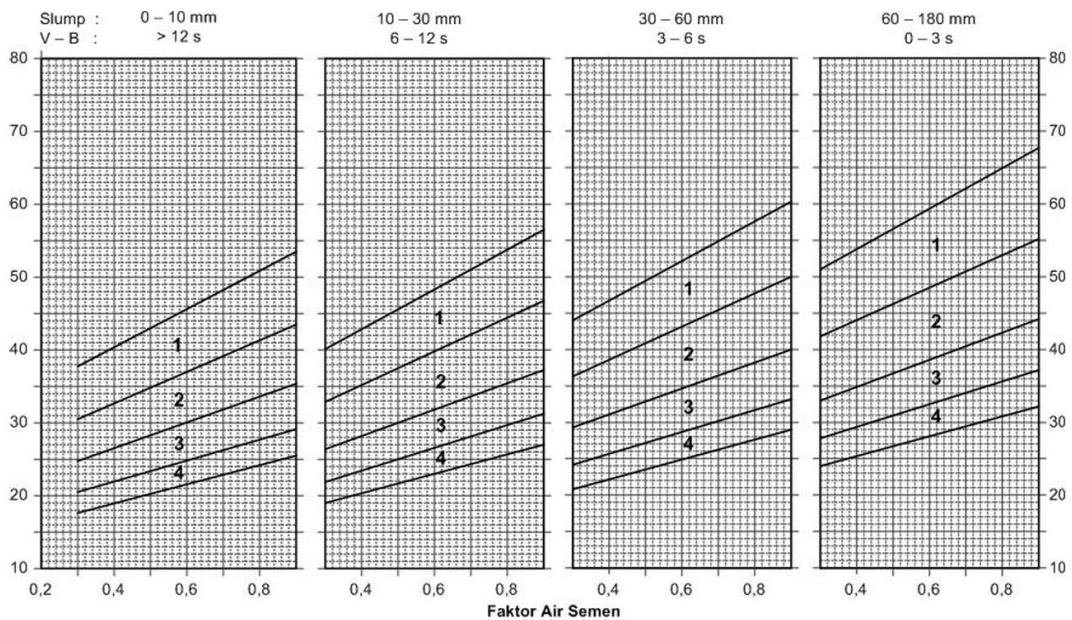
Kadar gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat		Sulfat (SO ₃) Dalam air tanah (g/l)	Tipe Semen	Kandungan Semen minimum (kg/m ³)			Fas
	Dalam Tanah				Ukuran Agregat maksimum (mm)			
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2:1 (g/l)			40	20	10	
1	< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe 1 Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0 - 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atay Tipe V	330	370	420	0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau Tipe V dan Lapisan Pelindung	330	370	420	0,45

14. Menentukan jumlah semen yang digunakan, dengan mengambil nilai tertinggi dari hasil perhitungan menjadi jumlah semen maksimum atau minimum.
15. Menentukan faktor air semen (fas) yang disesuaikan, ditentukan apabila terjadi perubahan jumlah kebutuhan semen dari hasil perhitungan pada butir 12 menjadi jumlah semen maksimum atau jumlah semen minimum.
16. Menentukan susunan butiran agregat halus, yang diperoleh dari pengujian properties agregat.
17. Menentukan susunan butiran agregat kasar, yang diperoleh dari pengujian properties agregat.
18. Menentukan presentase agregat halus dengan grafik menggunakan Gambar 3.2 sampai Gambar 3.4 bergantung kepada ukuran butiran maksimum agregat kasar, nilai *slump* yang dibutuhkan dan gradasi agregat halus.



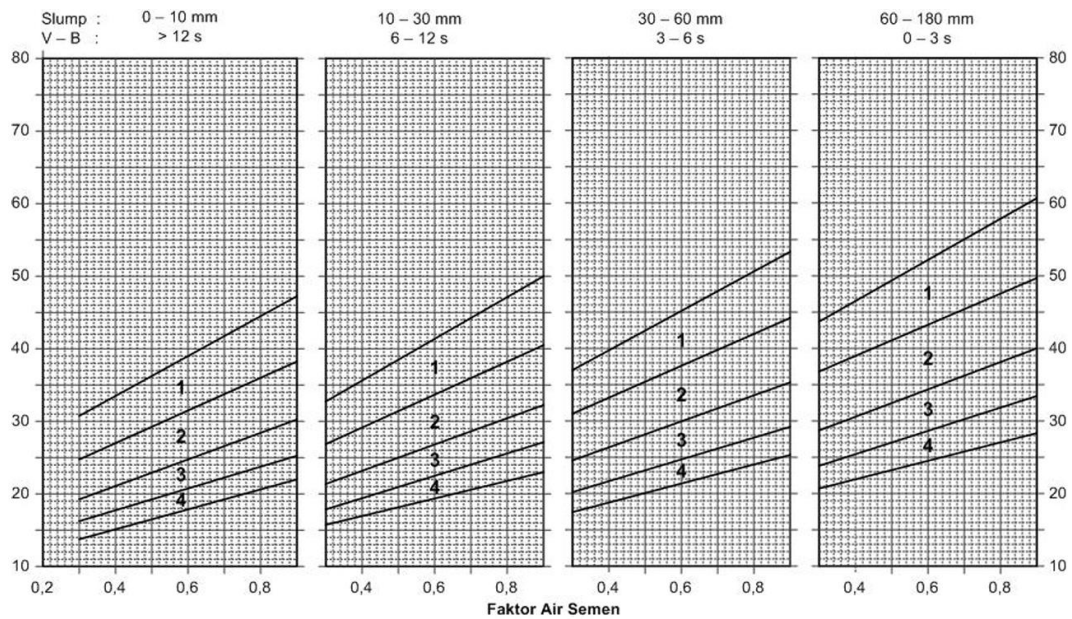
Grafik 2.a Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm

Gambar 3. 2 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 10 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)



Grafik 2.b Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 20 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)



Grafik 2.c. Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butiran 40 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

19. Menghitung berat jenis relatif agregat (gabungan) dengan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$BJ_{Ag. Gab} = (\%Ag. Halus \times BJ_{Ag. Halus}) + (\%Ag. Kasar \times BJ_{Ag. Kasar}) \quad (3.7)$$

Keterangan:

$BJ_{Ag. Gab}$ = Berat jenis relatif agregat gabungan (%)

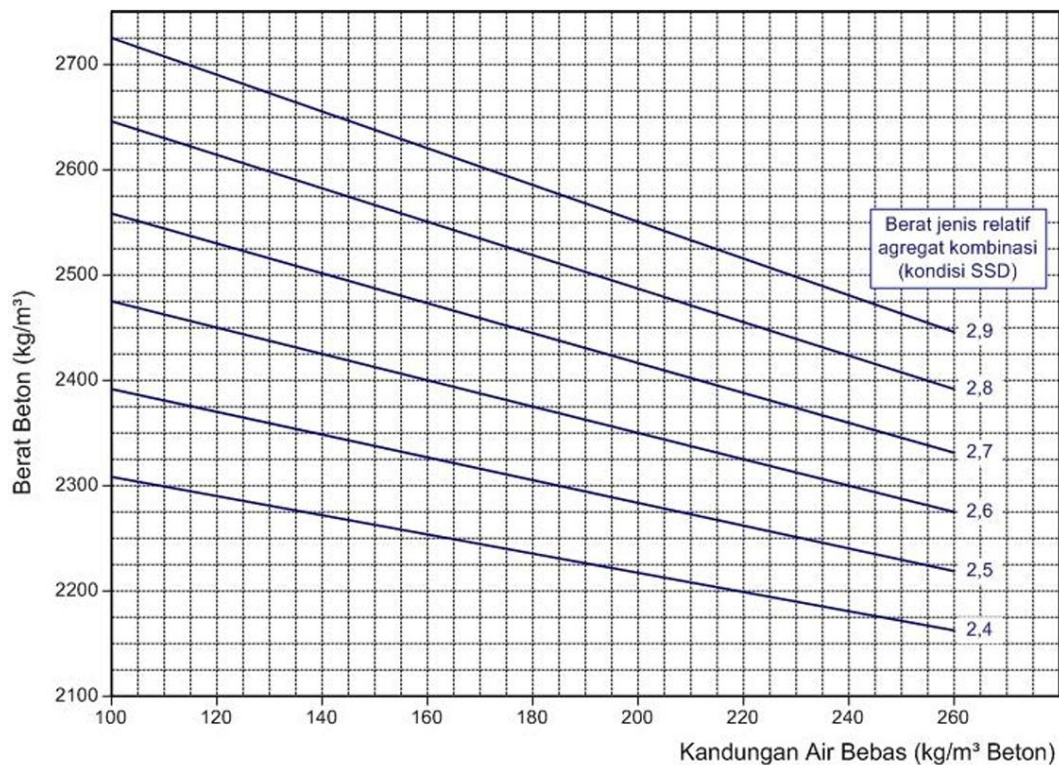
$\%Ag. Halus$ = Persentase agregat halus (%)

$\%Ag. Kasar$ = Persentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag. Halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag. Kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi atau volume beton menggunakan Grafik 16 berdasarkan berat air bebas dan berat jenis agregat gabungan yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Grafik 3 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat campuran dan Berat Isi Beton

Gambar 3. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan
(Sumber: SNI 2834, 2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan dengan persamaan 3.8 berikut.

$$W_{\text{Ag. Gab}} = W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \quad (3.8)$$

Keterangan:

$W_{\text{Ag. Gab}}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{beton} = Berat isi atau volume beton (kg/m^3)

W_{semen} = Kadar semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

22. Menghitung kadar agregat halus dengan persamaan 3.9 berikut.

$$W_{\text{Ag. Halus}} = \% \text{Ag. Halus} - W_{\text{Ag. Gab}} \quad (3.9)$$

Keterangan:

$W_{Ag. Halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$\%Ag. Halus$ = Persentase agregat halus (%)

$W_{Ag. Gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

23. Menghitung kadar agregat kasar dengan Persamaan 3.10 berikut.

$$W_{Ag. Kasar} = W_{Ag. Gab} - W_{Ag. Halus} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$W_{Ag. Kasar}$ = Kadar agregat kasar (kg/m^3)

$W_{Ag. Halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$W_{Ag. Gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

24. Dari hasil perencanaan campuran (mix design) beton diperoleh proporsi campuran teoritis setiap m^3 dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Sehingga dalam pengujian, didapatkan proporsi campuran dengan mengalikan hasil proporsi campuran teoritis per m^3 dengan volume total benda uji.

b. *Mix Design* (Perencanaan Campuran) Beton Mutu Tinggi

Dalam perencanaan campuran beton mutu tinggi, menggunakan acuan SNI 03-6468 (2000) tentang tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen *portland* dengan abu terbang. Standar ini memberikan pedoman dalam menentukan komposisi material (semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan) untuk mencapai kualitas beton yang memenuhi kriteria kuat tekan, *workability*, dan durabilitas sesuai kekuatan beton yang dibutuhkan.

1. Menentukan kuat tekan beton f'_c pada umur 28 hari.
2. Menentukan kuat tekan beton yang ditargetkan.

Diperlukannya penargetan kuat tekan beton agar dapat tercapainya kuat tekan beton yang disyaratkan. Ada dua cara dalam menghitung kuat tekan yang ditargetkan. Jika sampel uji dibuat berdasarkan campuran di laboratorium, maka menggunakan persamaan 3.11 di bawah. Namun, jika sampel uji yang

dibuat berdasarkan pengalaman lapangan, maka menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9,66MPa}{0,90} \quad (3.11)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 \times S_r \quad (3.12)$$

Keterangan:

f'_{cr} = Target kuat tekan rata-rata (MPa)

f'_c = Kuat tekan rata-rata yang disyaratkan (MPa)

S_r = Standar Deviasi.

3. Menentukan nilai *slump*

Nilai *slump* untuk beton mutu tinggi tanpa bahan tambah *superplasticizer* berada pada rentang 50 sampai 100 mm. Untuk beton mutu tinggi dengan tambahan *superplasticizer*, nilai *slump*nya boleh lebih dari 200 mm.

4. Menentukan ukuran maksimum agregat kasar.

Ukuran agregat maksimum agregat kasar untuk kuat tekan beton dengan rata-rata kurang dari 62,1 MPa adalah 20 sampai 25 mm. Ukuran agregat kasar untuk kuat tekan beton dengan rata-rata lebih dari 62,1 MPa adalah 10 sampai 15 mm. Ukuran agregat kasar ini mengacu kepada SNI 03-2947-1992 yaitu:

a. $\frac{1}{5}$ lebar minimum acuan

b. $\frac{1}{3}$ tebal plat beton, dan

c. $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antar tulangan.

5. Menentukan kadar optimum agregat kasar.

Kadar optimum agregat kasar digunakan bersamaan dengan agregat halus yang mempunyai kandungan modulus butir 2,5 sampai 3,2. Berat agregat kasar padat kering oven per m³ beton adalah besarnya fraksi volume kering oven dikalikan berat isi padat kering oven (kg/m³). Tabel fraksi volume optimum agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3. 10 Fraksi Volume Optimum Agregat Kasar

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi volume padat kering oven	0,65	0,68	0,72	0,75

Sumber: SNI 03-6468-2000

Setelah didapatkan nilai fraksi optimum agregat kasar, dapat dihitung menggunakan persamaan 3.13.

Kadar agregat kasar optimum = fraksi volume agregat x berat volume (3.13)

6. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara.

Estimasi kadar air dan kadar udara dapat dilihat pada Tabel 3.11. Selanjutnya, kadar rongga udara dan angka koreksi kadar air dapat dihitung dengan persamaan 3.14 dan 3.15 di bawah ini.

Tabel 3. 11 Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara Beton Segar

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

Sumber: SNI 03-6468-2000

$$V = 1 - \frac{\text{berat isi kering oven}}{\text{berat jenis relatif (kering)}} \times 100 \quad (3.14)$$

$$\text{Koreksi} = (V - 35) \times 4,75 \quad (3.14)$$

Keterangan:

$$V = \text{Kadar rongga udara}$$

Sehingga didapatkan kebutuhan total air menggunakan persamaan 3.15 berikut ini.

$$\text{Kebutuhan total air} = \text{estimasi kebutuhan air} + \text{koreksi kadar air} \quad (3.15)$$

7. Menentukan faktor air semen (fas)

Nilai faktor air semen (fas) ditentukan menggunakan interpolasi berdasarkan kuat tekan beton rata-rata rencana, umur rencana, dan ukuran maksimum butir agregat kasar. Jika benda uji menggunakan bahan tambah *superplasticizer*, maka nilai faktor air semen akan berbeda dikarenakan penggunaan *superplasticizer* mempengaruhi jumlah kadar air yang digunakan. Perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan disebut dengan rasio *water cement* (w/c). Berikut merupakan nilai maksimum rasio (w/c) yang dianjurkan untuk campuran beton tanpa *superplasticizer* yang dapat dilihat pada Tabel 3.12 di bawah ini.

Tabel 3. 12 Rasio (w/c) yang Disarankan Tanpa Bahan Tambah *Superplasticizer*

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

Sumber: SNI 03-6468-2000

Sedangkan untuk campuran beton dengan tambahan *superplasticizer*, nilai (w/c) dapat dilihat pada Tabel 3.13 sebagai berikut.

Tabel 3. 13 Rasio (w/c) yang Disarankan Dengan Bahan Tambah Superplasticizer

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		Rasio (w/c)			
		Ukuran Maksimum Agregat Kasar (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,4	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,9	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI 03-6468-2000

8. Menghitung kadar bahan yang bersifat semen.

Menghitung kadar bahan yang bersifat semen untuk setiap m^3 dihitung dengan persamaan 3.16 berikut ini.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{\text{total kebutuhan air}}{\text{rasio } \left(\frac{w}{c}\right)} \quad (3.16)$$

3.6 Perawatan Beton

Perawatan beton merupakan upaya untuk mempertahankan kadar air dan juga suhu beton setelah dilakukan pengecoran yang bertujuan menghasilkan mutu beton yang sesuai rencana dan memastikan reaksi hidrasi semen berlangsung optimal serta menjaga beton tidak mengalami penyusutan berlebih akibat kehilangan kelembaban. Berikut beberapa acuan dalam melakukan perawatan beton.

1. SNI 03-2847 (2002), mengatur perawatan beton selama 7 hari untuk beton normal dan 3 hari untuk beton dengan kuat tekan awal tinggi.
2. *American Concrete Institute 318 (2019)* mengatur, perawatan beton dilakukan sampai kuat tekan mencapai 70% dari kuat beton yang direncanakan.
3. *American Standard Testing and Material ASTM C-150 (1985)* mengatur:

- a. Semen tipe I : waktu perawatan minimum beton selama 7 hari.
- b. Semen tipe II : waktu perawatan minimum beton selama 10 hari.
- c. Semen tipe III : waktu perawatan minimum beton selama 3 hari.
- d. Semen tipe IV : waktu perawatan minimum beton selama 14 hari.

Berikut metode perawatan yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Perawatan dengan pembasahan (*Water Curing*)

Perawatan beton menggunakan metode ini dilakukan dilapangan ataupun di laboratorium. Metode ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- a. Menaruh beton segar pada ruangan yang lembab.
- b. Menaruh beton segar di dalam genangan air.
- c. Meletakkan beton segar di dalam air.
- d. Menyelimuti permukaan beton segar dengan air.

3.7 Pengujian Normalitas Shapiro-Wilk

Pengujian shapiro-wilk dilakukan untuk memastikan distribusi normal dari data kuat tekan beton sebelum menghitung nilai faktor konversi kuat tekan beton. Hal tersebut dilakukan karena menambah keakuratan hasil faktor konversi, keseragaman data yaitu data tersebar secara simetris di sekitar rata-rata untuk memastikan hasil pengujian kuat tekan beton memberikan pola yang konsisten dan dapat diandalkan, serta validasi kualitas data eksperimen dengan memastikan bahwa hasil uji kuat tekan valid dan bebas dari kesalahan sistematis seperti ketidakhomogenenan bahan campuran beton dengan data yang valid maka nilai faktor konversi yang akan dihitung lebih dapat dipercaya. Dalam buku karya Snedecor dan Cochran (1989), "Statistical Methods" Snedecor dan Cochran menjelaskan pentingnya asumsi normalitas dalam analisis uji statistik. Mereka menyatakan bahwa normalitas adalah salah satu asumsi dasar untuk mendapatkan hasil yang valid dan dapat diandalkan dalam inferensi statistik. Penggunaan Uji Shapiro Wilk pada penelitian ini dikarenakan keandalannya pada pengujian pada sampel yang berukuran kecil $n < 50$ dan mampu mendeteksi penyimpangan dari normalitas yang terjadi. Menurut Razali dan Wah (2011), uji Shapiro-Wilk dianggap sebagai pilihan terbaik untuk menguji normalitas data, terutama untuk

ukuran sampel yang kecil hingga sedang yang memiliki banyak data ($n < 50$). Pada penelitian ini akan digunakan bantuan *Software* SPSS versi 26, Saphiro Wilk memiliki rumus asli yang dapat dilihat pada persamaan 3.17 berikut ini.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x})^2} \quad (3.17)$$

Keterangan:

W = Statistik uji Shapiro Wilk

x_i = Nilai data ke-i pada sampel

$x_{(i)}$ = Nilai data ke-i dari yang telah diurutkan dari yang terkecil ke terbesar

\bar{x} = Mean

a_i = Koefisien dari tabel Shapiro Wilk

n = Jumlah data sampel

3.8 Faktor Konversi Kuat Tekan Beton

Dalam mendapatkan nilai faktor konversi kuat tekan beton pada berbagai umur didapatkan dengan membagi nilai f'_c rata-rata untuk umur tertentu dengan nilai f'_c rata-rata umur 28 hari yang dapat dihitung menggunakan persamaan 3.21.

$$\text{Faktor Konversi} = \frac{\text{Nilai } f'_c \text{ rata-rata umur } X_{\text{hari}}}{\text{Nilai } f'_c \text{ rata-rata umur 28 hari}} \quad (3.21)$$

Rumus faktor konversi kuat tekan beton pada persamaan 3.21 di atas, diperoleh dari penelitian terdahulu antara lain, penelitian yang dilakukan oleh Yanita (2007) tentang Kajian Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur dan Kaitannya Dengan Kualitas Pekerjaan Konstruksi Beton, Ray dkk (2016) tentang Studi Angka Korelasi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Umur & Bentuk Benda Uji Standar SNI 03-2847-2002, Prakoso (2016) tentang Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Semen Bima dan Semen Holcim Dengan Variasi Umur 7, 14, dan 28 Hari Menggunakan Nilai FAS 0,5, Ibrahim (2021) tentang Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen PCC (*Portland Composite Cement*), dan Salam (2023) tentang Penggunaan

Semen Jenis OPC, PPC, dan PCC Pada Beton Terhadap Variasi Umur Beton Dengan Metode Pengujian *Destructive* dan *Non-Destructive*.

3.9 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi diperoleh dari hasil analisis regresi yang bertujuan untuk mengukur seberapa kuat hubungan antara dua variabel atau lebih. Menurut Sugiyono (2013), pedoman untuk memberikan interpretasi korelasi dapat dilihat pada Tabel 3.14

Tabel 3. 14 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono (2013)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah suatu prosedur, langkah-langkah atau tata cara yang dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan data yang digunakan dalam penelitian. Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Metode penelitian eksperimental merupakan suatu metode yang bertujuan mengidentifikasi hubungan sebab akibat dari satu atau beberapa variabel terikat dengan melakukan manipulasi variabel bebas dan mengukur dampaknya pada variabel kontrol dalam kondisi yang dapat dikendalikan. Sampel uji pada penelitian ini menggunakan beton normal dan beton mutu tinggi dengan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai konversi kuat tekan pada berbagai umur beton pada 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.

4.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah umur beton.

2. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kuat tekan beton.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini untuk beton mutu normal adalah bentuk benda uji, kerikil, pasir, semen, air.

Variabel kontrol pada penelitian ini untuk beton mutu tinggi adalah bentuk benda uji, kerikil, pasir, semen, air, kadar silica fume (10% dari berat semen), kadar *superplasticizer* (0,5% dari berat semen).

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland* (PC)

Semen yang digunakan untuk membuat sampel uji beton menggunakan semen PPC merek Bima dan PCC merek Gresik yang masing-masing memiliki berat 40 kg. Adapun tampilan kemasan semen PCC merek Gresik dan semen PPC merek Bima dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 1 Semen PCC Gresik



Gambar 4. 2 Semen PPC Bima

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan untuk membuat sampel uji beton berasal dari Sungai Progo, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Agregat Halus

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan untuk membuat sampel uji beton berasal dari Celereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Agregat Kasar

4. Air

Air yang digunakan untuk membuat sampel uji beton berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5. *Silica Fume*

Silica Fume yang digunakan untuk membuat sampel uji beton merupakan produk dari PT Sika Indonesia dengan merek produk SikaFume. *Silica Fume* merupakan bahan tambah yang bertujuan meningkatkan kuat tekan dan ketahanan beton. Kadar *Silica Fume* yang digunakan yaitu 10% dari berat semen. Tampilan kemasan SikaFume dan *silica fume* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Tampilan Kemasan SikaFume dan *Silica Fume*

6. *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan untuk membuat sampel uji beton merupakan produk dari PT Sika Indonesia dengan merek produk Sika Viscocrete 1003. *Superplasticizer* merupakan bahan tambah yang bertujuan meningkatkan *workability* beton, mengurangi kebutuhan air, meningkatkan kekuatan beton. *Superplasticizer* membuat campuran beton menjadi lebih mudah dikerjakan dan lebih mudah mengalir. Kadar *Superplasticizer* yang digunakan yaitu 0,5% dari berat semen. Adapun cairan Sika Viscocrete 1003 dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Cairan Sika Viscocrete 1003

4.4 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seperangkat Saringan Agregat

Seperangkat saringan agregat pada penelitian ini digunakan untuk memisahkan ukuran agregat kasar dan halus sesuai dengan ukuran butiran saat pengujian analisa saringan. Adapun saringan untuk agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Saringan Agregat Halus dan Saringan Agregat Kasar

2. Timbangan

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk menimbang berat material dan benda uji yang nantinya digunakan dalam proses pembuatan sampel uji beton. Adapun timbangan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Timbangan

3. Piknometer

Piknometer pada penelitian ini digunakan untuk menakar massa jenis atau densitas fluida yang digunakan pada pengujian berat jenis serta penyerapan air pada agregat halus. Adapun piknometer yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 9 Piknometer

4. Gelas Ukur

Gelas ukur pada penelitian ini digunakan untuk menakar material cair yaitu air dan *Superplasticizer*. Adapun gelas ukur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Gelas Ukur

5. Mesin Pengayak (*Shive Shaker*)

Mesin pengayak (*Shive Shaker*) pada penelitian ini digunakan untuk mengayak agregat dalam seperangkat saringan yang dilakukan pada saat pengujian analisa lolos saringan agregat kasar dan agregat halus. Adapun mesin pengayak agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Mesin Pengayak Agregat Halus dan Agregat Kasar

6. Oven

Oven pada penelitian ini digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar yang dilakukan pada saat pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat. Adapun oven yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Oven

7. Sekop

Sekop pada penelitian ini digunakan untuk mengambil agregat kasar dan agregat halus serta menuangkan adonan beton segar ke dalam bekisting beton. Adapun sekop yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 13 Sekop

8. Bekisting Beton

Bekisting beton pada penelitian ini digunakan untuk mencetak atau membentuk sampel uji beton sesuai dimensi rencana. Bekisting yang digunakan memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berbentuk silinder. Adapun bekisting beton yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4. 14 Bekisting Beton

9. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini antara lain jangka sorong dan meteran yang berfungsi untuk mengukur dimensi bekisting dan tinggi *slump*. Adapun jangka sorong yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4. 15 Alat Ukur

10. Ember

Ember pada penelitian ini digunakan untuk merendam agregat kasar serta menampung campuran material beton pada saat pembuatan sampel uji beton. Adapun ember yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut.



Gambar 4. 16 Ember

11. *Concrete Mixer*

Concrete mixer pada penelitian ini digunakan untuk mencampurkan agregat kasar, agregat halus, semen, air dan bahan tambah sesuai perhitungan *mix design* menjadi sebuah adonan beton segar. Adapun *Concrete Mixer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4. 17 Concrete Mixer

12. Kerucut Abrams

Kerucut abrams pada penelitian ini digunakan untuk mengukur nilai *slump* beton segar sebelum dilakukan pencetakan dengan bekisting. Adapun kerucut abrams yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4. 18 Kerucut Abrams

13. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui besaran beban yang dapat diterima oleh sampel uji beton. Alat ini digunakan pada pengujian kuat tekan beton dengan cara memberikan pembebanan sampai benda uji mengalami kerusakan pada beban maksimum. Adapun mesin uji tekan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4. 19 Mesin Uji Kuat Tekan Automax Pro-M

4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton normal dan beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi dengan campuran bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* sebesar 10% dan 0,5% dari berat semen. Masing-masing benda uji dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sesuai dengan SNI 2847 (2019) jumlah sampel untuk pengujian benda uji pada pengujian kuat tekan beton minimal rerata dari dua buah silinder berukuran 150 mm x 300 mm. Berdasarkan hal tersebut, jumlah benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Jenis Pengujian	Mutu Beton	Kadar Sika Fume	Kadar Viscocrete 1003	Umur Benda Uji (hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan Beton	Normal	0%	0%	3	P-N-3	3
		0%	0%	7	P-N-7	3
		0%	0%	14	P-N-14	3
		0%	0%	21	P-N-21	3
		0%	0%	28	P-N-28	3
		0%	0%	3	C-N-3	3
		0%	0%	7	C-N-7	3
		0%	0%	14	C-N-14	3
		0%	0%	21	C-N-21	3
		0%	0%	28	C-N-28	3
	Tinggi	10%	0,5%	3	P-T-3	3
		10%	0,5%	7	P-T-7	3
		10%	0,5%	14	P-T-14	3
		10%	0,5%	21	P-T-21	3
		10%	0,5%	28	P-T-28	3
		10%	0,5%	3	C-T-3	3
		10%	0,5%	7	C-T-7	3
		10%	0,5%	14	C-T-14	3
Total Sampel Uji						60

Dengan keterangan sampel uji sebagai berikut.

P	= PPC (<i>Portland Pozzolan Cement</i>)
C	= PCC (<i>Portland Composite Cement</i>)
N	= Beton mutu normal
T	= Beton mutu tinggi
3	= Umur beton 3 hari.
7	= Umur beton 7 hari
14	= Umur beton 14 hari
21	= Umur beton 21 hari
28	= Umur beton 28 hari

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pada pelaksanaan penelitian ini yaitu tahapan persiapan, pengujian agregat, *mix design* beton, pembuatan dan perawatan sampel benda uji, pengujian sampel benda uji, pengolahan data, analisis data, pembahasan, kesimpulan dan saran.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Pada tahapan ini penulis melakukan studi dan memahami beberapa literatur terkait penelitian terdahulu melalui buku dan jurnal untuk menunjang penelitian serta mempersiapkan alat dan bahan agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan lancar.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat halus dan kasar dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang nantinya digunakan pada perencanaan campuran beton. Berikut adalah macam-macam pengujian agregat.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, berdasarkan SNI 1970 (2016).
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, berdasarkan SNI 1969 (2016).
3. Pengujian analisa saringan agregat halus, berdasarkan SNI 1968 (1990).
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar, berdasarkan SNI 1968 (1990).

5. Pengujian berat volume gembut dan berat padat agregat halus, berdasarkan SNI 03-4804 (1998)
6. Pengujian berat volume gembut dan berat padat agregat kasar, berdasarkan SNI 03-4804 (1998).
7. Pengujian butiran lolos ayakan no. 200 (Uji kandungan lumpur dalam pasir), berdasarkan. SNI 03-4142 (1996)

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) beton setelah diperoleh sifat dan karakteristik dari hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar. *Mix design* dilaksanakan berdasarkan SNI 2834-2000 untuk beton mutu normal dan SNI 03-6468-2000 untuk beton mutu tinggi. Adapun perhitungan detailnya dapat dilihat pada bab V pembahasan.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Trial pada Umur 3 Hari

Setelah perencanaan campuran beton (*mix design*) dengan mutu 25 MPa dan 42 MPa, maka selanjutnya dilakukan pembuatan dan pengujian benda uji trial. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan dari perencanaan campuran beton (*mix design*) sudah benar dan sesuai mutu beton rencana. Penelitian dilanjutkan dengan pengujian pada benda uji trial apabila telah memenuhi mutu yang direncanakan.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Sampel Benda Uji

Pada tahapan ini campuran penyusun beton diperoleh dari tahap perencanaan campuran beton (*mix design*) yang meliputi hasil perhitungan berat agregat kasar dan halus, berat semen, air, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Setelah itu di aduk dalam *concrete mixer* agar tercampur menjadi beton segar. Lalu di lakukan pengujian *slump* menggunakan kerucut abrams. Setelah dipastikan *slump* memenuhi persyaratan maka beton segar dituang ke dalam cetakan. Ketika beton telah mengeras atau telah mencapai *setting time* maka dilakukan perawatan dengan cara melepas cetakan beton lalu sampel beton di rendam dalam air sesuai umur rencana.

4.6.6 Pengujian Sampel Benda Uji

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan beton yang dilaksanakan berdasarkan SNI 1974 (2011). Pengujian dilakukan pada benda uji yang telah mencapai umur rencana uji kuat tekan. Adapun tahap pengujian sebagai berikut.

- a. Menyiapkan benda uji yang telah dilakukan rawatan beton dan diamkan kurang lebih selama 24 jam.
- b. Mengukur dimensi (berat, diameter, dan tinggi) benda uji.
- c. Timbang massa benda uji
- d. Aplikasikan *Capp* pada permukaan atas benda uji agar permukaannya rata.
- e. Letakan benda uji pada landasan bawah mesin tekan
- f. Mulai pengujian kuat tekan dengan memberikan pembebanan hingga benda uji hancur.
- g. Catat beban maksimum yang dapat diterima benda uji.

4.6.7 Analisis Data

Pada analisis data dilakukan pengolahan data terkait data mentah yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan sampel benda uji beton berdasarkan pengkodean dan landasan teori yang digunakan untuk mendapatkan parameter yang digunakan serta dilakukan komparasi/perbandingan terkait kelompok variabel tertentu untuk diketahui perbedaan nilai yang terjadi.

4.6.8 Pembahasan

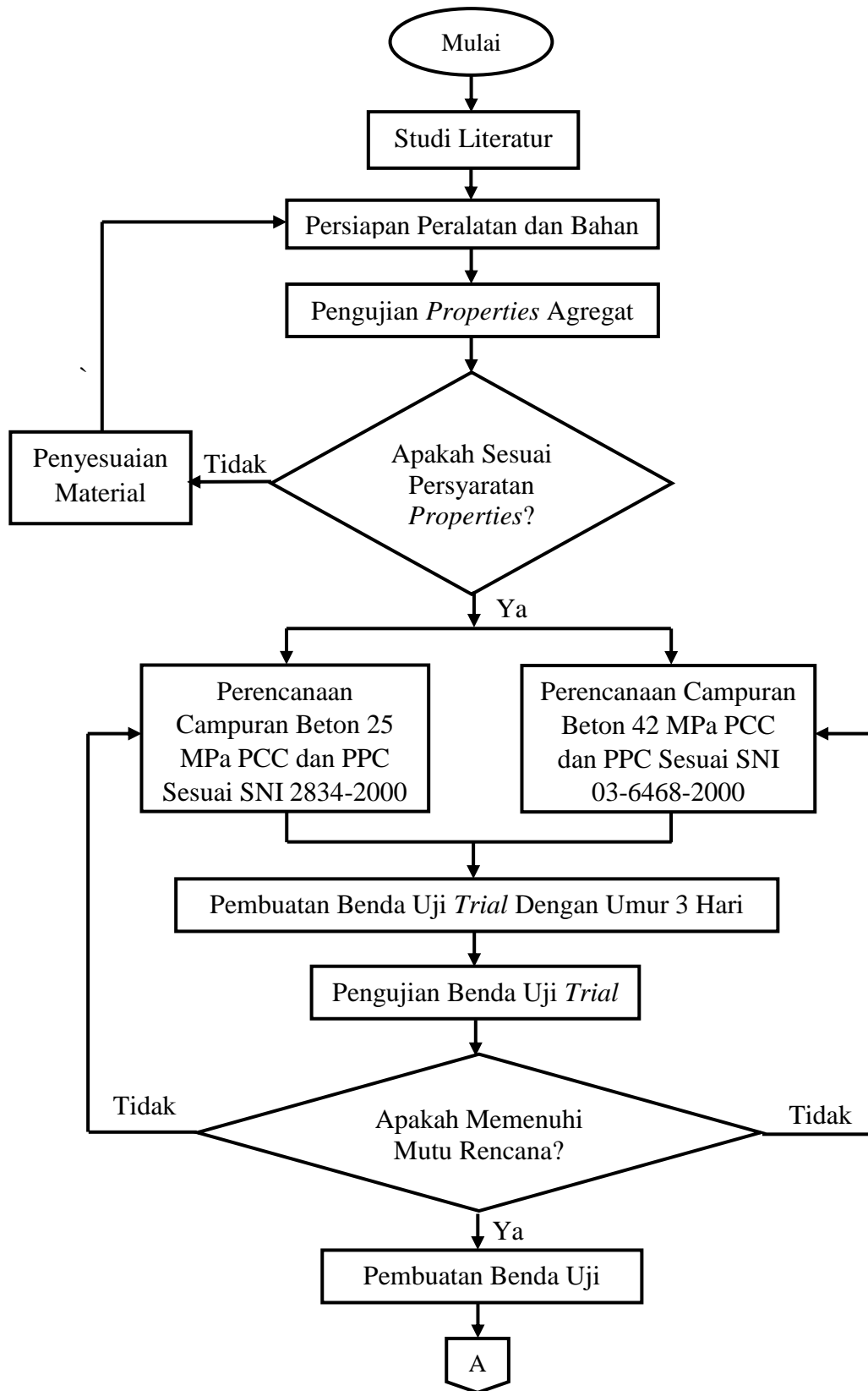
Pada tahapan ini dilakukan pembahasan terkait hasil analisis data untuk didapatkan jawaban terkait perbedaan yang ditemukan saat melakukan perbandingan/komparasi.

4.6.9 Kesimpulan dan Saran

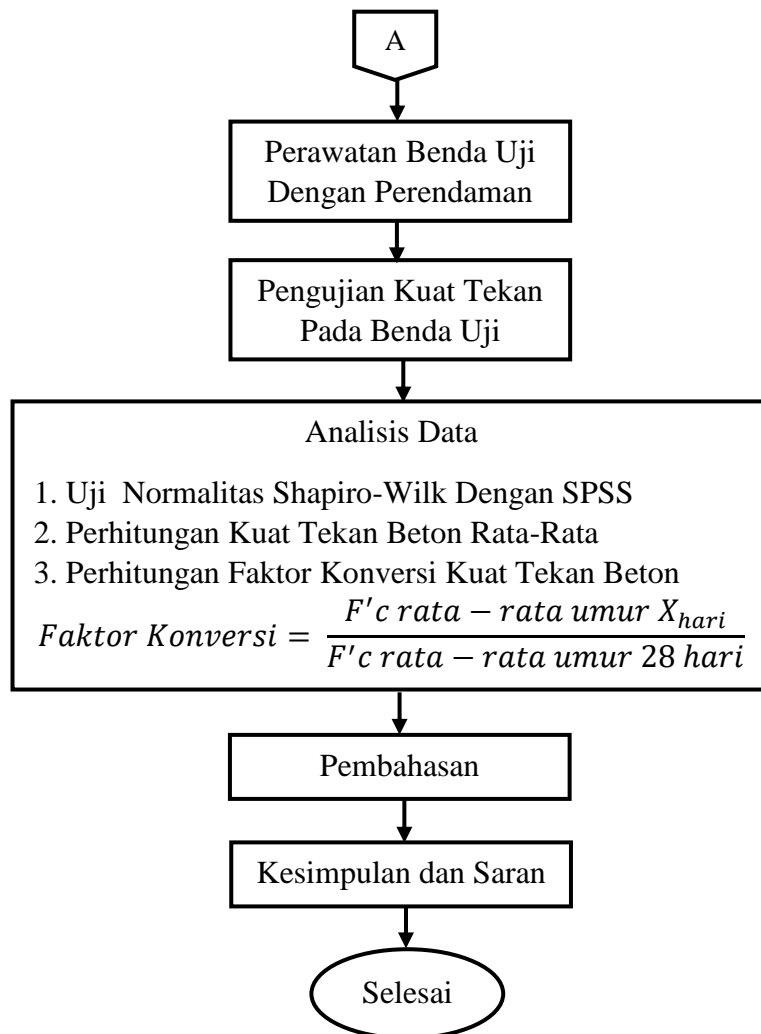
Pada tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan sesuai hasil pembahasan dari analisis data dan mengacu pada tujuan dari penelitian. Selain itu juga dari kesimpulan yang didapat akan dibuat saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4.6.10 Kerangka Konsep Penelitian

Berikut kerangka konsep penelitian atau biasa disebut dengan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 20 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 21 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilaksanakan untuk mengetahui serta memeriksa karakteristik dan sifat agregat yang akan digunakan sebagai penyusun beton. Dalam pengujian agregat harus memenuhi beberapa persyaratan sebelum dilakukan perencanaan campuran (*mix design*). Adapun pengujian agregat dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu pengujian agregat halus dan agregat kasar.

5.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, dan pengujian lolos saringan nomor 200 (pengujian kandungan lumpur). Adapun hasil pengujian-pengujian dari agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 1970 (1990). Adapun untuk data pengujiannya tertera pada Tabel 5.1. Sementara itu, perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{486}{(852+500-1166)} \\ &= 2,61\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis SSD} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(852+500-1166)} \\ &= 2,69\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{486}{(852+486-1166)} \\ &= 2,83 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-486)}{486} \times 100\% \\ &= 2,88 \% \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menentukan nilai dari berat jenis dan penyerapan air sampel 2 dilakukan langkah-langkah perhitungan yang sama. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1166	1167	1166,50
Berat piknometer berisi air, gram (B)	852	852	852
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,61	2,64	2,63
Berat jenis jenuh kering muka, (500/(B+500-Bt))	2,69	2,70	2,70
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,83	2,82	2,82
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x100))	2,88%	2,46%	2,67%

Merujuk pada hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus di atas, didapatkan berat jenis jenuh kering muka dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,70 dan 2,67%. Menurut persyaratan untuk berat jenis jenuh kering muka berada pada rentang 2,5 – 2,7 (Tjokrodinuljo, 2007). Sementara itu, untuk penyerapan air menurut SNI No.1737-F (1989), persyaratan

penyerapan air sebesar $\leq 3\%$. Dari hasil yang diperoleh diketahui bahwa agregat tersebut termasuk agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pada pengujian analisa saringan agregat halus dilaksanakan dengan berat sampel pengujian sebesar 2000 gram berdasarkan SNI 1968 (1990). Dalam pengujian tersebut akan diperoleh data berat tertinggal pada setiap masing-masing nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Adapun untuk analisa perhitungan saringan agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{0}{2000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{102}{2000} \times 100\% \\ &= 5,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{281}{2000} \times 100\% \\ &= 14,05\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{642}{2000} \times 100\% \\ &= 32,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{590}{2000} \times 100\% \\ &= 29,50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{314}{2000} \times 100\% \\ &= 15,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{71}{2000} \times 100\% \\ &= 3,55\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm	= 0%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 0% + 5,10%
	= 5,10%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 5,10% + 14,05%
	= 19,15%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 19,15% + 32,10%
	= 51,25%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 51,25% + 29,50%
	= 80,75%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 80,75% + 15,70%
	= 96,45%
Pan	= 96,45% + 3,55%
	= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 5,10%
	= 94,90%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 19,05%
	= 80,85%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 51,25%
	= 48,75%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 80,75%
	= 19,25%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 96,45%
	= 3,55%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Untuk perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 2 dilakukan dengan langkah-langkah yang sama. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan analisa

saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	102	5,10	5,10	94,90
1,2	281	14,05	19,15	80,85
0,6	642	32,10	51,25	48,75
0,3	590	29,50	80,75	19,25
0,15	314	15,70	96,45	3,55
Pan	71	3,55	100	0
Jumlah	2000	100	252,70	

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	112	5,60	5,60	94,40
1,2	261	13,05	18,65	81,35
0,6	667	33,35	52,00	48,0
0,3	603	30,15	82,15	17,85
0,15	262	13,10	95,25	4,75
Pan	94	4,70	99,95	0,05
Jumlah	1999	99,95	253,65	

Dari hasil pengujian analisa saringan dapat digunakan untuk menghitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

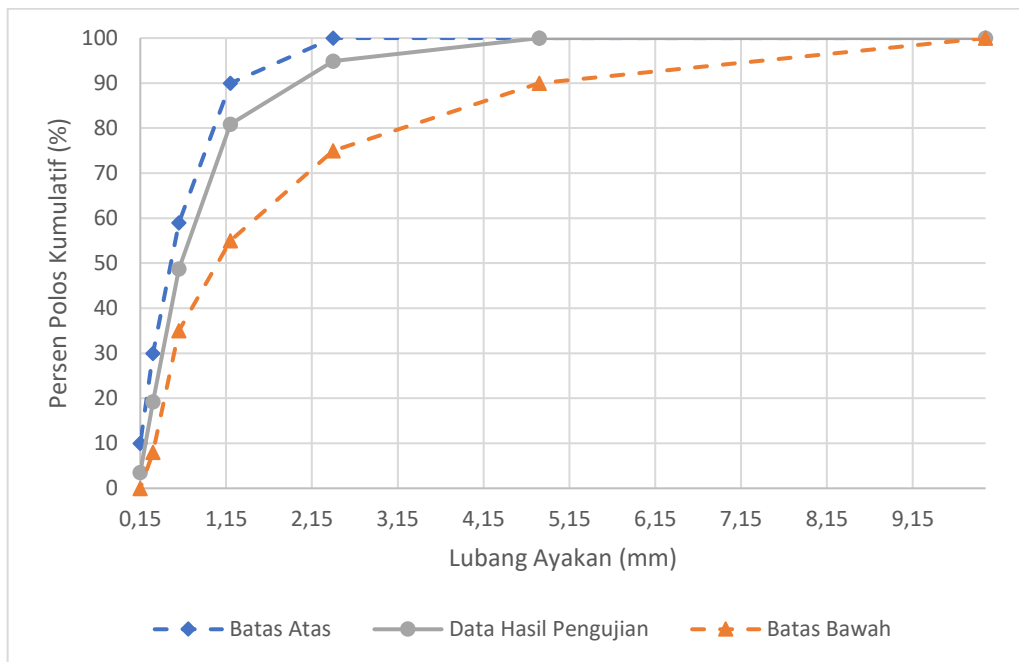
$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ \text{MHB sampel 1} &= \frac{252,70}{100} \\ &= 2,52 \\ \text{MHB sampel 2} &= \frac{253,65}{100} \\ &= 2,53 \\ \text{MHB rata-rata} &= \frac{2,52+2,53}{2} \\ &= 2,53 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir agregat halus butir di atas didapatkan modulus halus butir agregat halus rata-rata sebesar 2,53. Menurut ASTM C-33 (2003), nilai modulus halus butir agregat halus berada pada rentang 2,3 – 3,1. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir (MHB) di atas, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat. Selain itu, pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus. Adapun untuk penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.4 sebagai berikut. Dari tabel gradasi tersebut dapat dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

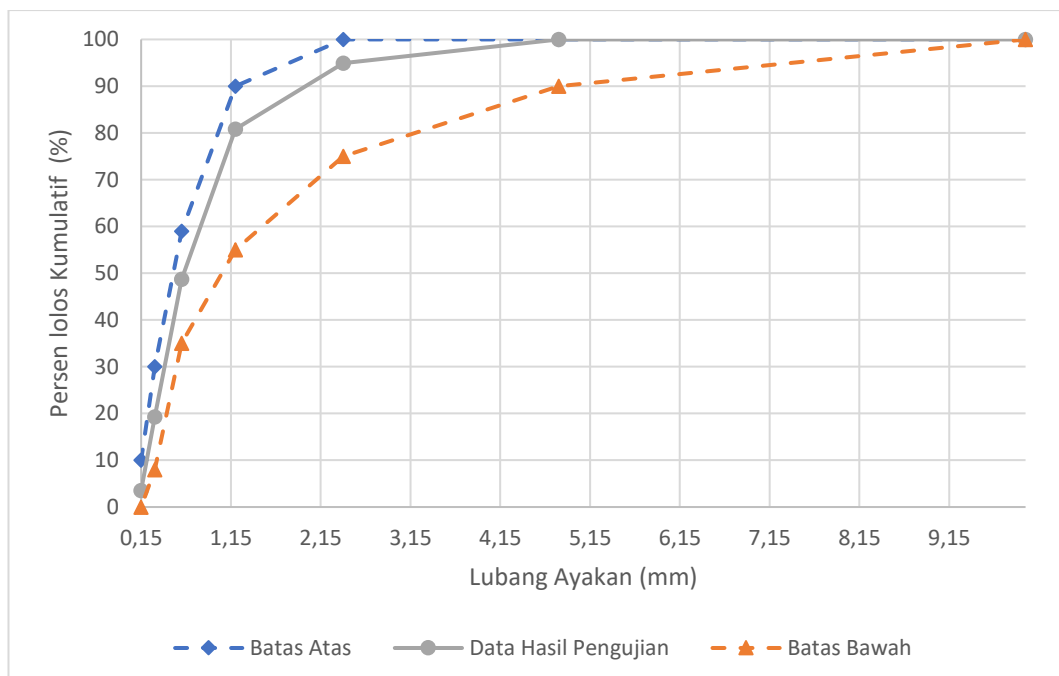
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

Berdasarkan kurva gradasi agregat halus di atas, maka agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi II (pasir agak kasar).

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pada pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus dilaksanakan menggunakan SNI 4804 (1998). Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6. Adapun perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19752 - 11283 \\ &= 8469 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30 \\ &= 5336,84 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8469}{5336,84} \\ &= 1,59 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 20280 - 11283 \\ &= 8997 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30 \\ &= 5336,84 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8997}{5322,66} \\ &= 1,69 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Untuk perhitungan sampel 2 dilakukan dengan langkah-langkah yang sama. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19752	18360	19056
Berat agregat (W3), gram	8469	7401	7935
Volume tabung (V), gram	5336,84	5336,84	5336,84
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,59	1,39	1,49

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	20280	19774	20027
Berat agregat (W3), gram	8997	8815	8906
Volume tabung (V), gram	5336,84	5336,84	5336,84
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,69	1,65	1,67

Berdasarkan hasil pengujian di atas diperoleh berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,49 gram/cm³ dan berat volume padat agregat halus rata-rata sebesar 1,67 gram/cm³. Merujuk pada ASTM C-33 (2003), persyaratan berat isi gembur dan padat agregat halus yaitu lebih dari 1,12kg/dm³. Dengan demikian, hasil pengujian agregat halus yang digunakan sudah memenuhi persyaratan.

4. Pengujian Kadar Lumpur (Lolos Saringan No. 200)

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus menggunakan saringan no.200 sesuai SNI 4142 (1996). Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7. Adapun perhitungan kadar lumpur dalam agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W1-w2}{w1} \times 100\% \\ &= \frac{500-498}{500} \times 100\% \\ &= 0,40\% \end{aligned}$$

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	498	495	496,5
Persentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2)/W1] x 100	0,40%	1,0%	0,70%

Berdasarkan pengujian, diperoleh persentase yang lolos saringan No. 200 atau kadar lumpur dalam agregat halus rata-rata yaitu sebesar 0,70% sudah memenuhi SNI 03-6821 (2002). SNI 03-6821 (2002) menyaratkan kadar lumpur pada agregat halus yaitu harus <5%.

5.1.2. Agregat Kasar

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada agregat kasar yang mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume. Hasil dari pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini menggunakan SNI 1969-2016. Pada pengujian yang dilakukan diperoleh data seperti pada Tabel 5.8. Berikut merupakan perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 1.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{4920}{(5000-3003)} \end{aligned}$$

$$= 2,46$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000-3003)} \\ &= 2,50 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \\ &= \frac{4920}{(4920-3003)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(5000-4920)}{4920} \times 100\% \\ &= 1,63\% \end{aligned}$$

Pada pengujian sampel 2 dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah yang sama seperti sampel 1, sehingga didapatkan nilai rata-ratanya.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk), gram	4920	4920	4920
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3003	3003	3003
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,46	2,46	2,46
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,50	2,50	2,50
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,57	2,57	2,57
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,63%	1,63%	1,63%

Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis agregat kasar untuk keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) didapatkan rata-rata 2,50. Merujuk pada persyaratan untuk berat jenis jenuh kering permukaan berada pada rentang 2,5 – 2,7 (Tjokrodimuljo, 2007). Sementara itu, untuk penyerapan air

menurut SNI No.1737-F (1989), persyaratan penyerapan air oleh agregat sebesar $\leq 3\%$. Dari hasil yang diperoleh diketahui bahwa agregat kasar tersebut termasuk agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pada pengujian analisa saringan agregat kasar dilaksanakan dengan berat sampel pengujian sebesar 5000 gram berdasarkan SNI 1968 (1990). Dalam pengujian tersebut akan diperoleh data berat tertinggal pada setiap masing-masing nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10. Adapun untuk analisa perhitungan saringan agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{ Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{69}{5000} \times 100\% \\ &= 1,38\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3361}{5000} \times 100\% \\ &= 67,22\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1494}{5000} \times 100\% \\ &= 29,88\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{5}{5000} \times 100\% \\ &= 0,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{2}{5000} \times 100\% \\ &= 0,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{69}{5000} \times 100\% \\ &= 1,38\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertahan Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm	= 0%
Lubang ayakan 20 mm	= 0% + 1,38%
	= 1,38%
Lubang ayakan 10 mm	= 1,38% + 67,22%
	= 68,60%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 68,60% + 29,88%
	= 98,48%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 98,48% + 0,10%
	= 98,58%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 98,58% + 0,04%
	= 98,62%
Pan	= 98,62% + 1,38%
	= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Lubang ayakan 20 mm	= 100% - 1,38%
	= 98,62%
Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 68,60%
	= 31,40%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 98,48%
	= 1,52%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 98,58%
	= 1,42%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 98,62%
	= 1,38%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Untuk perhitungan analisa saringan agregat kasar sampel 2 dilakukan dengan langkah-langkah yang sama. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan analisa

saringan agregat kasar sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	69	1,38	1,38	98,62
10	3361	67,22	68,60	31,40
4,8	1494	29,88	98,48	1,52
2,4	5	0,10	98,58	1,42
1,2	2	0,04	98,62	1,38
0,6	0	0	98,62	1,38
0,3	0	0	98,62	1,38
0,15	0	0	98,62	1,38
Pan	69	1,38	100	0
Jumlah	5000	100	661,52	

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	63	1,26	1,26	98,74
10	4515	90,30	91,56	8,44
4,8	340	6,80	98,36	1,64
2,4	7	0,14	98,5	1,50
1,2	5	0,10	98,6	1,40
0,6	0	0	98,6	1,40
0,3	0	0	98,6	1,40
0,15	0	0	98,6	1,40
Pan	67	1,34	99,94	0,06
Jumlah	4997	99,94	684,08	

Dari hasil pengujian analisa saringan dapat digunakan untuk menghitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ \text{MHB sampel 1} &= \frac{661,52}{100} \\ &= 6,62 \\ \text{MHB sampel 2} &= \frac{684,08}{100} \\ &= 6,84 \\ \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 6,73 \end{aligned}$$

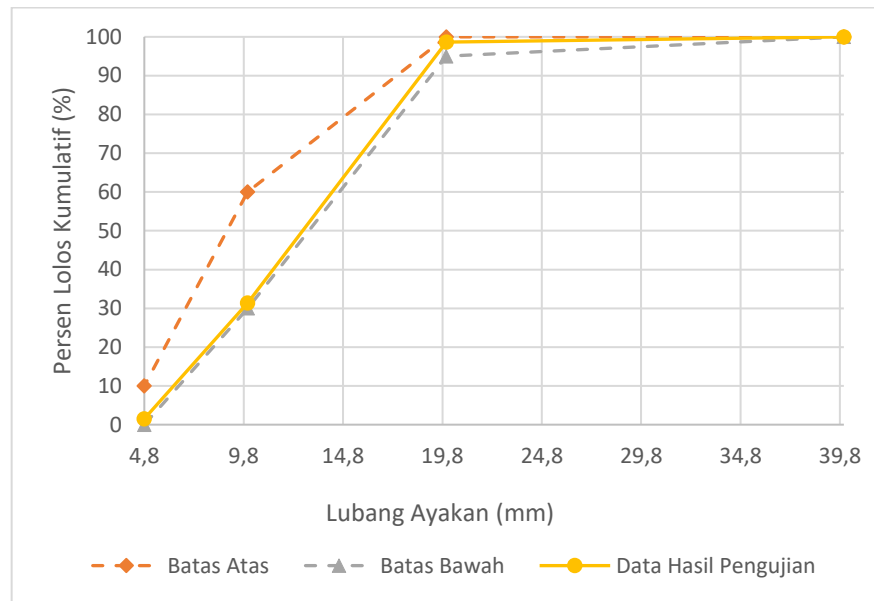
Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir agregat kasar di atas didapatkan nilai sebesar 6,73. Berdasarkan SNI 03-1968 (1990), nilai modulus halus butir agregat kasar berada pada rentang 5–8. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir (MHB) di atas, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat. Selain itu, pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar. Adapun untuk penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar

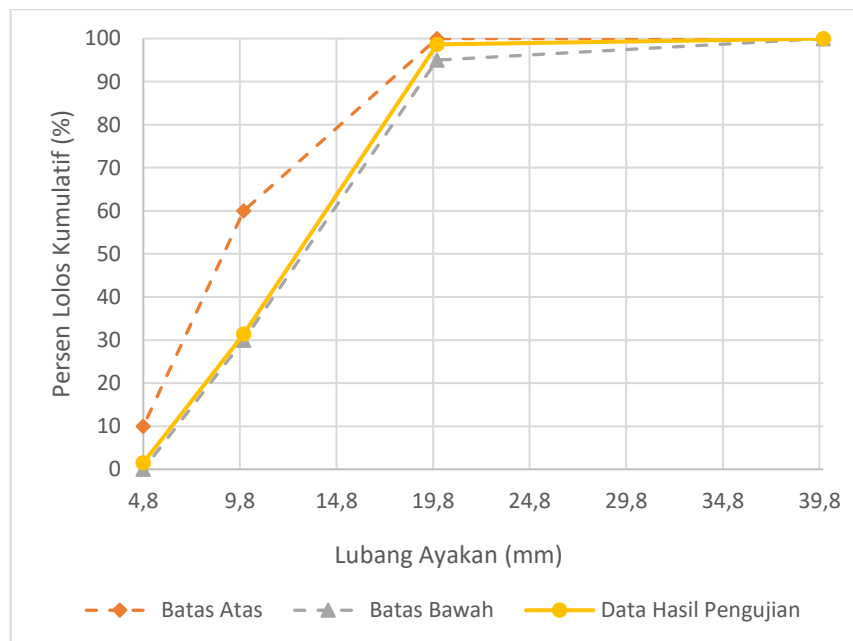
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 2834-2000

Dari tabel gradasi tersebut dapat dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum Sampel 1



Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum Sampel 2

Berdasarkan kurva gradasi agregat kasar di atas, maka agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran maksimum 20 mm dan sudah sesuai dengan persyaratan gradasi untuk ukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar dilaksanakan berdasarkan SNI 4804 (1998). Adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. sementara itu, perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18718 - 11283 \\
 &= 7435 \text{ gram} \\
 \\
 \text{Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30 \\
 &= 5336,84 \text{ cm}^3 \\
 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7435}{5336,84} \\
 &= 1,39 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19717 - 11283 \\
 &= 8434 \text{ gram} \\
 \\
 \text{Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30 \\
 &= 5336,84 \text{ cm}^3 \\
 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8434}{5336,84} \\
 &= 1,58 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk sampel 2 dilakukan langkah-langkah yang sama pada perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar. Adapun

rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung+Agregat kering tungku (W2), gram	18718	18322	18520
Berat Agregat (W3), gram	7435	7363	7399
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,39	1,38	1,39

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung+Agregat kering tungku (W2), gram	19717	19268	19492,50
Berat Agregat (W3), gram	8434	8309	8371,50
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,58	1,56	1,57

Berdasarkan hasil pengujian di atas diperoleh berat volume gembur agregat kasar rata-rata sebesar 1,39 gram/cm³ dan berat volume padat agregat kasar rata-rata sebesar 1,57 gram/cm³. Merujuk pada ASTM C-33 (2003), persyaratan berat isi gembur dan padat agregat kasar yaitu lebih dari 1,12kg/dm³. Dengan demikian, hasil pengujian agregat kasar yang digunakan sudah memenuhi persyaratan.

5.2 Desain Campuran Beton (*Mix Design*) Mutu Normal PCC

Pada mutu beton normal untuk semen PCC perencanaan campuran beton menggunakan SNI 2834 (2000). Perencanaan beton ini menggunakan mutu 25 MPa. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 25 MPa menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Benda uji dilakukan pengujian pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari
3. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merek Gresik berjenis PCC.
4. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat halus adalah 2,70 dan berat jenis agregat kasar 2,50.
5. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar didapatkan ukuran maksimum adalah sebesar 20 mm.
6. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus masuk ke dalam gradasi daerah II.
7. Sampel yang digunakan adalah 3 buah silinder, maka menurut Tabel 5.14 digunakan angka Margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5. 14 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
Kurang dari 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2834 (2000)

*) Jika hasil pengujian data lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan beton rerata yang di targetkan $f'cr$ yang harus diambil tidak kurang dari $f'c + 12$ MPa.

8. Menghitung kuat tekan beton rata-rata ($f'cr$) yang ditargetkan.

$$\begin{aligned}
 f'cr &= f'c \times M \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

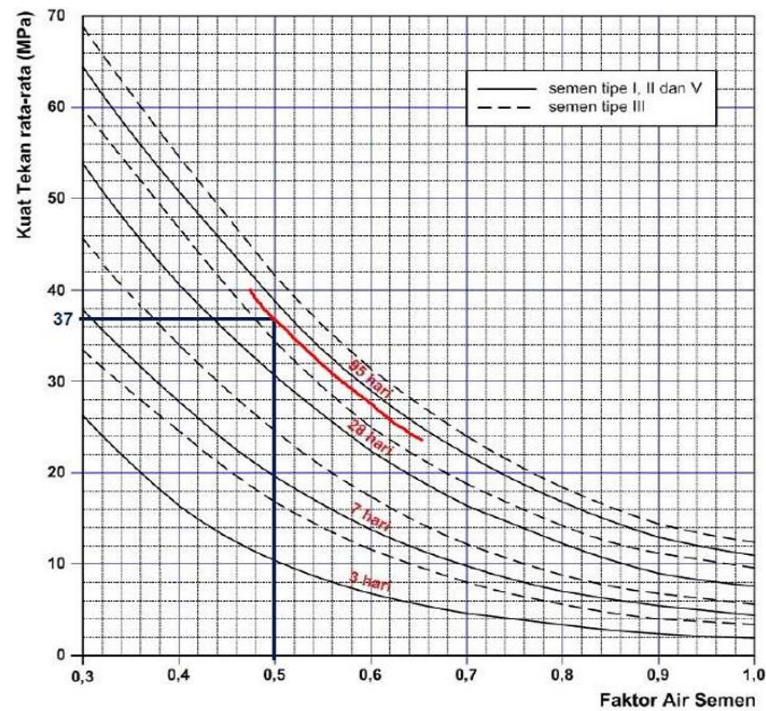
9. Menetapkan faktor air semen (fas) dengan Tabel 5.15 dan gambar 5.5 berikut.

Tabel 5. 15 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan Beton (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Kubus
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834 (2000)

- Digunakan *semen portland* tipe I, agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Merujuk pada tabel di atas maka diperoleh perkiraan kuat beton dengan fas 0,5 adalah 37 MPa.
- Dengan menggunakan Gambar 5.5 berikut, tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas sebesar 0,5 lalu tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37 Mpa (dari Tabel 5.15), sehingga didapatkan titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Selanjutnya, dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
- Buat garis horizontal ke arah kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
- Tarik garis vertikal ke arah bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,5.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

10. Menentukan kadar air yang diperlukan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.16 berikut.

- a. Ukuran agregat dari hasil pengujian analisa agregat kasar diperoleh sebesar 20 mm.
- b. Jenis batuan terdiri dari agregat halus yang termasuk batu tak dipecahkan dan agregat kasar berupa batu pecah.
- c. Slump yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm, dengan demikian masuk pada rentang *slump* 60 - 180 mm.

Tabel 5. 16 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	115	175	190	205

Sumber: SNI 2834 (2000)

d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} 195 + \frac{2}{3} 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

11. Menentukan kebutuhan minimum semen dan FAS maksimum

Kebutuhan semen minimum dan FAS maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5. 17 Persyaratan Kebutuhan Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum (kg/m ³)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton terletak di dalam tanah:		
a. Mengalami kondisi basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		Lihat Tabel 6
a. Air tawar		
b. Air laut		

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton di luar ruangan bangunan dengan keadaan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari, sehingga diperoleh kebutuhan semen minimum sebesar 325 kg/m³ dengan fas maksimum sebesar 0,60.

12. Menetapkan kadar semen yang diperlukan.
 - a. Diperoleh nilai fas dari pembacaan grafik sebesar 0,5 dan fas berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60. Diambil fas terkecil, sehingga didapatkan fas 0,5 dari pembacaan grafik.
 - b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut.

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{water}}{\text{fas}}$$

$$= \frac{205}{0,5}$$

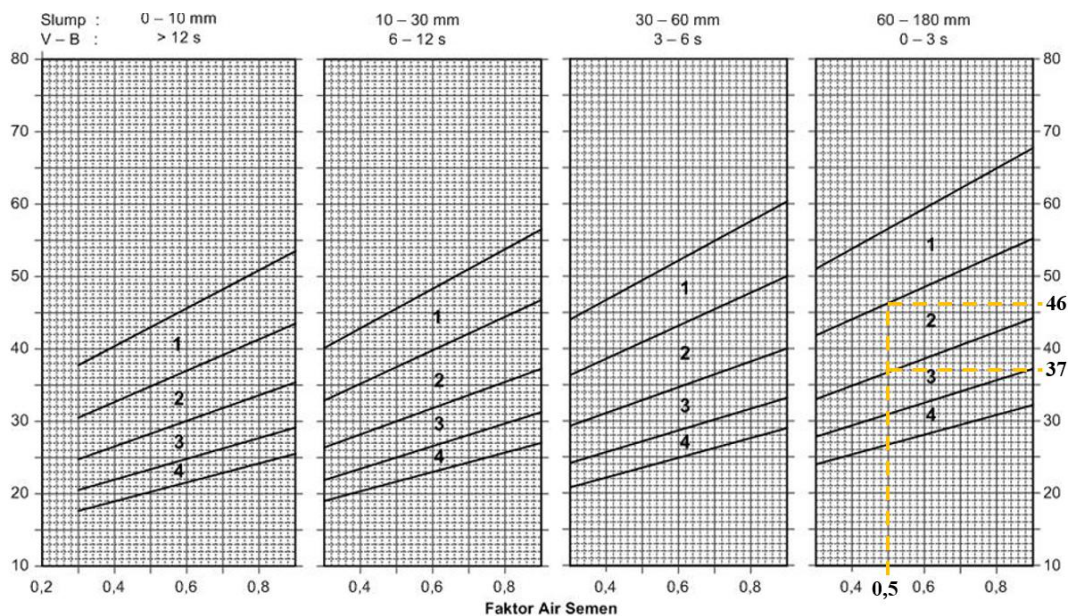
$$= 410 \text{ kg/m}^3$$

- c. Diperoleh kadar semen hasil perhitungan sebesar 410 kg/m^3 dengan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 325 kg/m^3 , sehingga kadar semen yang digunakan sebesar 410 kg/m^3 .

13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.

Persentase agregat halus ditentukan menggunakan Gambar 5.6 berikut.

- Ukuran maksimum agregat yang digunakan yaitu 20 mm, slump yang direncanakan berada pada rentang 60-180 mm, nilai fas sebesar 0,5 dan gradasi agregat halus berada pada gradasi II.
- Tarik garis vertikal ke atas di nilai fas 0,5 sampai memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- Dari dua titik perpotongan pada butir b, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga didapatkan persentase batas atas agregat halus sebesar 46% dan batas bawah didapatkan 37%.



Grafik 2.b Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

**Gambar 5. 6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan
untuk Ukuran butir Maksimum 20 mm**

(Sumber: SNI 2834-2000)

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat halus} &= \frac{46\% + 37\%}{2} \\ &= 41,50\%\end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41,50\% \\ &= 58,50\%\end{aligned}$$

14. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

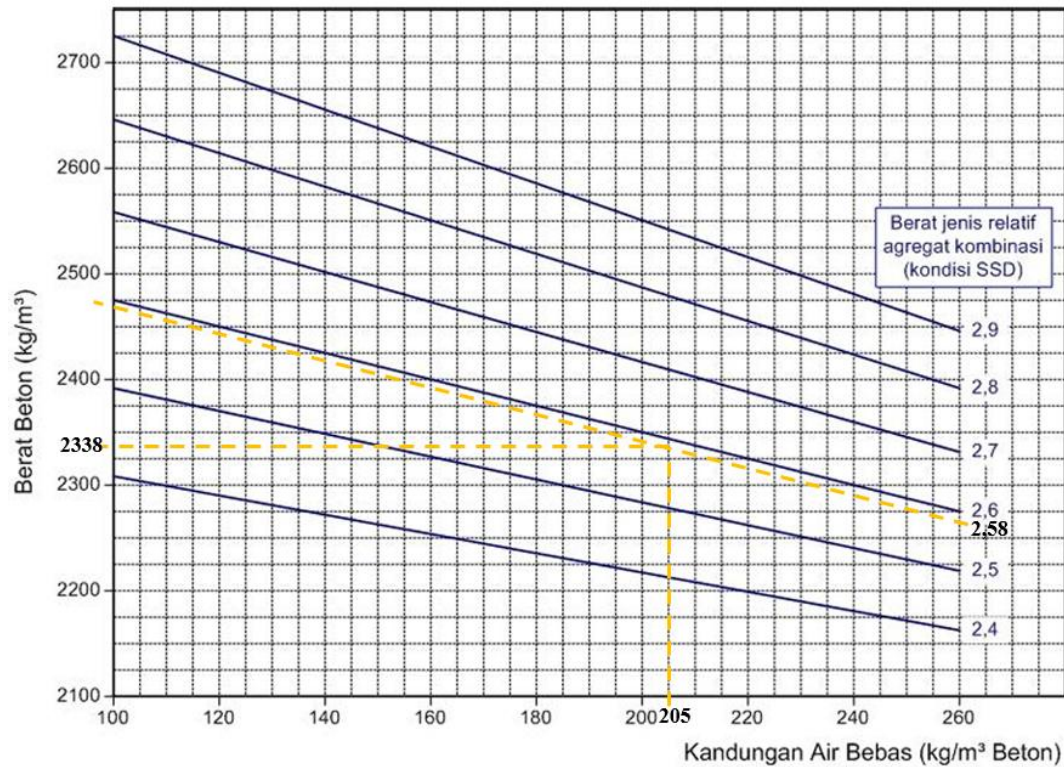
Menghitung berat jenis relatif agregat (gabungan) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}BJ_{\text{Ag. Gab}} &= (\% \text{Ag. Halus} \times BJ_{\text{Ag. Halus}}) + (\% \text{Ag. Kasar} \times BJ_{\text{Ag. Kasar}}) \\ &= (41,50\% \times 2,70) + (58,50\% \times 2,50) \\ &= 2,58\end{aligned}$$

15. Menentukan berat isi atau volume beton.

Berat isi beton dapat ditentukan menggunakan Gambar 5.7 berikut.

- Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relatif agregat sebesar 2,58.
- Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air sebesar 205 kg/m^3 sampai memotong kurva baru pada butir a.
- Dari titik perpotongan di butir b, tarik garis horizontal ke kiri, dengan demikian didapatkan perkiraan berat isi beton (W_{beton}) sebesar 2338 kg/m^3



Grafik 3 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat campuran dan Berat Isi Beton

Gambar 5. 7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan
(Sumber: SNI 2834, 2000)

16. Menghitung kadar campuran agregat dalam beton.

Kadar campuran agregat dalam beton dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag. Gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}} \\
 &= 2338 - 410 - 205 \\
 &= 1723 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Menghitung kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

- a. Agregat halus

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag. Halus}} &= \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{Ag. Gab}} \\
 &= 41,50\% \times 1723 \\
 &= 715,05 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

b. Agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag. Kasar}} &= W_{\text{Ag. Gab}} - W_{\text{Ag. Halus}} \\ &= 1723 - 715,05 \\ &= 1007,96 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Proporsi campuran beton per 1 m³.

Dari hasil perencanaan campuran (*mix design*) beton diperoleh proporsi setiap 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 715,05 kg
- d. Agregat kasar = 1007,96 kg

19. Proporsi campuran beton per 1 m³ dengan angka penyusutan.

Pada penelitian ini diambil angka penyusutan sebesar 30%, sehingga didapatkan proporsi tiap 1 m³ beton untuk setiap material dengan angka penyusutan adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 533 kg
- b. Air = 266,50 kg
- c. Agregat halus = 929,56 kg
- d. Agregat kasar = 1310,34 kg

20. Hasil perencanaan campuran beton (*mix design*).

Adapun hasil rekapitulasi perencanaan campuran (*mix design*) beton dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal PCC

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	PCC	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	<i>Slump</i>	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	325	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,70	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,50	
19	Persen Agregat Halus	41,5	%
20	Persen Agregat Kasar	58,5	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi Beton	2338	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1723	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	715,05	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1007,96	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	533	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	929,56	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1310,34	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	266,50	kg/m ³

21. Volume benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Adapun volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*. Dalam penelitian ini dilakukan dua kali *mixing*. Alasan dilakukan dua kali *mixing* antara lain yaitu menghindari tidak homogenan campuran (campuran semen, agregat dan air lebih merata), efisiensi waktu dan sumber daya untuk menghindari kesalahan kerja akibat pencampuran yang kurang baik dan terburu-buru. *Mixing* pertama terdiri dari 9 silinder, sementara itu *mixing* kedua terdiri dari 6 silinder. Kedua *mixing* tersebut dilakukan pada hari yang sama, untuk *mix* 9 silinder dilakukan terlebih dahulu pada pagi hari selanjutnya dilanjutkan *mix* 6 silinder pada siang hari. sehingga diperoleh volume benda uji untuk tiap *mixing* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Volume } \textit{mixing} \text{ 1} &= \left(9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t\right) \\ &= \left(9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30\right) \\ &= 0,0477 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Volume } \textit{mixing} \text{ 2} &= \left(6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t\right) \\ &= \left(6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30\right) \\ &= 0,0318 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

22. Proporsi campuran beton untuk setiap kali *mixing*a. Proporsi campuran beton untuk *mixing* 1

- 1) Semen = $0,0477 \times 533 = 25,431 \text{ kg}$
- 2) Air = $0,0477 \times 266,50 = 12,715 \text{ kg}$
- 3) Agregat halus = $0,0477 \times 929,56 = 44,352 \text{ kg}$
- 4) Agregat kasar = $0,0477 \times 1310,34 = 62,520 \text{ kg}$

b. Proporsi campuran beton untuk *mixing* 2

- 1) Semen = $0,0318 \times 533 = 16,954 \text{ kg}$
- 2) Air = $0,0318 \times 266,50 = 8,477 \text{ kg}$
- 3) Agregat halus = $0,0318 \times 929,56 = 29,568 \text{ kg}$
- 4) Agregat kasar = $0,0318 \times 1310,34 = 41,680 \text{ kg}$

Berikut merupakan rekapitulasi proporsi campuran beton dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Proporsi Campuran Beton Mixing 1 dan Mixing 2

<i>Mixing</i>	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1	25,431	12,715	44,352	62,520
2	16,954	8,477	29,568	41,680
Jumlah	42,385	21,192	73,920	104,200

5.3 Desain Campuran Beton (*Mix Design*) Mutu Normal PPC

Pada mutu beton normal untuk semen PPC perencanaan campuran beton menggunakan SNI 2834 (2000). Perencanaan beton ini menggunakan mutu 25 MPa. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 25 MPa menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Benda uji dilakukan pengujian pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari
3. Semen yang digunakan adalah semen merek Bima berjenis PPC (*Portland Pozzolan Cement*).
4. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat halus adalah 2,70 dan berat jenis agregat kasar 2,50.
5. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar didapatkan ukuran maksimum adalah sebesar 20 mm.
6. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus masuk ke dalam gradasi daerah II.
7. Sampel yang digunakan adalah 3 buah silinder, maka menurut Tabel 5.20 digunakan angka Margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5. 20 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Data Pengujian Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
Kurang dari 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2834 (2000)

*) Jika hasil pengujian data lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan beton rerata yang di targetkan f'_{cr} yang harus diambil tidak kurang dari $f'_c + 12$ MPa.

8. Menghitung kuat tekan beton rata-rata (f'_{cr}) yang ditargetkan.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c \times M \\ &= 25 + 12 \\ &= 37 \text{ MPa} \end{aligned}$$

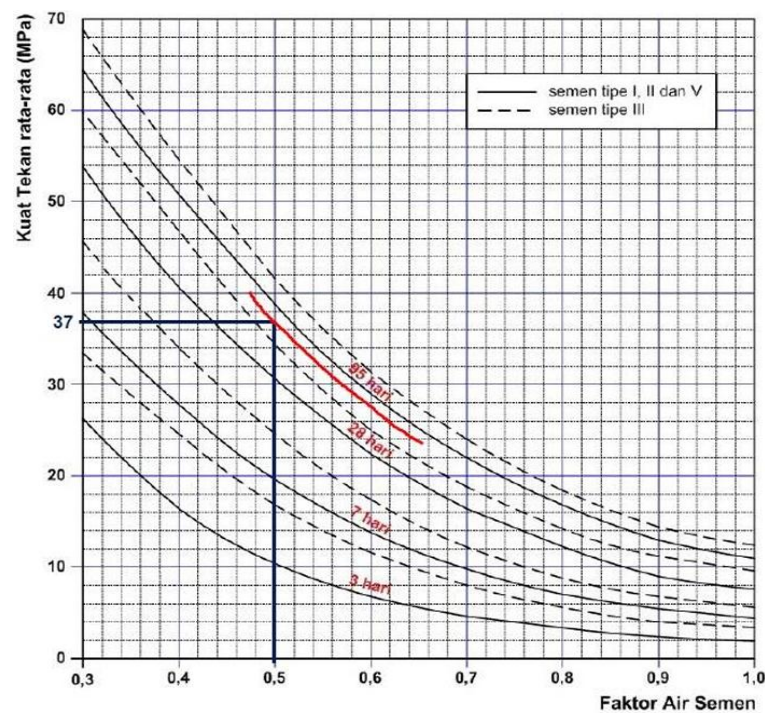
9. Menetapkan faktor air semen (fas) dengan Tabel 5.21 dan gambar 5.9 berikut.

Tabel 5. 21 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan fas dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan Beton (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Kubus
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834 (2000)

- Digunakan *semen portland pozzolan*, agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Merujuk pada tabel di atas maka diperoleh perkiraan kuat beton dengan fas 0,5 adalah 37 MPa.
- Dengan menggunakan Gambar 5.8 berikut, tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas sebesar 0,5 lalu tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37 Mpa (dari Tabel 5.21), sehingga didapatkan titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Selanjutnya, dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
- Buat garis horizontal ke arah kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
- Tarik garis vertikal ke arah bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,5.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5. 8 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

10. Menentukan kadar air yang diperlukan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.22 berikut.

- Ukuran agregat dari hasil pengujian analisa agregat kasar diperoleh sebesar 20 mm.
- Jenis batuan terdiri dari agregat halus yang termasuk batu tak dipecahkan dan agregat kasar berupa batu pecah.
- Slump yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm, dengan demikian masuk pada rentang *slump* 60 - 180 mm.

Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	115	175	190	205

Sumber: SNI 2834 (2000)

- Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} 195 + \frac{2}{3} 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

11. Menentukan kebutuhan minimum semen dan FAS maksimum

Kebutuhan semen minimum dan FAS maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5. 23 fas Maksimum untuk Beton yang berhubungan Air Tanah yang mengandung Sulfat

Kadar gang-guan Sulfat	Konsentrasi Sulfat		Sulfat (SO ₃) Dalam air tanah (g/l)	Tipe Semen	Kandungan Semen minimum (kg/m ³)			Fas
	Dalam Tanah				Ukuran Agregat maksimum (mm)			
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2:1 (g/l)			40	20	10	
1	< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe 1 Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0 - 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atay Tipe V	330	370	420	0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau Tipe V dan Lapisan Pelindung	330	370	420	0,45

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat. Pada uji kandungan kimia yang dilakukan oleh perusahaan yang memproduksi semen Bima mengklaim besaran SO₃ yang terkandung adalah 1,8 - 2,5 %. Sehingga diperoleh kebutuhan semen minimum sebesar 380 kg/m³ dengan fas maksimum sebesar 0,45.

12. Menetapkan kadar semen yang diperlukan.
 - a. Diperoleh nilai fas dari pembacaan grafik sebesar 0,5 dan fas berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,45. Diambil fas terkecil, sehingga didapatkan fas 0,45 dari Tabel 5.23.

- b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut.

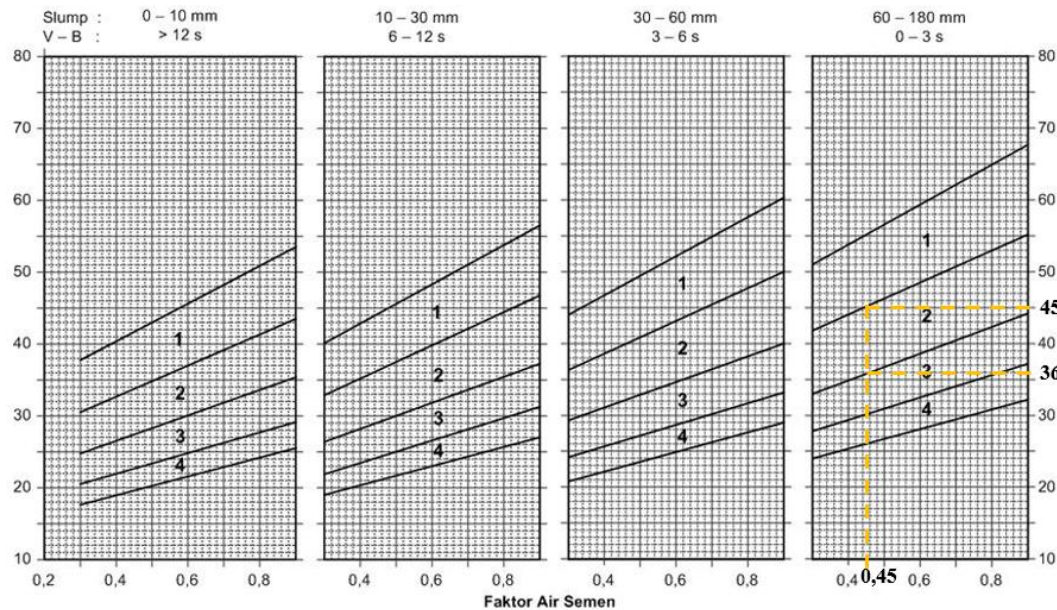
$$\begin{aligned} \text{Kadar Semen} &= \frac{\text{water}}{\text{fas}} \\ &= \frac{205}{0,45} \\ &= 455,56 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- c. Diperoleh kadar semen hasil perhitungan sebesar 455,56 kg/m³ dengan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 380 kg/m³, sehingga kadar semen yang digunakan sebesar 455,56 kg/m³.

13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.

Persentase agregat halus ditentukan menggunakan Gambar 5.9 berikut.

- Ukuran maksimum agregat yang digunakan yaitu 20 mm, slump yang direncanakan berada pada rentang 60-180 mm, nilai fas sebesar 0,45 dan gradasi agregat halus berada pada gradasi II.
- Tarik garis vertikal ke atas di nilai fas 0,45 sampai memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- Dari dua titik perpotongan pada butir b, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga didapatkan persentase batas atas agregat halus sebesar 45% dan batas bawah didapatkan 36%.



Grafik 2.b Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 5. 9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 2834-2000)

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat halus} &= \frac{45\% + 36\%}{2} \\ &= 40,50\% \end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 40,50\% \\ &= 59,50\% \end{aligned}$$

14. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

Menghitung berat jenis relatif agregat (gabungan) sebagai berikut.

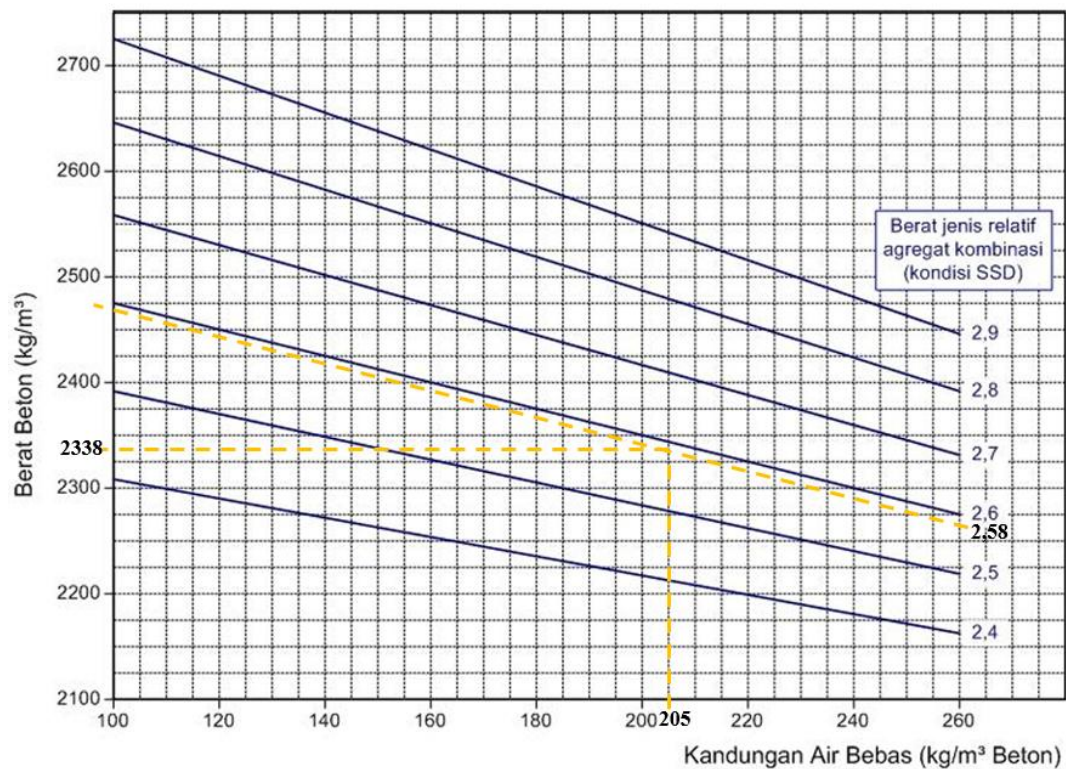
$$\begin{aligned} B_{J_{Ag. Gab}} &= (\%Ag. Halus \times B_{J_{Ag. Halus}}) + (\%Ag. Kasar \times B_{J_{Ag. Kasar}}) \\ &= (40,50\% \times 2,70) + (59,50\% \times 2,50) \\ &= 2,58 \end{aligned}$$

15. Menentukan berat isi atau volume beton.

Berat isi beton dapat ditentukan menggunakan Gambar 5.10 berikut.

- a. Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relatif agregat sebesar 2,58.

- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air sebesar 205 kg/m^3 sampai memotong kurva baru pada butir a.
- c. Dari titik perpotongan di butir b, tarik garis horizontal ke kiri, dengan demikian didapatkan perkiraan berat isi beton (W_{beton}) sebesar 2338 kg/m^3



Grafik 3 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat campuran dan Berat Isi Beton

Gambar 5. 10 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang telah Dipadatkan

(Sumber: SNI 2834, 2000)

16. Menghitung kadar campuran agregat dalam beton.

Kadar campuran agregat dalam beton dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag. Gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}} \\
 &= 2338 - 455,56 - 205 \\
 &= 1677,44 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Menghitung kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

- a. Agregat halus

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag. Halus}} &= \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{Ag. Gab}} \\ &= 40,50\% \times 1677,44 \\ &= 679,37 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- b. Agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag. Kasar}} &= W_{\text{Ag. Gab}} - W_{\text{Ag. Halus}} \\ &= 1677,44 - 679,37 \\ &= 998,08 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Proporsi campuran beton per 1 m³.

Dari hasil perencanaan campuran (*mix design*) beton diperoleh proporsi setiap 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 455,56 kg
 b. Air = 205 kg
 c. Agregat halus = 679,365 kg
 d. Agregat kasar = 998,079 kg

19. Proporsi campuran beton per 1 m³ dengan angka penyusutan.

Pada penelitian ini diambil angka penyusutan sebesar 30%, sehingga didapatkan proporsi tiap 1 m³ beton untuk setiap material dengan angka penyusutan adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 592,22 kg
 b. Air = 266,50 kg
 c. Agregat halus = 883,17 kg
 d. Agregat kasar = 1297,50 kg

20. Hasil perencanaan campuran beton (*mix design*).

Adapun hasil rekapitulasi perencanaan campuran (*mix design*) beton dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal PPC

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	PPC	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,45	
8	FAS digunakan	0,45	
9	<i>Slump</i>	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	455,56	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	380	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	455,60	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,70	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,50	
19	Persen Agregat Halus	40,5	%
20	Persen Agregat Kasar	59,5	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi Beton	2338	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1677,44	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	679,37	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	998,08	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	592,22	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	883,17	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1297,50	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	266,50	kg/m ³

21. Volume benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Adapun volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*. Dalam penelitian ini dilakukan dua kali *mixing*. Alasan dilakukan dua kali *mixing* antara lain yaitu menghindari tidak homogenan campuran (campuran semen, agregat dan air lebih merata), efisiensi waktu dan sumber daya untuk menghindari kesalahan kerja akibat pencampuran yang kurang baik dan terburu-buru. *Mixing* pertama terdiri dari 9 silinder, sementara itu *mixing* kedua terdiri dari 6 silinder. Kedua *mixing* tersebut dilakukan pada hari yang sama, untuk *mix* 9 silinder dilakukan terlebih dahulu pada pagi hari selanjutnya dilanjutkan *mix* 6 silinder pada siang hari. Sehingga diperoleh volume benda uji untuk tiap *mixing* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Volume } \textit{mixing} \text{ 1} &= (9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t) \\ &= (9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30) \\ &= 0,0477 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Volume } \textit{mixing} \text{ 2} &= (6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t) \\ &= (6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30) \\ &= 0,0318 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

22. Proporsi campuran beton untuk setiap kali *mixing*a. Proporsi campuran beton untuk *mixing* 1

- 1) Semen = $0,0477 \times 592,22 = 28,257 \text{ kg}$
- 2) Air = $0,0477 \times 266,50 = 12,715 \text{ kg}$
- 3) Agregat halus = $0,0477 \times 883,17 = 42,139 \text{ kg}$
- 4) Agregat kasar = $0,0477 \times 1297,50 = 61,908 \text{ kg}$

b. Proporsi campuran beton untuk *mixing* 2

- 1) Semen = $0,0318 \times 592,22 = 18,838 \text{ kg}$
- 2) Air = $0,0318 \times 266,50 = 8,477 \text{ kg}$
- 3) Agregat halus = $0,0318 \times 883,17 = 28,093 \text{ kg}$
- 4) Agregat kasar = $0,0318 \times 1297,50 = 41,272 \text{ kg}$

Berikut merupakan rekapitulasi proporsi campuran beton dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.25.

Tabel 5. 25 Proporsi Campuran Beton Mixing 1 dan Mixing 2

<i>Mixing</i>	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1	28,257	12,715	42,139	61,908
2	18,838	8,477	28,093	41,272
Jumlah	47,095	21,192	70,232	103,180

5.4 Desain Campuran (*Mix Design*) Beton Mutu Tinggi

Desain campuran beton mutu tinggi pada penelitian ini menggunakan metode SNI 03-6468 (2000). Desain campuran beton dimaksudkan untuk menentukan proporsi campuran material yang optimal sesuai dengan kebutuhan dan mutu rencana.

1. Menentukan data awal desain campuran beton mutu tinggi

Menurut SNI 03-6468 (2000), syarat kuat tekan untuk beton mutu tinggi adalah 41,4 Mpa pada umur 28 hari. Dalam penelitian ini digunakan rencana kuat tekan beton sebesar $f'_c = 42$ MPa. Agregat halus yang dipergunakan berasal dari Sungai Progo, berikut merupakan data material yang digunakan dalam penelitian ini.

- a. Modulus halus butir (MHB) = 2,53
- b. Berat jenis keadaan SSD = 2,70
- c. Penyerapan air = 2,67 %
- d. Berat volume padat = 1,669

Sementara itu untuk agregat kasar, menggunakan batu pecah yang berasal dari Celereng, Kulon Progo dengan ukuran maksimal 20 mm. Data agregat kasar adalah sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir (MHB) = 6.73
- b. Berat jenis keadaan SSD = 2,50
- c. Penyerapan air = 1,63 %
- a. Berat volume padat = 1,569

Jenis semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I bermerek Gresik dan semen *portland pozzolan* bermerek Bima yang memiliki berat jenis sebesar 3,15. Bahan tambah yang digunakan antara lain adalah silica fume berjenis SikaFume produksi PT Sika Indonesia, dan superplasticizer berjenis Sika Viscocrete 1003 produksi PT Sika Indonesia.

2. Perhitungan komposisi campuran beton mutu tinggi.
 - a. Menentukan nilai *slump* yang akan digunakan sebesar 75-100 mm. Nilai kuat tekan rata-rata dihitung menggunakan Persamaan 3.11.

Kuat tekan rencana $f'_c = 42$ MPa,

$$f'_{cr} = \frac{42 + 9,66MPa}{0,90} = 57,40 \text{ MPa}$$

- b. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Kuat tekan rata-rata dari perhitungan di atas didapatkan $57,40 \text{ MPa} < 62,1 \text{ MPa}$, maka ukuran agregat kasar maksimum diperbolehkan berada pada rentang 20-25 mm berdasarkan SNI 6468 (2000). Dengan demikian dipilih ukuran maksimum agregat kasar 20 mm.

- c. Menentukan kadar agregat kasar optimum.

Ukuran agregat maksimum yang digunakan 20 mm berdasarkan Tabel 3.10 didapatkan fraksi volume agregat sebesar 0,72. Selanjutnya digunakan persamaan 3.13 untuk menghitung kadar agregat kasar optimum.

$$\text{Kadar agregat kasar optimum} = 0,72 \times 1569 = 1129,41 \text{ kg/m}^3$$

- d. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara.

Dengan tambahan *superplasticizer*, nilai estimasi kebutuhan air dan kadar udara dari Tabel 3.11 didapatkan berturut-turut sebesar 181 liter/m^3 dan 1,5% . Lalu perhitungan kadar rongga udara dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$V = \left(1 - \frac{1669}{2,70 \times 1000}\right) \times 100 = 38,19 \%$$

Setelah didapatkan kadar rongga udara, selanjutnya menentukan nilai koreksi kadar air dengan persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$\text{Koreksi kadar air} = (38,19 - 35) \times 4,75 = 15,17 \text{ liter/m}^3$$

Setelah didapatkan nilai koreksi kadar air, selanjutnya menentukan nilai kebutuhan total air dengan persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$\text{Kebutuhan total air} = 181 + 15,17 = 196,17 \text{ liter/m}^3$$

e. Menentukan faktor air semen ($w/(c+p)$)

$$\text{Kuat tekan rata-rata } f'_{cr} = 57,40 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan lapangan } f_{cr} = 0,9 \times 57,40 = 51,66 \text{ MPa}$$

Setelah diperoleh nilai f_{cr} lapangan berdasarkan Tabel 3.12 dengan penggunaan agregat maksimum 20 mm dan *superplasticizer*. Maka nilai rasio ($w/c+p$) dapat ditentukan menggunakan perhitungan interpolasi.

Diketahui :

$$X = 51,66 \text{ MPa}$$

$$X_1 = 48,3 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 55,2 \text{ MPa}$$

$$Y = \text{Nilai fas (dicari)}$$

$$Y_1 = 0,45$$

$$Y_2 = 0,40$$

$$Y = Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1)$$

$$Y = 0,45 + \frac{(51,66 - 48,3)}{(55,2 - 48,3)} (0,4 - 0,45)$$

$$Y = 0,425$$

Nilai faktor air semen ($w/(c+p)$) diperoleh sebesar 0,425. Nilai fas tersebut kemudian digunakan untuk acuan dalam membuat sampel *trial* beton. Berdasarkan hasil *trial* dalam pembuatan sampel beton benda uji dengan faktor air semen 0,425 kuat tekan yang direncanakan tidak tercapai. Untuk meningkatkan kuat tekan beton maka kadar air dikurangi. Dengan berkurangnya kadar air, maka nilai faktor air semen akan semakin kecil.

Berdasarkan hal tersebut, dibuat sampel *trial* dengan nilai faktor air semen yang lebih kecil hingga memenuhi pengujian kuat tekan pada umur 3 hari. Pada pembuatan sampel beton *trial* umur 3 hari dengan nilai fas 0,37 kuat tekan beton telah memenuhi. Berdasarkan hal tersebut, maka digunakan nilai fas sebesar 0,37 untuk pembuatan sampel.

$$\text{Rasio } (w/(c+p)) = 0,37.$$

f. Menentukan kadar bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{196,17}{0,37} = 530,19 \text{ kg/m}^3$$

Untuk memperoleh jumlah semen yang diperlukan, dilakukan pembagian antara hasil perhitungan kadar bahan bersifat semen dengan massa jenis semen sebesar 3,15 kg/m³.

$$\text{Semen } \textit{portland} = \frac{530,19}{3,15} = 168,31 \text{ liter/ m}^3$$

g. Menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi per-m³

$$1) \text{ Semen } \textit{portland} = 168,31 \text{ liter/ m}^3$$

$$2) \text{ Agregat kasar} = \frac{1129,41}{2,50} \\ = 451,76 \text{ liter/ m}^3$$

$$3) \text{ Air} = 196,17 \text{ liter/ m}^3$$

$$4) \text{ Kadar udara} = 15 \text{ liter/ m}^3$$

Lalu semua nilai tersebut dijumlahkan dan diperoleh nilai 831,25 liter/ m³.

Untuk mendapatkan proporsi kebutuhan agregat halus dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Agregat halus} = 1000 - 831,25 = 168,75 \text{ liter/ m}^3$$

Dikonversi menjadi berat pasir sebagai berikut.

$$168,75 \times 2,70 = 455,64 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perencanaan *mix design* beton mutu tinggi berdasarkan SNI 6468-2000 per satuan m^3 didapatkan kebutuhan komposisi sebagai berikut.

- 1) Semen *portland* = 531 kg/m^3
- 2) Kerikil = 1130 kg/m^3
- 3) Pasir = 456 kg/m^3
- 4) Air = $196,17 \text{ kg}$

5.4.1. Komposisi Campuran Beton Mutu Tinggi

Dalam penelitian ini, dibuat sampel beton dengan penambahan *superplasticizer* dan *silica fume*. *Silica fume* yang digunakan sebanyak 10% dari berat semen dan *superplasticizer* digunakan sebanyak 0,5% dari berat semen. Komposisi campuran beton mutu tinggi dengan penyusutan sebesar 30% per- m^3 yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.26 untuk semen PCC dan Tabel 5.27 untuk semen PPC sebagai berikut.

Tabel 5. 26 Hasil Campuran Mix Design Beton Mutu Tinggi PCC

Kode Sampel	Mixing	Jumlah Sampel	Volume (m ³)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Silica Fume		Superplasticizer	
								Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
C - T	1	9	0,0477	32,94	28,28	70,09	12,17	3,29	10	0,18	0,5
	2	6	0,318	21,96	18,86	46,73	8,11	2,20	10	0,12	0,5

Tabel 5. 27 Hasil Campuran Mix Design Beton Mutu Tinggi PPC

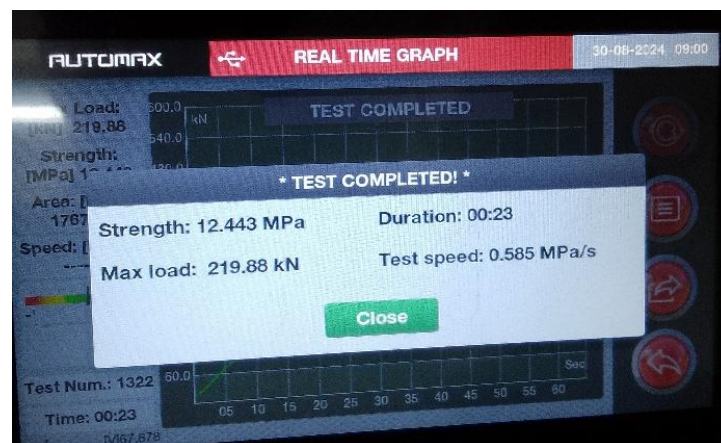
Kode Sampel	Mixing	Jumlah Sampel	Volume (m ³)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Silica Fume		Superplasticizer	
								Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
P -T	1	9	0,0477	32,94	28,28	70,09	12,17	3,29	10	0,18	0,5
	2	6	0,318	21,96	18,86	46,73	8,11	2,20	10	0,12	0,5

5.5 Pengujian *Trial* Sampel Beton Mutu Normal Semen PCC dan PPC

Pada penelitian ini dilakukan percobaan hasil *mix design* yang bertujuan untuk mengetahui hasil mutu beton yang ditargetkan telah sesuai dengan komposisi *mix design* yang dibuat. Umur beton *trial* untuk pengujian kuat tekan adalah 3 hari. Berdasarkan hasil kuat tekan beton *trial* pada umur 3 hari, dapat diperkirakan untuk kuat tekan umur 28 hari. Hasil pengujian *trial* sampel beton dapat dilihat pada Tabel 5.28 untuk semen PCC dan Tabel 5.29 untuk semen PPC sebagai berikut. Adapun hasil pengujian *trial* dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.

Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Sampel *Trial* Beton Mutu Normal Semen PCC

Benda Uji	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)	Faktor konversi PBI 1971	Kuat tekan umur 28 hari (MPa)
C-N-1	211,01	11,941	0,40	29,85
C-N-2	203,52	11,517	0,40	28,79
C-N-3	219,88	12,443	0,40	31,11



Gambar 5. 11 Hasil Pengujian *Trial* Kuat Tekan PCC
Sumber: Penelitian (2024)

Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Sampel *Trial* Beton Mutu Normal Semen PPC

Benda Uji	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)	Faktor konversi PBI 1970	Kuat tekan umur 28 hari (MPa)
P-N-1	343	19,410	0,40	48,53
P-N-2	332,33	18,806	0,40	47,02
P-N-3	298,44	16,888	0,40	42,22



Gambar 5. 12 Hasil Pengujian *Trial* Kuat Tekan PPC
Sumber: Penelitian (2024)

Pada Tabel 5.29 pengujian kuat tekan beton mutu normal menggunakan semen PPC menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi ketimbang semen PCC pada Tabel 5.28 hal ini disebabkan oleh penggunaan fas dan kandungan pozzolan pada semen PPC. Penggunaan fas pada penelitian ini untuk semen PCC dan PPC yaitu 0,5 dan 0,45. Menurut Tjokrodimuljo (1995) semakin rendah nilai fas semakin tinggi kuat tekan betonnya dan begitu sebaliknya. Sehingga, beton dengan nilai fas 0,45 menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi.

Kandungan pozzolan pada semen PPC menyebabkan kuat tekan yang dihasilkan lebih baik ketimbang semen PCC dikarenakan material pozzolan merupakan material yang mengandung silika dan partikel pada pozzolan secara umum memiliki ukuran yang lebih halus ketimbang *portland* semen. Menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras. Reaktivitas tersebut menurut Yakub dkk (2013) adalah reaksi pozzolanik, semakin tinggi kadar silika aktif dan luas permukaan partikel pozzolan maka semakin cepat dan intensif reaksi ini terjadi, reaksi tersebut mempercepat pembentukan C-S-H yang mengisi pori-pori beton dan meningkatkan densitas struktur beton. Serta mengurangi permeabilitas beton, sehingga sulit bagi senyawa sulfat untuk masuk ke dalam beton. Hal tersebut membuat PPC lebih tahan terhadap sulfat.

Reaksi pozzolanik tersebut terjadi saat proses hidrasi pada semen berlangsung. Bahan pozzolan bereaksi dengan produk sampingan dari hidrasi semen yaitu kalsium hidroksida (Ca(OH)_2), untuk membentuk senyawa tambahan untuk memperkuat struktur beton yang berupa C-S-H. Proses hidrasi terjadi ketika semen baik PCC maupun PPC bercampur dengan air, terjadi reaksi hidrasi utama antara senyawa dalam semen yaitu: C3S (trikalsium silikat) dan C2S (dikalsium silikat), yang bereaksi dengan air untuk menghasilkan senyawa C-S-H (kalsium silikat hidrat) dan Ca(OH)_2 (kalsium hidroksida). Senyawa C-S-H merupakan senyawa utama yang bertanggung jawab atas kekuatan dan kerapatan beton.

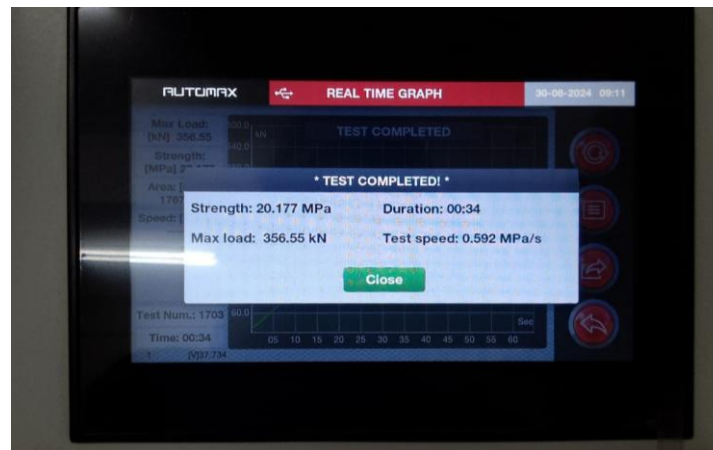
Sementara itu, menurut Yakub dkk (2013) material pozzolan sangat reaktif terhadap Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi semen, selama terjadinya proses hidrasi kandungan Ca(OH)_2 menjadi terlarut karena bereaksi dengan material pozzolan dan diubah menjadi C-S-H tambahan yang membuat beton menjadi lebih kuat. Selain itu, Ca(OH)_2 rentan terhadap asam (asam sulfat, asam klorida, atau asam organik) yang dapat menyebabkan degradasi pada beton. Dengan terjadinya pengurangan kandungan Ca(OH)_2 oleh material pozzolan dan diubah menjadi C-S-H tambahan, menjadikan semen PPC lebih tahan terhadap sulfat.

5.6 Pengujian *Trial* Sampel Beton Mutu Tinggi Semen PCC dan PPC

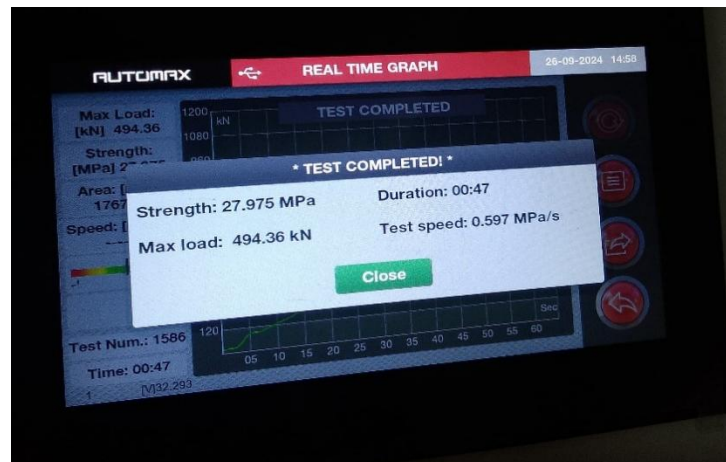
Pengujian *trial* sampel beton mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC menggunakan faktor konversi dengan nilai 0,40 sesuai pada PBI 1971. Faktor konversi ini kurang relevan jika digunakan untuk beton mutu tinggi. Namun dikarenakan, belum ada penelitian lain yang dapat dijadikan pedoman nilai konversi, sehingga digunakan nilai 0,4 sebagai acuan. Hasil pengujian *trial* untuk semen PCC dan PPC mutu tinggi akan dijabarkan pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 berikut. Adapun hasil pengujian *trial* dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14.

Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Sampel *Trial* Beton Mutu Tinggi Semen PCC

Benda Uji	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)	Faktor konversi PBI 1970	Kuat tekan umur 28 hari (MPa)
C-T-1	356,55	20,177	0,40	50,44
C-T-2	379,73	21,489	0,40	53,72
C-T-3	347,54	19,667	0,40	49,17

**Gambar 5. 13 Hasil Pengujian *Trial* Kuat Tekan PCC Mutu Tinggi**
Sumber: Penelitian (2024)**Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Sampel *Trial* Beton Mutu Tinggi Semen PPC**

Benda Uji	Beban maksimum (kN)	Kuat tekan (MPa)	Faktor konversi PBI 1970	Kuat tekan umur 28 hari (MPa)
P-T-1	476	26,936	0,40	67,34
P-T-2	470,85	26,645	0,40	66,61
P-T-3	494,36	27,975	0,40	69,94



Gambar 5. 14 Hasil Pengujian *Trial* Kuat Tekan PPC Mutu Tinggi
Sumber: Penelitian (2024)

Beton mutu tinggi dengan semen PPC pada Tabel 5.31 menunjukkan kinerja kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton dengan semen PCC pada Tabel 5.30. Pada beton PCC, kuat tekan dicapai melalui penambahan *silica fume* dan *superplasticizer*, sedangkan pada beton PPC melalui penambahan *silica fume*, *superplasticizer*, dan reaksi pozzolanik. Dalam hal ini, kandungan pozzolan dan reaksi pozzolanik turut berkontribusi yang menyebabkan beton dengan semen PPC memiliki kuat tekan lebih tinggi.

Pada kedua beton mutu tinggi baik pada semen PPC dan PCC menggunakan bahan tambah berupa *silica fume* dan *superplasticizer*. *Silica fume* merupakan material yang ukuran partikelnya jauh lebih kecil ketimbang semen, *silica fume* bekerja dengan cara mengisi rongga-rongga mikro di dalam beton, sehingga meningkatkan kerapatan (*density*) yang menyebabkan kuat tekan beton bertambah. Menurut Davendra dan Trimurtiningrum (2022) *silica fume* berdiameter 1/100 dari diameter semen dan sangat halus serta merupakan material yang memiliki kandungan SiO_2 .

Beton mutu tinggi menggunakan *water-cement* rasio yang rendah sehingga beton menjadi lebih padat dan kuat, *water-cement* rendah juga berfungsi untuk mengurangi porositas beton sehingga menghasilkan beton yang padat dan kuat. *Superlasticizer* berperan dalam meningkatkan *workability* pada beton mutu tinggi tanpa menambah kadar air. Selain itu, *superplasticizer* memungkinkan distribusi

semen dan *silica fume* lebih merata pada saat proses *mixing* beton serta dapat mencegah terjadinya *bleeding*, segregasi, dan mengurangi udara dalam beton.

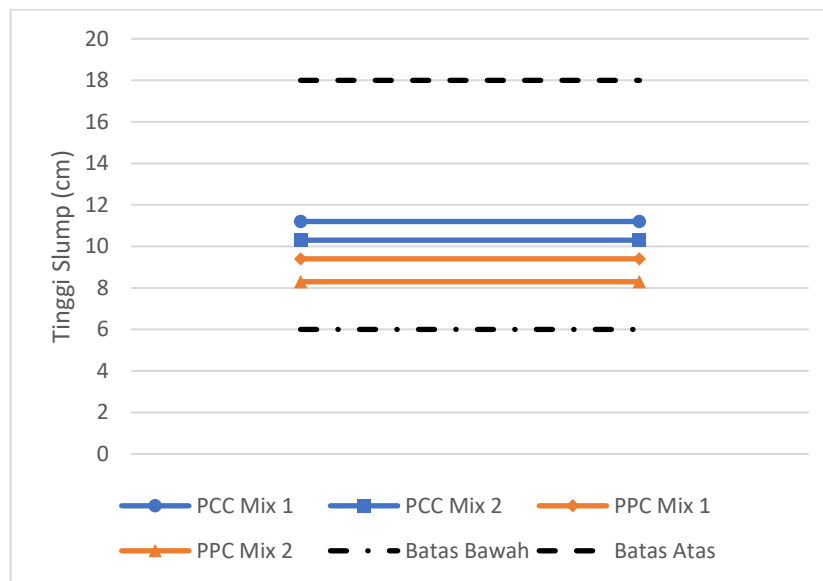
Menurut Firjatullah dkk. (2022), penggunaan *silica fume* bertujuan untuk meningkatkan kualitas beton dengan mutu tinggi. Sementara itu, *superplasticizer* digunakan untuk mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton. Hal ini penting karena beton mutu tinggi biasanya memerlukan pengurangan rasio air-semen (FAS) untuk mencapai performa optimal.

5.7 Hasil Pengujian *Slump* Beton Mutu Normal dan Tinggi PCC dan PPC

Pengujian *slump* dilakukan setelah campuran beton tercampur merata menggunakan *mixer*. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton. Semakin tinggi nilai *slump* yang diperoleh, maka tingkat pengerjaan beton akan semakin tinggi (mudah dikerjakan). Hasil pengujian *slump* dan grafik nilai *slump* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.32, Tabel 5.33 dan Gambar 5.15, Gambar 5.18 berikut.

Tabel 5. 32 Hasil Pengujian *Slump* Mutu Normal PCC dan PPC

Jenis Semen	Tinggi <i>Slump</i> (cm)		Keterangan Syarat Nilai <i>Slump</i> 60-180 mm
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>	
PPC	9,4	8,3	Memenuhi
PCC	11,2	10,3	Memenuhi



Gambar 5. 15 Grafik Nilai *Slump* Beton Mutu Normal

Pada beton mutu normal baik PCC dan PPC hasil *slump* telah memenuhi ketentuan pada SNI 2834 (2000) dengan rencana *slump* berada pada rentang 60 - 180 mm. Perbedaan hasil pengujian *slump* antara keduanya terjadi karena penggunaan fas yang berbeda untuk PCC dan PPC yaitu 0,5 dan 0,45. Semakin rendah nilai fas maka semakin rendah juga *workability* yang dihasilkan. Adapun hasil pengujian *slump* beton mutu normal dengan penggunaan semen PPC dan PCC dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 sebagai berikut.



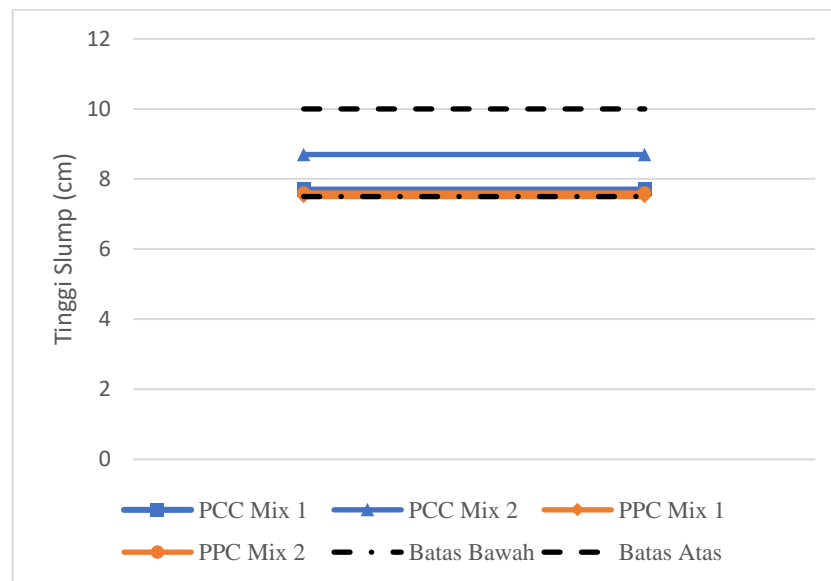
Gambar 5. 16 Hasil Pengujian *Slump* PPC Normal



Gambar 5. 17 Hasil Pengujian *Slump* PCC Normal

Tabel 5. 33 Hasil Pengujian *Slump* Mutu Tinggi PCC dan PPC

Jenis Semen	Tinggi <i>Slump</i> (cm)		Keterangan Syarat Nilai <i>Slump</i>
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>	
PPC	7,5	7,6	Memenuhi
PCC	7,7	8,7	Memenuhi



Gambar 5. 18 Grafik Nilai *Slump* Beton Mutu Tinggi

Pada beton mutu tinggi baik PCC dan PPC hasil uji *slump* telah memenuhi ketentuan pada SNI 6468 (2000) dengan rencana *slump* berada pada rentang 75 - 100 mm. Pada Tabel 5.33 dan Gambar 5.18 menunjukkan bahwa nilai *slump* dari semen PPC lebih rendah ketimbang semen PCC hal tersebut terjadi akibat kandungan pozzolan pada semen PPC, semakin banyak kandungan pozzolan pada suatu semen maka nilai *slump* (*workability*) rendah serta perbedaan nilai *slump* pada masing-masing *mixing* terjadi karena perbedaan kadar air yang terkandung pada agregat.

Berdasarkan SNI 15-7064 (2004) komposisi penyusun semen PCC terdiri atas campuran *portland* semen, gips, dan bahan anorganik yang berupa terak tanur tinggi (*blast furnance slag*), pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur dengan kadar total berada pada rentang 6 - 35 % dari berat semen *portland* komposit. Sementara itu, pada semen PPC menurut SNI 0302 (2014) terdiri atas campuran *portland* semen dan material pozzolan dengan kadar pozzolan sebanyak 6 – 40 % dari berat semen pozzolan. Berdasarkan pengertian dari kedua SNI tersebut maka dapat disimpulkan bahwa semen PPC mengandung lebih banyak material pozzolan yang membuat rendahnya nilai *slump* jika dibandingkan dengan semen PCC dikarenakan

bahan pozzolan memiliki porositas yang lebih tinggi dibandingkan semen PCC sehingga lebih banyak menyerap air pada proses pencampuran beton.

Hal tersebut diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Zai dkk (2014) yang menjelaskan semakin tinggi penggunaan *silica fume*, nilai slump yang dihasilkan semakin rendah dikarenakan *silica fume* menyerap banyak air. Berdasarkan penelitian tersebut dan bahan bersifat pozzolan (seperti *silica fume*, *fly ash*, abu vulkanik, pozzolan alam, *blast furnance slag*) pada PPC dapat mengurangi *workability* sehingga nilai *slump* menjadi rendah karena penyerapan air yang tinggi. Adapun hasil pengujian *slump* beton mutu normal dengan penggunaan semen PPC dan PCC dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5. 19 Hasil Pengujian *Slump* PPC Tinggi

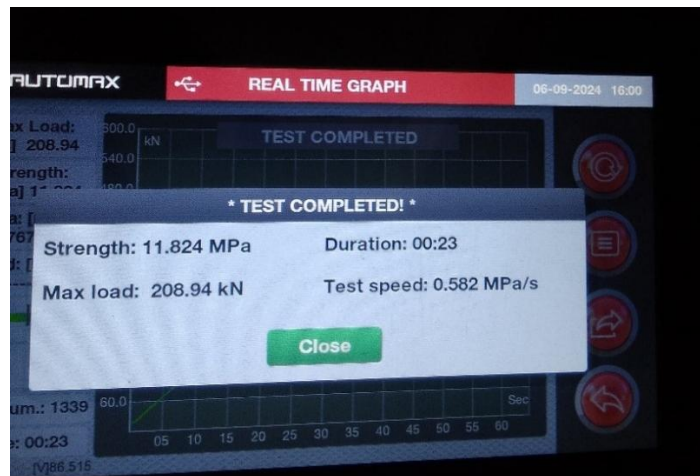


Gambar 5. 20 Hasil Pengujian *Slump* PCC Tinggi

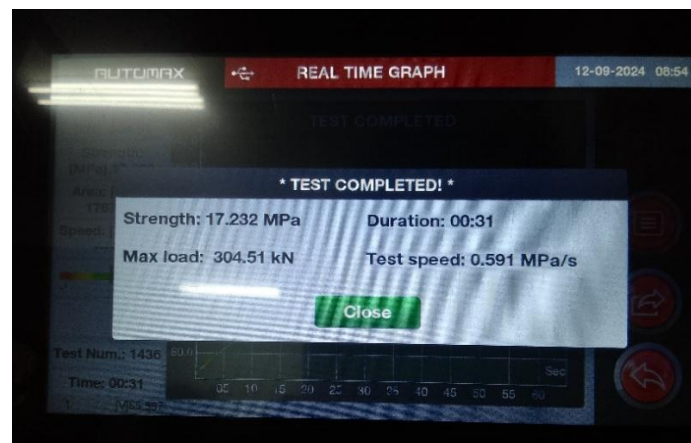
5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal Semen PCC dan PPC

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan pada umur beton 3, 7, 14, 21, 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan *compression machine* bermerek Automax Pro-M. Sampel uji tekan berjumlah 60 sampel, untuk beton mutu normal sebanyak 30 sampel masing-masing terdiri 15 sampel untuk tiap semen PCC dan PPC. Sebelum pengujian kuat tekan terlebih dahulu dilakukan *capping* pada permukaan atas beton yang bertujuan meratakan permukaan beton. Pengujian dilakukan hingga terjadi kerusakan atau retak pada sampel uji, yang berarti benda uji tidak lagi mampu menahan beban yang diberikan oleh mesin uji. Kondisi ini ditandai dengan munculnya suara pada mesin penguji dan mesin penguji berhenti bekerja disertai muncul notifikasi hasil pengujian sampel pada layar.

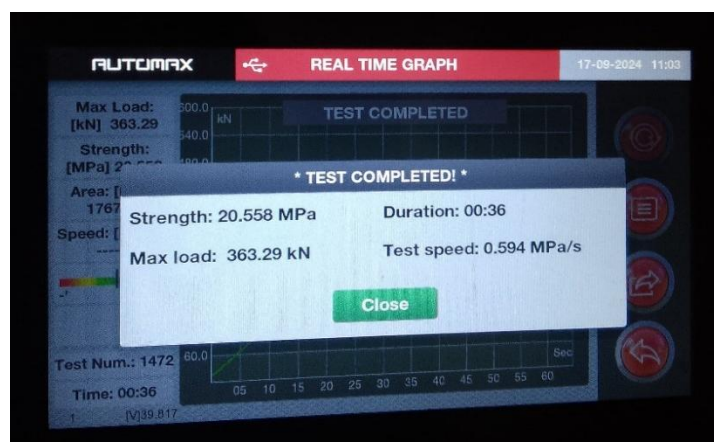
Adapun hasil pengujian kuat tekan beton mutu normal dengan penggunaan semen PCC untuk umur pengujian 3, 7, 14, 21, dan 28 hari secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, dan 5.25 sebagai berikut.



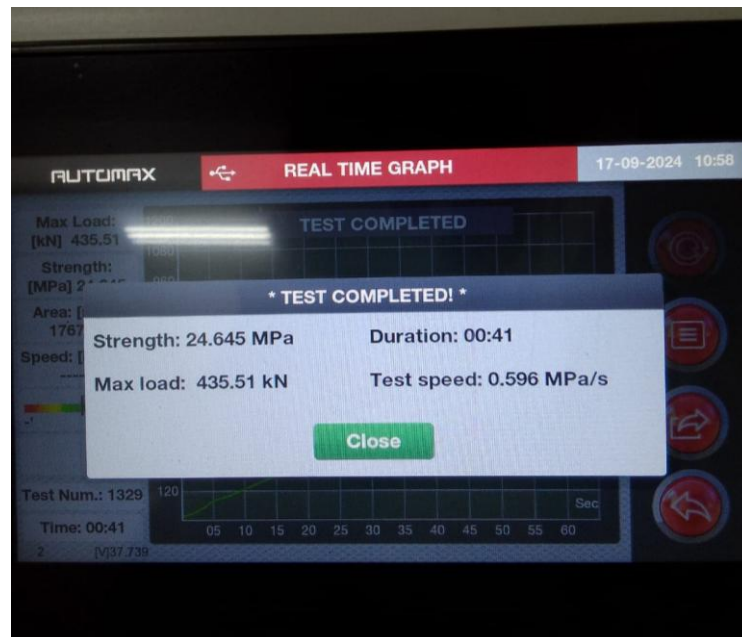
Gambar 5. 21 Hasil Pengujian PCC Normal 3 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



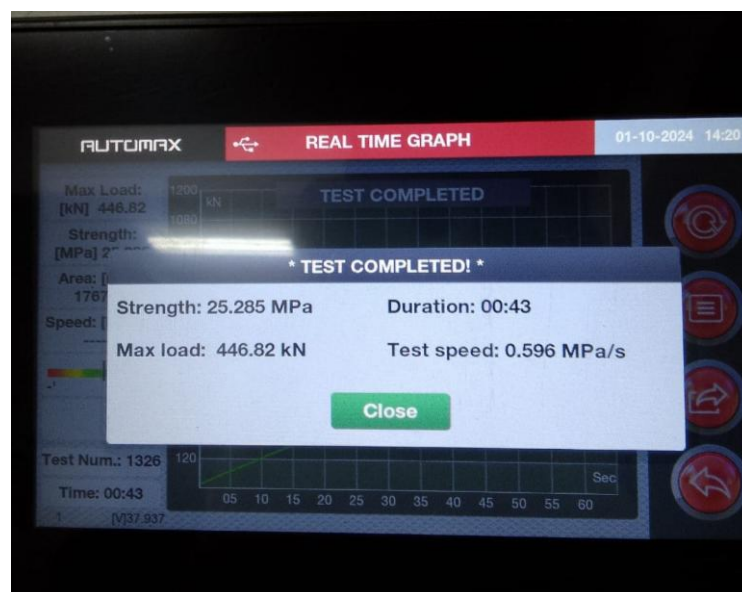
Gambar 5. 22 Hasil Pengujian PCC Normal 7 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 23 Hasil Pengujian PCC Normal 14 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

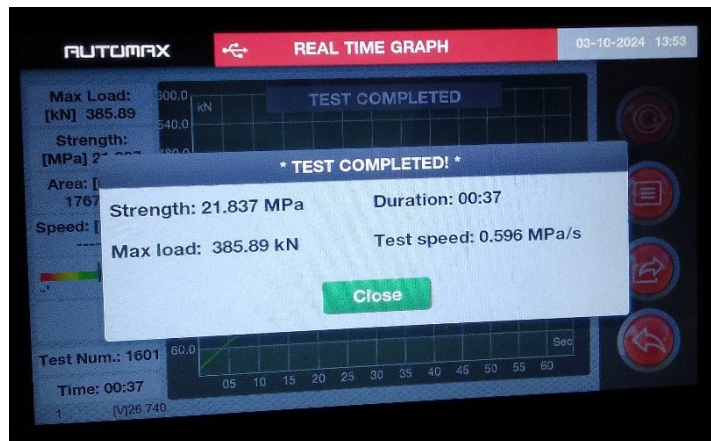


Gambar 5. 24 Hasil Pengujian PCC Normal 21 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

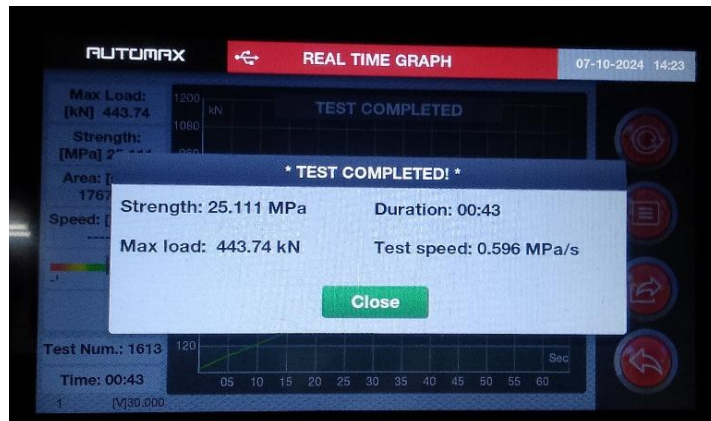


Gambar 5. 25 Hasil Pengujian PCC Normal 28 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

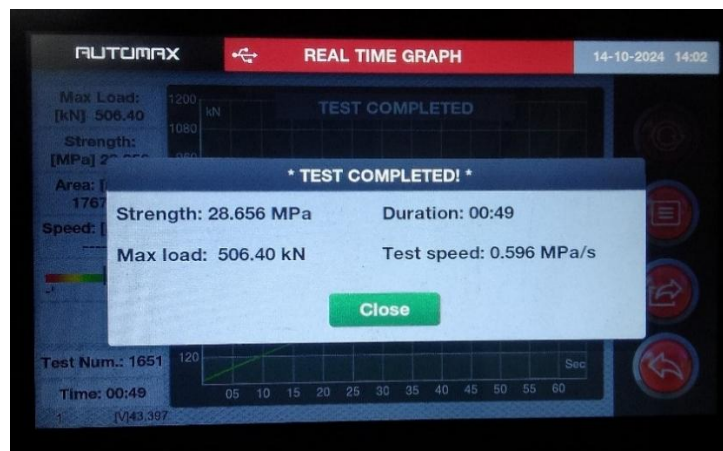
Adapun hasil pengujian kuat tekan beton mutu normal dengan penggunaan semen PPC untuk umur pengujian 3, 7, 14, 21, dan 28 hari secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, dan 5.30 sebagai berikut.



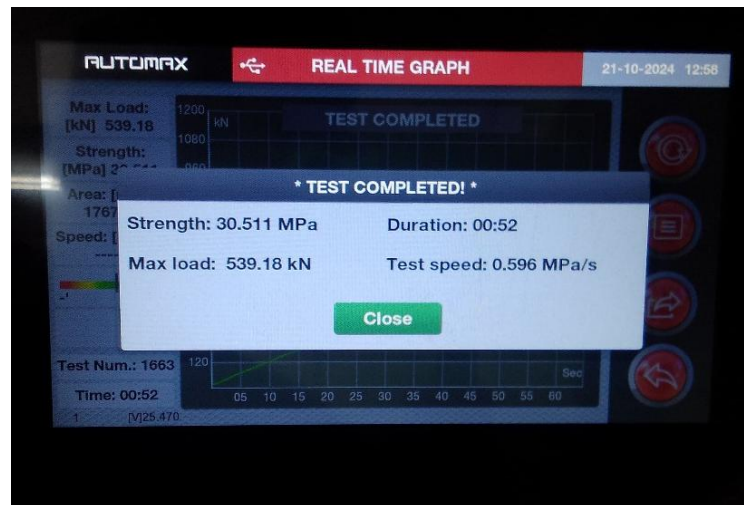
Gambar 5. 26 Hasil Pengujian PPC Normal 3 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



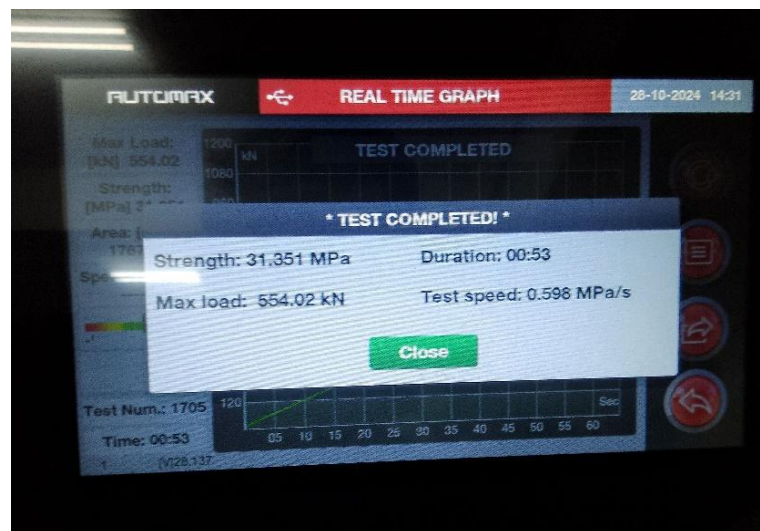
Gambar 5. 27 Hasil Pengujian PPC Normal 7 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 28 Hasil Pengujian PPC Normal 14 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 29 Hasil Pengujian PPC Normal 21 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 30 Hasil Pengujian PPC Normal 28 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

Contoh perhitungan dan hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.34 untuk semen PCC dan Tabel 5.35 untuk semen PPC serta grafik hasil rata-rata kuat tekan bisa dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 sebagai berikut.

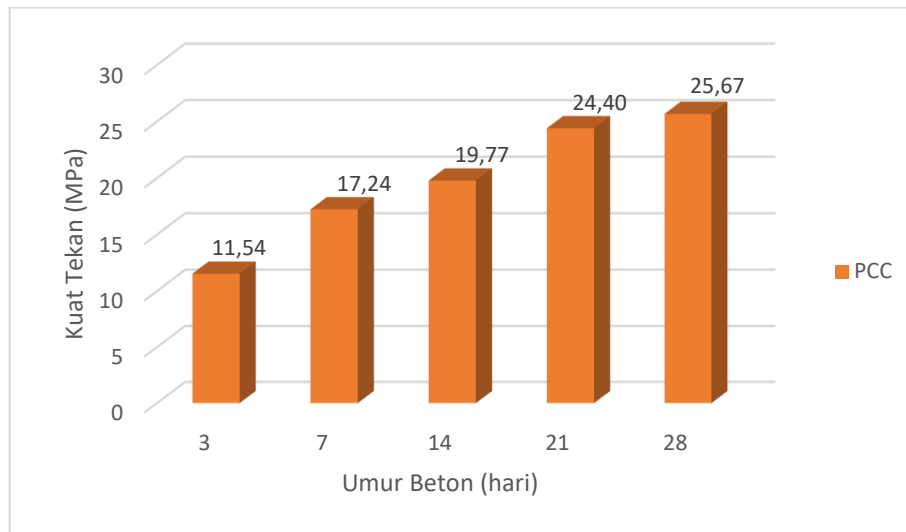
- 1) Kuat tekan beton semen PCC umur 3 hari sampel 1
 Sampel uji (C-N-3), $P_{\text{maksimum}} = \text{Beban maks C-N-3} \times 1000$
 $= 208,94 \text{ kN} \times 1000$
 $= 208940 \text{ N}$
 Luas permukaan benda uji $= 0,25 \times \pi \times d^2$
 $= 0,25 \times \pi \times 149,40^2$
 $= 17530,37 \text{ mm}^2$
 Kuat tekan (f'_c) $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{208940}{17530,37}$
 $= 11,919 \text{ MPa}$
- 2) Kuat tekan beton semen PPC umur 3 hari sampel 1
 Sampel uji (P-N-3), $P_{\text{maksimum}} = \text{Beban maks P-N-3} \times 1000$
 $= 385,89 \text{ kN} \times 1000$
 $= 385890 \text{ N}$
 Luas permukaan benda uji $= 0,25 \times \pi \times d^2$
 $= 0,25 \times \pi \times 151,23^2$
 $= 17963,25 \text{ mm}^2$
 Kuat tekan (f'_c) $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{385890}{17963,25}$
 $= 21,482 \text{ MPa}$

Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal PCC

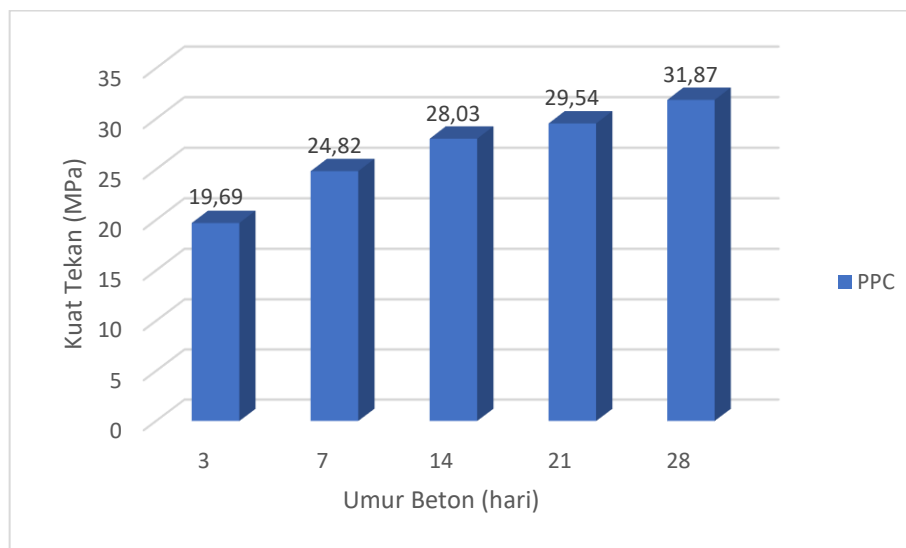
Benda Uji	Diamater	Tinggi	Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rerata	Beban Maksimum	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-rata
	(mm)	(mm)	(kg)	m ³	kg/m ³	kg/m ³	(kN)	(mm ²)	(Mpa)	(Mpa)
C-N-3 (1)	149,40	301,00	12,547	0,005277	2377,84	2364,52	208,94	17530,37	11,919	11,535
C-N-3 (2)	151,00	303,00	12,746	0,005426	2349,02		201,83	17907,86	11,270	
C-N-3 (3)	149,50	303,00	12,588	0,005319	2366,69		200,40	17553,85	11,416	
C-N-7 (1)	150,00	300,00	12,696	0,005301	2394,82	2408,06	304,51	17671,46	17,232	17,238
C-N-7 (2)	150,00	299,80	12,854	0,005298	2426,24		287,63	17671,46	16,277	
C-N-7 (3)	149,80	300,00	12,706	0,005287	2403,11		320,84	17624,37	18,204	
C-N-14 (1)	150,60	301,80	12,587	0,005376	2341,33	2364,64	363,29	17813,11	20,395	19,775
C-N-14 (2)	150,27	301,20	12,637	0,005342	2365,78		334,95	17734,35	18,887	
C-N-14 (3)	149,70	300,00	12,603	0,005280	2386,82		352,77	17600,84	20,043	
C-N-21 (1)	149,60	305,00	12,657	0,005361	2360,90	2350,65	435,51	17577,34	24,777	24,400
C-N-21 (2)	150,20	303,33	12,536	0,005375	2332,43		431,37	17718,61	24,346	
C-N-21 (3)	150,20	301,40	12,596	0,005340	2358,63		426,61	17718,61	24,077	
C-N-28 (1)	150,60	304,00	12,438	0,005415	2296,87	2318,20	446,82	17813,11	25,084	25,670
C-N-28 (2)	150,90	305,00	12,638	0,005455	2316,92		453,51	17884,15	25,358	
C-N-28 (3)	150,47	302,23	12,580	0,005374	2340,82		472,43	17781,59	26,568	

Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Normal PPC

Benda Uji	Diamater	Tinggi	Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rerata	Beban Maksimum	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-rata
	(mm)	(mm)	(kg)	m ³	kg/m ³	kg/m ³	(kN)	(mm ²)	(Mpa)	(Mpa)
P-N-3 (1)	151,23	301,30	12,769	0,005412	2359,24	2378,706	385,89	17963,25	21,482	19,693
P-N-3 (2)	150,63	299,80	12,731	0,005343	2382,86		350,98	17821,00	19,695	
P-N-3 (3)	150,33	301,67	12,819	0,005355	2394,01		317,78	17750,09	17,903	
P-N-7 (1)	150,00	301,83	12,720	0,005334	2384,78	2381,515	443,74	17671,46	25,111	24,820
P-N-7 (2)	150,33	303,23	12,842	0,005382	2385,92		426,23	17750,09	24,013	
P-N-7 (3)	149,93	300,53	12,596	0,005306	2373,85		447,34	17655,75	25,337	
P-N-14 (1)	150,37	300,73	12,669	0,005340	2372,29	2365,965	506,40	17757,96	28,517	28,027
P-N-14 (2)	149,57	300,43	12,523	0,005278	2372,47		474,23	17569,50	26,992	
P-N-14 (3)	150,60	302,43	12,677	0,005387	2353,14		508,96	17813,11	28,572	
P-N-21 (1)	150,17	303,73	12,386	0,005379	2302,51	2320,127	518,62	17710,75	29,283	29,537
P-N-21 (2)	151,17	304,67	12,490	0,005468	2284,21		515,49	17947,42	28,722	
P-N-21 (3)	149,77	301,63	12,613	0,005314	2373,66		539,18	17616,52	30,606	
P-N-28 (1)	149,40	300,50	12,456	0,005268	2364,52	2350,672	576,38	17530,37	32,879	31,872
P-N-28 (2)	150,17	301,70	12,461	0,005343	2332,06		560,75	17710,75	31,662	
P-N-28 (3)	150,67	302,30	12,695	0,005390	2355,43		554,02	17828,89	31,074	



Gambar 5. 31 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Normal PCC



Gambar 5. 32 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Normal PPC

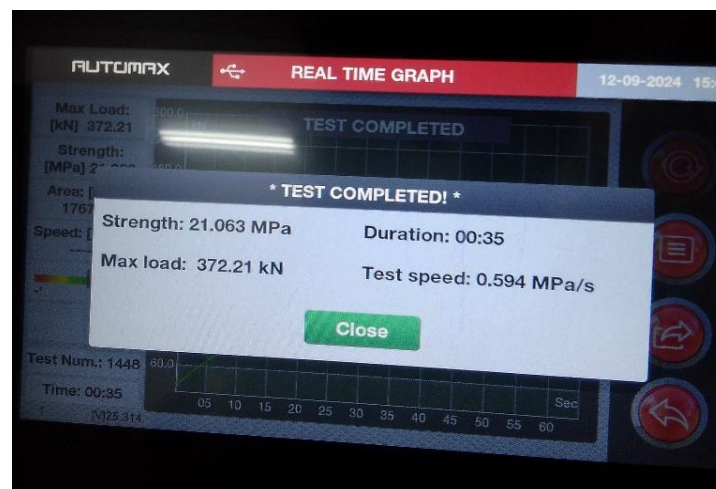
Pada Tabel 5.34, Tabel 5.35 dan Gambar 5.31, Gambar 5.32 menunjukkan bahwa kuat tekan beton mutu normal semen PPC lebih unggul dibandingkan semen PCC. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Salam (2023) yang menyatakan semen berdasarkan kuat tekannya dari urutan tinggi ke rendah adalah OPC, PPC, dan PCC.

Perbedaan kuat tekan terjadi karena pemakaian nilai fas yang rendah pada PPC yaitu 0,45 sedangkan PCC 0,5. Menurut Tjokrodinuljo (1995) semakin rendah nilai fas semakin tinggi kuat tekan betonnya dan begitu sebaliknya. Sehingga, beton dengan nilai fas 0,45 menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi.

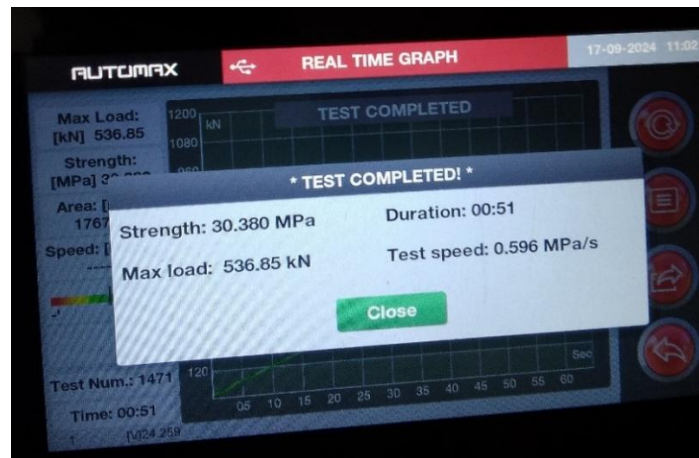
Faktor lain yang menyebabkan kuat tekan beton pada semen PPC lebih tinggi adalah reaksi pozolanik yang terjadi selama proses hidrasi pada semen. Menurut Yakub dkk (2013) reaksi pozzolanik mempercepat pembentukan C-S-H yang mengisi pori-pori beton dan meningkatkan densitas struktur beton. Semakin tinggi kadar silika aktif dan luas permukaan partikel pozzolan maka semakin cepat dan intensif reaksi ini terjadi.

5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Semen PCC dan PPC

Pengujian kuat tekan pada beton mutu tinggi dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, 21, 28 hari. Sampel beton mutu tinggi sebanyak 30 sampel masing-masing terdiri dari 15 sampel untuk tiap semen PCC dan PPC. Pada beton mutu tinggi diberikan bahan tambah berupa *silicafume* sebanyak 10% dan *superplasticizer* 0,5% dari berat semen. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton mutu tinggi dengan penggunaan semen PCC untuk umur pengujian 3, 7, 14, 21, dan 28 hari secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, dan 5.37 sebagai berikut.



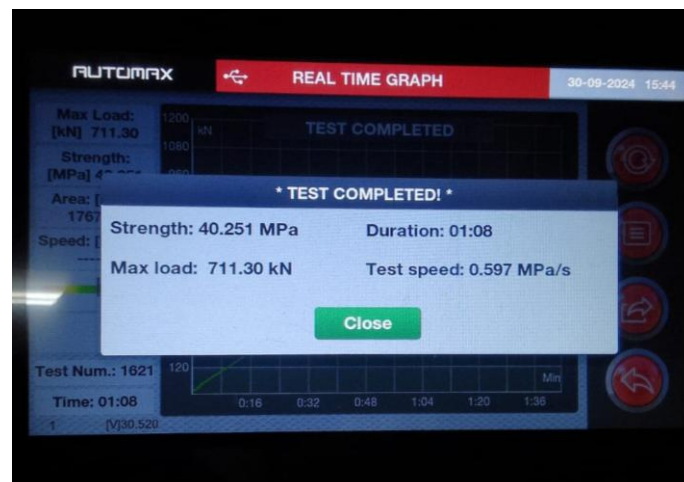
Gambar 5. 33 Hasil Pengujian PCC Tinggi 3 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



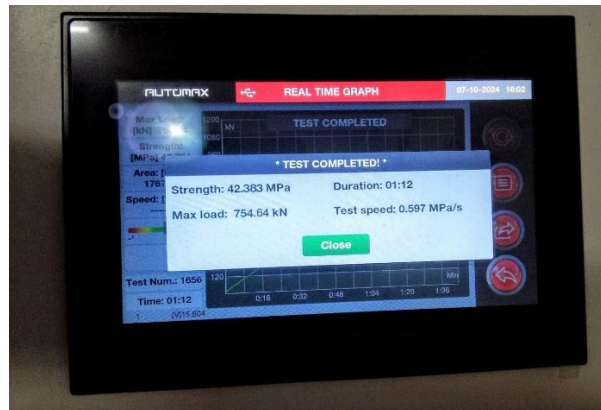
Gambar 5. 34 Hasil Pengujian PCC Tinggi 7 Hari
 Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 35 Hasil Pengujian PCC Tinggi 14 Hari
 Sumber: Penelitian (2024)

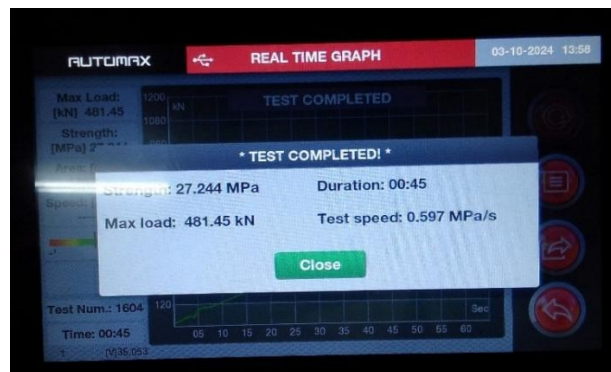


Gambar 5. 36 Hasil Pengujian PCC Tinggi 21 Hari
 Sumber: Penelitian (2024)

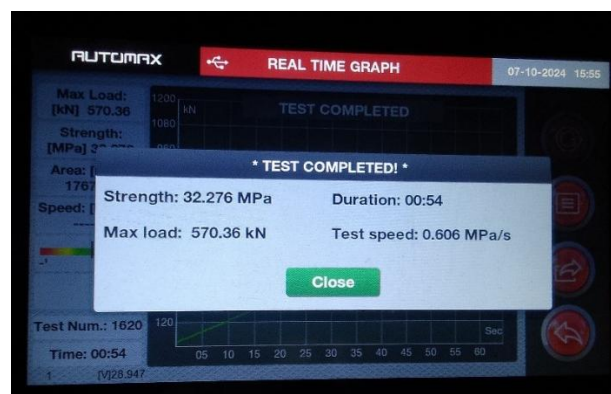


Gambar 5. 37 Hasil Pengujian PCC Tinggi 28 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

Adapun hasil pengujian kuat tekan beton mutu tinggi dengan penggunaan semen PPC untuk umur pengujian 3, 7, 14, 21, dan 28 hari secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, dan 5.42 sebagai berikut.



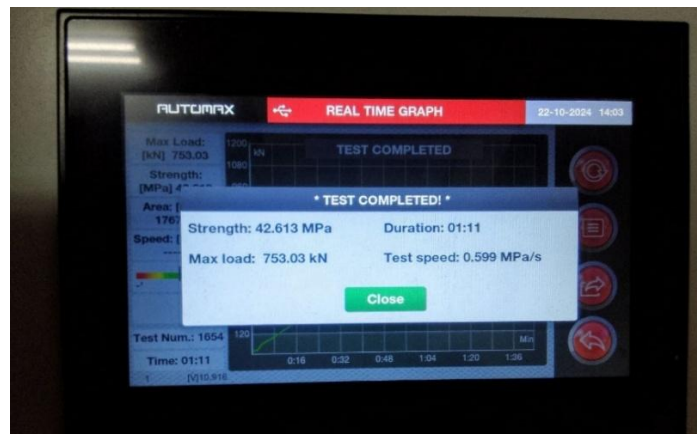
Gambar 5. 38 Hasil Pengujian PPC Tinggi 3 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



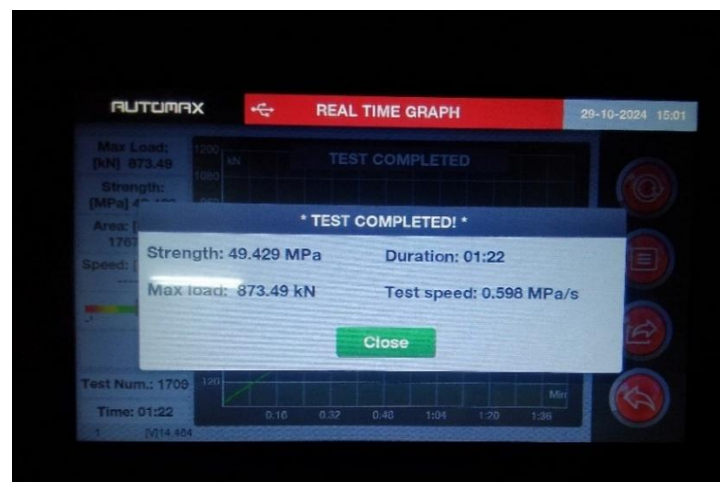
Gambar 5. 39 Hasil Pengujian PPC Tinggi 7 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 40 Hasil Pengujian PPC Tinggi 14 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 41 Hasil Pengujian PPC Tinggi 21 Hari
Sumber: Penelitian (2024)



Gambar 5. 42 Hasil Pengujian PPC Tinggi 28 Hari
Sumber: Penelitian (2024)

Berikut merupakan contoh perhitungan dari beton mutu tinggi menggunakan semen PCC dan PPC. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.36 untuk semen PCC dan Tabel 5.37 untuk semen PPC serta grafik hasil rata-rata kuat tekan bisa dilihat pada Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 sebagai berikut.

- 1) Kuat tekan beton semen PCC umur 3 hari sampel 1

$$\text{Sampel uji (C-T-3), } P_{\text{maksimum}} = \text{Beban maks C-T-3} \times 1000$$

$$= 372,21 \text{ kN} \times 1000$$

$$= 372210 \text{ N}$$

$$\text{Luas permukaan benda uji} = 0,25 \times \pi \times d^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times 150^2$$

$$= 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat tekan (} f'c \text{)} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{372210}{17671,46}$$

$$= 21,063 \text{ MPa}$$

- 2) Kuat tekan beton semen PPC umur 3 hari sampel 1

$$\text{Sampel uji (P-T-3), } P_{\text{maksimum}} = \text{Beban maks P-T-3} \times 1000$$

$$= 481,45 \text{ kN} \times 1000$$

$$= 481450 \text{ N}$$

$$\text{Luas permukaan benda uji} = 0,25 \times \pi \times d^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times 150,50^2$$

$$= 17789,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat tekan (} f'c \text{)} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{481450}{17789,50}$$

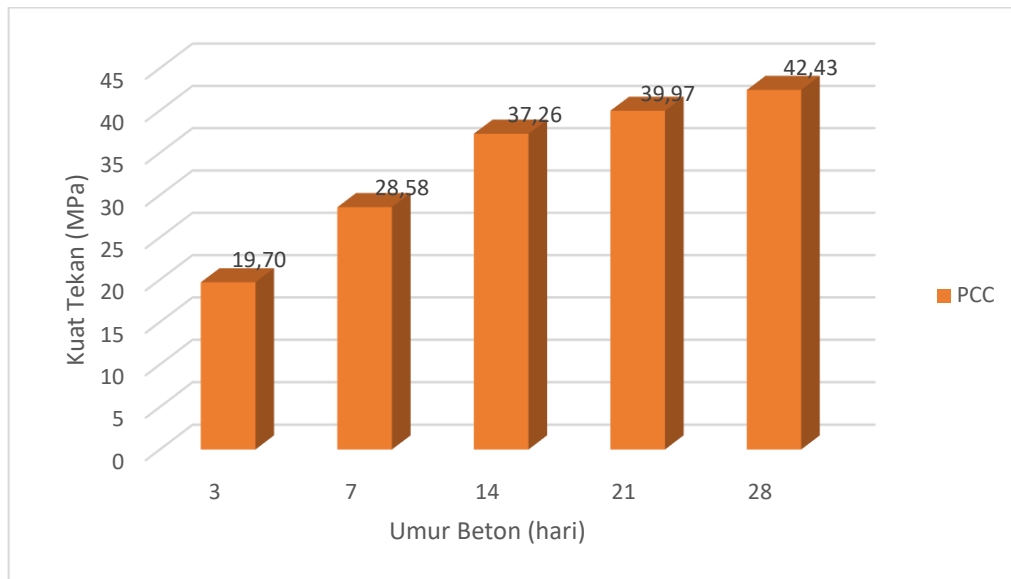
$$= 27,064 \text{ MPa}$$

Tabel 5. 36 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PCC

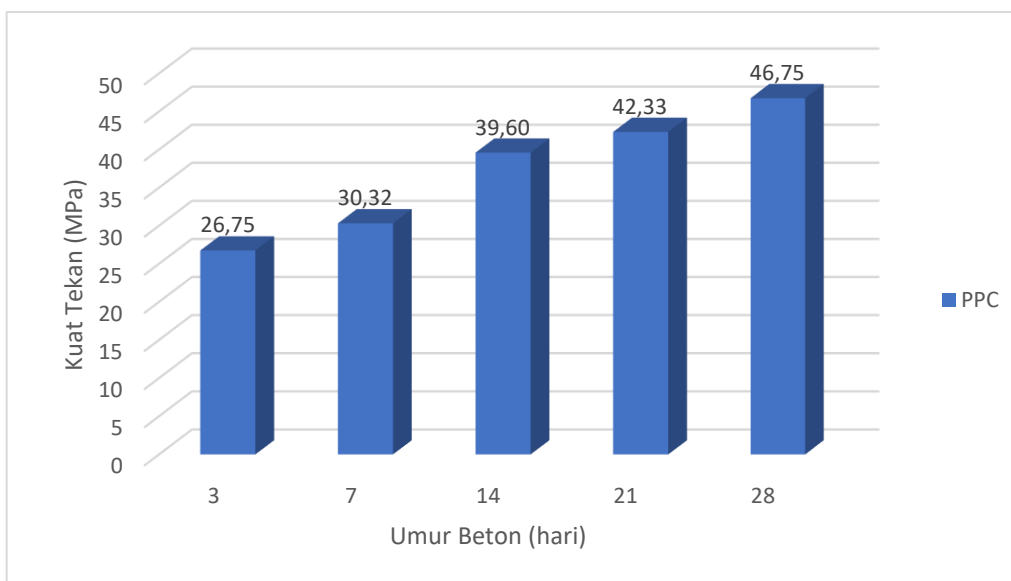
Benda Uji	Diamater	Tinggi	Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rerata	Beban Maksimum	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-rata
	(mm)	(mm)	(kg)	m ³	kg/m ³	kg/m ³	(kN)	(mm ²)	(Mpa)	(Mpa)
C-T-3 (1)	150,00	304,00	12,45	0,005372	2318,26	2326,717	372,21	17671,46	21,063	19,698
C-T-3 (2)	150,60	303,00	12,47	0,005397	2310,20		352,23	17813,11	19,774	
C-T-3 (3)	150,00	303,00	12,59	0,005354	2351,69		322,62	17671,46	18,257	
C-T-7 (1)	150,60	303,50	12,37	0,005406	2287,89	2344,679	497,96	17813,11	27,955	28,576
C-T-7 (2)	149,70	300,90	12,60	0,005296	2378,73		482,89	17600,84	27,436	
C-T-7 (3)	150,10	301,90	12,65	0,005342	2367,41		536,85	17695,03	30,339	
C-T-14 (1)	150,27	302,77	12,53	0,005369	2332,86	2346,917	656,26	17734,35	37,005	37,258
C-T-14 (2)	150,60	303,00	12,76	0,005397	2364,11		683,28	17813,11	38,358	
C-T-14 (3)	150,67	305,00	12,75	0,005438	2343,77		649,18	17828,89	36,412	
C-T-21 (1)	150,05	303,73	13,03	0,005371	2426,00	2372,195	713,01	17683,24	40,321	39,972
C-T-21 (2)	150,02	300,83	12,46	0,005317	2342,71		696,97	17675,39	39,432	
C-T-21 (3)	150,17	304,33	12,66	0,005390	2347,88		711,30	17710,75	40,162	
C-T-28 (1)	150,57	304,33	12,66	0,005419	2335,42	2353,853	754,64	17805,23	42,383	42,433
C-T-28 (2)	150,20	300,83	12,76	0,005330	2393,28		758,88	17718,61	42,830	
C-T-28 (3)	150,27	302,77	12,53	0,005369	2332,86		746,36	17734,35	42,086	

Tabel 5. 37 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PPC

Benda Uji	Diamater	Tinggi	Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rerata	Beban Maksimum	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-rata
	(mm)	(mm)	(kg)	m ³	kg/m ³	kg/m ³	(kN)	(mm ²)	(Mpa)	(Mpa)
P-T-3 (1)	150,50	301,10	12,670	0,005356	2365,391	2359,556	481,45	17789,5	27,064	26,747
P-T-3 (2)	150,43	301,40	12,687	0,005357	2368,305		474,69	17773,7	26,707	
P-T-3 (3)	150,83	302,33	12,668	0,005402	2344,971		472,98	17868,4	26,470	
P-T-7 (1)	149,73	302,70	12,536	0,005330	2351,905	2369,181	515,41	17608,7	29,270	30,319
P-T-7 (2)	151,43	301,43	12,905	0,005429	2377,026		531,03	18010,8	29,484	
P-T-7 (3)	150,17	302,30	12,735	0,005354	2378,613		570,36	17710,8	32,204	
P-T-14 (1)	150,27	303,77	12,910	0,005387	2396,464	2393,744	691,66	17734,3	39,001	39,598
P-T-14 (2)	150,47	303,37	12,799	0,005394	2372,672		704,57	17781,6	39,624	
P-T-14 (3)	150,33	304,33	13,030	0,005402	2412,095		713,01	17750,1	40,169	
P-T-21 (1)	150,67	302,13	12,927	0,005387	2399,799	2388,907	753,03	17828,9	42,237	42,326
P-T-21 (2)	149,90	302,63	12,697	0,005341	2377,340		742,27	17647,9	42,060	
P-T-21 (3)	150,20	301,70	12,774	0,005346	2389,582		756,24	17718,6	42,681	
P-T-28 (1)	150,53	302,63	12,697	0,005386	2357,377	2350,888	795,561	17797,3	44,701	46,755
P-T-28 (2)	150,17	300,90	12,594	0,005329	2363,222		873,49	17710,8	49,320	
P-T-28 (3)	150,17	301,70	12,461	0,005343	2332,065		819,011	17710,8	46,244	



Gambar 5. 43 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Tinggi PCC



Gambar 5. 44 Kuat Tekan Beton Rata-rata Mutu Tinggi PPC

Pada Tabel 5.36, Tabel 5.37 dan Gambar 5.43, Gambar 5.44 menunjukkan bahwa kuat tekan beton mutu normal semen PPC lebih unggul dibandingkan semen PCC. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Salam (2023) yang menyatakan semen berdasarkan kuat tekannya dari urutan tinggi ke rendah adalah OPC, PPC, dan PCC.

Penyebab kuat tekan beton semen PPC lebih tinggi meskipun pada perencanaannya memakai fas yang sama, dikarenakan kandungan pozzolan pada semen PPC. Pozzolan merupakan material yang memiliki kandungan silika yang melimpah. Menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras. Sifat tersebutlah yang memicu terciptanya reaksi pozzolanik pada semen PPC. Reaksi tersebut terjadi selama proses hidrasi pada beton berlangsung yang membentuk C-S-H tambahan, sehingga kandungan C-S-H pada semen PPC lebih banyak ketimbang semen PCC.

Pozzolan dan *silica fume* merupakan bahan yang kaya akan silika (SiO_2). Menurut Davendra dan Trimurtiningrum (2022) *silica fume* berdiameter 1/100 dari diameter semen dan sangat halus. Sementara itu, pozzolan umumnya memiliki ukuran partikel yang lebih halus ketimbang *portland cement*. Kedua bahan tersebut berperan dengan cara mengisi rongga-rongga mikro di dalam beton, sehingga meningkatkan kerapatan (*density*) yang menyebabkan kuat tekan beton bertambah dan menambah kuat tekan.

Penggunaan nilai FAS yang rendah membuat kuat tekan beton mutu tinggi dapat tercapai, pada penelitian ini menggunakan FAS 0,37 untuk kedua jenis semen PPC dan PCC dengan bahan tambah *superplasticizer* Sika Visconcrete-1003. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Firjatullah dkk. (2022), penggunaan *superplasticizer* memberi dampak positif pada campuran dengan FAS yang kecil agar meningkatkan kelecakan dan *workability* dari campuran beton tersebut.

5.10 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Persentase Selisih Kuat Tekan

Berdasarkan hasil kuat tekan rata-rata pada Tabel 5.34, Tabel 5.35, Tabel 5.36, Tabel 5.37, nilai-nilai tersebut dapat diplot menjadi grafik batang untuk membandingkan nilai kuat tekan beton antara semen PCC dan PPC. Selisih kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.38 untuk beton mutu normal dan beton mutu tinggi pada Tabel 5.39. Sementara itu, untuk grafik kuat tekan dan selisih kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 5.45 untuk mutu normal dan mutu tinggi dapat dilihat pada

Gambar 5.46 berikut. Perhitungan selisih persentase nilai kuat tekan (%) dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

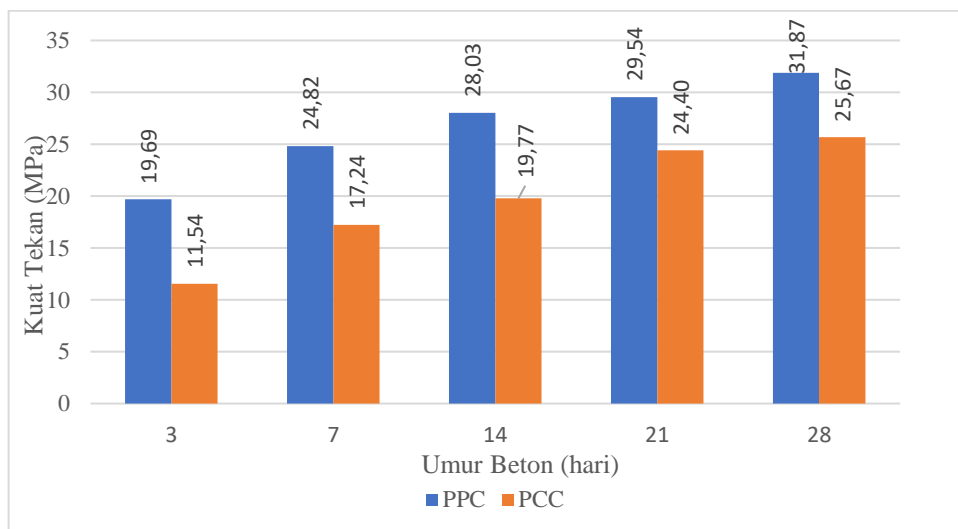
$$\text{Selisih persentase nilai kuat tekan} = \left(\frac{\text{PPC} - \text{PCC}}{\text{PPC}} \right) \times 100 \%$$

Berikut merupakan contoh perhitungan dari beton mutu normal menggunakan semen PPC dan PCC.

$$\begin{aligned} \text{Selisih persentase nilai kuat tekan umur 3 hari} &= \left(\frac{\text{PPC} - \text{PCC}}{\text{PPC}} \right) \times 100 \% \\ &= \left(\frac{19,693 - 11,535}{19,693} \right) \times 100 \% \\ &= 41,43 \% \end{aligned}$$

Tabel 5. 38 Selisih Nilai Kuat Tekan Mutu Normal Antara PPC Dengan PCC

Umur Beton (hari)	PPC (Mpa)	PCC (Mpa)	Selisih Nilai Kuat Tekan (%)
3	19,693	11,535	41,43
7	24,820	17,238	30,55
14	28,027	19,775	29,44
21	29,537	24,400	17,39
28	31,872	25,670	19,46



Gambar 5. 45 Grafik Perbandingan Nilai dan Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Mutu Normal

Pada Tabel 5.38 dan Gambar 5.46 dapat dilihat bahwa beton PPC memiliki keunggulan kuat tekan pada setiap umur yang diuji. Pada umur 3 hari, beton yang

menggunakan PPC menunjukkan kuat tekan sebesar 19,693 MPa, sedangkan beton PCC menunjukkan kuat tekan 11,535 MPa. Selisih nilai kuat tekan di antara keduanya mencapai 41,43%. Selisih yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa PPC memiliki keuntungan yang signifikan pada umur beton yang masih sangat muda.

Beton dengan semen PPC memiliki kuat tekan awal tinggi dikarenakan kandungan pozzolan dan reaksi pozzolanik yang terjadi selama proses hidrasi semen. Menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras. Reaksi pozzolanik ini menghasilkan C-H-S tambahan yang lebih banyak pada umur awal beton ketimbang semen PCC.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Salam (2023) didapatkan kuat tekan rata-rata pada umur 3 hari secara berurutan untuk semen PPC dan PCC yaitu 15,36 MPa dan 10,56 MPa. Sementara itu, pada penelitian yang dilakukan Prakoso (2016) menunjukkan kuat tekan PPC dan PCC pada umur 7 hari sebesar 21,46 MPa dan 17,93 dengan selisih kuat tekan sebesar 18,49%. Merujuk pada kedua penelitian tersebut menunjukkan semen PPC memiliki kuat tekan awal yang lebih tinggi ketimbang PCC.

Pada umur 28 hari beton mutu normal semen PPC lebih tinggi kuat tekannya ketimbang PCC. Hal tersebut terjadi dikarenakan kandungan pozzolan dan reaksi pozzolanik pada beton mutu tinggi PPC. Menurut Neville (2011), material pozzolan bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk kalsium silikat hidrat tambahan, yang meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. Jika diranking berdasarkan kuat tekan dari urutan tertinggi hingga terendah untuk beton mutu tinggi didapatkan jenis semen PPC lalu PCC. Hal itu sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Salam (2023) dan Prakoso (2016). Perhitungan selisih persentase nilai kuat tekan (%) dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

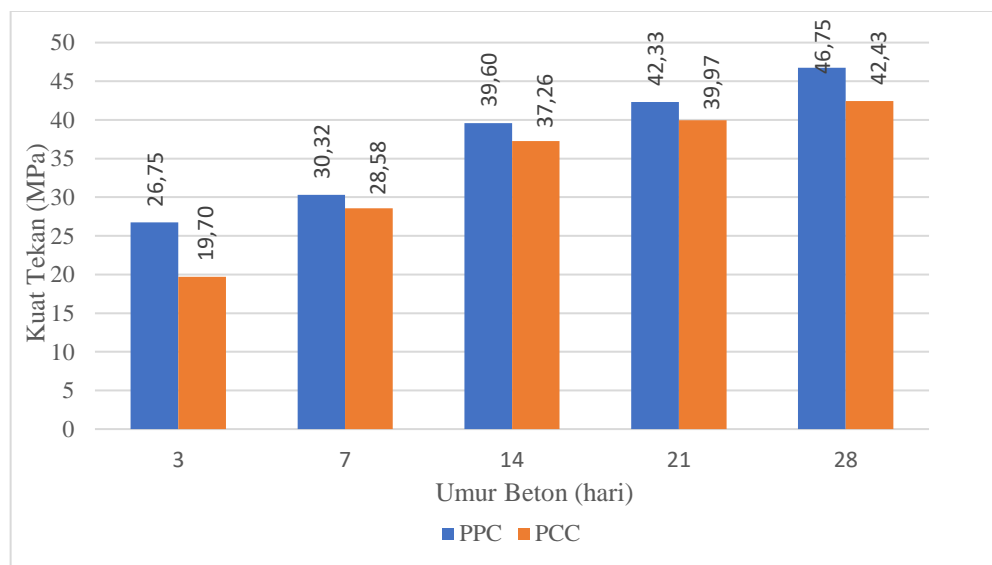
$$\text{Selisih persentase nilai kuat tekan} = \left(\frac{\text{PPC}-\text{PCC}}{\text{PPC}} \right) \times 100 \%$$

Berikut merupakan contoh perhitungan dari beton mutu tinggi menggunakan semen PPC dan PCC.

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih persentase nilai kuat tekan umur 3 hari} &= \left(\frac{\text{PPC} - \text{PCC}}{\text{PPC}} \right) \times 100 \% \\
 &= \left(\frac{26,747 - 19,698}{26,747} \right) \times 100 \% \\
 &= 26,36 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 39 Selisih Nilai Kuat Tekan Mutu Tinggi Antara PPC Dengan PCC

Umur Beton (hari)	PPC (Mpa)	PCC (Mpa)	Selisih Nilai Kuat Tekan (%)
3	26,747	19,698	26,36
7	30,319	28,576	5,75
14	39,598	37,258	5,91
21	42,326	39,972	5,56
28	46,755	42,433	9,24



Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan Nilai dan Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Pada Tabel 5.39 dan Gambar 5.46 untuk beton mutu tinggi dapat dilihat bahwa beton yang menggunakan PPC memiliki keunggulan kuat tekan pada setiap umur yang diuji. Hal ini terjadi dikarenakan kontribusi *silica fume*, *superplasticizer*, dan pozzolan pada beton mutu tinggi semen PPC sedangkan PCC hanya didukung oleh *silica fume* dan *superplasticizer* dalam kuat tekannya.

Pada umur 3 hari, kuat tekan rata-rata beton mutu tinggi menggunakan PPC menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan PCC yaitu sebesar 26,75 MPa dan 19,70 MPa. Dengan selisih nilai kuat tekan di antara keduanya mencapai 26,36 %. Selisih yang tersebut menunjukkan bahwa beton mutu tinggi semen PPC memiliki keuntungan yang signifikan pada umur beton yang masih sangat muda. Hasil kuat tekan yang tinggi pada beton PPC sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Salam (2023) dan Prakoso (2016).

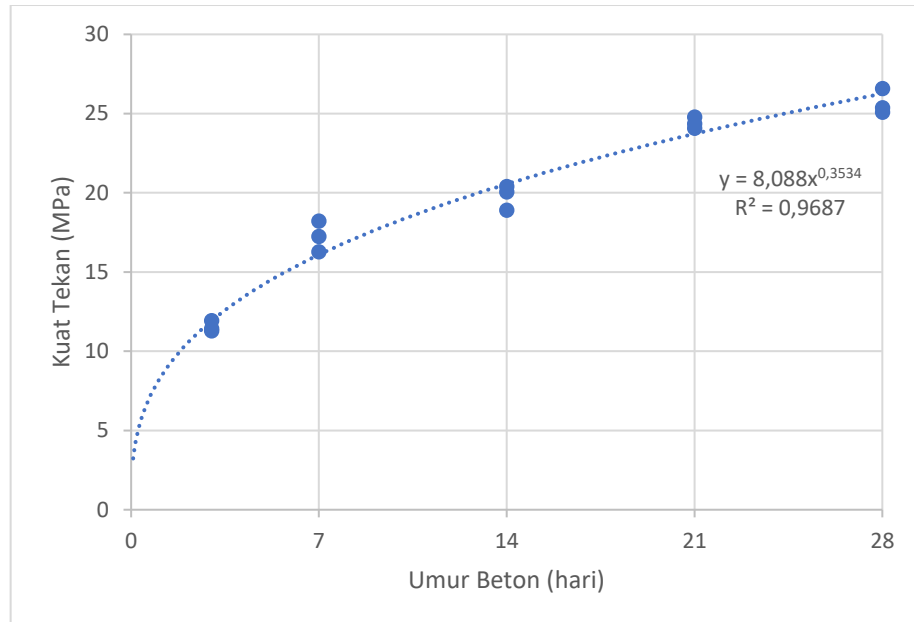
Hasil akhir kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan semen PPC lebih tinggi ketimbang PCC dengan kuat tekan rata-rata sebesar 46,755 MPa dan 42,433 MPa. Hal tersebut terjadi dikarenakan kandungan pozzolan dan reaksi pozzolanik pada beton mutu tinggi PPC. Menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras. Reaksi pozzolanik ini menghasilkan C-H-S tambahan yang lebih banyak pada umur ketimbang semen PCC. Jika diranking berdasarkan kuat tekan dari urutan tertinggi hingga terendah untuk beton mutu tinggi didapatkan jenis semen PPC lalu PCC. Hal itu sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Salam (2023) dan Prakoso (2016).

Semen PPC memiliki kandungan pozzolan dan *silica fume*. Kedua bahan tersebut merupakan bahan yang kaya akan silika (SiO_2). Menurut Davendra dan Trimurtiningrum (2022) *silica fume* berdiameter 1/100 dari diameter semen dan sangat halus. Sementara itu, pozzolan umumnya memiliki ukuran partikel yang lebih halus ketimbang *portland cement*. Kedua bahan tersebut berperan dengan cara mengisi rongga-rongga mikro di dalam beton, sehingga meningkatkan kerapatan (*density*) yang menyebabkan kuat tekan beton bertambah dan menambah kuat tekan pada umur awal.

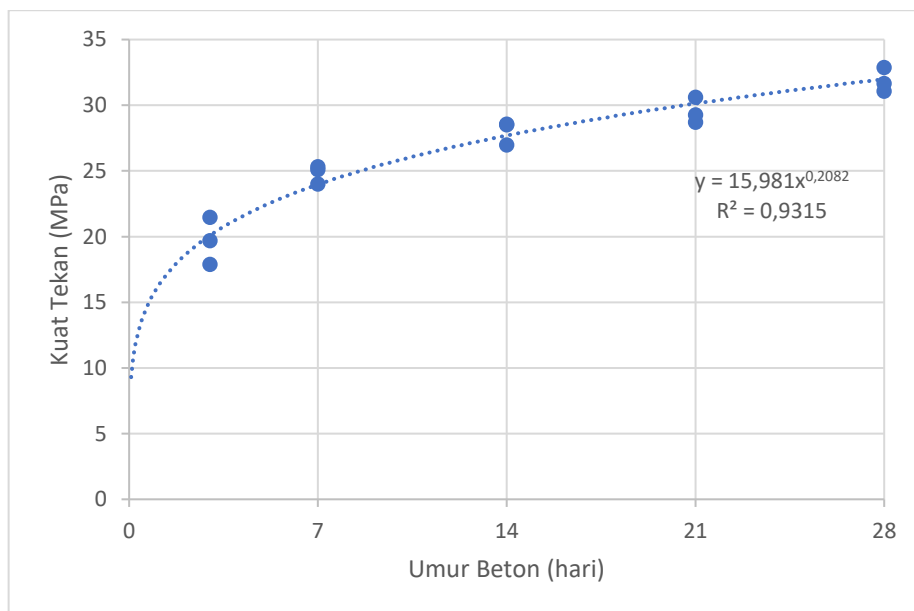
5.11 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Pengujian Beton

Berdasarkan hasil kuat tekan keseluruhan data sampel pada Tabel 5.34, Tabel 5.35, Tabel 5.36, Tabel 5.37, nilai-nilai tersebut dapat diplot menjadi grafik hubungan kuat tekan beton dengan umur pengujian untuk masing-masing mutu dan

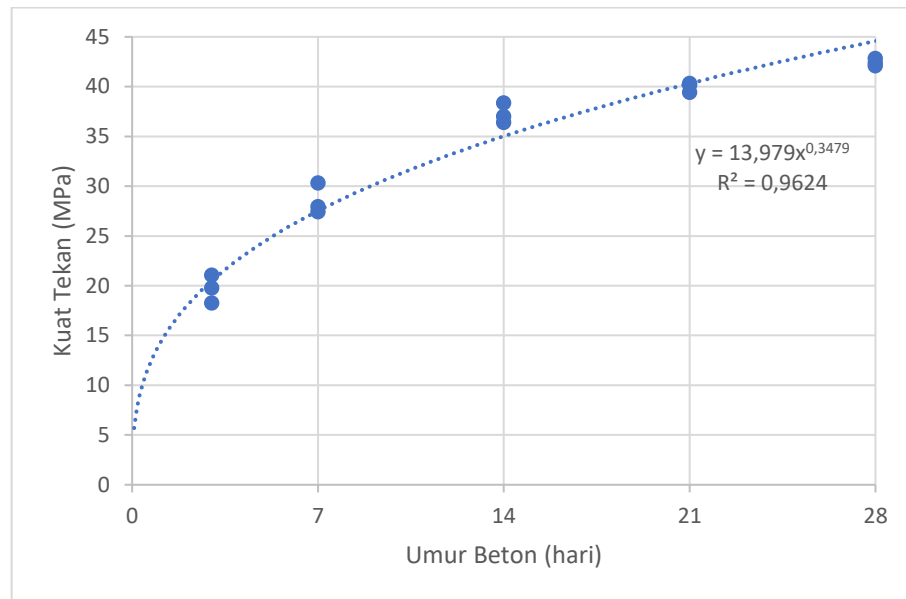
jenis semen yang dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 untuk mutu normal. Untuk mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50.



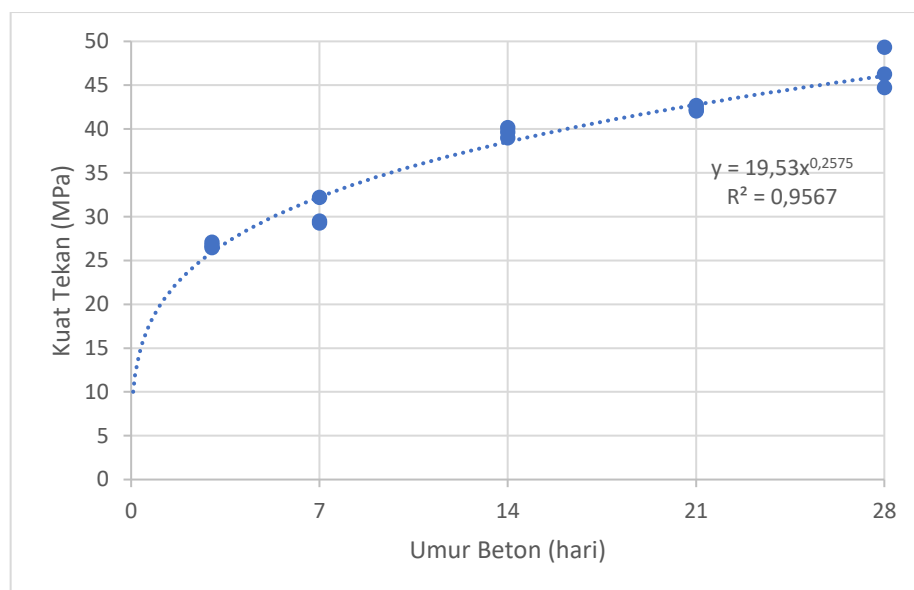
Gambar 5. 47 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC Normal



Gambar 5. 48 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PPC Normal



Gambar 5. 49 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC Tinggi



Gambar 5. 50 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PPC Tinggi

Pada Gambar 5.47, 5.48, 5.49, 5.50 keempat grafik menunjukkan hubungan positif antara umur dengan kuat tekan beton. Hubungan tersebut menghasilkan nilai R^2 berturut – turut sebesar 0,9697, 0,9315, 0,9621, 0,9567, nilai tersebut masuk dalam kategori sangat kuat. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan oleh regresi tersebut sudah sesuai dengan pedoman Sugiyono (2013) yang menyatakan nilai

(0,80-1,000) masuk pada kategori sangat kuat. Dari gambar grafik tersebut juga terlihat bahwa kuat tekan beton bertambah seiring dengan umur beton dengan tren non-linier yang menunjukkan peningkatan kuat tekan awal yang signifikan pada awal umur beton lalu melambat seiring waktu. Menurut Neville (2011), kekuatan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur selama kelembapan tersedia untuk melanjutkan hidrasi senyawa - senyawa dalam semen.

Penggunaan regresi non-linear ini digunakan untuk mencerminkan sifat eksponensial kenaikan kuat beton yang tinggi di awal lalu melambat. Dalam bukunya Neville (2011) menyatakan bahwa perkembangan kuat tekan beton seiring waktu, serta bagaimana model matematika seperti *power law* (hukum pangkat) digunakan untuk menggambarkan hubungan tersebut. Neville mengungkapkan bahwa kuat tekan beton berkembang dengan cara yang dapat di modelkan menggunakan fungsi pangkat. Pada penelitian terdahulu oleh Ray dkk (2016) juga menggunakan regresi non-linier dalam memodelkan prediksi hubungan kuat tekan dengan umur beton.

Permodelan di atas juga menghasilkan persamaan regresi (y) yang dapat digunakan untuk menentukan perkiraan kuat tekan optimum (kuat tekan optimal pada umur tertentu). Dengan memasukkan nilai hari tertentu (x) ke dalam persamaan regresi (y) akan didapatkan perkiraan nilai kuat tekan optimum yang terjadi pada tiap variasi mutu dan jenis semen. Berikut merupakan contoh perhitungan dari penentuan nilai perkiraan kuat tekan optimum pada beton mutu normal PPC untuk umur 3 hari.

$$y = 15,981 \times (x)^{0,2082}$$

$$y = 15,981 \times (3)^{0,2082}$$

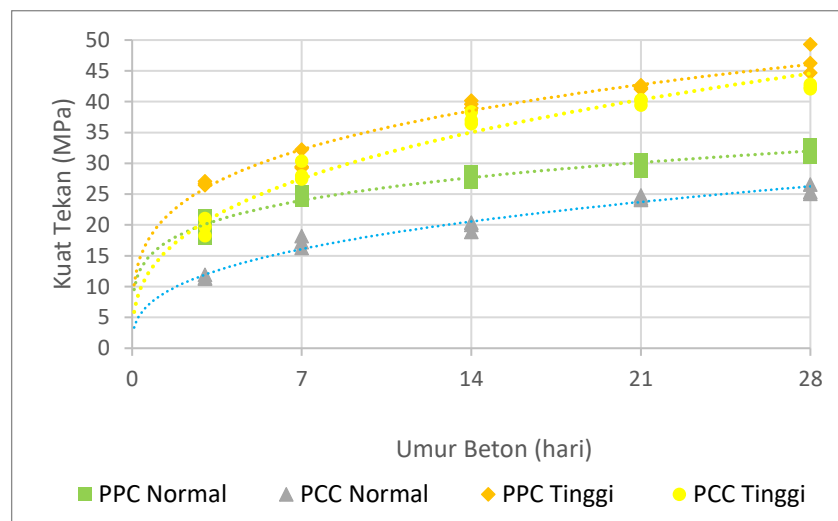
$$y = 20,088 \text{ MPa}$$

Selanjutnya untuk variasi mutu dan jenis semen dilakukan perhitungan yang sama. Sehingga didapatkan nilai kuat tekan optimum tiap pengujian pada Tabel 5.40 sebagai berikut.

Tabel 5. 40 Nilai Kuat Tekan Beton Optimum

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton Optimum (MPa)			
	PCC Normal	PPC Normal	PCC Tinggi	PPC Tinggi
3	11,925	20,088	20,486	25,916
7	16,088	23,964	27,510	32,234
14	20,553	27,684	35,012	38,533
21	23,720	30,122	40,316	42,773
28	26,258	31,982	44,560	46,062

kemudian untuk hubungan keempat permodelan regresi non-linier dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut



Gambar 5. 51 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pada Semen PCC dan PPC Mutu Beton Normal dan Tinggi

Pada Gambar 5.51 dapat dilakukan perbandingan dengan persamaan regresi non-linier untuk mengetahui percepatan peningkatan kuat tekan pada setiap semen dan mutu beton. Persamaan yang terbentuk adalah persamaan *power regression* atau regresi pangkat yang mempunyai bentuk persamaan $y = a \cdot x^b$, dimana :

y yaitu variabel dependent (bergantung pada variabel independen)

x yaitu variabel independen (mempengaruhi perubahan pada variabel dependent)

a yaitu koefisien konstanta (menentukan skala awal hubungan x dan y)

b yaitu eksponen pangkat (menunjukkan pola atau tingkat pengaruh x terhadap y).

Persamaan yang dihasilkan dari permodelan regresi pada Gambar 5.51 adalah sebagai berikut.

- 1) Semen PCC mutu normal, $y = 8,088x^{0,3534}$
- 2) Semen PPC mutu normal, $y = 15,981x^{0,2082}$
- 3) Semen PCC mutu tinggi, $y = 13,979x^{0,3479}$
- 4) Semen PPC mutu tinggi, $y = 19,53x^{0,2575}$

Berdasarkan persamaan regresi non-linier di atas menunjukkan semen PCC (normal dan tinggi) memiliki nilai eksponen (b) sebesar (0,3534 dan 0,3479) dibandingkan semen PPC (0,2082 dan 0,2575). Nilai eksponen (b) semen PCC lebih besar ketimbang semen PPC. Hal tersebut menunjukkan bahwa semen PCC lebih efektif dalam mempercepat laju peningkatan kuat tekan beton dibandingkan semen PPC baik pada mutu beton normal maupun tinggi.

Sementara itu, untuk nilai koefisien konstanta (a) pada semen PPC (normal dan tinggi) didapatkan sebesar (15,981 dan 19,53) dibandingkan semen PCC (8,088 dan 13,979). Nilai koefisien konstanta (a) semen PPC lebih besar ketimbang semen PCC. Hal tersebut menunjukkan kekuatan beton umur awal PPC lebih besar baik mutu normal maupun tinggi dibandingkan dengan semen PCC.

Berdasarkan persamaan regresi non-linier dan penjelasan di atas, semen PPC memiliki keunggulan pada kuat tekan awal yang lebih tinggi ketimbang semen PCC. Kuat tekan yang tinggi pada PPC dikarenakan kandungan pozzolan dan reaksi pozzolanik. Pozzolan bereaksi dengan senyawa Ca(OH)_2 membentuk C-S-H tambahan yang meningkatkan kuat tekan. Reaksi pozzolanik ini menghasilkan struktur beton yang lebih rapat dan tahan lama, karena mengurangi porositas sehingga kuat tekan menjadi tinggi. Reduksi Ca(OH)_2 dan di ubah menjadi C-S-H membuat beton PPC lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan seperti serangan sulfat. Bahan pozzolan umumnya lebih halus ketimbang *portland cement*. Menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras.

Sementara itu, semen PCC lebih unggul dalam mempercepat laju peningkatan kuat tekan beton dibandingkan semen PPC yang cenderung lebih lambat. Hal

tersebut terjadi dikarenakan semen PCC memiliki kandungan klinker yang lebih tinggi. Klinker semen merupakan bahan utama dalam semen yang bertanggung jawab pada hidrasi dalam beton. Kandungan klinker membuat proses hidrasi pada semen PCC lebih cepat. Di sisi lain, PPC mengandung lebih banyak material pozzolan yang memperlambat hidrasi. Berdasarkan SNI 15-7064 (2004) semen PCC tersusun dari penggilingan terak (klinker) semen *portland*, gips, dan bahan tambah anorganik sebesar (6 – 35 %) dari massa semen *portland composite*. Sedangkan semen PPC berdasarkan SNI 0302 (2014) tersusun dari penggilingan terak (klinker) semen *portland* dan pozzolan dengan kadar (6 - 40 %) dari massa semen *portland* pozzolan. Berdasarkan bahan penyusun terbukti semen PCC lebih banyak mengandung klinker dibandingkan semen PPC.

5.12 Uji Normalitas Shapiro-Wilk Menggunakan SPSS

Pengujian shapiro-wilk dilakukan untuk memastikan distribusi normal dari data kuat tekan beton sebelum menghitung nilai faktor konversi kuat tekan beton. Hal tersebut dilakukan karena menambah keakuratan hasil faktor konversi, keseragaman data penelitian yaitu data tersebar secara simetris di sekitar rata-rata untuk memastikan hasil pengujian kuat tekan beton memberikan pola yang konsisten dan dapat diandalkan, serta validasi kualitas data eksperimen dengan memastikan bahwa hasil uji kuat tekan valid dan bebas dari kesalahan sistematis seperti ke tidak homogenan bahan campuran beton. Dengan data yang valid maka nilai faktor konversi yang akan dihitung lebih dapat dipercaya. Untuk data hasil pengujian kuat tekan dan pengujian normalitas shapiro wilk pada beton normal PCC dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan 5.42 serta untuk beton mutu normal PPC dapat dilihat pada Tabel 5.43 dan 5.44. Sementara itu, untuk pengujian kuat tekan dan pengujian normalitas shapiro wilk pada beton mutu tinggi PCC dapat dilihat pada Tabel 5.45 dan 5.46 serta untuk beton mutu tinggi PPC dapat dilihat pada Tabel 5.47 dan 5.48 sebagai berikut.

1. Uji Normalitas pada Semen PCC Mutu Normal

Tabel 5. 41 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC Mutu Normal

Semen	Mutu Beton	Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)
PCC	Normal	3	11,919
			11,270
			11,416
		7	17,232
			16,277
			18,204
		14	20,395
			18,887
			20,043
		21	24,777
			24,346
			24,077
		28	25,084
			25,358
			26,568

Tabel 5. 42 Hasil Uji Normalitas PCC Mutu Normal**Tests of Normality**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
PCCNormal3hari	.303	3	.	.908	3		.413
PCCNormal7hari	.175	3	.	1.000	3		.990
PCCNormal14hari	.300	3	.	.913	3		.430
PCCNormal21hari	.227	3	.	.982	3		.746
PCCNormal28hari	.320	3	.	.883	3		.333

a. Lilliefors Significance Correction

Sumber: Penelitian. Analisis Data. SPSS Ver 26 (2024)

Berdasarkan Tabel 5.42, uji normalitas pada data hasil pengujian kuat tekan beton PCC mutu normal didapatkan nilai signifikansi berturut-turut untuk umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari adalah 0,413, 0,990, 0,430, 0,746, dan 0,333. Dari hasil signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan PCC

mutu normal pada 3, 7, 14, 21, dan 28 terdistribusi normal hal tersebut ditandai dengan nilai signifikansi $> 0,05$.

2. Uji Normalitas pada Semen PPC Mutu Normal

Tabel 5. 43 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PPC Mutu Normal

Semen	Mutu Beton	Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)
PPC	Normal	3	21,482
			19,695
			17,903
		7	25,111
			24,013
			25,337
		14	28,517
			26,992
			28,572
		21	29,283
			28,722
			30,606
		28	32,879
			31,662
			31,074

Tabel 5. 44 Hasil Uji Normalitas PPC Mutu Normal

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PPCNormal3hari	.175	3	.	1.000	3	.998
PPCNormal7hari	.326	3	.	.874	3	.306
PPCNormal14hari	.374	3	.	.776	3	.059
PPCNormal21hari	.270	3	.	.948	3	.562
PPCNormal28hari	.257	3	.	.961	3	.621

a. Lilliefors Significance Correction

Sumber: Penelitian. Analisis Data. SPSS Ver 26 (2024)

Berdasarkan Tabel 5.44, uji normalitas pada data hasil pengujian kuat tekan beton PPC mutu normal didapatkan nilai signifikansi berturut-turut untuk umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari adalah 0,998, 0,306, 0,59, 0,562, dan 0,621. Dari hasil

signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan PPC mutu normal pada 3, 7, 14, 21, dan 28 terdistribusi normal hal tersebut ditandai dengan nilai signifikansi $> 0,05$.

3. Uji Normalitas pada Semen PCC Mutu Tinggi

Tabel 5. 45 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PCC Mutu Tinggi

Semen	Mutu Beton	Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)
PCC	Tinggi	3	21,063
			19,774
			18,257
		7	27,955
			27,436
			30,339
		14	37,005
			38,358
			36,412
		21	40,321
			39,432
			40,162
		28	42,383
			42,830
			42,086

Tabel 5. 46 Hasil Uji Normalitas PCC Mutu Tinggi

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PCCTinggi3hari	.188	3	.	.998	3	.910
PCCTinggi7hari	.323	3	.	.879	3	.322
PCCTinggi14hari	.267	3	.	.952	3	.576
PCCTinggi21hari	.323	3	.	.879	3	.322
PCCTinggi28hari	.220	3	.	.987	3	.779

a. Lilliefors Significance Correction

Sumber: Penelitian. Analisis Data. SPSS Ver 26 (2024)

Berdasarkan Tabel 5.46, uji normalitas pada data hasil pengujian kuat tekan beton PCC mutu tinggi didapatkan nilai signifikansi berturut-turut untuk umur 3, 7,

14, 21 dan 28 hari adalah 0,910, 0,322, 0,576, 0,322, dan 0,779. Dari hasil signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan PCC mutu tinggi pada 3, 7, 14, 21, dan 28 terdistribusi normal hal tersebut ditandai dengan nilai signifikansi $> 0,05$.

4. Uji Normalitas pada Semen PPC Mutu Tinggi

Tabel 5. 47 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton PPC Mutu Tinggi

Semen	Mutu Beton	Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)
PPC	Tinggi	3	27,064
			26,707
			26,470
		7	29,270
			29,484
			32,204
		14	39,001
			39,624
			40,169
		21	42,237
			42,060
			42,681
		28	44,701
			49,320
			46,244

Tabel 5. 48 Hasil Uji Normalitas PPC Mutu Tinggi

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PPCTinggi3hari	.220	3	.	.987	3	.778
PPCTinggi7hari	.362	3	.	.804	3	.125
PPCTinggi14hari	.184	3	.	.999	3	.926
PPCTinggi21hari	.276	3	.	.942	3	.535
PPCTinggi28hari	.253	3	.	.965	3	.638

a. Lilliefors Significance Correction

Sumber: Penelitian. Analisis Data. SPSS Ver 26 (2024)

Berdasarkan Tabel 5.48, uji normalitas pada data hasil pengujian kuat tekan beton PPC mutu tinggi didapatkan nilai signifikansi berturut-turut untuk umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari adalah 0,778, 0,125, 0,926, 0,535, dan 0,638. Dari hasil signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan PPC mutu tinggi pada 3, 7, 14, 21, dan 28 terdistribusi normal hal tersebut ditandai dengan nilai signifikansi $> 0,05$.

Berdasarkan hasil pengujian shapiro-wilk di atas didapati hasil pengujian normalitas untuk data kuat tekan beton tiap masing-masing mutu dan semen terdistribusi secara normal sehingga kuat tekan dapat digunakan. Penggunaan nilai signifikansi pada uji normalitas dengan shapiro-wilk sebesar 0,05 atau 5%, hal ini berarti bahwa toleransi kesalahan yang diizinkan sebesar 5% sedangkan sisanya 95% adalah data yang dapat dipercaya.

Nilai signifikansi 0,05 merupakan standar umum yang digunakan dibidang penelitian sebagai kontrol keseimbangan antara tingkat toleransi kesalahan dan keandalan hasil. Nilai tersebut sering digunakan karena tidak terlalu ketat yang dapat menyebabkan kesulitan mendeteksi efek nyata (perbedaan yang terjadi) dan tidak terlalu longgar yang lebih berisiko menghasilkan kesalahan. Menurut Fisher (1925), nilai signifikansi 0,05 sebagai tingkat signifikansi yang wajar untuk penelitian. Nilai ini menjadi standar karena mudah digunakan dan cukup konservatif. Sementara itu, menurut Montgomery (2012) bahwa tingkat signifikansi 0,05 atau 0,01 sering digunakan karena dianggap praktis, tetapi pemilihannya juga bergantung pada konteks penelitian dan konsekuensi kesalahan pengambilan keputusan.

5.13 Perhitungan Faktor Konversi

Kuat tekan beton rata – rata berdasarkan hasil uji tekan beton pada mutu normal dan beton mutu tinggi dengan jenis semen PCC dan PPC dapat dilihat pada Tabel 5.49. Faktor konversi kuat tekan beton merupakan perbandingan kuat tekan beton pada hari ke 3, 7, 14, 21, dan 28 hari terhadap kuat tekan pada hari ke 28.

Tabel 5. 49 Hasil Kuat Tekan Beton Rata-rata

Jenis Semen	Mutu Beton (MPa)	Umur (hari)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
PCC	Normal	3	11,535
		7	17,238
		14	19,775
		21	24,400
		28	25,670
PPC	Normal	3	19,693
		7	24,820
		14	28,027
		21	29,537
		28	31,872
PCC	Tinggi	3	19,698
		7	28,576
		14	37,258
		21	39,972
		28	42,433
PPC	Tinggi	3	26,747
		7	30,319
		14	39,598
		21	42,326
		28	46,755

Berikut merupakan perhitungan faktor konversi kuat tekan pada semen PCC dan PPC untuk mutu normal.

- Faktor konversi umur 3 hari PCC

$$= \frac{\text{Kuat tekan rata-rata 3 hari}}{\text{Kuat tekan rata-rata 28 hari}}$$

$$= \frac{11,535}{25,670}$$

$$= 0,45$$
- Faktor konversi umur 3 hari PPC

$$= \frac{\text{Kuat tekan rata-rata 3 hari}}{\text{Kuat tekan rata-rata 28 hari}}$$

$$= \frac{19,693}{31,872}$$

$$= 0,62$$

Sedangkan untuk faktor konversi kuat tekan pada mutu tinggi untuk semen PCC dan PPC dilakukan langkah perhitungan yang sama.

1. Faktor konversi umur 3 hari PCC $= \frac{\text{Kuat tekan rata-rata 3 hari}}{\text{Kuat tekan rata-rata 28 hari}}$
 $= \frac{19,698}{42,433}$
 $= 0,46$
2. Faktor konversi umur 3 hari PPC $= \frac{\text{Kuat tekan rata-rata 3 hari}}{\text{Kuat tekan rata-rata 28 hari}}$
 $= \frac{26,747}{46,755}$
 $= 0,57$

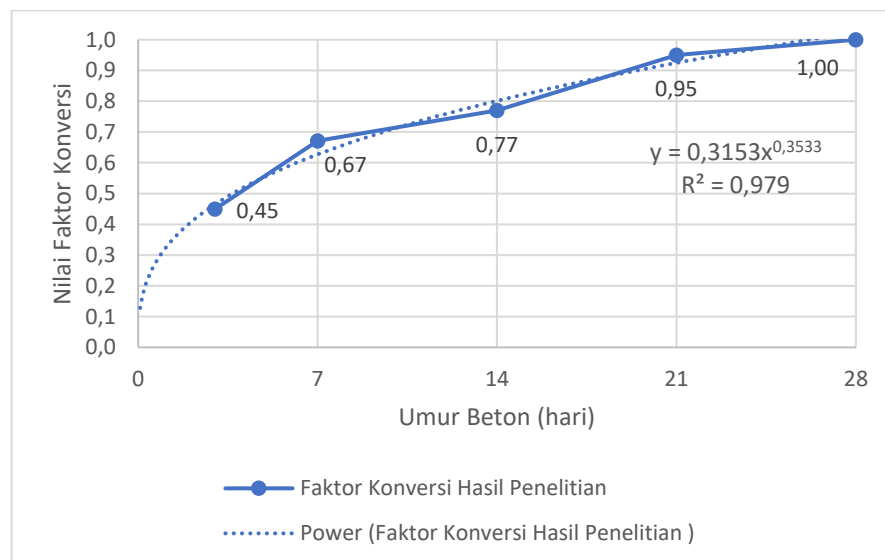
Hasil perhitungan faktor konversi kuat tekan beton mutu normal PCC dan PPC serta faktor konversi kuat tekan beton mutu tinggi PCC dan PPC dapat dilihat pada Tabel 5.50 sebagai berikut.

Tabel 5. 50 Hasil Faktor Konversi Kuat Tekan Beton

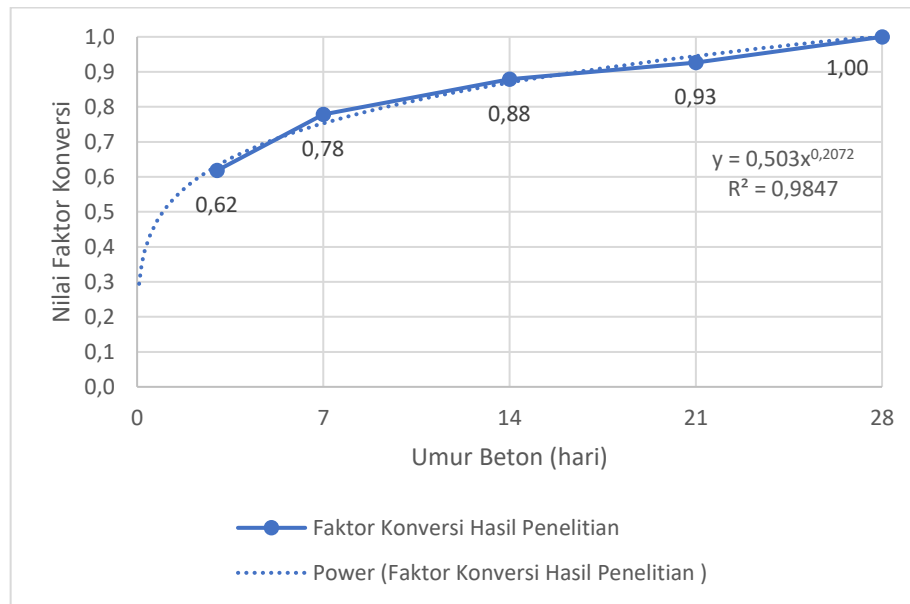
No.	Semen	Mutu	Umur (hari)	Faktor Konversi
1	PCC	Normal	3	0,45
			7	0,67
			14	0,77
			21	0,95
			28	1,00
2	PPC	Normal	3	0,62
			7	0,78
			14	0,88
			21	0,93
			28	1,00
3	PCC	Tinggi	3	0,46
			7	0,67
			14	0,88
			21	0,94
			28	1,00
4	PPC	Tinggi	3	0,57
			7	0,65
			14	0,85
			21	0,91
			28	1,00

Semakin bertambahnya umur beton nilai faktor konversi kuat tekan beton semakin besar selaras dengan nilai kuat tekan yang semakin naik dan akan maksimal pada umur beton 28 hari. Nilai faktor konversi kuat tekan beton dalam dunia konstruksi secara umum digunakan untuk mengetahui mutu beton yang disyaratkan. Misalkan sebuah proyek konstruksi sebelum memulai pengecoran pasti dilakukan pengambilan contoh beton (sampel beton), dari sampel tersebut kemudian akan diuji pada umur 3, 7, 14, 21, atau 28 hari. Hasil pengujian tersebut selanjutnya akan dibagi dengan nilai faktor konversi kuat tekan beton apakah memenuhi persyaratan yang ditetapkan atau tidak.

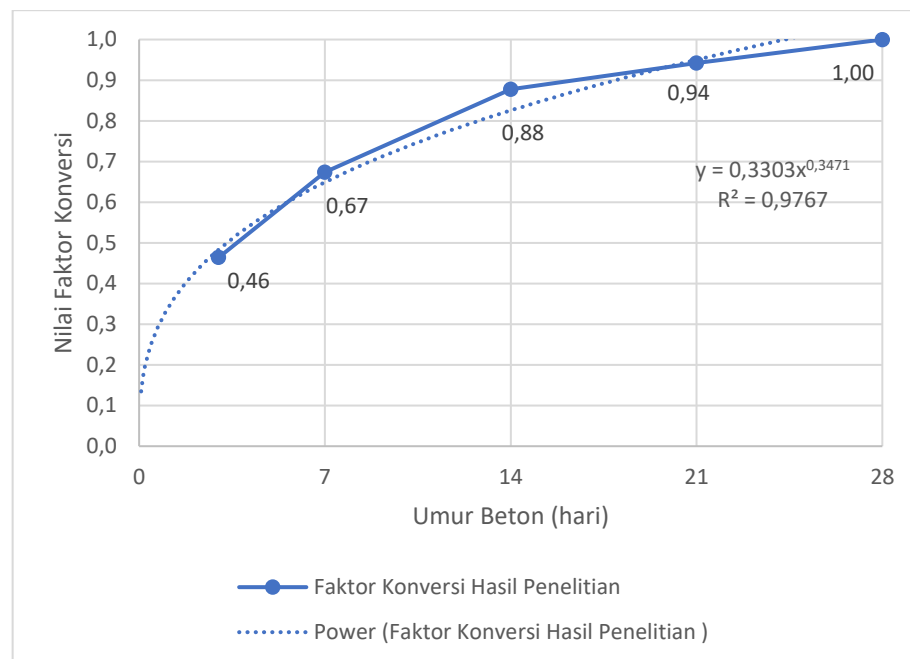
Dari hasil perhitungan nilai faktor konversi kuat tekan beton di atas maka diperoleh grafik faktor konversi kuat tekan beton hasil penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5.52, Gambar 5.53, Gambar 5.54, dan Gambar 5.55 sebagai berikut.



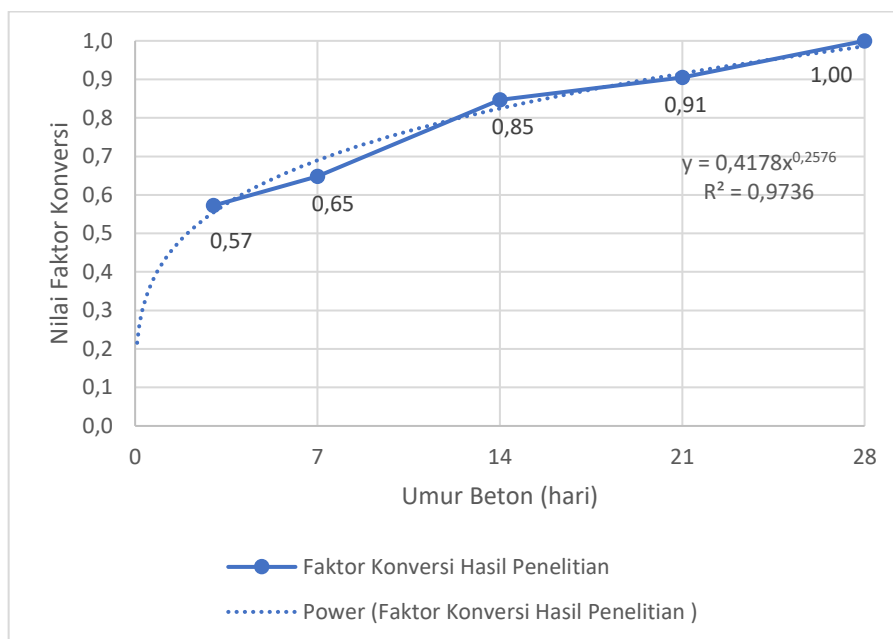
Gambar 5. 52 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Normal PCC



Gambar 5. 53 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Normal PPC



Gambar 5. 54 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PCC



Gambar 5. 55 Grafik Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi PPC

Persamaan yang dihasilkan dari permodelan regresi pada Gambar 5.52, 5.53, 5.54, 5.55 adalah sebagai berikut.

- 1) Semen PCC mutu normal, $y = 0,3153x^{0,3533}$
- 2) Semen PPC mutu normal, $y = 0,503x^{0,2072}$
- 3) Semen PCC mutu tinggi, $y = 0,3303x^{0,3471}$
- 4) Semen PPC mutu tinggi, $y = 0,4178x^{0,2576}$

Berdasarkan persamaan regresi non-linier di atas dapat digunakan untuk memperoleh prediksi nilai faktor konversi pada umur beton yang diinginkan.

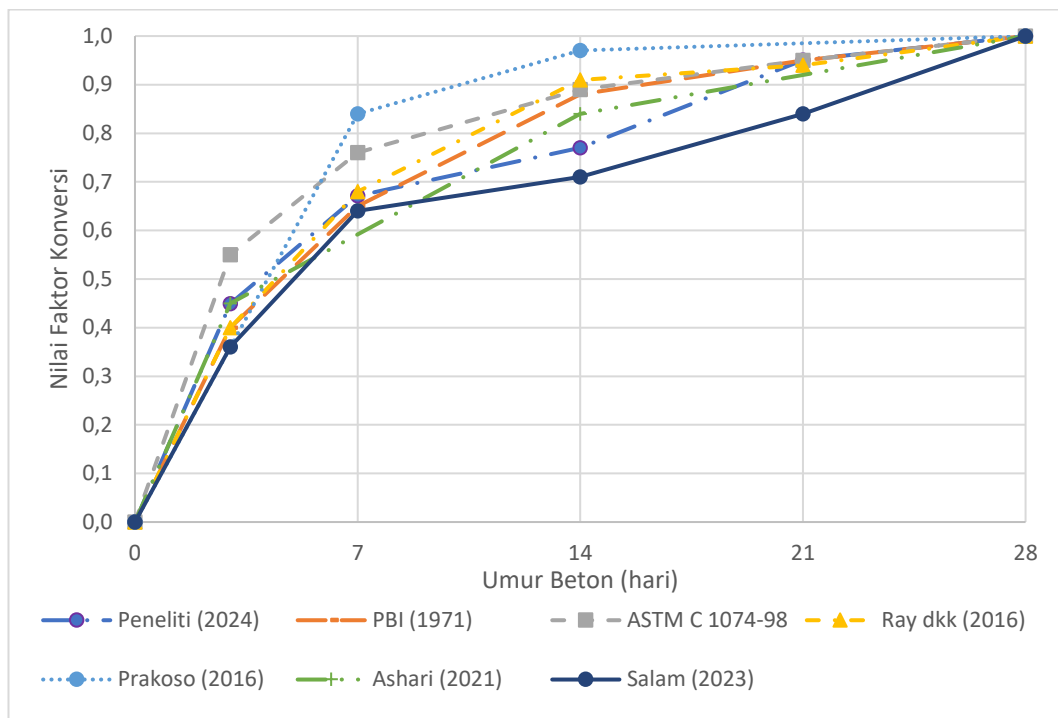
5.14 Validasi Hasil Faktor Konversi Kuat Tekan Beton

Validasi hasil faktor konversi kuat tekan beton adalah pembahasan khusus untuk membandingkan hasil faktor konversi kuat tekan beton penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang membahas hal serupa dan juga membandingkan dengan standar teknis yang berlaku. Hasil nilai faktor konversi kuat tekan beton yang akan dibahas pada sub-bab ini berasal dari penelitian Ray dkk (2016), Prakoso (2016), Ibrahim (2021) dan Salam (2023) serta standar teknis PBI (1971) dan ASTM C-1074 (1998).

Faktor konversi yang akan dibahas pada sub-bab penelitian ini adalah pada umur beton 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Penggunaan jenis semen dan hasil penelitian masing-masing peneliti terkait validasi faktor konversi kuat tekan beton tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada Tabel 5.51 untuk beton mutu normal PCC, Tabel 5.52 untuk beton normal PPC, dan Tabel 5.53 untuk beton mutu tinggi PCC dan PPC. Sementara itu, untuk hasil grafik hasil validasi nilai faktor konversi kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5.56 untuk PCC mutu normal, Gambar 5.57 untuk PPC mutu normal serta Gambar 5.58 untuk PCC dan PPC mutu tinggi sebagai berikut.

Tabel 5. 51 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Normal PCC

Faktor Konversi	Bentuk Benda Uji	Mutu Beton	Jenis Semen	Umur Beton (hari)				
				3	7	14	21	28
PBI (1971)	Kubus	Normal	OPC	0,40	0,65	0,88	0,95	1
ASTM C 1074-98	-	-	-	0,55	0,76	0,89	0,95	1
Ray dkk (2016)	Silinder	Normal	-	0,40	0,68	0,91	0,94	1
Prakoso (2016)	Silinder	Normal	PCC	-	0,84	0,97	-	1
Ibrahim (2021)	Kubus	Normal	PCC	0,45	-	0,84	-	1
Salam (2023)	Silinder	Normal	PCC	0,36	0,64	0,71	0,84	1
Peneliti (2024)	Silinder	Normal	PCC	0,45	0,67	0,77	0,95	1

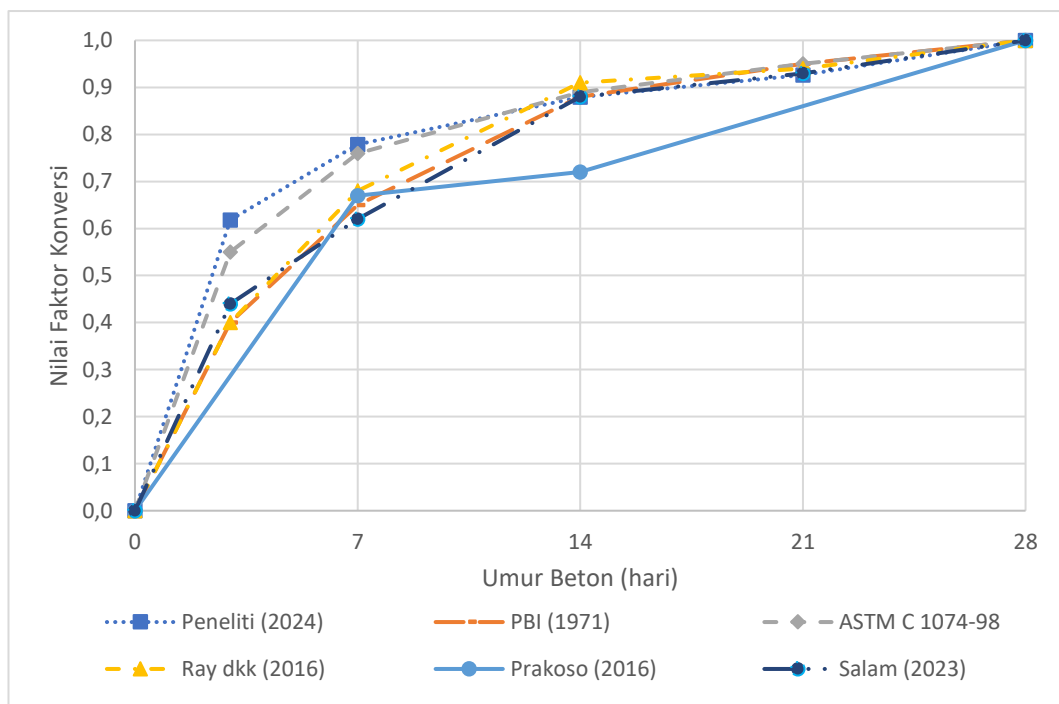


Gambar 5. 56 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton PCC Normal

Pada Tabel 5.51 dan Gambar 5.56 di atas, faktor konversi mutu normal untuk semen PCC pada umur 3 hari berada pada ditengah-tengah antara nilai standar PBI (1971) dan ASTM C1074-98, namun lebih tinggi dari beberapa penelitian dan sama dengan Ibrahim (2021). Pada umur 7 hari faktor konversi kembali berada di antara PBI (1971) dan ASTM C 1074-98 serta mendekati hasil dari Ray dkk (2016) dan Salam (2023). Pada umur 14 hari faktor konversi yang didapatkan mendekati hasil penelitian dari Ibrahim (2021) dan Salam (2023), akan tetapi lebih rendah dari standar PBI (1971) dan ASTM C 1074-98. Lalu untuk umur 21 hari sesuai dengan standar PBI (1971), ASTM C 1074-98. Perbedaan yang terjadi kemungkinan disebabkan karena bentuk benda uji, mutu rencana beton, penggunaan semen, fas, metode pencampuran serta pelaksanaannya di lapangan, asal bahan baku (kualitas agregat dan sumber semen) meskipun sama-sama semen PCC bisa saja kandungannya berbeda.

Tabel 5. 52 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Normal PPC

Faktor Konversi	Bentuk Benda Uji	Mutu Beton	Jenis Semen	Umur Beton (hari)				
				3	7	14	21	28
PBI 1971	Kubus	Normal	OPC	0,40	0,65	0,88	0,95	1
ASTM C 1074-98	-	-	-	0,55	0,76	0,89	0,95	1
Ray dkk (2016)	Silinder	Normal	-	0,40	0,68	0,91	0,94	1
Prakoso (2016)	Silinder	Normal	PPC	-	0,67	0,72	-	1
Salam (2023)	Silinder	Normal	PPC	0,44	0,62	0,88	0,90	1
Peneliti (2024)	Silinder	Normal	PPC	0,62	0,78	0,88	0,93	1



Gambar 5. 57 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton PPC Normal

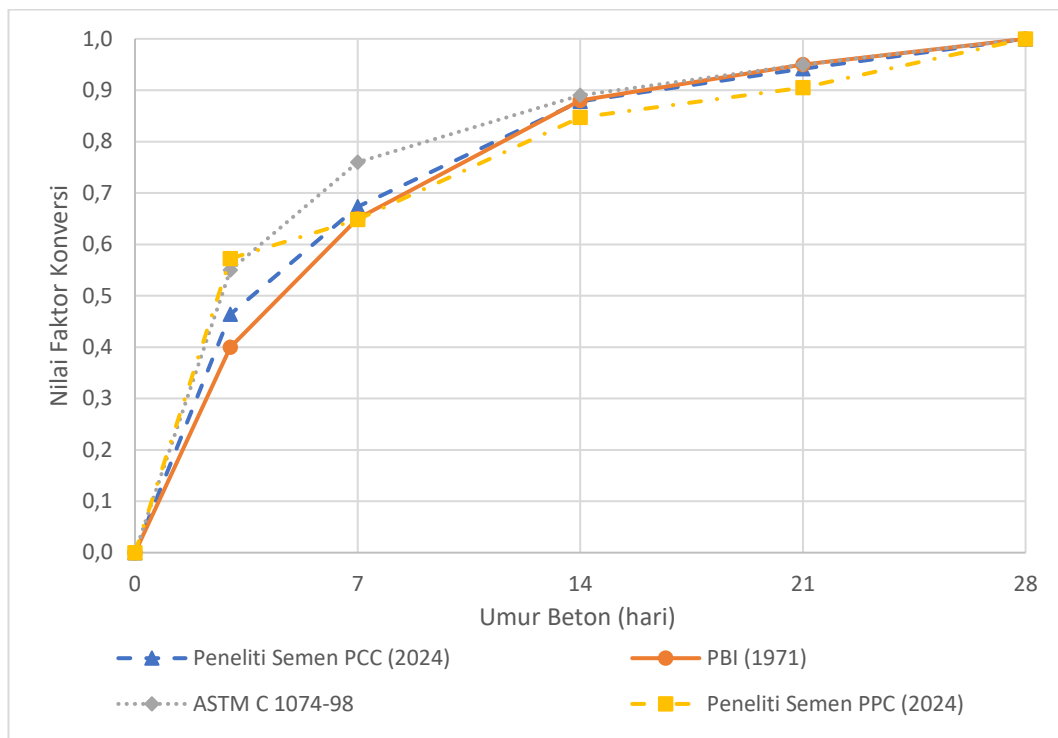
Pada Tabel 5.52 dan Gambar 5.57 di atas, faktor konversi mutu normal untuk semen PPC dari hasil penelitian jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu dan standar teknis yang berlaku terjadi perbedaan pada umur beton saat 3 dan 7 hari yaitu berturut-turut sebesar 0,62 dan 0,78 cenderung lebih tinggi dari penelitian

terdahulu dan standar yang berlaku. Lalu hasil penelitian jika dibandingkan dengan ASTM C 1047-98 untuk umur 7, 14, 21, 28 hari faktor konversi beton relatif sama. Begitu juga pada PBI 1971 pada umur 14, 21, 28 hari relatif sama. Perbedaan yang terjadi kemungkinan disebabkan karena bentuk benda uji, mutu rencana beton, penggunaan semen, fas, metode pencampuran serta pelaksanaannya, asal bahan baku (kualitas agregat dan sumber semen). Penggunaan semen PPC pada umur awal beton sangat mempengaruhi laju kuat tekannya karena kandungan pozzolan yang memicu reaktivitas pozzolanik yang menambah kuat tekan pada umur awal. Menurut Tjokrodinuljo (2007), kuat tekan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur, laju kenaikan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: jenis semen *portland*, suhu sekeliling beton, faktor air semen, dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton.

Dikarenakan belum ada penelitian yang membahas faktor konversi beton pada mutu beton tinggi maka hasil penelitian ini untuk mutu tinggi akan dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku yang akan dijelaskan lebih rinci pada Tabel 5.53.

Tabel 5. 53 Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Untuk Beton Mutu Tinggi

Faktor Konversi	Bentuk Benda Uji	Mutu Beton	Jenis Semen	Umur Beton (hari)				
				3	7	14	21	28
PBI 1971	Kubus	Normal	OPC	0,45	0,65	0,88	0,95	1
ASTM C 1074-98	-	-	-	0,55	0,76	0,89	0,95	1
Peneliti (2024)	Silinder	Tinggi	PCC	0,46	0,67	0,88	0,94	1
Peneliti (2024)	Silinder	Tinggi	PPC	0,57	0,65	0,85	0,91	1



Gambar 5. 58 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Berdasarkan Tabel 5.53 dan Gambar 5.58 di atas, faktor konversi dari berbagai umur beton pada jenis semen PCC dan PPC untuk mutu beton tinggi jika dibandingkan dengan PBI (1971) hasilnya mendekati dan tidak terlalu signifikan perbedaannya sehingga bisa lebih meyakinkan pembaca serta bisa dijadikan pedoman yang baku. Namun perlu diperhatikan pada penggunaan semen PPC pada umur 3 hari memberikan laju kenaikan yang besar yaitu 57% jika dibandingkan dengan PBI (1971) dan ASTM 1074-98 dan penggunaan semen PCC hasil penelitian. PPC mengandung bahan pozzolan, menurut SNI 03-2834 (2000) pozzolan merupakan suatu material yang kaya akan silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang bersifat amorf atau reaktif yang akan membentuk benda yang padat dan keras. Tabel 5.52 di atas menunjukkan bahwa untuk hasil nilai faktor konversi beton peneliti masih berada di bawah ASTM C 1074-98 dan masih memenuhi rekomendasi yang disyaratkan pada PBI (1971).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan penelitian mulai dari tahap pengujian sifat agregat, *mix design*, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian, analisis hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Faktor konversi kuat tekan beton yang didapatkan dari penelitian ini pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari untuk beton mutu normal dengan jenis semen PCC serta PPC berturut-turut sebagai berikut 0,45, 0,67, 0,77, 0,95, 1,00 dan 0,62, 0,78, 0,88, 0,93, 1,00. Sementara itu, faktor konversi untuk beton mutu tinggi dengan jenis semen PCC dan PPC berturut-turut sebagai berikut 0,46, 0,67, 0,88, 0,94, 1,00 dan 0,57, 0,65, 0,85, 0,91, 1,00.
2. Pengaruh penggunaan semen PCC dan PPC pada beton mutu normal dan tinggi dapat dilihat pada hasil uji *slump*, pengujian kuat tekan, dan permodelan regresi non-liniernya dalam mengetahui kuat tekan awal serta cepat laju peningkatan kuat tekan beton. Adapun pengaruh penggunaan kedua jenis semen tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

a. *Slump*

Pada beton semen PPC menghasilkan angka *slump* berturut - turut untuk mutu normal dan tinggi sebesar (9,4 cm, 8,3 cm) dan (7,5 cm, 7,6 cm). Sedangkan pada PCC diperoleh nilai *slump* berturut - turut mutu normal dan tinggi sebesar (11,2 cm, 10,3 cm) dan (7,7 cm, 8,7 cm). Berdasarkan hasil uji *slump* tersebut semen PCC baik mutu beton normal maupun tinggi memiliki *workability* yang lebih baik dari pada semen PPC.

b. Kuat tekan beton

Pada semen PPC baik beton mutu normal maupun tinggi, menghasilkan kuat tekan umur awal dan kuat tekan akhir yang lebih tinggi dibandingkan

semen PCC. Pada pengujian umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari juga terlihat beton dengan semen PPC (mutu normal dan tinggi) menghasilkan kuat tekan lebih tinggi di setiap umur ujinya dibandingkan semen PCC.

c. Kuat tekan awal

Pada hasil pengujian kuat tekan baik mutu normal maupun tinggi semen PPC menghasilkan kuat tekan awal yang lebih tinggi dibandingkan semen PCC. Hal tersebut diperkuat dengan permodelan regresi non-linier yang menghasilkan nilai koefisien konstanta (a). Pada semen PPC (normal dan tinggi) didapatkan sebesar (15,981 dan 19,53) dibandingkan semen PCC (8,088 dan 13,979). Nilai koefisien konstanta (a) semen PPC lebih tinggi ketimbang semen PCC. Hal tersebut menunjukkan kekuatan beton umur awal PPC lebih besar baik pada mutu beton normal maupun tinggi dibandingkan dengan semen PCC.

d. Cepat laju peningkatan kuat tekan beton

Cepat laju peningkatan kuat tekan beton dapat dilihat dari hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada umur 3 ke 28 hari, pada semen PCC (normal dan tinggi) didapatkan (11,54 ke 25,67 MPa dan 19,70 ke 42,43 MPa). Sementara itu, PPC (normal dan tinggi) diperoleh (19,69 ke 31,87 MPa dan 26,75 ke 46,75 MPa), dari kuat tekan beton tersebut dapat dilihat bahwa semen PCC memiliki laju peningkatan (pertumbuhan) kuat tekan yang lebih cepat dibandingkan PPC. Hal tersebut diperkuat dengan permodelan regresi non-linier menghasilkan persamaan regresi non-linier di atas menunjukkan semen PCC (normal dan tinggi) memiliki nilai eksponen (b) sebesar (0,3534 dan 0,3479) dibandingkan semen PPC (0,2082 dan 0,2575). Nilai eksponen (b) semen PCC lebih besar ketimbang semen PPC. Hal tersebut menunjukkan bahwa semen PCC lebih efektif dalam mempercepat laju peningkatan (pertumbuhan) kuat tekan beton dibandingkan semen PPC baik pada mutu beton normal maupun tinggi.

6.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dan hasil penelitian tugas akhir ini diperlukan beberapa saran agar penelitian semakin baik sehingga dapat digunakan untuk keberlangsungan (*continuity*) penelitian di masa yang akan datang. Di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pengujian-pengujian lain, seperti modulus elastisitas, kuat tarik belah, kuat lentur, penyerapan air, permeabilitas air, ketahanan terhadap serangan sulfat, ketahanan terhadap klorida, dan kalor hidrasi untuk mengetahui pengaruh dari jenis semen *Portland Pozzolan Cement* (PPC) dan *Portland Composite Cement* (PCC).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan aditif lain untuk mengetahui pengaruh pada nilai faktor konversi kuat tekan beton.
3. Pada proses *mixing* perlu dilakukan mix dalam satu adukan agar hasil kuat tekan yang diperoleh memiliki tingkat konsistensi yang baik. Dengan cara tersebut dapat meminimalkan variabilitas (dampak atau gangguan) pada hasil pengujian. Misalnya pada satu adukan dibuat 5 sampel benda uji silinder, selanjutnya sampel tersebut dibagi ke tiap variasi harinya 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2019. *ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills, MI.
- American Society for Testing and Material. 1985. *ASTM C-150 Standard Specification for Portland Cement*. United States of America.
- American Society for Testing and Material. 2003. *ASTM C-33 Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States of America.
- American Society for Testing and Materials. 1998. *ASTM C-1074 Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method*. West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *SNI 1968 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1991. *SNI 2495 Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. *SNI 03-4142 Metoda Uji Kadar Bahan Lolos no. 200*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1998. *SNI 03-4804 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI-03-6468 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2915 Spesifikasi Beton Tahan Sulfat*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-6821 Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 6861.1 Spesifikasi Bahan Bangunan – Bagian A: Bahan Bangunan Bukan Logam*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0302 Semen Portland Pozolan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-7064 Semen Portland Komposit*. Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *SNI 1974 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. *SNI 0302 Semen portland Pozolan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 2049 Semen Portland*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1969 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1970 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta.
- Davendra, V. dan Trimurtiningrum, R. 2022. Pengaruh Silica Fume Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. *POTENSI*. Vol.5 No.2: 1–8.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *SNI No.1737-F Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton Untuk Pekerjaan Jalan Raya*. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Cetakan ke 7. Jakarta.
- Firjatullah, B.A., Teguh, M. dan Saputra, E. 2022. Optimalisasi Penggunaan Pasir Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Dalam Campuran Beton Mutu Tinggi. *Teknisia*. Vol.27 No.01: 024–033.
- Fisher, S.R.A. 1925. *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver and Boyd. Edinburgh.
- Ibrahim, A. 2021. Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen PCC (Portland Composite Cement). *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*. Vol.1 No.2: 1–8.
- Martonogaro, W.W.W. 2023. Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Debu Batu Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kemudahan Kerja, Serapan, Dan Kuat Tekan Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- McCormac, J.C. 2005. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Montgomery, D.C. 2012. *The Design and Analysis of Experiments*. Edisi Kedelapan. Wiley. New Jersey.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.

- Murdock, L.J. dan Brook, K.M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi Keempat. Editor S. Hendarko. Erlangga. Jakarta.
- Neville, A. 2011. *Properties of Concrete*. Edisi Kelima. Pearson Education. London.
- Nst, M.A.R. 2017. Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Self-Compacting Concrete (SCC). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- Prakoso, D.G. 2016. Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Semen Bima Dan Semen Holcim Dengan Variasi Umur 7, 14, Dan 28 Hari Menggunakan Nilai FAS 0,5. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Putra, H. 2021. *Beton Sebagai Material Konstruksi*. Edisi Pertama. Editor L. Lofianda. Gre Publishing Road Abroad. Bogor.
- Ray, N., P, D. dan D, R. 2016. Studi Angka Koefisien Korelasi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Umur & Bentuk Benda Uji Standar SNI 03-2847-2002. *AGREGAT*. Vol.1 No.1: 44–50.
- Razali, N.M. dan Wah, Y.B. 2011. Power Comparisons Of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Liliefors and Aderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, Vol.2 No.1: 21–33. Malaysia.
- Salam, D. 2023. Penggunaan Semen Jenis OPC, PPC, Dan PCC Pada Beton Terhadap Variasi Umur Beton Dengan Metode Pengujian Destructive Dan Non-Destructive. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. Yogyakarta. 19 Oktober: 18–31.
- Snedecor, G.W. dan Cochran, W.G. 1989. *Statistical Methods*. Edisi Kedelapan. Iowa State University Press. United States of America.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.CV. Bandung.
- Tjokrodimuljo, K. 1995. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan. Yogyakarta.
- Yakub, I. Bin, Sutan, N.M. dan Kiong, C.S. 2013. Characterization of Calcium Silicate Hydrate and Calcium Hydroxide in Nanosilica Binder Composites. *Nano Studies*. Vol.7: 57–62.
- Yanita, R. 2007. Kajian Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Dan Kaitannya Dengan Kualitas Pekerjaan Konstruksi.

Zai, K.A., Syahrizal dan Karolina, R. 2014. Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode ACI (American Concrete Institute).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Rencana Penelitian

Jadwal Rencana Penelitian															
Bulan ke		Agustus 2024			Oktober 2024				November 2024				Desember 2024		
Minggu ke		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Kegiatan	Jam Kerja														
Persiapan															
Peralatan	1	1													
Bahan (Pasir, Kerikil, Semen, Scfume, SuperPlasticizer)	24	3			4,2	4,2	4,2	4,2	4,2						
Uji Properties	48		48												
Perencanaan Mix Design															
Mutu 25 Mpa SNI 2834-2000 PCC dan PPC	10			10											
Mutu 42 Mpa SNI 03-6468-2000 PCC dan PPC	10			10											
Pembuatan Benda Uji Trial 3 Hari dan Perendaman															
Pembuatan Benda Uji 25 Mpa 3 Buah PCC dan PPC	6				6										
Pembuatan Benda Uji 45 Mpa 3 Buah PCC dan PPC	6				6										
Pengujian Benda Uji Trial 3 Hari															
Pengujian Kuat Tekan Mutu 25 Mpa PCC dan PPC	2				2										
Pengujian Kuat Tekan Mutu 42 Mpa PCC dan PPC	2				2										
Pembuatan Benda Uji dan Perendaman															
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 25 Mpa PCC	30					6	6	6	6	6					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 42 Mpa PCC	30					6	6	6	6	6					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 25 Mpa PPC	30					6	6	6	6	6					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 42 Mpa PPC	30					6	6	6	6	6					
Pengujian Kuat Tekan Benda Uji															
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 25 Mpa PCC	10					2	2	2	2	2					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 42 Mpa PCC	10					2	2	2	2	2					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 25 Mpa PPC	10					2	2	2	2	2					
3, 7, 14, 21, 28 Hari Mutu 42 Mpa PPC	10					2	2	2	2	2					
Analisis dan Pembahasan															
Pengolahan Data	12										6	6			
Analisis Data	24										4	4	8	8	
Faktor Konversi Kuat Tekan	8												4	4	
Penyusunan Laporan	24										5	5	3	3	8
Total	337														
Jam Rencana		4	48	20	20,2	36,2	36,2	36,2	36,2	32	15	15	15	15	8
Total Akumulatif Jam Rencana		4	52	72	92,2	128,4	164,6	200,8	237	269	284	299	314	329	337

Lampiran 2 Surat Izin Penggunaan Laboratorium

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN	Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uii.ac.id
Nomor	: 187/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VIII/2024	
Hal	: Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium	
Kepada Yth:		
Ketua Jurusan Teknik Sipil		
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan		
Universitas Islam Indonesia		
<i>Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,</i>		
Sehubungan dengan Penelitian untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan bantuan bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:		
Nama	: Mohammad Sigit Setyatama	
NIM	: 20511042	
CP Mahasiswa	:	
Judul Tugas Akhir	: Analisis Perbandingan Faktor Konversi Kuat Tekan Beton Berbagai Umur Pada Beton Mutu Normal Dan Beton Mutu Tinggi PCC dan PPC	
Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin peminjaman Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.		
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.		
<i>Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.</i>		
	Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,  Dina Anggraheni, S.T., M. Eng	Yogyakarta, 6 Agustus 2024 Dosen Pembimbing Tugas Akhir,  Elvis Saputra, S.T., M.T.

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT
HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1166	1167	1166,50
Berat piknometer berisi air, gram (B)	852	852	852
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,61	2,64	2,63
Berat jenis kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,69	2,70	2,70
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,83	2,82	2,82
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,88%	2,46%	2,67%

Diperiksa oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS
SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	102	5,10	5,10	94,90
1,2	281	14,05	19,15	80,85
0,6	642	32,10	51,25	48,75
0,3	590	29,50	80,75	19,25
0,15	314	15,70	96,45	3,55
Pan	71	3,55	100	0
Jumlah	200	100	252,70	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{252,70}{100} \\ &= 2,52 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

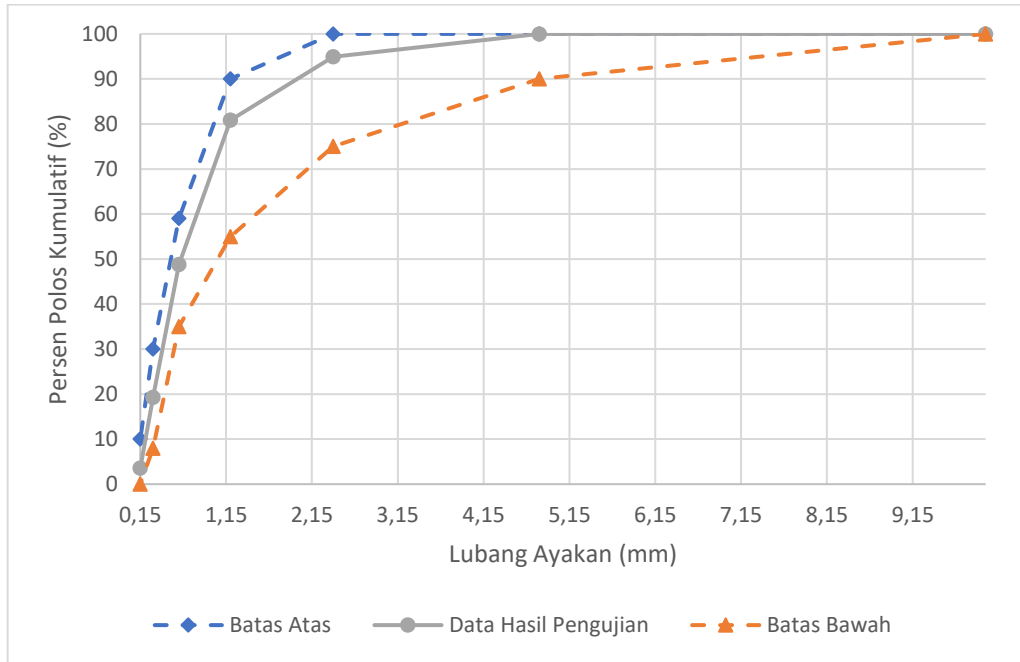
Hasil Analisa Saringan :

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Daerah II



Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS
SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	112	5,60	5,60	94,40
1,2	261	13,05	18,65	81,35
0,6	667	33,35	52,00	48,00
0,3	603	30,15	82,15	17,85
0,15	262	13,10	95,25	4,75
Pan	94	4,70	99,95	0,05
Jumlah	1999	99,95	253,65	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{253,65}{100} \\
 &= 2,537 \\
 &= 2,54
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

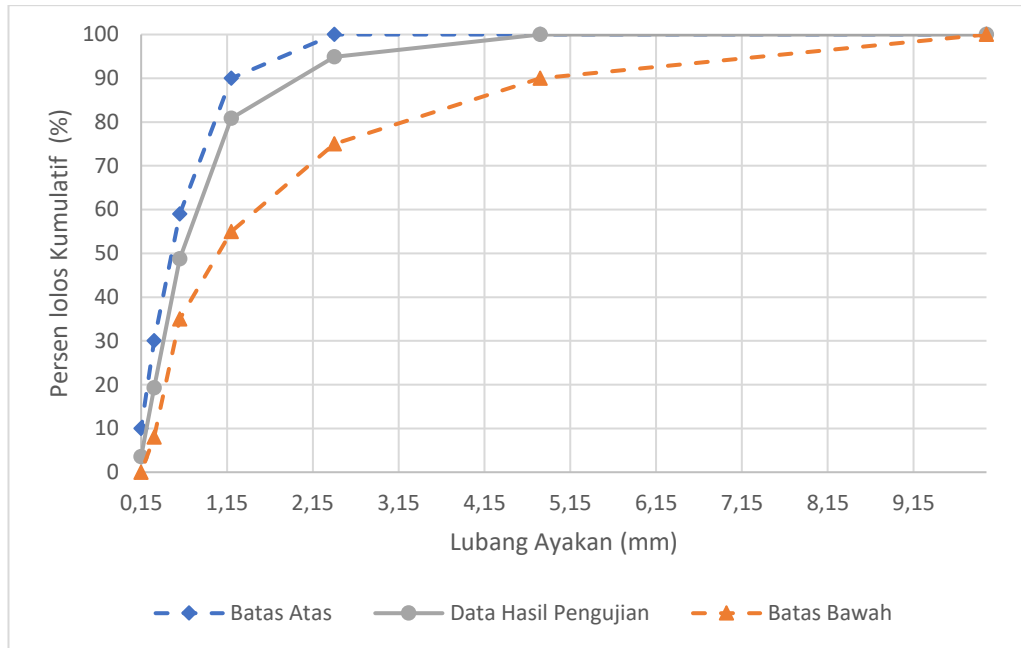
Hasil Analisa Saringan :

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Daerah II



Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,05 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19752	18360	19956
Berat Agregat (W3), gram	8469	7401	7935
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,59	1,39	1,49

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7935}{5336,84} \\
 &= 1,49 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,05 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	20280	19774	20027
Berat Agregat (W3), gram	8997	8815	8906
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,69	1,65	1,67

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8906}{5336,84} \\
 &= 1,67 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN No. 200 / UJI
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	498	495	496,50
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 $[(W1-W2/W1)] \times 100$	0,40	1,00	0,70

Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT
KASAR
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4920	4920	4920
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3003	3003	3003
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,46	2,46	2,46
Berat jenis jenuh kering muda (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,50	2,50	2,50
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,57	2,57	2,57
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100)), %	1,63%	1,63%	1,63%

Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS
SARINGAN AGREGAT KASAR**

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

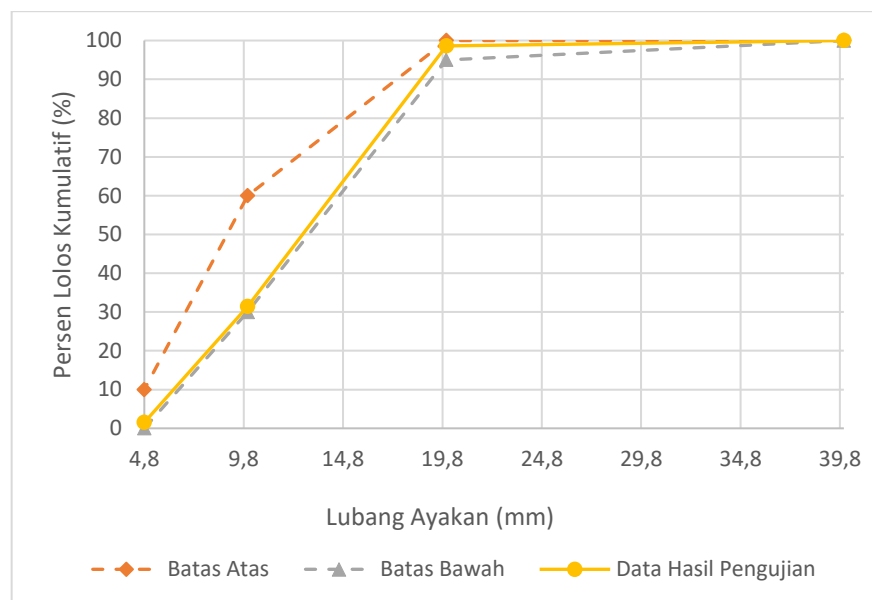
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	69	1,38	1,38	98,62
10	3361	67,22	68,60	31,40
4,8	1494	29,88	98,48	1,52
2,4	5	0,10	98,58	1,42
1,2	2	0,04	98,62	1,38
0,6	0	0	98,62	1,38
0,3	0	0	98,62	1,38
0,15	0	0	98,62	1,38
Pan	69	1,38	100	0
Jumlah	5000	99,95	661,52	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{661,52}{100} \\
 &= \mathbf{6,6152} \\
 &= \mathbf{6,62}
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100 – 100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS
SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

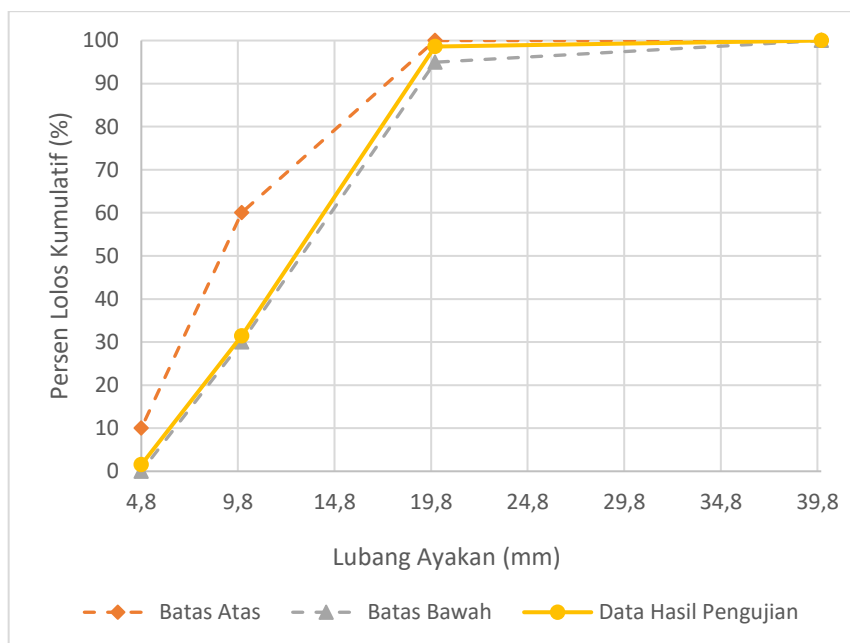
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	63	1,26	1,26	98,74
10	4515	90,30	91,56	8,44
4,8	340	6,80	98,36	1,64
2,4	7	0,14	98,50	1,50
1,2	5	0,10	98,60	1,40
0,6	0	0	98,60	1,40
0,3	0	0	98,60	1,40
0,15	0	0	98,60	1,40
Pan	67	1,34	99,94	0,06
Jumlah	4997	99,94	684,08	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{684,08}{100} \\ &= \mathbf{6,84} \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100 – 100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,05 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18718	18322	18520
Berat Agregat (W3), gram	7435	7363	7399
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,39	1,38	1,39

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7399}{5336,84} \\
 &= 1,39 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh:

(Mohammad Sigit Setyatama)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,05 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	10959	11121
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19717	19268	19492
Berat Agregat (W3), gram	8434	8309	8371,50
Volume Tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,58	1,56	1,57

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8371,50}{5336,84} \\
 &= 1,57 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Mohammad Sigit Setyatama)

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
5	Jenis Semen	PCC	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	<i>Slump</i>	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	325	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,70	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,50	
19	Persen Agregat Halus	41,5	%
20	Persen Agregat Kasar	58,5	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi Beton	2338	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1723	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	715,05	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1007,96	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	533	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	929,56	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1310,34	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	266,50	kg/m ³

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
5	Jenis Semen	PPC	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,45	
8	FAS digunakan	0,45	
9	<i>Slump</i>	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	455,56	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	380	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	455,60	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,70	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,50	
19	Persen Agregat Halus	40,5	%
20	Persen Agregat Kasar	59,5	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi Beton	2338	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1677,44	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	679,37	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	998,08	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	592,22	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	883,17	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1297,50	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	266,50	kg/m ³

PERHITUNGAN PROPORSI CAMPURAN
(MIX DESIGN SNI 03-6468-2000)

1) **Menentukan Slump dan Kuat Tekan Rata-Rata yang Ditargetkan**

Slump yang akan digunakan sebesar 75-100 mm.

Kuat tekan rencana $f'_c = 42$ MPa,

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9,66MPa}{0,90}$$

$$f'_{cr} = \frac{42 + 9,66MPa}{0,90}$$

$$f'_{cr} = 57,40 \text{ MPa}$$

2) **Menentukan Ukuran Agregat Kasar Maksimum**

Kuat tekan rata-rata dari perhitungan di atas didapatkan 57,40 MPa < 62,1 MPa, maka ukuran agregat kasar maksimum diperbolehkan berada pada rentang 20-25 mm berdasarkan SNI 6468-2000. Dengan demikian dipilih,

Agregat kasar = 20 mm.

Berat jenis keadaan SSD = 2,50

Penyerapan air = 1,63 %

Berat volume padat = 1,569 = 1569 kg/m³

3) **Menentukan Kadar Agregat Kasar Optimum**

Tabel 1 Fraksi Volume Agregat Kasar yang Disarankan

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi volume padat kering oven	0,65	0,68	0,72	0,75

Sumber: SNI 03-6468-2000

Berdasarkan ukuran agregat kasar maksimum 20 mm maka fraksi volume padat kering oven diperoleh 0,72.

Kadar agregat kasar optimum = 0,72 x 1569

= 1129,41 kg/m³

4) **Estimasi Kadar Air Pencampuran dan Kadar Udara**

Tabel 2 Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara Beton Segar

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

Sumber: SNI 03-6468-2000

Berdasarkan nilai *slump* 75-100 mm dan ukuran agregat kasar maksimum 20 mm, didapatkan estimasi awal kebutuhan air sebesar 181 liter/m³ dan kadar udara pada beton dengan *superplasticizer* sebesar 1,5%

Berat isi padat kering oven agregat halus = 1,669

Berat jenis SSD = 2,70

Maka kadar rongga udara dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= 1 - \frac{\text{berat isi kering oven}}{\text{berat jenis relatif} \times 1000} \times 100 \\
 &= \left(1 - \frac{1669}{2,70 \times 1000} \right) \times 100 \\
 &= 38,19 \%
 \end{aligned}$$

$$\text{Koreksi} = (V - 35) \times 4,75$$

$$= (38,19 - 35) \times 4,75$$

$$= 15,17 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Kebutuhan air total} = 181 + 15,17$$

$$= 196,17 \text{ liter/m}^3$$

5) **Penentuan Rasio w/c**Tabel 3 Rasio (w/c) yang Disarankan Dengan Bahan Tambah *Superplasticizer*

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		Rasio (w/c)			
		Ukuran Maksimum Agregat Kasar (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,4	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,9	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI 03-6468-2000

Kuat tekan rata-rata $f'_{cr} = 57,40$ MPaKuat tekan lapangan $f_{cr} = 0,9 \times 57,40 = 51,66$ MPa

Setelah diperoleh nilai f_{cr} lapangan dengan ukuran agregat maksimum 20 mm dan tambahan *superplasticizer*, Maka nilai rasio (w/c+p) dapat ditentukan menggunakan perhitungan interpolasi.

Diketahui :

$$X = 51,66 \text{ MPa}$$

$$X_1 = 48,3 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 55,2 \text{ MPa}$$

$$Y = \text{Nilai fas (dicari)}$$

$$Y_1 = 0,45$$

$$Y_2 = 0,40$$

$$Y = Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1)$$

$$Y = 0,45 + \frac{(51,66 - 48,3)}{(55,2 - 48,3)} (0,4 - 0,45)$$

$$Y = 0,425$$

Penyesuaian rasio w/c berdasarkan hasil *trial* digunakan 0,37

6) Menghitung Kadar Bahan Bersifat Semen

Kadar bahan bersifat semen dapat diperoleh dengan membagi jumlah air total dengan rasio w/c sebagai berikut.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{196,17}{0,37} = 530,19 \text{ kg/m}^3$$

Untuk memperoleh jumlah semen yang diperlukan, dilakukan pembagian antara hasil perhitungan kadar bahan bersifat semen dengan massa jenis semen sebesar $3,15 \text{ kg/m}^3$.

$$\text{Semen portland} = \frac{530,19}{3,15} = 168,31 \text{ liter/ m}^3$$

7) Menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi per-m³

$$\text{Semen portland} = 168,31 \text{ liter/ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat kasar} &= 1129,41/2,50 \\ &= 451,76 \text{ liter/ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Air} = 196,17 \text{ liter/ m}^3$$

$$\text{Kadar udara} = 15 \text{ liter/ m}^3$$

Lalu semua nilai tersebut dijumlahkan dan diperoleh nilai $831,25 \text{ liter/ m}^3$. Untuk mendapatkan proporsi kebutuhan agregat halus dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Agregat halus} = 1000 - 831,25 = 168,75 \text{ liter/ m}^3$$

Dikonversi menjadi berat pasir sebagai berikut.

$$168,75 \times 2,70 = 455,64 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perencanaan mix design beton mutu tinggi berdasarkan SNI 6468-2000 per satuan m³ didapatkan kebutuhan komposisi sebagai berikut.

$$\text{Semen portland} = 531 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kerikil} = 1130 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pasir} = 456 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Air} = 196,17 \text{ kg}$$

Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5. 1 Pembuatan Sampel Beton



Gambar L-5. 2 Perendaman



Gambar L-5. 3 Proses *Capping*



Gambar L-5. 4 Proses Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-5. 5 Kerusakan Benda Uji Setelah Pengujian

Lampiran 6 Spesifikasi Material

Spesifikasi Produk

Standard berdasarkan SNI 15-0302-2004

Parameter	Satuan	Standard	Semen Bima
Uji Fisika			
Kehalusan dengan alat blaine	cm ² /g	Min.2800	>4000
Kuat Tekan			
3 hari	kg/cm ²	Min.125	±200
7 hari	kg/cm ²	Min.200	±300
28 hari	kg/cm ²	Min.250	±400
Waktu Pengikatan dengan jarum Vicat			
Pengikatan awal	menit	Min.45	>90
Pengikatan akhir	menit	Maks.420	<275
Kekekalan dengan autoclave			
Pemuaiian	%	Maks.0,8	<0,5
Penyusutan	%	Maks.0,2	<0,2
Kandungan udara dalam mortar	%	Maks.12%	<10%
Uji Kimia			
SO ₃	%	Maks.4,00	1,8 - 2,5
Hilang Pijar	%	Maks.5,00	<5,00

Aplikasi



Gambar L-6. 1 Spesifikasi Semen PPC Bima

Sumber: www.semenbima.com

Sika® ViscoCrete®-1003

CONCRETE ADMIXTURE FOR HIGH FLOW / SELF-COMPACTING CONCRETE

DESCRIPTION

Sika® ViscoCrete®-1003 is a third generation super-plasticiser for concrete and mortar. It is particularly developed for the production of high flow concrete with exceptional flow retention properties and significant reduction in bleeding and segregation.

USES

Sika® ViscoCrete®-1003 facilitates extreme water reduction, excellent flowability with optimal cohesion and strong self-compacting behaviour.

Sika® ViscoCrete®-1003 is used for the following types of concrete:

- High flow concrete
- Self-compacting concrete (S.C.C.)
- Concrete with very high water reduction (up to 30 %)
- High strength concrete
- Ready mix concrete
- Mass concrete
- Concrete in hot weather and with extended transportation and workability requirements etc.

The combination of high water reduction, excellent flowability and high early strength provides clear benefits in the above mentioned applications.

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

Sika® ViscoCrete®-1003 acts by surface adsorption on the cement particles producing a sterical separation effect. Concrete produced with Sika® ViscoCrete®-1003 exhibits the following properties:

- Excellent flowability (resulting in highly reduced placing and compacting efforts)
 - Strong self-compacting behaviour
 - Extremely high water reduction (resulting in high density and strengths)
 - Improved shrinkage and creep behaviour
 - Increased watertightness for concrete
 - Increased carbonation resistance of the concrete
 - Improved finish
 - Reduce tendency to bleeding and segregation
- Sika® ViscoCrete®-1003 does not contain chlorides or other ingredients which promotes steel corrosion. Therefore, it may be used without restriction for reinforced and pre-stressed concrete construction. Sika® ViscoCrete®-1003 gives the concrete extended workability and depending on the mix design and the quality of materials used, self-compacting properties can be maintained for more than 1 hour at +30 °C.

Gambar L-6. 2 Spesifikasi Sika ViscoCrete-1003

Sumber: www.idn.sika.com