

68/SKRIPSI/S.Tr-TKG/2025

SKRIPSI

**PENGARUH SUBSTITUSI SEMEN HIDROLIK VARIASI (25, 30, 35)%
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN
PENAMBAHAN *MACRO FIBER* DAN *HYPERPLASTICIZER***



Disusun Oleh:

Kurniawan Utama

NIM. 2101421001

Dosen Pembimbing :

Nunung Martina, S.T., M.Si.

NIP. 196703081990032001

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK KONSTRUKSI GEDUNG

JURUSAN TEKNIK SIPIL

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul:

**PENGARUH SUBSTITUSI SEMEN HIDROLIK VARIASI (25,30,35)%
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN
PENAMBAHAN *MACRO FIBER* DAN *HYPERPLASTICIZER***

Yang disusun oleh **Kurniawan Utama (2101421001)** telah disetujui dosen
pembimbing untuk dipertahankan dalam **Sidang Skripsi Tahap 2**

Pembimbing

Nunung Martina, S.T., M.Si
NIP. 196703081990032001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

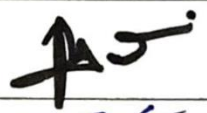
tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Berjudul:

**PENGARUH SUBSTITUSI SEMEN HIDROLIK VARIASI (25,30,35)%
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN
PENAMBAHAN *MACRO FIBER* DAN *HYPERPLASTICIZER***

Yang disusun oleh **Kurniawan Utama (2101421001)** telah dipertahankan dalam
Sidang Skripsi di depan Tim Penguji pada hari Selasa, tanggal 08 Juli 2025.

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Mudiono Kasmuri, S.T., M.Eng., Ph.D. NIP. 198012042020121001	
Anggota 1	Rikki Sofyan Rizal, S.Tr., M.T. NIP. 199304302020121012	

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Jakarta**


Istiatun, S.T., M.T.
NIP. 196605181990102001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Kurniawan Utama
NIM : 2101421001
Program Studi : D4 Teknik Konstruksi Gedung
Alamat Email : kurniawansutama@gmail.com
Judul Naskah : Pengaruh Substitusi Semen Hidrolik Variasi (25, 30, 35)% Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan *Macro Fiber* Dan *Hyperplasticizer*

Dengan ini saya menyatakan bahwa tulisan yang saya sertakan dalam Skripsi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2024/2025 adalah benar benar belum pernah dilakukan dalam segala bentuk kegiatan akademis.

Apabila dikemudian hari ternyata tulisan/naskah saya tidak sesuai dengan persyaratan ini, maka secara otomatis tulisan/naskah saya dianggap gugur dan bersedia menerima sanksi yang ada. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Depok, 28 Juli 2025

Yang menyatakan,

Kurniawan Utama



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan petunjuk-Nya, penulis akhirnya berhasil menyelesaikan skripsi berjudul "**Pengaruh Substitusi Semen Hidrolik Variasi (25,30,35)% Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan *Macro Fiber* dan *Hyperplasticizer***" tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Terapan di Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.

Proses penyelesaian skripsi ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada :

1. Teristimewah kepada orang tua penulis: Sata Nasan dan Fatimah yang tidak pernah lelah untuk selalu memberikan doa, restu, dan motivasi kepada penulis.
2. Ibu Nunung Martina, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya sejak awal hingga akhir untuk memberikan bimbingan kepada penulis dengan penuh kesabaran dan ketelitian, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini.
3. Ibu Istiatun, S.T., M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta yang telah mengizinkan penulis untuk melaksanakan magang industri
4. Bapak Mudiono Kasmuri, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Konstruksi Gedung Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.
5. Bapak Kusumo Dradjad Sutjahjo, S.T., M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang sangat banyak berjasa dalam berkontribusi memberikan saran, bimbingan, dan motivasi selama menjalani perkuliahan kepada kelas 4 Teknik Konstruksi Gedung 3.
6. Para dosen yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuannya serta karyawan dan staf dari Administrasi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.
7. Teman-teman prodi D4 Teknik Konstruksi Gedung angkatan 2021 yang telah kebersamai dan membantu selama masa perkuliahan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Depok, 28 Juli 2025

Penulis





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>State of The Art</i>	6
2.2 Kebaruan Penelitian	8
2.3 Beton Serat	8
2.4 Materian Penyusun Beton Serat	9
2.4.1 Semen OPC (<i>Ordinary Portland Cement</i>)	9
2.4.2 Semen Hidrolik (<i>Hydrolic Cement</i>)	10
2.4.3 Agregat Halus	12
2.4.4 Agregat Kasar	13
2.4.5 Air	13
2.4.6 Bahan Tambah	14
2.5 Aspek Rasio	18
2.6 Hipotesis Penelitian	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Lokasi Penelitian	20



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2	Peralatan yang Digunakan.....	20
3.2.1	Perlengkapan K3	20
3.2.2	Peralatan Pemeriksaan Material	21
3.2.3	Peralatan Pengujian Beton	22
3.3	Material Bahan Penelitian	22
3.4	Metode Pengumpulan Data	23
3.5	Persiapan Penelitian	24
3.6	Pemeriksaan Properties	24
3.6.1	Pengujian Berat Jenis Sement	24
3.6.2	Pengujian Agregat Kasar	25
3.6.3	Pengujian Agregat Halus	29
3.7	Perancangan <i>Mix Design</i> (Metode Erntroy dan Shacklock)	34
3.8	Pembuatan Benda Uji	34
3.9	Pengujian Beton Segar	38
3.9.1	<i>Slump Test</i>	38
3.9.2	Pengujian Berat isi	39
3.9.3	Pengujian Waktu Pengikatan	40
3.10	Perawatan Benda Uji (Curing)	41
3.11	Pengujian Sampel Benda Uji (Beton Keras)	41
3.11.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	41
3.11.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	43
3.11.3	Pengujian Kuat Lentur Beton	44
3.11.4	Pengujian Pembakaran Beton pada Temperatur 250-300°C	45
3.12	Metode Analisis Data	46
3.13	Diagram Alir Penelitian	47
BAB IV	DATA DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1	Analisis Hasil Pengujian Agregat Kasar	48
4.1.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	48
4.1.2	Berat Isi dan Rongga Agregat Kasar	49
4.1.3	Analisis Saringan Agregat Kasar	51
4.1.4	Kadar Air Agregat Kasar	52
4.1.5	Kadar Lumpur Agregat Kasar	53
4.2	Analisis Hasil Pengujian Agregat Halus	54
4.2.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	55
4.2.2	Berat Isi dan Rongga Agregat Halus	56



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.3	Analisis Ayak Agregat Halus.....	57
4.2.4	Kadar Air Agregat Halus.....	59
4.2.5	Kadar Lumpur Agregat Kasar	60
4.3	Analisis Hasil Pengujian Semen	61
4.3.1	Pengujian Berat Jenis Semen OPC	61
4.3.2	Pengujian Berat Jenis Semen HC.....	62
4.4	Rancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	63
4.4.1	Perhitungan Campuran Beton Metode <i>Erntroy and Shacklock</i>	63
4.4.2	Kebutuhan Benda Uji.....	67
4.4.3	Proporsi Campuran Pada Setiap Variasi.....	68
4.5	Analisis Hasil Pengujian Beton Segar	69
4.5.1	Pengujian <i>Slump Flow Test</i>	69
4.5.2	Pengujian Berat Isi Beton Segar	72
4.5.3	Pengujian Waktu Pengikatan.....	75
4.6	Analisis Hasil Pengujian Beton Keras	79
4.6.1	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	79
4.6.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	89
4.6.3	Pengujian Kuat Lentur Beton.....	92
4.6.4	Pengujian Kuat Tekan Paska Bakar Beton Umur 28 Hari	95
BAB V		99
PENUTUP		99
5.1	Kesimpulan	99
5.2	Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA		101
LAMPIRAN		103



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat-Syarat Agregat Halus.....	12
Tabel 2. 2 Standar gradasi agregat kasar	13
Tabel 2. 3 Spesifikasi Kratos Macro PP 54+	16
Tabel 2. 4 Spesifikasi Hyperplasticizer Devcon P900.....	17
Tabel 3. 1 Kebutuhan Benda Uji Setiap Variasi	35
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	48
Tabel 4. 2 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	48
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Lepas dan Rongga Agregat Kasar	49
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Rongga Agregat Kasar	50
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	51
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	53
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	54
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	55
Tabel 4. 9 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Halus.....	55
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Rongga Agregat Halus	56
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Rongga Agregat Kasar.....	57
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Analisis Ayak Agregat Kasar.....	58
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	59
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	60
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen OPC.....	62
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen HC.....	62
Tabel 4. 17 Persen lolos Agregat Analisis Ayak	66
Tabel 4. 18 Kebutuhan Benda Uji Setiap Variasi	68
Tabel 4. 19 Rekapitulasi Proporsi Campuran Setiap Variasi	68
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Slump	69
Tabel 4. 21 Coefficients Nilai Slump	70
Tabel 4. 22 Model Summary Nilai Slump	71
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar.....	72
Tabel 4. 24 Coeffisients Berat Isi Beton.....	73
Tabel 4. 25 Model Summary Berat Isi Beton	74



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Waktu Ikut Beton	75
Tabel 4. 27 Coeffisients Waktu Pengikatan Beton	78
Tabel 4. 28 Model Summary Waktu Ikut Beton Gabungan	78
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Kuat Beton Umur 7 Hari	79
Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari	81
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 21 Hari	82
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	84
Tabel 4. 33 Coeffisients Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	86
Tabel 4. 34 Model Summary Pebgujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	87
Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	89
Tabel 4. 36 Coeffisients Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	91
Tabel 4. 37 Model Summary Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	92
Tabel 4. 38 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari	92
Tabel 4. 39 Coeffisients Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari	94
Tabel 4. 40 Model Summary Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari	95
Tabel 4. 41 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paska Bakar Umur 28 Hari	95
Tabel 4. 42 Group Statistics Perbandingan Kuat Tekan Paska Bakar	97
Tabel 4. 43 Independent Sample Test Perbandingan Kuat Tekan Paska Bakar Hari.	97

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ilustrasi Emisi Karbon (CO ₂)	1
Gambar 2. 1 Ilustrasi Beton Serat	8
Gambar 2. 2 Ilustrasi Macro Sintetic Fiber	15
Gambar 2. 3 Hyperplasticizer Devcon P900	17
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	20
Gambar 3. 2 Ilustrasi Slump Test	39
Gambar 3. 3 penetrometer	41
Gambar 3. 4 Ilustrasi Uji Kuat Tekan Beton	42
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Agregat Kasar	52
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus	59
Gambar 4. 3 Hubungan Kuat Tekan dan Nomor Referensi (Erntroy dan Shacklock)	64
Gambar 4. 4 Hubungan antara rasio air-semen dan Nomor Referensi	65
Gambar 4. 5 Rasio Semen Agregat	65
Gambar 4. 6 Kombinasi Agregat Halus dan Agregat Kasar	66
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian <i>Slump</i>	70
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar	73
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Waktu Ikut Gabungan	77
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari	80
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari	82
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 21 Hari	83
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	85
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Umur 7, 14, 21, dan 28 Hari	88
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	90
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Umur 28 Hari	93
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paska Bakar Umur 28 Hari	96



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi	104
Lampiran 2 Formulir SI-1	107
Lampiran 3 Formulir SI-2	108
Lampiran 4 Formulir SI-3	110
Lampiran 5 Formulir SI-4	112
Lampiran 6 Formulir SI-5	115
Lampiran 7 Formulir SI-7	117



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki sifat mekanik yang unggul, daya tahan yang baik, serta kemudahan dalam pengerjaan. Namun, beton konvensional yang menggunakan semen Portland (Ordinary Portland Cement/OPC) memiliki beberapa kelemahan, terutama ketika terpapar pada temperatur tinggi. Kelemahan ini meliputi penurunan kekuatan, retak, serta potensi kerusakan struktural yang dapat mengurangi umur layanan suatu konstruksi (Thamrin, 2023). Selain itu, industri semen sebagai bahan utama dalam pembuatan beton merupakan salah satu penyumbang emisi karbon dioksida (CO_2) terbesar di dunia.

Menurut (Ulya et al., 2022), dalam penelitiannya di PT. Semen Gresik Pabrik Rembang menunjukkan hasil produksi semen paling besar adalah PCC 84,85%, PPC 6,46% dan terakhir OPC 8,69%. Menurut laporan (Global Carbon Atlas, 2021), industri semen menyumbang sekitar 8% dari total emisi CO_2 global. Emisi ini sebagian besar dihasilkan dari proses produksi klinker dalam semen OPC, yang membutuhkan energi tinggi dan menghasilkan jejak karbon yang signifikan (Rahmawati & Lakawa, 2021). Oleh karena itu, diperlukan inovasi material yang dapat mengurangi dampak lingkungan serta meningkatkan ketahanan beton terhadap temperatur tinggi.



Gambar 1. 1 Ilustrasi Emisi Karbon (CO_2)

Sumber: www.unair.ac.id

Sejalan dengan upaya global dalam mengurangi emisi karbon, Indonesia telah menetapkan target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060. Sektor industri konstruksi, khususnya produksi semen dan beton, menjadi salah satu fokus utama



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dalam mencapai target tersebut. Menurut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), 2021), penerapan bahan alternatif seperti semen hidrolik serta pemanfaatan material daur ulang dalam campuran beton berpotensi mengurangi emisi karbon hingga 40% (Mehta et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian mengenai inovasi beton ramah lingkungan dengan ketahanan tinggi terhadap suhu ekstrem menjadi sangat relevan dalam mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah substitusi sebagian semen OPC dengan semen hidrolik yang memiliki jejak karbon lebih rendah. Semen hidrolik diketahui memiliki ketahanan lebih baik terhadap panas dibandingkan OPC, serta mampu meningkatkan durabilitas beton terhadap beban termal ekstrem (Suranto et al., 2022). Selain itu, penggunaan bahan tambah seperti hyperplastisizer dan serat makro (macrofiber) juga terbukti dapat meningkatkan performa beton dalam hal ketahanan terhadap retak dan deformasi akibat suhu tinggi (Mehta et al., 2021)

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi semen OPC dengan semen hidrolik dalam variasi 25%, 30%, dan 35% terhadap beton mutu tinggi yang diberi bahan tambah hyperplastisizer dan macrofiber. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material beton yang tidak hanya memiliki ketahanan lebih baik terhadap temperatur tinggi, tetapi juga lebih ramah lingkungan. Dengan adanya inovasi ini, diharapkan konstruksi bangunan di Indonesia dapat menjadi lebih tahan terhadap kondisi ekstrem serta mendukung pencapaian target emisi nol karbon pada tahun 2060.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan keresahan seperti yang dijelaskan pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan menjadi fokus pada penelitian ini, yaitu :

- a. Bagaimana karakteristik beton $f'c$ 55 Mpa dengan semen OPC;
- b. Bagaimana karakteristik beton $f'c$ 55 Mpa dengan substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35 %;
- c. Bagaimana pengaruh substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35% dengan bahan tambah macro fiber dan hyperplasticizer terhadap karakteristik beton $f'c$ 55 Mpa;



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- d. Bagaimana pengaruh temperatur tinggi pada sifat mekanis beton f'_c 55 Mpa terhadap substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35% dengan bahan tambah macro fiber dan hyperplasticizer;

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini bertujuan untuk memberi arahan dan upaya agar masalah tidak menjadi meluas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Penelitian ini menggunakan mutu beton f'_c 55 Mpa;
- Bentuk benda uji silinder (ukuran: tinggi 30 cm dan diameter 15 cm) untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan kuat tekan paska pembakaran.
- Bentuk benda uji balok (ukuran: 15 x 15 x 60 cm) untuk pengujian kuat lentur.
- Bentuk benda uji kubus (ukuran: 10 x 10 x 10 cm) untuk pengujian waktu pengikatan.
- Produk *Macro Fiber* yang digunakan adalah *Kratos Macro pp 54+* dari PT. Devian Jaya Sentosa sebanyak 3000 gr/m³;
- Produk Hyper-Plasticizer yang digunakan adalah Devcon P760 dari PT. Devian Jaya Sentosa sebesar 1% dari berat semen;
- Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Hidraulic Cement* (HC) tiga roda;
- Ukuran Agregat kasar maksimum 20 mm;
- Standar perhitungan mix desain beton mutu tinggi dengan menggunakan *Erntroy and Shacklock Method*;
- Pengujian benda uji dilakukan ketika beton berumur 7, 14, 21, dan 28 Hari;
- Nilai Slump yang direncanakan 75-100 mm.
- Karakteristik beton yang akan diuji meliputi Kuat tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Lentur, dan Kuat Tekan Paska Bakara.
- Sifat mekanis beton yang diuji temperature tinggi diuji dengan cara dioven pada suhu 250°C selama ± 300 menit pada beton umur 28 hari.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, didapatkan tujuan penelitian ini adalah :

- Mendapatkan karakteristik beton $f_c' 55$ Mpa dengan semen OPC.
- Mendapatkan karakteristik beton $f_c' 55$ Mpa dengan substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35 %.
- Menganalisis pengaruh substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35% dengan bahan tambah macro fiber dan hyperplasticizer terhadap karakteristik beton $f_c' 55$ Mpa.
- Menganalisis pengaruh temperature tinggi pada sifat mekanis beton $f_c' 55$ Mpa terhadap substitusi semen hidrolik variasi 25%, 30%, dan 35% dengan bahan tambah macro fiber dan hyperplasticizer.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- Untuk Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil
Penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian dikemudian hari atau untuk mereka yang tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait dampak dari semen hidrolik sebagai substitusi semen portland pada beton mutu $f_c' 55$ Mpa dengan penambahan macrofiber dan hyperplasticizer.
- Untuk Industri
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber pengetahuan terbaharui dan memberikan informasi atau masukan kepada industri mengenai inovasi material ramah lingkungan dalam industri konstruksi.
- Untuk Pengembangan Ilmu Pengetahuan
Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan dan mendorong kemajuan inovasi material pembuat beton yang ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara keseluruhan, skripsi ini terbagi menjadi beberapa BAB yang disusun secara teratur dan sistematis, sehingga perlu dibuat sistematika penulisan skripsi sebagai berikut :



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a. **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang, latar belakang masalah dan permasalahan yang diajukan dan merupakan gambaran umum dari isi tugas akhir. Menguraikan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

b. **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menguraikan dasar-dasar teori yang menjadi acuan serta dirangkum yang berhubungan dengan permasalahan yang diajukan dan dilengkapi dengan sumber yang dipakai sebagai batasan masalah.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang alur penelitian, metode-metode yang digunakan dalam pengumpulan data, seperti data primer yang didapatkan dari proyek, data sekunder, dan data tersier untuk mendukung penyelesaian Proyek Akhir.

d. **BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi tentang analisis yang dilakukan serta pembahasannya berdasarkan pada dasar teori dan data-data yang didapatkan dalam menyelesaikan permasalahan yang dikemukakan.

e. **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini merupakan hasil akhir dari keseluruhan laporan Proyek Akhir yang memuat kesimpulan berdasarkan pembahasan yang dilakukan dan saran-saran yang perlu diberikan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, berikut adalah ringkasan nilai-nilai yang diperoleh dari pengujian beton segar dan pengujian sifat mekanis beton :

1. Beton OPC menunjukkan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 30,35 MPa, dengan kuat tarik belah rata-rata 2,57 MPa dan kuat lentur rata-rata 4,36 MPa
2. Pada variasi 25%, 30%, dan 35% tanpa bahan tambah kombinasi yang paling optimal adalah variasi OPC 75% + HC 25%. Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur umur 28 hari masing-masing mencapai 29,38 MPa, 2,56 MPa, dan 4,09 MPa. Ketiganya masing-masing mengalami penurunan sebesar 3,2%, 1%, dan 6,19% dibandingkan variasi normal (OPC).
3. Pada variasi substitusi semen hidrolik 25%, 30%, dan 35% tanpa bahan tambah kombinasi yang paling optimal adalah variasi OPC 75% + HC 25%. Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur umur 28 hari masing-masing mencapai 29,38 MPa, 2,56 MPa, dan 4,09 MPa. Ketiganya masing-masing mengalami penurunan sebesar 3,2%, 1%, dan 6,19% dibandingkan variasi normal (OPC).
4. Pada variasi substitusi semen hidrolik 25%, 30%, dan 35% dengan bahan tambah kombinasi yang paling optimal adalah variasi OPC 75% + HC 25% + MF 3kg/m³ + HP 1% dari berat semen. Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur umur 28 hari masing-masing mencapai 55,80 MPa, 3,35 MPa, dan 7,38 MPa. Ketiganya masing-masing mengalami peningkatan sebesar 83,85%, 30,35%, dan 69,2% dibandingkan variasi normal (OPC).
5. Substitusi semen hidrolik harus diikuti dengan penambahan *macrofiber* dan *hyperplasticizer* agar beton dapat mencapai variasi yang optimum dan peningkatan yang signifikan.
6. Pengujian kuat tekan beton setelah dibakar mengalami penurunan dan peningkatan. penurunan terjadi pada variasi beton normal (OPC) dengan penurunan sebesar 23,79% dari variasi sejenis sebelum dibakar. dan peningkatan tertinggi ada pada variasi OPC 75% + HC 25% + MF 3kg/m³ + HP 1% dari berat semen dengan peningkatan sebesar 9,05%.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, berikut adalah saran untuk penelitian lebih lanjut mengenai substitusi semen hidrolik dengan penambahan *macrofiber* dan *hyperplasticizer*

1. Berdasarkan hasil pengujian sifat mekanis beton yang mencakup kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur, diketahui bahwa variasi beton OPC 75% + HC 25% + MF 3kg/m³ + HP 1% dari berat semen, memberikan hasil terbaik di semua pengujian. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi yang lebih kecil guna memperoleh hasil yang lebih optimal.
2. Pengujian durabilitas seperti ketahanan terhadap sulfat perlu dilakukan untuk menilai performa beton untuk penggunaan dalam jangka waktu yang panjang dan ketahanan beton terhadap lingkungan yang ekstrem.
3. Gunakanlah referensi yang relevan yang terbaru agar hasil penelitian lebih akurat.
4. Hasil dari penelitian ini untuk proyek konstruksi yang membutuhkan beton mutu tinggi yang ramah lingkungan dan memiliki ketahanan terhadap suhu panas seperti bangunan industri atau bangunan yang rawan terhadap kebakaran.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, D., & Susilowati, A. (2022). *Pengujian Bahan 1*. Politeknik Negeri Jakarta.
- ASTM. (2001). *ASTM C127: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate 1*.
- ASTM. (2008). *ASTM C33: Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-08
- ASTM. (2016). *ASTM C403-16 Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*.
- ASTM International. (2009). *Standard Specification for Concrete Aggregates 1*. www.astm.org.
- Aulia, T. B., Afifuddin, M., & Amalia, Z. (2020). Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Pasca Bakar Menggunakan Serat Polypropylene. In *Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 26, Issue 1).
- Badan Standardisasi Nasional. (1990a). *SNI 03-1968-1990: Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990b). *SNI 03-1971-1990: Metode pengujian kadar air agregat*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *SNI 15-2531-1991: Metode Pengujian Berat Jenis Semen*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142-1996: METODE PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200 (0,075 MM)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998a). *SNI 03-4804-1998: Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998b). *SNI 03-4804-1998: Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *SNI 1969-2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). *SNI 1972-2008: Cara uji slump beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 4431-2011: Cara uji ra uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI ASTM C136-2012:Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar (ASTM C 136-06, IDT)*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 7974-2013: Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis (ASTM C1602-06, IDT)*. www.bsn.go.id



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1969-2016: Metode uji berat jenis dan penyerapan air aregat agregat kasar*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). *SNI 9024-2021: Cara uji slump flow pada beton memadat sendiri*.
- Global Carbon Atlas. (2021). *Cement Industry Emissions Data*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2021). *Laporan Nasional Pengurangan Emisi Karbon di Sektor Industri Konstruksi*. Jakarta: KLHK.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., & Hossain, M. M. (2021). *Sustainable Concrete: Reducing Carbon Footprint in the Cement Industry*. McGraw-Hill Education.
- Oesman, M., Herawati, R., & Jauza, Z. N. (2024). RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil Pengaruh Serat Polypropylene pada Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 103–113. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v10i2>
- Rahmawati, D., & Lakawa, D. (2021). Analisis Jejak Karbon pada Produksi Semen OPC dan Alternatif Ramah Lingkungan. *Jurnal Lingkungan dan Teknologi. Jurnal Lingkungan Dan Teknologi*, 9(1), 45–57.
- Suranto, H., Wijaya, T., & Kusnadi, B. (2022). Studi Eksperimental Ketahanan Termal Beton dengan Substitusi Semen Hidrolik. *Jurnal Material Dan Konstruksi*, 14(3), 67–79.
- Thelma V. Adam. (2023). Pengaruh Pemanfaatan Hyperplasticizer LSC310 Terhadap Kuat Tekan Beton. *TEKNO*, 21(86).
- Ulya, A., Muta, L., & Sudarmadji. (2022). *EVALUASI DAMPAK PROSES PRODUKSI SEMEN TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (STUDI KASUS: PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG)*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Yam, J. H., & Taufik, R. (2021). Hipotesis Penelitian Kuantitatif. *Perspektif: Jurnal Ilmu Administrasi*, 3(2), 96–102. <https://doi.org/10.33592/perspektif.v3i2.1540>
- Yuniarto Adi, R., Yulia Rizqi, S., Alexander Patrick Subagyo, S., & Ay Lie, H. (2020). Pengaruh Substitusi Semen dengan Semen Slag pada Mortar terhadap Kebutuhan Air dan Waktu Ikut, dan Peningkatan Kuat Tekan Mortar pada Umur 14 hari dan 28 Hari. In *204 Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 26, Issue 2).