

No.46/SKRIPSI/S.Tr-TKG/2026

SKRIPSI

**PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL *FLY ASH* UNTUK SEMEN PCC DAN
PENAMBAHAN *HYPERPLASTICIZER* 1% PADA BETON MUTU TINGGI**



**Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV
Politeknik Negeri Jakarta**

Pengusul :

Daffa Rizqi Abdillah

NIM. 2201421052

Dosen Pembimbing :

Sukarman, S.Pd., M.Eng

NIP. 199306052020121013

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK KONSTRUKSI GEDUNG

JURUSAN TEKNIK SIPIL

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul :

**PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL *FLY ASH* UNTUK SEMEN PCC DAN
PENAMBAHAN *HYPERPLASTICIZER* 1% PADA BETON MUTU TINGGI**

Yang disusun oleh **Daffa Rizqi Abdillah (2201421052)** telah disetujui dosen
pembimbing untuk dipertahankan dalam Sidang Skripsi 2

Pembimbing

Sukarman, S.Pd., M.Eng

NIP. 196703081990032001



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

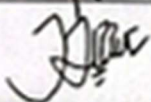
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Berjudul :

**PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL *FLY ASH* UNTUK SEMEN PCC DAN
PENAMBAHAN *HYPERPLASTICIZER* 1% PADA BETON MUTU TINGGI**

Yang disusun oleh **Daffa Rizqi Abdillah (2201421052)** telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam Sidang Skripsi 2 di depan Tim Penguji pada hari Kamis tanggal 25 Juni 2026

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Hendrian Budi Bagus K, S.T., M.Eng. NIP. 198905272022031004	
Anggota	Lilis Tiyani, S.T., M.Eng. NIP. 199504132020122025	

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Jakarta


Istiatun, M.T., S.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 : Daffa Rizqi Abdillah
NIM : 2201421052
Program Studi : D4 Teknik Konstruksi Gedung
Alamat Email : daffa.rizqi.abdillah.ts22@mhs.wpnj.ac.id
Judul Naskah : Pengaruh Substitusi Parsial *Fly ash* Untuk Semen PCC Dan Penambahan *Hyperplasticizer* 1% Pada Beton Mutu Tinggi

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2025/2026 yang saya susun merupakan hasil pemikiran dan karya asli saya sendiri. Naskah ini tidak mengandung unsur plagiarisme serta belum pernah diajukan maupun digunakan dalam bentuk kegiatan akademik apa pun sebelumnya.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidaksesuaian antara pernyataan ini dengan kondisi yang sebenarnya, maka saya bersedia menerima segala ketentuan dan sanksi yang berlaku sesuai peraturan akademik yang ditetapkan. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan dapat dipertanggungjawabkan sebagaimana mestinya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 25 Juni 2026

(Daffa Rizqi Abdillah)



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Pengaruh Substitusi Parsial Fly ash Untuk Semen PCC Dan Penambahan Hyperplasticizer 1% Pada Beton Mutu Tinggi”* dengan baik dan tepat waktu. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Seluruh keluarga dan saudara, terkhusus kedua orang tua tersayang, Ibu Suwanti dan Bapak Paryanto, atas segala perjuangan, kerja keras, kasih sayang, doa, serta dukungan tiada henti yang senantiasa menyertai setiap langkah penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Nunung Martina, S.T., M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan arahan, serta masukan yang berharga selama proses penyusunan skripsi dari awal hingga akhir kepada penulis.
3. Bapak Sukarman, S.Pd., M.Eng. selaku dosen pembimbing penulis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu, arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir dengan penuh kesabaran dan ketelitian, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Ibu Istiatun, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan dan fasilitas sehingga pelaksanaan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
5. Bapak Mudiono Kasmuri, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Kaprodi Teknik Konstruksi Gedung Jurusan Teknik Sipil PNJ kebijakan akademik yang membantu kelancaran studi dan penyusunan tugas akhir penulis.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen, karyawan, dan staf Administrasi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bantuan, serta pelayanan selama masa perkuliahan penulis.
7. Mas Senditia Dilang R, A.Md., S.T. selaku Pembina Industri penulis yang telah dengan tulus menyediakan material yang sangat diperlukan dalam penelitian ini, serta memberikan dukungan dan arahan yang sangat membantu selama proses penyusunan tugas akhir.
8. Mas Kusno Wijayanto selaku Tenaga Kependidikan PLP Laboratorium Uji



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

Bahan Jurusan Teknik Sipil PNJ yang telah memberikan bantuan dan arahan teknis selama proses pengujian material dan penelitian berlangsung.

9. Teman-teman kelompok penelitian, Zahran, Rafly, Anderson, Raka, Naufal, Hussein, Bayu, Nila, Adel, Sultan, dan Rayhan yang selalu menemani, mendukung, memberikan semangat, serta berbagi diskusi selama pelaksanaan penelitian ini.
10. Teman-teman Genk Solid, Adil, Zikri, Diara, Adhis, dan Adel yang selalu menjadi penghibur di masa perkuliahan serta memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
11. Teman-teman kelas 4 TKG 3 yang selalu menghadirkan hiburan, semangat, dan dukungan, serta menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman Program Studi Teknik Konstruksi Gedung angkatan 2022 yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan bertukar pikiran selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
13. Ariana Zalianti Az-Zahra yang selalu menemani penulis, menjadi pendengar yang baik dalam setiap keluh kesah, serta memberikan hiburan, semangat, dukungan, dan bantuan selama proses penelitian skripsi ini berlangsung.
14. Semua pihak yang telah turut membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berupaya menyajikannya berdasarkan ilmu dan pengalaman yang dilalui. Namun, dengan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang penulis miliki, skripsi ini masih belum mencapai kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak guna perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi seluruh pembaca.

Depok, 25 Juni 2026

Penulis
(Daffa Rizqi Abdillah)



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

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton	5
2.2 Beton Mutu Tinggi.....	5
2.3 Beton Ramah Lingkungan.....	6
2.4 Bahan Penyusun Beton	7
2.4.1 Agregat.....	7
2.4.2 Semen.....	9
2.4.3 Bahan Campuran Tambahan.....	11
2.4.4 Air	14
2.5 Pengujian Sifat Fisis Beton	14
2.5.1 Pengujian <i>Slump Test</i>	15
2.5.2 Pengujian <i>Slump Flow</i>	15
2.5.3 Berat Isi Beton.....	16
2.6 Pengujian Sifat Mekanis Beton	16
2.6.1 Kuat Tekan Beton	17
2.6.2 Kuat Tarik Belah Beton	17



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

2.6.3	Kuat Lentur Beton	18
2.7	<i>Novelty</i> (Keterbaruan)	19
2.8	<i>State of The Art</i> (Penelitian Terdahulu)	19
2.9	Hipotesis.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.2	Diagram Alir Penelitian	25
3.3	Rancangan Penelitian.....	26
3.4	Peralatan Penelitian.....	27
3.4.1	Perlengkapan Alat Pelindung Diri.....	27
3.4.2	Alat Pengujian Material.....	27
3.4.3	Alat Pembuatan dan Pencetakan Beton.....	27
3.4.4	Alat Pengujian Beton Segar.....	28
3.4.5	Alat Pengujian Beton Keras.....	28
3.5	Bahan Penelitian.....	28
3.6	Pengumpulan Data	29
3.7	Tahapan Penelitian	31
3.7.1	Persiapan Penelitian.....	31
3.7.2	Pengujian Agregat Kasar.....	31
3.7.3	Pengujian Agregat Halus.....	36
3.7.4	Pengujian Beton Segar.....	40
3.7.5	Pembuatan Benda Uji Beton	44
3.7.6	Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	45
3.7.7	Pengujian Beton Keras	45
3.8	Metode Analisis Data	48
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Data Pengujian Bahan Penyusun Beton.....	50
4.1.1	Agregat Kasar.....	50
4.1.2	Agregat Halus.....	54
4.1.3	Semen.....	58
4.2	Data Rancangan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	59
4.3	Pengujian Beton Segar	68
4.3.1	Pengujian <i>Slump</i>	68
4.3.2	Pengujian Berat Isi Beton Segar	70



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

4.4	Pengujian Beton Keras	73
4.4.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	73
4.4.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	79
4.4.3	Pengujian Kuat Lentur Beton.....	82
BAB V	PENUTUP	86
5.1	Kesimpulan	86
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN		91





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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Agregat Halus	8
Gambar 2. 2 Agregat Kasar	9
Gambar 2. 3 <i>Portland Composite Cement</i> (PCC).....	10
Gambar 2. 4 <i>Fly ash</i>	12
Gambar 2. 5 <i>Hyperplasticizer</i> Devcon P900	13
Gambar 2. 6 Air Bersih.....	14
Gambar 3. 1 Laboratorium Teknik Sipil PNJ.....	24
Gambar 3. 2 PT Devian Chemical Construction	24
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3. 4 Cara Pengujian <i>Slump Test</i>	41
Gambar 3. 5 <i>Slump Flow</i>	43
Gambar 3. 6 Spesifikasi Produk Semen PCC.....	59

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gradasi Agregat Halus.....	8
Tabel 2. 2 Standar Gradasi Agregat Kasar	9
Tabel 2. 3 Komposisi Semen PCC	10
Tabel 2. 4 Spesifikasi <i>Fly Ash</i>	12
Tabel 2. 5 Spesifikasi <i>Hyperplasticizer</i> Devcon P900	13
Tabel 2. 6 Klasifikasi Diameter <i>Slump Flow</i>	15
Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu	19
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian	26
Tabel 4. 1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	50
Tabel 4. 2 Berat Isi dan Rongga Agregat Kasar	51
Tabel 4. 3 Kadar Air Agregat Kasar	52
Tabel 4. 4 Analisa Ayak Agregat Kasar	53
Tabel 4. 5 Kadar Lumpur Agregat Kasar	54
Tabel 4. 6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.....	55
Tabel 4. 7 Berat Isi dan Rongga Agregat Halus	56
Tabel 4. 8 Kadar Air Agregat Halus	57
Tabel 4. 9 Analisa Ayak Agregat Halus	57
Tabel 4. 10 Kadar Lumpur Agregat Halus	58
Tabel 4. 11 Perkiraan Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton	60
Tabel 4. 12 Perkiraan Air Pencampuran dan Kandungan Udara Beton Segar	62
Tabel 4. 13 Hubungan Antara Rasio Air-Semen (W/C) Dan Kekuatan Beton	63
Tabel 4. 14 Data Perkiraan Kadar Agregat Halus Tanpa HRWRA.....	64
Tabel 4. 15 Data Perkiraan Kadar Agregat Halus Dengan HRWRA	64
Tabel 4. 16 Data Proporsi Campuran Dasar Tanpa HRWRA	65
Tabel 4. 17 Data Total Proporsi Campuran Dasar Tanpa HRWRA	65
Tabel 4. 18 Data Proporsi 1 m ³ Tanpa HRWRA Setelah Dikoreksi	65
Tabel 4. 19 Data Proporsi Campuran Dasar Menggunakan HRWRA	66
Tabel 4. 20 Data Total Proporsi Campuran Dasar Menggunakan HRWRA	66
Tabel 4. 21 Data Proporsi 1 m ³ Menggunakan HRWRA Setelah Dikoreksi	66
Tabel 4. 22 Data Volume Benda Uji	67
Tabel 4. 23 Data Total Kebutuhan Bahan	67



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

Tabel 4. 24 Nilai Uji <i>Slump</i>	68
Tabel 4. 25 Data Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar	70
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Kuat Beton Umur 7 Hari	73
Tabel 4. 27 Hasil Uji Kuat Tekan Umur 28 Hari	76
Tabel 4. 28 Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton	79
Tabel 4. 29 Hasil Uji Kuat Lentur	82





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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengujian Agregat.....	92
Lampiran 2 Dokumentasi Pengadukan Beton	93
Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian Beton	94
Lampiran 4 Formulir SI-1	95
Lampiran 5 Formulir SI-2.....	96
Lampiran 6 Formulir SI-3 Pembimbing	97
Lampiran 7 Formulir SI-3 Penguji 1	98
Lampiran 8 Formulir SI-3 Penguji 2	99
Lampiran 9 Formulir SI-4.....	100
Lampiran 10 Formulir SI-5 Penguji 1	101
Lampiran 11 Formulir SI-5 Penguji 2	102
Lampiran 12 Formulir SI-7.....	103

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan infrastruktur di Indonesia terus meningkatkan kebutuhan material konstruksi, khususnya beton. Beton masih menjadi material utama dalam berbagai proyek konstruksi karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta memiliki umur layan yang panjang (Budiarto et al., 2024). Menurut (Basu et al., 2024), beton mutu tinggi semakin banyak digunakan pada gedung bertingkat, jembatan, dan struktur yang membutuhkan kapasitas beban besar serta durabilitas yang baik.

Meningkatnya penggunaan beton secara langsung berdampak pada peningkatan kebutuhan semen sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton. Namun, di sisi lain, industri semen merupakan salah satu penyumbang emisi karbon dioksida (CO₂) terbesar di dunia. Industri semen menyumbang sekitar 7-8% emisi karbon global, terutama berasal dari proses pembakaran klinker pada suhu tinggi (Wu et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan inovasi material yang mampu mengurangi penggunaan semen tanpa menurunkan kualitas beton.

Salah satu alternatif yang banyak digunakan adalah penggunaan *Portland Composite Cement* (PCC). Semen PCC banyak digunakan karena memiliki kandungan material tambahan berupa pozzolan, batu kapur, dan bahan mineral lainnya yang dapat mengurangi penggunaan klinker sehingga lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis dibandingkan semen *portland* biasa (Mawardi et al., 2021). Menurut (Ibrahim, 2020), kandungan klinker pada PCC lebih rendah karena sebagian digantikan oleh material pozzolanik dan *fly ash*, sehingga kebutuhan energi dalam proses produksinya menjadi lebih rendah.

Selain penggunaan PCC, upaya untuk mengurangi konsumsi semen dan meningkatkan keberlanjutan beton juga dapat dilakukan melalui pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen. *Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki sifat pozzolanik sehingga dapat bereaksi dengan produk hidrasi semen dan membentuk senyawa tambahan. Menurut (Duan et al., 2023), penggunaan *fly ash* mampu memperbaiki struktur mikro



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

beton dan menurunkan porositas. Selain itu, (Li et al., 2024) menyatakan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan beton pada umur lanjut apabila digunakan dalam proporsi yang tepat.

Pada beton mutu tinggi, penggunaan *fly ash* sering dikombinasikan dengan *hyperplasticizer* untuk mengatasi rendahnya *workability* akibat faktor air-semen yang rendah. *Hyperplasticizer* berfungsi meningkatkan kelecakan beton tanpa menambah kadar air sehingga campuran tetap mudah dikerjakan (Ardiansyah et al., 2024). (Xie & Liu, 2022) menjelaskan bahwa penggunaan *hyperplasticizer* dapat meningkatkan homogenitas campuran, memperbaiki kepadatan beton, dan mendukung peningkatan kuat tekan. Oleh karena itu, kombinasi *fly ash* dan *hyperplasticizer* berpotensi menghasilkan beton mutu tinggi sekaligus mendukung konsep konstruksi berkelanjutan.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, penggunaan semen PCC, substitusi parsial *fly ash*, dan penambahan *hyperplasticizer* memiliki potensi dalam menghasilkan beton mutu tinggi yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, serta memiliki sifat mekanis yang baik. Namun, penelitian mengenai kombinasi substitusi parsial *fly ash* pada semen PCC dengan penambahan *hyperplasticizer* 1% pada beton mutu tinggi, khususnya pada variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh substitusi parsial *fly ash* terhadap semen PCC dengan penambahan *hyperplasticizer* 1% pada beton mutu tinggi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi komposisi campuran yang optimal serta mendukung pengembangan beton yang lebih berkelanjutan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik beton mutu tinggi dengan semen PCC?
- b. Bagaimana karakteristik beton mutu tinggi semen PCC dengan substitusi *fly ash* variasi 5%, 10%, 15%?
- c. Bagaimana perbandingan karakteristik beton mutu tinggi semen PCC dengan substitusi *fly ash* dan bahan tambah *hyperplasticizer* dengan beton mutu tinggi yang menggunakan semen PCC tanpa substitusi dan bahan tambah?



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

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini direncanakan sebagai beton mutu f'_c 55 MPa;
- b. Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC);
- c. *Fly ash* yang digunakan sebagai substitusi parsial semen PCC dengan variasi persentase 5%, 10%, 15%, serta variasi 0% digunakan sebagai kontrol;
- d. Tidak melakukan pengujian pada *fly ash* dan semen;
- e. Produk *hyperplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Devcon P900 dengan kadar 1% dari berat semen;
- f. Bentuk benda uji silinder (tinggi 30 cm dan diameter 15 cm) untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik;
- g. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran $15 \times 15 \times 60$ cm yang digunakan untuk pengujian kuat lentur;
- h. Pengujian dilakukan pada benda uji beton berumur 7 dan 28 hari;
- i. Nilai *slump* yang direncanakan 50-100 mm yang tidak menggunakan *hyperplasticizer* dan 25-50 mm yang menggunakan *hyperplasticizer*;
- j. Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 12,5 mm;
- k. Perhitungan *mix design* beton mutu tinggi dalam penelitian ini menggunakan peraturan berdasarkan ACI 211.4R-08 (*High-Strength Concrete*);
- l. Karakteristik beton yang akan diuji mencakup uji *slump*, bobot isi, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur;
- m. Pada penelitian ini tidak melakukan penelitian emisi karbon.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dirumuskan berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

- a. Menganalisis karakteristik beton mutu tinggi dengan semen PCC;
- b. Menganalisis karakteristik beton mutu tinggi semen PCC dengan substitusi bahan tambah *fly ash* variasi 5%, 10%, 15%;
- c. Menganalisis perbandingan karakteristik beton mutu tinggi semen PCC dengan substitusi *fly ash* dan bahan tambah *hyperplasticizer* dengan beton



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

mutu tinggi yang menggunakan semen PCC tanpa substitusi dan bahan tambah.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun secara terstruktur dan sistematis dalam beberapa BAB. Oleh karena itu, sistematika penulisan skripsi disajikan sebagai berikut.

BAB I: PENDAHULUAN

Menguraikan alasan pemilihan topik, mengidentifikasi permasalahan yang muncul, merumuskan pertanyaan penelitian, menetapkan tujuan yang ingin dicapai, menentukan batasan ruang lingkup pembahasan, serta menjelaskan struktur sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tinjauan pustaka atau teori pendukung yang digunakan dalam penelitian yaitu tentang dasar teori permasalahan yang diteliti. Dalam bab ini juga akan diuraikan hipotesis awal peneliti.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode penelitian ini mencakup uraian mengenai lokasi dan waktu pelaksanaan, objek penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta teknik pengumpulan data yang diterapkan.

BAB IV: DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat penyajian dan analisis data, serta penjelasan mengenai hasil analisis yang diperoleh dan pembahasannya.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan sebagai jawaban atas rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan, serta memuat saran atau pendapat yang berkaitan dengan pelaksanaan tugas akhir.

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

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh substitusi parsial *fly ash* terhadap semen PCC dan penambahan *hyperplasticizer* 1% pada beton mutu tinggi, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton mutu tinggi dengan semen PCC 100% memiliki nilai *slump* 80 mm, berat isi beton segar 2412 kg/m³, kuat tekan 35,56 MPa pada umur 7 hari dan 51,61 MPa pada umur 28 hari. Selain itu, kuat tarik belah dan kuat lentur pada umur 28 hari masing-masing sebesar 4,85 MPa dan 6,09 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran beton dengan semen PCC mampu menghasilkan beton mutu tinggi yang memenuhi target kuat tekan 55 MPa pada umur 28 hari serta memiliki karakteristik mekanis yang baik.
2. Penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap karakteristik beton mutu tinggi. Pada umur 28 hari, variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15% tanpa *hyperplasticizer* menghasilkan kuat tekan berturut-turut sebesar 56,49 MPa, 57,38 MPa, dan 54,89 MPa. Nilai kuat tarik belah masing-masing 5,16 MPa, 5,48 MPa, dan 4,71 MPa, serta kuat lentur 7,02 MPa, 7,42 MPa, dan 6,67 MPa. Hasil menunjukkan bahwa *fly ash* 10% memberikan kinerja terbaik, sedangkan *fly ash* 15% menurunkan sifat mekanis akibat meningkatnya penggantian semen.
3. Penambahan *hyperplasticizer* 1% meningkatkan karakteristik beton mutu tinggi dibandingkan beton kontrol maupun beton dengan *fly ash* saja. Variasi *fly ash* 10% dengan *hyperplasticizer* 1% memberikan hasil terbaik, dengan kuat tekan 39,25 MPa pada umur 7 hari dan 61,64 MPa pada umur 28 hari, kuat tarik belah 5,97 MPa, serta kuat lentur 8,09 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa *hyperplasticizer* meningkatkan *workability* dan kepadatan beton, sehingga kombinasi *fly ash* 10% dan *hyperplasticizer* 1% menjadi komposisi paling optimal serta mendukung konsep beton berkelanjutan melalui pengurangan penggunaan semen PCC.



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

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi kadar *fly ash* yang lebih beragam, seperti 2,5%, 7,5%, 12,5%, dan 20%, sehingga dapat diperoleh kadar optimum yang lebih spesifik terhadap karakteristik beton mutu tinggi.
2. Penelitian berikutnya dapat menggunakan variasi dosis *hyperplasticizer* yang berbeda, misalnya 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dari berat semen, untuk mengetahui pengaruh dosis optimum terhadap workability dan sifat mekanis beton.
3. Pengujian kuat tekan disarankan dilakukan pada umur yang lebih panjang, seperti 56 hari dan 90 hari, mengingat reaksi pozzolanik *fly ash* berlangsung secara bertahap dan berpotensi meningkatkan kekuatan beton pada umur lanjut.
4. Penelitian berikutnya dapat menambahkan pengujian durabilitas, seperti porositas, absorpsi air, permeabilitas, atau ketahanan terhadap lingkungan agresif untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai kinerja beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* dan *hyperplasticizer*.
5. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan penggunaan *fly ash* dengan bahan pozzolan lainnya, seperti GGBFS, *silica fume*, atau metakaolin, untuk mengetahui bahan substitusi yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja beton mutu tinggi berbasis semen PCC.



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

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2008). *ACI 211.4R-08 Guide for selecting proportions for high-strength concrete using portland cement and other cementitious materials*. ACI.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C33 Standard specification for concrete aggregates*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C29/C29M Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C117 Standard test method for materials finer than 75- μ m (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C143 Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C138 Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C39/C39M Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C496/C496M Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM C78/C78M Standard test method for flexural strength of concrete using simple beam with third-point loading*. ASTM International.
- Ardiansyah, P. P., Amalia, R., Cahyani, T., & Rusdianto, Y. (2024). *Optimalisasi Penggunaan Superplastisizer dan Reduksi Air untuk Peningkatan Kinerja Beton Optimization of Superplasticizer Usage and Water Reduction for Enhancing Concrete Performance*. 22(1), 31–38.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1969:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1969:2016 Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1970:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1971:2011 Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972:2008 Cara uji slump beton*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1973:2008 Cara uji berat isi, volume*



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

produksi campuran, dan kadar udara beton. BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011 *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 03-2495-1991 *Spesifikasi bahan tambahan untuk beton.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2491:2014 *Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 4431:2011 *Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 15-2531-1991 *Metode pengujian berat jenis semen portland.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996 *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-6820-2002 *Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7974:2013 *Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 7064:2014 *Semen portland komposit.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.* BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 9024:2021 *Cara uji slump flow pada beton memadat sendiri.* BSN.

Basu, D., Mushtaq, S. M., Sharma, S., & Tripathi, S. (2024). Enhancing Quality Control in the Mix Design of High - Strength Concrete Using a Capacity - Based Approach. *International Journal of Concrete Structures and Materials.* <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00722-8>

British Standards Institution. (2010). BS EN 12350-8:2010 *Testing fresh concrete: Self-compacting concrete — Slump-flow test.* BSI.

Budiarto, R., Azhar, M., & Bangun, S. (2024). *International Journal of Civil Engineering and Infrastructure Analysis Of The Relationship Between Compressive Strength And.* 4(2), 73–81.

Dharsono, N. D., Wardhani, D. H., & Hadiyanto, H. (2023). *Optimasi Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi Fly Ash , Bahan Tambah Natrium Glukonat dan Menurunkan Rasio Air / Semen.* 1(8), 339–345.

Duan, Y., Wang, Q., Long, Z., & Wang, X. (2023). *Investigating the Impact of Fly*



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

Ash on the Strength and Micro-Structure of Concrete during Steam Curing and Subsequent Stages.

- Elshami, A. A. (2023). *Effects of Five Sources of Mixing Water on Durability of Concrete*. 5029, 232–248.
- Huy, N. G. O. S. I., Le, M., & Thanh, T. H. I. (2017). *V Ậ T Li Ệ U Xâ y D Ự Ng – M ô i Trườ Ng Effect Of Fly Ash Content On The Compressive Strengthdevelopment Of Concrete*. 2003, 31–36.
- Ibrahim, M. I. dan A. (2020). *Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Semen Pcc Dan Opc Tipe I Terhadap Kuat Tekan Beton*. 15, 0–5.
- Janah, I., Habsya, C., & Agustin, R. S. (2021). *Fly ash*. 7(1), 9–14.
- Li, W., Qian, C., Li, Q., Wang, K., Zheng, C., & Zhang, Y. (2024). *Effect of n-C-S-H on Hydration and Reinforcement of Mineral Powder-Cement System at Low Temperatures*.
- Mawardi, M., Isa, I., Ulianas, A., Sintiar, E., Mawardi, F., & Putra, R. Z. (2021). *The Fabrication of Portland Composite Cement Based on Pozzolan Napa Soil*. 1–14.
- Mediyanto, A., & Putri, R. S. (2019). *Kajian kuat desak beton mutu tinggi dengan bahan tambah metakaolin menggunakan analisis mikrostruktur*.
- Pebriyanto, S., & Alzahri, S. (2021). *Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Bubur Kertas Koran terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-225*. 7(2), 79–87.
- Rakhimova, G., Syndarbekova, G., Zhanikulov, N., & Yerkebayeva, B. (2025). *Obtaining of Composite Cements with Addition of Fly Ash*. 1–23.
- Salih, M. A. (2018). *Strength And Durability Of High Performance Concrete Containing*. 9(9), 104–114.
- Sani, S. (2021). *Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Agregat Lokal (Batu Pecah Selangit Pasir Siring Agung)*. 16(3), 169–175.
- Sianturi, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2017). *Kuat Tekan Dan Sifat Fisik Beton Opc, Opc Pofa, Dan Pcc Menggunakan Air Gambut Sebagai Air Pencampur Beton*. 1–8.
- Tajunnisa, Y., Amalia, A. R., & Pratiwi, W. D. (2025). *IJSCET A Comparative Analysis of Superplasticizer Effects on the Flowability and Early Strength Development in Fly Ash Based Ultra High-Performance Concrete*. 16(3), 118–127.
- Wu, S., Shao, Z., Andrew, R. M., Bing, L., & Wang, J. (2024). *Global CO₂ uptake by cement materials accounts 1930 – 2023*. *Scientific Data*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04234-8>
- Xie, L., & Liu, K. (2022). *Properties and Microstructure of Na₂CO₃-Activated Binders Modified with Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂*.