

TUGAS AKHIR

ANALISIS SIFAT MEKANIS *PAVING BLOCK* DENGAN SUBSTITUSI *FLY ASH*

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Andi Harun Rahmanto

NIM : 30202100029

Bima Candra Agusta

NIM : 30202100055

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS SIFAT MEKANIS *PAVING BLOCK* DENGAN SUBSTITUSI *FLY ASH*

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Andi Harun Rahmanto
NIM : 30202100029**

**Bima Candra Agusta
NIM : 30202100055**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS SIFAT MEKANIS *PAVING BLOCK* DENGAN SUBSTITUSI *FLY ASH*



Andi Harun Rahmanto
NIM: 30202100029



Bima Candra Agusta
NIM: 30202100055

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

NIDN: 0004055302

2. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

Two handwritten signatures in blue ink. The first signature is a stylized 'S' with a horizontal line underneath. The second signature is a more complex, cursive signature with a horizontal line underneath.

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 15 / A.2 / SA – T / IX / 2024

Pada hari ini 23 September 2024 berdasarkan surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukkan Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, MS.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Andi Harun Rahmanto
NIM: 30202100029

Bima Candra Agusta
NIM: 30202100055

Judul: **ANALISIS SIFAT MEKANIS PAVING BLOCK DENGAN SUBSTITUSI FLY ASH**

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukkan Dosen Pembimbing	23/09/2024	ACC
2.	Seminar Proposal	02/12/2024	ACC
3.	Pengumpulan Data	09/12/2024	ACC
4.	Analisis Data	02/01/2025	ACC
5.	Penyusunan Laporan	03/01/2025	ACC
6.	Selesai Laporan	23/01/2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Mulawardi Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

1. Nama : Andi Harun Rahmanto
NIM : 30202100029
2. Nama : Bima Candra Agusta
NIM : 30202100055

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:

ANALISIS SIFAT MEKANIS *PAVING BLOCK* DENGAN SUBSTITUSI *FLY ASH*

Benar bebas plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini penulis buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 24 Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan



Andi Harun Rahmanto

NIM: 30202100029

Bima Candra Agusta

NIM: 30202100055

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

1. Nama : Andi Harun Rahmanto
NIM : 30202100029
2. Nama : Bima Candra Agusta
NIM : 30202100055

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:

ANALISIS SIFAT MEKANIS *PAVING BLOCK* DENGAN SUBSTITUSI *FLY ASH*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya. Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 24 Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan



Andi Harun Rahmanto

NIM: 30202100029

Bima Candra Agusta

NIM: 30202100055

MOTTO

“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma`ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah.”

(Qs. Ali Imran : 110)

"Cukuplah Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung.”

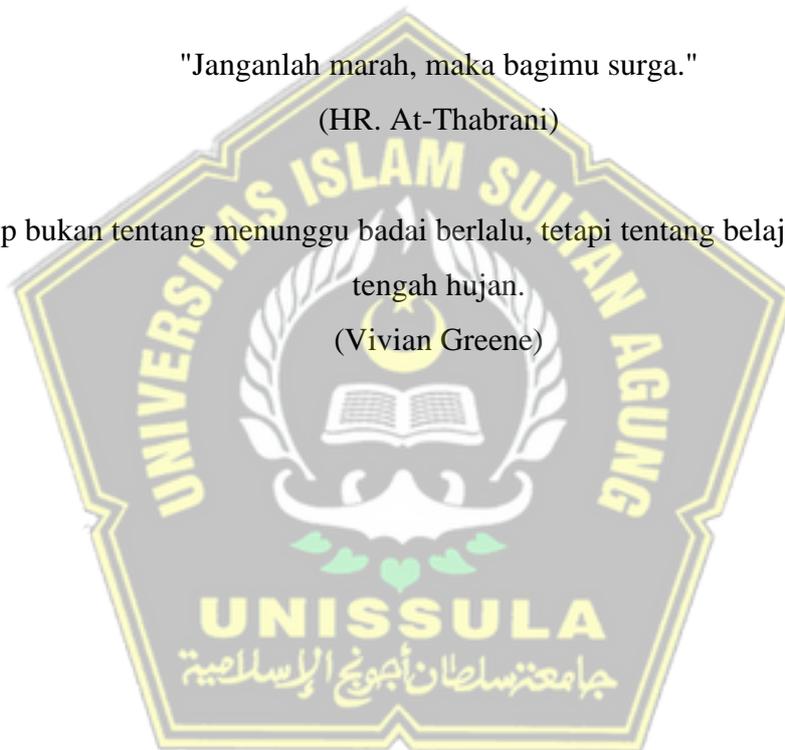
(Qs. Ali Imran: 173)

"Janganlah marah, maka bagimu surga."

(HR. At-Thabrani)

Hidup bukan tentang menunggu badai berlalu, tetapi tentang belajar menari di tengah hujan.

(Vivian Greene)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT. atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Dengan penuh rasa syukur, penulis persembahkan Tugas Akhir ini kepada kedua orang tua penulis, Bapak Sutarto dan Ibu Siti Maryati yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam setiap langkah perjalanan pendidikan penulis.
2. Seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan perhatian dan mendoakan penulis setiap waktu.
3. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yaitu Dr. Ir. H. Sumirin, MS. yang telah membimbing dengan segenap tenaga dan sepuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Pengurus Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
6. Teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan namanya satu-satu tetapi selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
7. Kepada Bunga Permata Ellendra yang selalu menemani, memberikan semangat, dan meminjamkan laptop saat penulis mengerjakan Tugas Akhir.
8. Patner penelitian penulis Andi Harun Rahmanto dan teman satu penelitian penulis yaitu Adelia Happy Paramita serta Cindy Anggita Putri yang selalu bersama-sama dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Penulis

Bima Candra Agusta

NIM: 30202100055

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT. atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Dengan penuh rasa syukur, penulis persembahkan Tugas Akhir ini kepada kedua orang tua penulis, Bapak Muhammad Aris Rahmanto dan Ibu Satya Dewi yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam setiap langkah perjalanan pendidikan penulis.
2. Seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan perhatian dan mendoakan penulis setiap waktu.
3. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yaitu Dr. Ir. H. Sumirin, MS. yang telah membimbing dengan segenap tenaga dan sepuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Pengurus Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
6. Teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan namanya satu-satu tetapi selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
7. Kepada Andini Artha Mukti yang selalu menemani, memberikan semangat, dan meminjamkan laptop saat penulis mengerjakan Tugas Akhir.
8. Patner penelitian penulis Bima Candra Agusta dan teman satu penelitian penulis yaitu Adelia Happy Paramita serta Cindy Anggita Putri yang selalu bersama-sama dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Penulis

Andi Harun Rahmanto

NIM: 30202100029

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayahnya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Sifat Mekanis *Paving Block* Dengan Substitusi *Fly Ash*" guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya, baik isi maupun penyusunannya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis maupun Pembaca.

Semarang, 24 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. <i>Paving Block</i>	4
2.1.1. Definisi <i>Paving Block</i>	4
2.1.2. Kelas <i>Paving Block</i>	4
2.1.3. Bentuk dan Dimensi <i>Paving Block</i>	4
2.1.4. Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	5
2.1.5. Keuntungan <i>Paving Block</i>	5
2.1.6. Sampel <i>Paving Block</i>	6
2.2. Komposisi Bahan <i>Paving Block</i>	6
2.2.1. Semen Portland	6
2.2.2. Agregat Halus.....	7
2.2.3. Air	8
2.2.4. Akselerator	8
2.3. <i>Fly Ash</i>	9
2.3.1. Definisi dan Proses Pembentukan.....	9
2.3.2. Klasifikasi <i>Fly Ash</i>	9
2.3.3. Kandungan dan Klasifikasi <i>Fly Ash</i>	9
2.4. Pembuatan <i>Paving Block</i>	10
2.4.1. Metode Konvensional	10
2.4.2. Metode Mekanis.....	11
2.5. Pengujian <i>Paving Block</i>	11
2.5.1. Kuat Tekan	12
2.5.2. Kuat Lentur	12
2.6. Konversi Umur Beton	13
2.7. Penelitian Terdahulu	13

BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1. Metode Penelitian.....	20
3.2. Bahan Penelitian.....	20
3.3. Alat Penelitian.....	21
3.4. Komposisi dan Jumlah Sampel	22
3.5. Tahap Penelitian.....	22
3.5.1. Tahap Persiapan Bahan	23
3.5.2. Tahap Pencampuran <i>Paving Block</i>	23
3.5.3. Tahap Pembuatan <i>Paving Block</i>	23
3.5.4. Tahap Perawatan <i>Paving Block</i>	24
3.5.5. Tahap Pengujian <i>Paving Block</i>	24
3.6. Bagan Alir Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Hasil Penelitian	26
4.1.1. Analisa Saringan	26
4.1.2. Kadar Lumpur	27
4.1.3. Kadar Air.....	28
4.1.4. Kuat Tekan.....	29
4.1.5. Kuat Lentur.....	32
4.2. Pembahasan.....	34
4.2.1. Kuat Tekan.....	34
4.2.2. Kuat Lentur.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	41



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat fisika.....	5
Tabel 2.2. Kandungan <i>fly ash</i>	10
Tabel 2.3. Rasio kuat tekan beton terhadap umur referensi.....	13
Tabel 3.1. Komposisi 1 <i>paving block</i> normal.....	22
Tabel 3.2. Komposisi 1 <i>paving block</i> akselerator.....	22
Tabel 3.3. Jumlah sampel.....	22
Tabel 4.1. Hasil analisa saringan.....	26
Tabel 4.2. Nilai kadar lumpur.....	27
Tabel 4.3. Nilai kadar air.....	28
Tabel 4.4. Hasil kuat tekan <i>paving block</i> normal.....	29
Tabel 4.5. Hasil kuat tekan <i>paving block</i> akselerator.....	30
Tabel 4.6. Hasil kuat tekan gabungan.....	31
Tabel 4.7. Hasil kuat lentur <i>paving block</i> normal.....	32
Tabel 4.8. Hasil kuat lentur <i>paving block</i> akselerator.....	33
Tabel 4.9. Hasil kuat tekan gabungan.....	33
Tabel 4.10. Perbandingan dan kenaikan kuat tekan.....	34
Tabel 4.11. Mutu dan pemanfaatan <i>paving block</i> normal.....	35
Tabel 4.12. Mutu dan pemanfaatan <i>paving block</i> akselerator.....	35
Tabel 4.13. Perbandingan dan kenaikan kuat lentur.....	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk variasi <i>paving block</i>	5
Gambar 2.2. <i>Paving block</i> bata	6
Gambar 3.1. Ukuran sampel kuat tekan	24
Gambar 3.2. Ukuran sampel kuat lentur	24
Gambar 3.3. Bagan alir	25
Gambar 4.1. Grafik analisa saringan	27
Gambar 4.2. Grafik rata-rata kuat tekan normal	30
Gambar 4.3. Grafik rata-rata kuat tekan akselerator	31
Gambar 4.4. Grafik perbandingan kuat tekan	31
Gambar 4.5. Grafik perbandingan kuat lentur	33



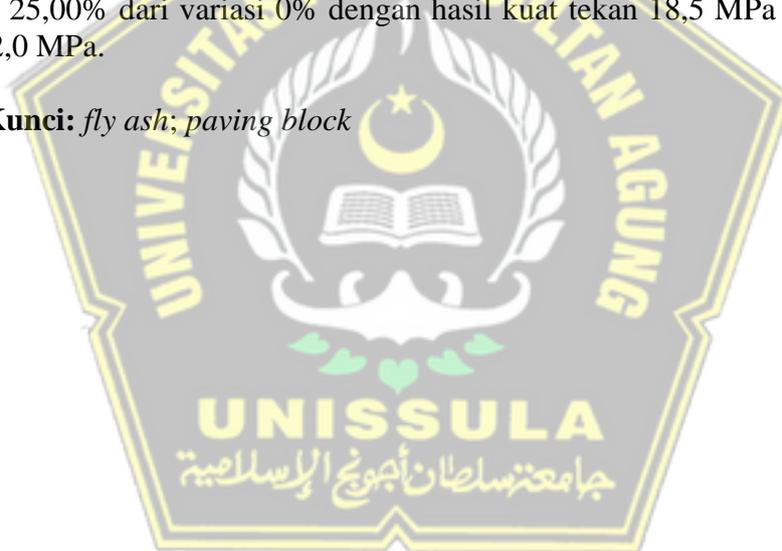
ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan *paving block* sebagai material pembangunan infrastruktur di Indonesia khususnya sebagai alternatif pengganti perkerasan jalan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Pada penelitian ini menggunakan material alternatif yaitu *fly ash*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi *fly ash* pada kekuatan tekan dan lentur *paving block*.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. *Paving block* yang diteliti menggunakan bahan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi substitusi 0%, 5%, dan 10% dari berat semen serta ada atau tanpa tambahan akselerator sebanyak 2%. Untuk pengujian yang akan digunakan yaitu uji kuat tekan dan uji kuat lentur.

Hasil penelitian jenis *paving block* normal dengan variasi 10% mendapatkan rata-rata nilai kuat tekan dan kuat lentur tertinggi yaitu 23,0 MPa dan 2,4 MPa termasuk kategori mutu B yang umumnya dipakai untuk pelataran parkir. Hasil penelitian kuat tekan dan lentur mengalami kenaikan secara bertahap sampai mendapatkan nilai tertinggi pada variasi 10%. Namun, persentase optimal ada pada jenis normal variasi 5% dengan kenaikan kuat tekan sebesar 74,53% dan kuat lentur sebesar 25,00% dari variasi 0% dengan hasil kuat tekan 18,5 MPa dan hasil kuat lentur 2,0 MPa.

Kata Kunci: *fly ash*; *paving block*



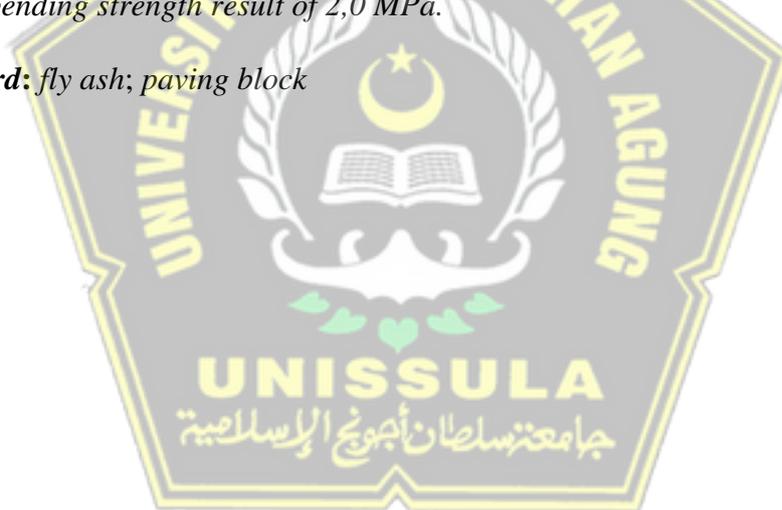
ABSTRACT

The increasing use of paving blocks as infrastructure development materials in Indonesia, especially as an alternative to environmental road pavement. Therefore, innovation is needed in the use of alternative materials that are more environmentally friendly. In this study, an alternative material was used, namely fly ash. The main purpose of this study is to analyze the effect of fly ash substitution on the compressive strength and bending of paving blocks.

The method used is an experimental method. The studied paving block uses fly ash as a cement substitution material with a variation of 0%, 5%, and 10% of the cement weight and with or without an additional accelerator of 2%. The tests to be used are compressive strength test and flexural strength test.

The results of the research on the type of normal paving block with a variation of 10% obtained the highest average compressive strength and bending strength values, namely 23,0 MPa and 2,4 MPa, including the B quality category which is generally used for parking lots. The results of the compressive strength and bending strength research gradually increased until the highest score was obtained at the variation of 10%. However, the optimal percentage is in the normal type of 5% variation with an increase in compressive strength of 74,53% and bending strength of 25,00% from the 0% variation with a compressive strength result of 18,5 MPa and a bending strength result of 2,0 MPa.

Keyword: fly ash; paving block



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan perkembangan teknologi di industri konstruksi, semua komponen konstruksi harus memiliki kualitas yang lebih baik. Peningkatan kegiatan pembangunan infrastruktur di Indonesia juga diiringi oleh meningkatnya penggunaan *paving block* untuk material pembangunan khususnya sebagai alternatif pengganti perkerasan jalan lingkungan. Material ini dipilih karena kemudahannya dalam proses produksi, pemasangan, dan kemampuannya untuk menahan tekanan yang signifikan. Dengan meningkatnya kebutuhan *paving block*, perlu dilakukan langkah untuk menghasilkan mutu *paving block* agar lebih berkualitas. *Paving block* berkualitas tinggi memiliki kekuatan menahan tekanan tinggi untuk menahan beban di atasnya (Sudiana, 2019). Selain kuat tekan, *paving block* juga harus memiliki kekuatan lentur yang baik.

Selama proses pembuatan *paving block*, penggunaan bahan dasar konvensional seperti semen dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk tingginya emisi karbon dan penggunaan sumber daya alam yang melebihi batas. Diperkirakan industri semen menyumbang antara 5 dan 7% emisi CO₂ global. Emisi signifikan yang dikeluarkan industri semen disebabkan oleh meningkatnya produksi dan permintaan semen di seluruh dunia yang diperkirakan akan terus meningkat (Nugraha et al., 2018). Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Terdapat beberapa material alternatif yang dapat digunakan, pada penelitian ini menggunakan material alternatif yaitu *fly ash*.

Fly ash dapat dimanfaatkan sebagai substitusi semen. *Fly ash* adalah butiran halus yang ringan, berbentuk bulat dan tidak memiliki pori-pori yang terbentuk saat batu bara dibakar (Sudjatmiko & Ramadhan, 2023). *Fly ash* memiliki kandungan silika serta memiliki sifat menyerupai semen sehingga berpotensi menjadi bahan pengikat dan penggunaan *fly ash* dapat mengurangi penggunaan semen (Lubis & Karolina, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan komposisi *fly ash* berdampak pada kekuatan tekan dan lentur *paving block*. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan proporsi optimal *fly ash* yang digunakan untuk substitusi semen tanpa mengurangi kualitas *paving block*. Diharapkan hasil penelitian akan membantu mengembangkan bahan konstruksi yang lebih berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, didapatkan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan dan kuat lentur *paving block*?
2. Berapa persentase optimal substitusi *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur *paving block* terbaik?
3. Bagaimana perbandingan hasil kuat tekan dan kuat lentur antara *paving block* tanpa *fly ash* dan *paving block* dengan substitusi *fly ash*?
4. Bagaimana perbandingan hasil kuat tekan dan kuat lentur antara *paving block* tanpa akselerator dan *paving block* dengan *admixture* akselerator?

1.3. Tujuan

Berdasarkan dari rumusan masalah, akan mendapatkan tujuan yaitu:

1. Mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan dan kuat lentur *paving block*.
2. Mendapatkan persentase optimal substitusi *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur *paving block* terbaik.
3. Membandingkan hasil kuat tekan dan kuat lentur antara *paving block* tanpa *fly ash* dan *paving block* dengan substitusi *fly ash*.
4. Membandingkan hasil kuat tekan dan kuat lentur antara *paving block* tanpa akselerator dan *paving block* dengan *admixture* akselerator.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini harus dibatasi ruang lingkupnya agar tidak menyimpang dari tujuannya. Batasan-batasan masalah tersebut meliputi:

1. Semen portland disubstitusikan oleh *fly ash* dengan kadar 0%, 5%, dan 10% dari total semen yang digunakan.
2. Produksi sampel dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Pembuatan benda uji *Paving block* dengan metode konvensional.
5. Komposisi dengan perbandingan 1:5 antara semen dan pasir.
6. Menggunakan *fly ash* berasal dari PLTU Tanjung Jati Jepara, Jawa Tengah.
7. Menggunakan semen portland tipe I yang merupakan jenis semen pada umumnya dengan merek Gresik.
8. *Paving block* menggunakan akselerator sebanyak 2% dari berat bahan pengikat.
9. *Paving block* dalam penelitian sesuai SNI 03-0691-1996.
10. Dimensi *paving block* untuk penelitian memiliki ukuran $20 \times 10 \times 8$ cm.
11. Saat *paving block* berumur 14 hari, akan diuji kekuatan tekan dan kekuatan lentur.
12. Sampel untuk uji kuat tekan berukuran $8 \times 8 \times 8$ cm.
13. Sampel untuk uji kuat lentur berukuran $20 \times 10 \times 8$ cm.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan ini akan disusun dalam beberapa bab secara berurutan. Sistematika penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut.

1. BAB I : Pendahuluan
2. BAB II : Tinjauan Pustaka
3. BAB III : Metode Penelitian
4. BAB IV : Hasil dan Pembahasan
5. BAB V : Kesimpulan dan Saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Paving Block*

2.1.1. Definisi *Paving Block*

Paving block yaitu material yang banyak digunakan terutama untuk perkerasan jalan. *Paving block* umumnya terdiri atas agregat halus, semen, serta air dengan ada atau tidaknya tambahan di luar komposisi yang tidak akan menurunkan kualitas dari *paving block* tersebut (Utami et al., 2023).

Paving block sering digunakan karena memiliki cara pasang dan perawatan yang sederhana serta mampu menahan beban di atasnya dengan kuat. *Paving block* juga mempunyai kesan keindahan dengan jenis yang beragam dapat memperindah area yang dipasangi.

2.1.2. Kelas *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 kelas *paving block* yaitu:

1. Mutu A = pada jalan
2. Mutu B = pada pelataran parkir
3. Mutu C = pada tempat pejalan kaki
4. Mutu D = pada taman dan lainnya

2.1.3. Bentuk dan Dimensi *Paving Block*

Paving block berbagai bentuk dapat ditemukan di pasaran. Bentuk *paving block* umumnya berbentuk persegi panjang (bata), segi enam (*hexagon*), cacing (*zig zag*), *Trihex*, dan lain sebagainya dengan dimensi yang bervariasi menurut kegunaan *paving block* tersebut. Seiring dengan peningkatan permintaan pasar akan *paving block* maka bentuk variasi dan dimensi *paving block* mulai ditingkatkan sesuai dengan fungsinya.



Gambar 2.1. Bentuk variasi *paving block*

2.1.4. Syarat Mutu *Paving Block*

Berdasarkan SNI-03-0691-1996, syarat mutu yang harus dipenuhi yaitu:

1. Bata beton harus memiliki permukaan yang rata, tidak ada retakan, serta sudut dan rusuk tidak mudah direpihkan dengan jari.
2. Ukuran ketebalan bata beton minimal harus 60 milimeter dengan toleransi hingga +8%.
3. Bata beton harus ada sifat-sifat fisika pada tabel dibawah.

Tabel 2.1. Sifat-sifat fisika

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata rata maks. (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

2.1.5. Keuntungan *Paving Block*

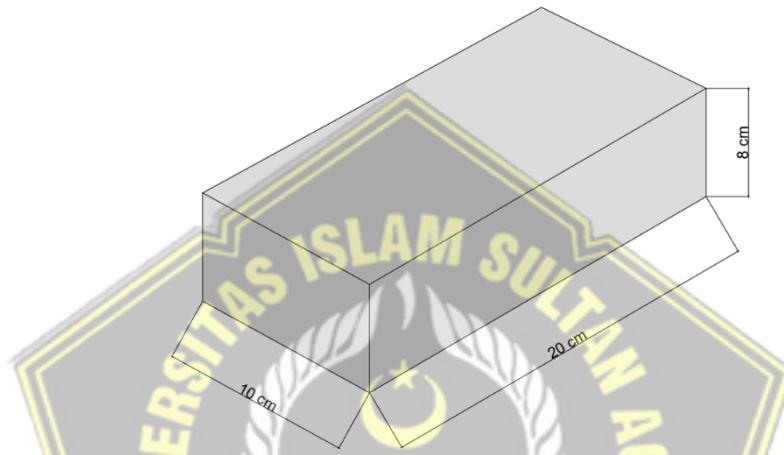
Beberapa keuntungan utama dari *paving block* yaitu:

1. Sederhana dalam proses pembuatan dan pemasangan.
2. Jika ada kerusakan, perbaikan *paving block* cukup mudah.
3. Tahan dalam segala kondisi cuaca karena memiliki ketahanan yang baik.
4. Kuat dalam menahan beban diatasnya dengan cukup baik.
5. Dapat memberikan kesan estetika dalam area yang dipasang.

2.1.6. Sampel *Paving Block*

Penelitian ini akan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen. Komposisi *fly ash* akan dibagi menjadi 3 variasi dengan atau tanpa akselerator, masing-masing dengan substitusi 0%, 5%, dan 10% dari berat semen. Sampel yang dibuat memiliki ukuran $20 \times 10 \times 8$ cm sebanyak 14 buah sampel untuk setiap variasi. Maka, didapatkan total sampel utuh sebanyak 42 buah.

Penelitian ini memakai benda uji *paving block* bata. Untuk penjelasan *Paving block* lebih lanjut, dapat dilihat pada Gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. *Paving block* bata

2.2. Komposisi Bahan *Paving Block*

Bahan penyusun *paving block* antara lain:

2.2.1. Semen Portland

Semen portland merupakan material yang sering digunakan terutama pada pembuatan beton. Menurut Nofrianto & Hutrio (2023), Semen portland yaitu semen hidrolis yang dibuat melalui penggilingan klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolis. Saat digiling bersama material utamanya, klinker ini umumnya terdiri dari setidaknya satu bentuk kalsium sulfat, sedangkan menurut SNI 2049-2015 semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dari penghalusan terak semen portland, yang utamanya terdiri dari kalsium silikat hidrolis, dan dipadukan dengan material tambahan yang terdiri dari satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Selain itu juga dapat digabungkan dengan material tambah lainnya.

Semen portland dalam penyebarannya di pasaran memiliki berbagai variasi jenis dan setiap jenis memiliki penggunaan khusus yang digunakan dalam kondisi tertentu. Menurut SNI 2049-2015 jenis dan penggunaan semen yaitu:

1. Jenis I, sebagai penggunaan umum tanpa ada syarat tertentu, berbeda dari jenis semen lainnya.
2. Jenis II, sebagai semen yang tahan terhadap sulfat serta memiliki tingkat kalor hidrasi yang sedang.
3. Jenis III, diperlukan untuk mencapai kekuatan yang tinggi saat tahap awal setelah proses pengikatan.
4. Jenis IV, digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tingkat kalor hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, dirancang khusus untuk memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sulfat saat digunakan.

Semen penelitian ini menggunakan jenis I yang merupakan semen yang dipakai pada umumnya. fungsi dari semen adalah sebagai material pengikat antara semua unsur agar menjadi padat.

2.2.2. Agregat Halus

Agregat halus adalah material dengan variasi butirannya kurang dari 5 mm. Agregat halus juga merupakan bahan pengisi (*filler*) utama pada campuran semen, jenis material yang umum dipakai yaitu pasir. Pasir dapat berasal dari alam atau buatan yang dibuat dari pemecah batuan. Hal tersebut karena pasir memiliki sumber daya alam melimpah, terutama di wilayah-wilayah dengan aliran sungai-sungai besar. Harga material agregat halus pasir yang umumnya lebih murah serta tidak memerlukan proses pengolahan sebelum digunakan, sehingga akan lebih praktis (Huda et al., 2016).

Pengertian menurut SNI 1970:2016 agregat halus yaitu pasir alami yang asalnya dari batuan yang hancur melalui proses alami atau dibuat oleh industri pemecah batu yang memiliki ukuran butir maksimal 4,75 milimeter atau saringan nomor 4. Dalam pembuatan *paving block* agregat halus merupakan material yang penting karena mempunyai komposisi yang paling besar. Agregat halus *paving block* sangat menentukan kekuatan. Agregat halus yang baik memiliki penyaluran besaran partikel yang sesuai dan memungkinkan pengisian yang baik.

2.2.3. Air

Saat proses pembuatan *paving block*, air digunakan sebagai pemicu reaksi kimiawi pada semen untuk menyatukan antar partikel agregat. Air untuk campuran *paving block* harus memenuhi berbagai standar yang disyaratkan sesuai dengan SNI. Dalam SK SNI S-04-1989-F, syarat-syaratnya air yaitu:

1. Air harus bebas bau, bersih, dan tidak berwarna.
2. Kehadiran zat organik dan garam dalam air tidak boleh melebihi 15 gram/liter karena bisa merusak beton.
3. Kadar lumpur atau zat yang lain dalam air tidak boleh melebihi batas 2 gram/liter.
4. Kadar klorida tidak melebihi 0,5 gram/liter.
5. Kadar senyawa sulfat tidak melebihi 1 gram/liter.

Proses pengerasan dan ketahanan *paving block* akan terganggu oleh air yang tidak sesuai. Pada proses pembuatan campuran, jumlah air yang tepat harus digunakan. Terlalu banyak air akan mengakibatkan banyak gelembung air sehabis proses hidrasi berakhir, yang akan mengurangi kekuatan yang dihasilkan oleh *paving block*. Sebaliknya, terlalu sedikit air membuat proses hidrasi tidak terjadi secara keseluruhan, sehingga kekuatan *paving block* yang dibuat akan berkurang.

2.2.4. Akselerator

Ada beberapa jenis *admixture* yang biasanya digunakan saat penelitian, dalam penelitian ini menggunakan jenis akselerator. Akselerator ini berfungsi untuk mempercepat tahapan pengeringan dan pengerasan *paving block*, sehingga *paving block* dapat mencapai kekuatan optimal dalam waktu yang lebih singkat. Namun akselerator juga harus disesuaikan dengan material lainnya. Bahan akselerator merupakan bahan yang bermanfaat untuk *paving block*. Akselerator sendiri merujuk pada bahan tambahan aditif yang dicampurkan ke dalam *paving block* untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu, seperti daya tahan, kekuatan, serta ketahanan terhadap cuaca. Dengan menggunakan akselerator, *paving block* dapat memiliki performa yang lebih baik termasuk peningkatan kuat tekan dan lentur. *Paving block* dengan akselerator ini sering kali lebih efisien dan ekonomis, serta dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan desain dan fungsi.

2.3. Fly Ash

Fly ash merupakan hasil samping dari industri batu bara saat ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal, sedangkan keluaran dari limbah batu bara jenis ini semakin bertambah seiring berjalannya waktu melebihi kebutuhan yang ada. Untuk mengurangi limbah tersebut dilakukan berbagai penelitian untuk pemanfaatan.

2.3.1. Definisi dan Proses Pembentukan

Definisi abu terbang (*fly ash*) menurut SNI 2460:2014 adalah pembakaran atau pembubukan batu bara menghasilkan produksi residu halus yang diangkut oleh arus udara panas. Adapun menurut Rokhman & Chairi (2022) *fly ash* adalah limbah halus, bundar, dan pozzolanic yang dihasilkan oleh pembakaran batu bara di PLTU. Pozzolan adalah campuran silika dan aluminium yang bersifat mengikat dan akan bereaksi secara kimiawi saat bertemu kalsium hidroksida, sehingga bisa dimanfaatkan untuk membuat batako, *paving block*, dan beton (Rahim et al., 2024).

2.3.2. Klasifikasi Fly Ash

Dalam SNI 2460:2014 *fly ash* terdiri dari beberapa klasifikasi yaitu ada kelas N, Kelas F, dan kelas C yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Kelas N merupakan pozzolan alam yang memenuhi persyaratan kelas N, seperti beberapa tanah diatomae (hasil lapukan); batu rijang opalan dan serpih; tufa atau batu apung dan abu vulkanik dan yang dikalsinasi atau tidak. Selain itu, terdapat berbagai material yang membutuhkan kalsinasi untuk mencapai beberapa sifat yang diinginkan, seperti lempung dan serpih.
2. Kelas F merupakan abu terbang yang dibuat dari batu bara yang memenuhi kriteria untuk kelas F dan memiliki sifat pozzolanik.
3. Kelas C merupakan abu terbang yang terdapat sifat pozzolanik dan sementisius dan memenuhi syarat-syarat untuk kelas C.

2.3.3. Kandungan dan Klasifikasi Fly Ash

Menurut Purwono et al. (2020) pada PLTU Tanjung Jati Jepara menghasilkan *fly ash* dengan klasifikasi yaitu kelas F. Adapun menurut Qomaruddin et al. (2018) berdasarkan sertifikat laboratorium Sucofindo No.17733/EOBOAI, tertanggal 2 Desember 2015. Kandungan *fly ash* pada PLTU Tanjung Jati Jepara dapat dilihat dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kandungan *fly ash*

No	Parameter	Unit	Test Result	Test Method	
1	SiO ₂	% wt	46,70	ASTMD4325_11	
2	Al ₂ O ₃	% wt	25,01		
3	Fe ₂ O ₃	% wt	9,43		
4	TiO ₂	% wt	0,98		
5	CaO	% wt	6,26		
6	MgO	% wt	3,65		
7	K ₂ O	% wt	2,19		
8	Na ₂ O	% wt	2,96		
9	SO ₃	% wt	0,81		
10	MnO ₂	% wt	0,07		
11	P ₂ O ₅	% wt	0,41		
12	Moisture Content	% wt	Nd	PO-MOM-02	
13	LOI	% wt	1,05	PO-MOM-03	
14	Oil Content	% wt	0,05	Destilation Gravimeiric	
15	Unburned Carbon	% wt	0,65	Infrared Absorptiometric Method (used by HORIBAEMIA-S20V)	
Test Size		Unit	On	Pass	Manual/ASTM
Mesh No. 100 (0,149 mm)		% wt	2,45	97,55	
Mesh No. 200 (0,074 mm)		% wt	6,69	93,31	
Mesh No. 325 (0,044 mm)		% wt	13,38	86,62	

Pada data tabel 2.2. didapatkan kesimpulan bahwa *fly ash* ini termasuk dalam klasifikasi kelas F karena memiliki kadar $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 81,14\% > 70\%$.

2.4. Pembuatan *Paving Block*

Paving block umumnya dibuat dengan 2 metode, yaitu metode konvensional dan mekanis.

2.4.1. Metode Konvensional

Metode konvensional yaitu *paving block* dibuat memakai alat gablokan yang beban pematatannya diperoleh dari tenaga pekerja (Suwanto et al., 2020). Dengan menggunakan alat serta proses pembuatan yang sederhana dan tidak diperlukan banyak modal usaha, metode konvensional banyak digunakan dalam skala industri rumahan. Metode konvensional terdapat berbagai kelebihan serta kekurangan antara lain:

1. Kelebihan metode konvensional:
 - a. Mudah untuk dikerjakan oleh usaha kecil.
 - b. Harga alat yang digunakan relatif murah.
 - c. Dapat dilakukan oleh siapa saja.
2. Kekurangan metode konvensional:
 - a. Hasil *paving block* umumnya memiliki mutu yang rendah dan tidak stabil.
 - b. Memerlukan waktu yang cukup lama untuk memproduksi.
 - c. Sulit untuk diproduksi secara masal.

2.4.2. Metode Mekanis

Metode mekanis ini biasanya dikenal dengan nama metode *press*. Pembuatan *paving block* dengan metode ini memerlukan mesin *press hidrolis* yang cukup mahal, sehingga jarang digunakan. Metode mekanis umumnya diterapkan oleh pabrik yang memiliki skala sedang sampai besar yang membutuhkan hasil cepat dan kualitas. Mesin cetak *paving block* mekanis dapat menghasilkan *paving block* mencapai 1000 hingga 1500 buah per hari. Ini memungkinkan waktu produksi yang lebih singkat dan hasil cetakan yang lebih seragam (Suwanto et al., 2020). Pembuatan *paving block* secara mekanis memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan antara lain:

1. Kelebihan metode mekanis, yaitu:
 - a. Produksi lebih cepat dan seragam.
 - b. Hasil kuat tekan lebih baik dan stabil.
 - c. Dapat digunakan untuk produksi masal.
2. Kekurangan metode mekanis, yaitu:
 - a. Hanya dapat dilakukan oleh industri menengah dan besar.
 - b. Harga alat cetak relatif cukup mahal.
 - c. Memerlukan tempat yang cukup luas sehingga tidak dapat dilakukan dimana saja.

2.5. Pengujian *Paving Block*

Uji *paving block* memiliki tujuan agar dapat mengetahui kualitas dari *paving block* yang dibuat agar dapat mengetahui kecocokan penggunaan dari *paving block* tersebut.

2.5.1. Kuat Tekan

Nilai kuat tekan adalah tolak ukur umum untuk mengevaluasi kualitas *paving block*. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa *paving block* lebih kuat dan lebih sulit untuk dihancurkan. Metode pengujian kuat tekan menunjukkan kekuatan *paving block* dalam menahan beban di atasnya sampai *paving block* menjadi retak atau mengalami perubahan (Rumangun et al., 2024). Tujuan dari uji kekuatan tekan adalah menentukan beban maksimal yang mampu diterima oleh *paving block* persatuan luas (Pratama & Risdianto, 2019). Satuan ukur kuat tekan biasanya diukur dengan satuan kg/cm² atau MPa. Berdasarkan SNI-03-0691-1996, berikut rumus untuk menghitung kuat tekan *paving block*.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas bidang tekan (mm²)

2.5.2. Kuat Lentur

Salah satu sifat mekanik dari *paving block* adalah kekuatan lenturnya yang menggambarkan ketahanan material terhadap tekanan lentur tanpa patah atau gagal. Dengan kekuatan lentur yang tinggi, diharapkan *paving block* dapat menahan beban dan gaya yang diterapkan sehingga membuatnya lebih tahan lama dan kurang rentan terhadap retak.

Kekuatan lentur sering diukur dalam satuan regangan, seperti megapascal (MPa), dan uji ini terkait dengan penggunaan beban yang mampu secara progresif menerapkan beban eksternal yang meningkat hingga terjadi kegagalan. Kekuatan lentur yang tinggi dari *paving block* sangat penting, terutama untuk penerapan di area yang terkena lalu lintas kendaraan atau beban berat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan lentur sebuah *paving block* termasuk komposisi material dan cara produksi. Oleh karena itu, jelas bahwa pemilihan material dan metode pembuatan yang digunakan sangat penting dalam produksi *paving block* berkualitas tinggi. Rumus perhitungan kuat lentur sebagai berikut.

$$F_s = \frac{PL}{bh^2}$$

keterangan:

- f_s = Kekuatan lentur (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- L = Jarak bentang tumpuan (mm)
- b = Lebar *paving block* (mm)
- h = Tebal *paving block* (mm)

2.6. Konversi Umur Beton

Konversi umur beton adalah konversi yang mengacu pada pengaruh waktu pada kekuatan beton. Beton tidak mencapai kekuatan maksimum secara langsung setelah pencampuran tetapi, kekuatan beton berkembang seiring waktu, dan konversi umur ini digunakan untuk memperkirakan kekuatan tekan beton pada usia 28 hari. Berikut ini tabel rasio kuat tekan beton terhadap umur referensi.

Tabel 2.3. Rasio kuat tekan beton terhadap umur referensi

Umur (hari)	Rasio Kuat Tekan
3	0,40
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1,00
90	1,20
365	1,35

Pengujian dalam penelitian ini dilaksanakan ketika *paving block* berumur 14 hari sehingga perlu dilakukan konversi dengan cara membagi kuat tekan *paving block* saat berumur 14 hari dengan angka rasio 0,88.

2.7. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang sudah meneliti tentang campuran *fly ash* dengan komposisi campuran dan metodenya masing-masing. Hal ini bisa menjadi referensi untuk penelitian berikutnya dan dapat dikembangkan agar mendapatkan hasil yang optimal untuk *paving block*. Berikut ini beberapa contoh penelitian terdahulu.

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2022	Bobby Rio Indriyantho, Nor Hidayati, Mochammad Qomaruddin, Feri Firman Ferdiansah.	Analisis Pengaruh Zat Polimer Paving block Faba (<i>Fly ash</i> & <i>Bottom ash</i>) Dengan Variabel Semen Dan <i>Fly ash</i> Pltu Tjib Jepara.	Tujuan penelitian adalah untuk menggunakan <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> dalam campuran paving sebagai pengganti semen dan agregat.	Metodenya membandingkan komposisi campuran paving block digunakan untuk beton k-175 dan k-225.	Hasil pengujian selama 28 hari menunjukkan bahwa penutup lantai dengan polimer 1% lebih baik daripada paving block dengan kandungan polimer 2%.
2	2023	Aliem Sudjatmiko, Hanin Kholis R	<i>Fly ash</i> Sebagai Substitusi Semen Pada Paving block Terhadap Pengujian Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Dengan menggunakan Penekanan Menggunakan Desak Pyramid	Tujuan adalah membandingkan paving block yang ditambahkan <i>fly ash</i> dengan berbagai variasi menggunakan metode desak pyramid dan metode normal.	Metode pembuatan paving block ada dua macam, yaitu metode pengepresan konvensional dan pengepresan piramida. Penelitian ini menggunakan komposisi campuran 1: 6 untuk berat semen dan pasir.	Menurut penelitian kuat tekan, paving block metode normal memiliki tekan rata-rata 25,750 MPa dan paving block metode desak pyramid memiliki tekan rata-rata 27,850 MPa pada campuran <i>fly ash</i> 10 %.

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
3	2023	Putri Rahmadini Utami, Anisah, R. Eka Murtinugraha	Pemanfaatan Campuran Fly ash Dan Ldpe Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Paving block	Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik <i>block paving</i> yang dibuat dengan <i>fly ash</i> dan LDPE. Variasi persentase 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% digunakan sebagai pengganti agregat halus.	Metode eksperimen menggunakan balok <i>paving block</i> 210 x 105 x 60 mm dengan campuran <i>fly ash</i> dan LDPE sebagai pengganti agregat halus. Variasi persentase 0%, 5%, 7,5% pada 20 MPa adalah titik tekan terbaik.	Hasil menunjukkan bahwa <i>paving block</i> yang dibuat dengan campuran <i>Fly ash</i> dan LDPE dapat secara proporsional akan lebih baik. Variasi 7,5% pada 20 MPa adalah titik tekan terbaik.
4	2024	Miguel R. Chandra, Isri R. Mangangka, Reky S. Windah	Pemanfaatan Fly ash Dari PLTU-3 SULUT Untuk Substitusi Sebagian Semen Pada Produksi Paving block Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Fly ash Dan Emisi CO2	Tujuannya adalah untuk menentukan tipe C digunakan dengan variasi campuran <i>fly ash</i> berat semen 0%, 10%, 20%, 30%, yang ideal untuk 40%, dan 50%. Mesin press dan substitusi semen getar hidrolik digunakan untuk pada <i>paving block</i> membuat <i>paving block</i> dan mengevaluasi efeknya.	Dengan metode eksperimen, <i>fly ash</i> optimal 10% <i>fly ash</i> dimana kuat tekannya turun 4,05% (7 hari) dan 2,65% (28 hari) dibandingkan tanpa <i>fly ash</i> , tetapi masih memenuhi standar M-30 (30-35 MPa). Pada 20 hingga 50% <i>fly ash</i> , kuat tekannya turun signifikan 48 hingga 80% dan tidak memenuhi standar.	Hasil menunjukkan komposisi optimal 10% <i>fly ash</i> dimana kuat tekannya turun 4,05% (7 hari) dan 2,65% (28 hari) dibandingkan tanpa <i>fly ash</i> , tetapi masih memenuhi standar M-30 (30-35 MPa). Pada 20 hingga 50% <i>fly ash</i> , kuat tekannya turun signifikan 48 hingga 80% dan tidak memenuhi standar.

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
5	2022	Abdul Rokhman, Dhani Van Chairi	Pemanfaatan Substitusi <i>Fly ash</i> dan Bahan Kapur Alam Untuk Peningkatan Mutu <i>Paving block</i>	Tujuan penelitian ini adalah untuk menggunakan <i>fly ash</i> , bahan limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dan mortar.	Dalam penelitian ini, <i>paving blok</i> dibuat dengan limbah batu kapur substitusi <i>fly ash</i> untuk mengganti agregat halus dan limbah batu kapur untuk mengganti kadar optimal 21,5%, atau 17,11 MPa, dengan substitusi <i>fly ash</i> sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Perbandingan antara bahan-bahan tersebut adalah 1:4.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi batu kapur halus bisa meningkatkan kekuatan tekan sampai kadar optimal 21,5%, atau 17,11 MPa, dengan substitusi <i>fly ash</i> sebesar 20 % berat semen. Dengan kuat tekan ini, <i>paving block</i> kelas B termasuk..
6	2020	Anggi Harystama, M. Agus Salim Al Fathoni, Amris Azizi	Pengaruh Penambahan Abu Terbang (<i>Fly ash</i>) Terhadap Kuat Tekan <i>Paving block</i>	Tujuannya mengetahui kekuatan tekan dengan menambah <i>fly ash</i> .	Penelitian ini menggunakan benda uji kubus panjang dan lebar 6 centimeter. <i>Paving blok</i> dibuat dengan perbandingan bahan – bahan 1:4, dan dengan variasi penambahan <i>fly ash</i> untuk <i>paving block</i> adalah sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat semen.	Rekomendasi variasi terbaik didasarkan pada hasil pengujian bata beton. Variasi 1 kilogram semen dibandingkan dengan 4 kilogram pasir ditambah 20% <i>fly ash</i> , dan memenuhi standar D untuk <i>paving block</i> .

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
7	2024	Muh Richa Abd Rahim, Mustakim Mustakim, Misbahuddin Misbahuddin	Pengaruh Penggunaan <i>Fly ash</i> Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan <i>Paving block</i>	Tujuan untuk menentukan kuat tekan melalui metode British Standard 6717 dengan SNI 03-0691-1996 akan penggunaan <i>fly ash</i> , serta proporsi <i>fly ash</i> yang digunakan agar optimal.	Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, dengan variasi perbandingan 1:4, penggunaan <i>fly ash</i> adalah 0%, variasi 10%, 20% dan 30%.	Hasil Kualitas tekan PB balok dengan <i>fly ash</i> terbaik adalah 14,23 MPa variasi 10% dan PB kubus 12,27 MPa variasi 10%.
8	2023	Enda Kartika Sari, Yuliantini Eka Putri, Lindawati, Ferry Destromi, Revianty Nurmeyliandari	Potensi Dan Karakteristik Limbah Padat <i>Fly ash</i> Dan <i>Bottom ash</i> Hasil Pembakaran	Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kadar penggunaan <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> yang optimum	Metode yang dilakukan berupa data yang dikumpulkan berasal dari survei langsung dan pengujian laboratorium untuk langsung mengevaluasi kekuatan tekan <i>paving block</i> dengan menggunakan	Pengujian menghasilkan <i>paving block</i> memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 105.38 MPa ketika <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> disubstitusi 30%. Karakteristik batubara ini terdiri dari besi dan silika, bersama dengan usur lain

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
9	2023	Muhammad Bagus Dian Syahputra. Rahayu Jati, Ochih Saziati	Batu bara Pt. Bakti Nugraha Yuda Energy Terhadap Kuat Tekan <i>Paving block</i> Identifikasi Potensi Terbang (<i>Fly ash</i>) Sebagai Pengganti Semen Pada Pembuatan <i>Paving block</i> Ramah Lingkungan	untuk <i>paving block</i> serta karakteristiknya. Tujuannya adalah untuk menentukan campuran yang paling sesuai untuk mencapai sifat fisik yang optimal dan mengetahui nilai kelas yang dihasilkan dengan berbagai perbandingan.	campuran tanah liat dasar dan <i>fly ash</i> . Eksperimen dilakukan menghasilkan hasil yang menunjukkan hubungan antara variabel kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus <i>paving block</i> .	seperti kalium, kalsium, titanium, dan aluminium. Kode benda uji A1 komposisi 1:4 memiliki kuat tekan tertinggi 27,42 MPa dan daya serap tertinggi 4,2%. Kekuatan aus tertinggi adalah 0,131 mm/menit. Oleh karena itu, <i>paving blok</i> ini digunakan untuk pelataran parkir dan memiliki mutu kelas B.

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
10	2023	Endah Pangestuti, Bagaskara, Fadhila Rizqina Heriyanto	Pengaruh <i>Fly ash</i> Dan <i>Bottom ash</i> (Faba) Sebagai Campuran Paving Blok Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air	Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari bagaimana penambahan material FABA pada paving blok berdampak pada kekuatan tekannya, daya serap airnya, dan pemanfaatannya.	Dalam penelitian ini, akan dibuat tiga jenis blok papan: normal, ayakan dasar, dan ayakan dasar lolos ayakan 5 mm.	Hasil penelitian terlihat bahwa menggunakan <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> menghasilkan <i>paving block</i> mutu B dengan kuat tekan 18,73 MPa pada desain campuran (1 S: 3 BA) dan daya serap air 7,5% pada desain campuran dan ((0,5 S: 0,5 FA): 3 BA). <i>Paving block</i> dapat digunakan untuk parkir, taman, dan area pejalan kaki.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode eksperimen dipakai untuk penelitian ini. Metode eksperimen dipahami sebagai metode yang didapat melalui hasil penelitian terhadap sampel uji. *Paving block* yang diteliti memakai material *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dengan variasi substitusi 0%, 5%, dan 10% dari berat semen serta ada atau tanpa tambahan akselerator sebanyak 2%. Terdapat 2 jenis pengujian yang akan dilaksanakan, yaitu uji kuat tekan dan uji kuat lentur. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang sebagai tempat pembuatan sampel dan pengujian sampel *paving block*.

3.2. Bahan Penelitian

Berikut bahan-bahan pembuatan *paving block* diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini.

1. Agregat Halus

Agregat halus yaitu pasir yang lolos saringan dengan diameter 4,75 mm. Pasir yang dipakai sudah disaring dari kotoran.

2. Semen

Semen portland tipe I dengan merek Semen Gresik merupakan semen yang digunakan.

3. Air

Penelitian ini menggunakan air bersih pada umumnya untuk menjaga mutu dari *paving block*. Air tersebut berasal dari air PDAM.

4. Akselerator

Akselerator merupakan bahan untuk membantu mempercepat pengerasan serta menaikkan mutu dari *paving block* tersebut. Akselerator yang digunakan merupakan akselerator dengan merek Sika.

5. *Fly ash*

Fly ash berasal dari PLTU Tanjung Jati, Jepara dan termasuk kategori tipe F.

3.3. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini membutuhkan peralatan untuk membuat *paving block* yaitu:

1. Timbangan

Timbangan digunakan agar berat komposisi *paving block* yang direncanakan sesuai. Timbangan ini mempunyai ketelitian 1 gram.

2. Cetok

Cetok digunakan untuk memasukkan adonan *paving block* ke dalam cetakan dan meratakan campuran *paving block* saat di cetakan.

3. Ember

Ember digunakan untuk tempat air dan material yang sudah disiapkan saat penimbangan.

4. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengetahui banyak air dan akselerator yang akan dipakai.

5. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur *paving block* yang akan digunakan untuk pengujian.

6. Mesin Pengaduk (*Mixer*)

Mixer digunakan untuk mempermudah penggabungan material *paving block* agar tercampur secara merata.

7. Cetakan *Paving block*

Alat ini digunakan untuk mencetak *paving block* sesuai ukuran dan memadatkan *paving block* agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

8. Mesin Gerinda

Paving block dipotong dengan menggunakan mesin ini sebelum dilakukan pengujian. Untuk menguji kuat tekan *paving block* dipotong dengan ukuran $8 \times 8 \times 8$ cm.

9. Mesin Uji Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Mesin ini digunakan untuk pengujian *paving block* agar mendapatkan data yang nantinya menentukan mutu *paving block* tersebut. Data yang didapatkan nanti akan berupa hasil kuat tekan optimal dan kuat lentur optimal.

3.4. Komposisi dan Jumlah Sampel

Untuk menghasilkan *paving block* yang sesuai perlu dilakukan perhitungan komposisi campuran. Bahan yang akan dijadikan campuran yaitu pasir, semen, dan air. Selain bahan utama ada bahan tambahan yaitu akselerator dan *fly ash*. *Fly ash* akan di substitusikan dengan bahan semen. Penelitian ini menggunakan komposisi yaitu 1 semen : 5 pasir. Akselerator yang dipakai yaitu 2% dari berat bahan pengikat yang digunakan dan untuk *fly ash* yang di substitusikan yaitu ada 0%, 5%, dan 10% dari berat semen. Berikut ini perhitungan komposisi pencampuran untuk *paving block*.

Tabel 3.1. Komposisi 1 *paving block* normal

Variasi Fly Ash	Semen	Pasir	Fly Ash
	kg	kg	kg
0%	0,5	2,5	0
5%	0,475	2,5	0,025
10%	0,45	2,5	0,05

Tabel 3.2. Komposisi 1 *paving block* akselerator

Variasi Fly Ash	Semen	Pasir	Fly Ash	Akselerator
	kg	kg	kg	Liter
0%	0,5	2,5	0	0,01
5%	0,475	2,5	0,025	0,01
10%	0,45	2,5	0,05	0,01

Jumlah sampel digunakan untuk kuat tekan sebanyak 60 buah dan untuk kuat lentur 12 buah dengan detail sebagai berikut.

Tabel 3.3. Jumlah sampel

Persentase <i>Fly ash</i>	Jumlah Sampel (buah)			
	Kuat Tekan		Kuat Lentur	
	Normal	Akselerator	Normal	Akselerator
0 %	10	10	2	2
5 %	10	10	2	2
10 %	10	10	2	2
Jumlah	30	30	6	6

3.5. Tahap Penelitian

Pada penelitian ini akan ada tahapan-tahapan utama yang harus dilakukan untuk membuat benda uji, yaitu:

3.5.1. Tahap Persiapan Bahan

Berikut ini bahan-bahan campuran *paving block* yang harus dipersiapkan, yaitu:

1. Agregat halus
2. Semen portland
3. Air
4. Akselerator
5. *Fly ash*

3.5.2. Tahap Pencampuran *Paving Block*

Tahapan ini ialah tahap pencampuran material utama *paving block*. Dalam proses pencampuran ini memakai perbandingan 1 : 5 antara semen dan pasir dengan variasi substitusi *fly ash* 0%, 5%, dan 10% dari berat semen dengan atau tanpa tambahan akselerator sebanyak 2% dari berat bahan pengikat. Pencampuran menggunakan *mixer* agar lebih tercampur dengan baik. Berikut ini langkah-langkah pencampuran.

1. Siapkan bahan untuk pembuatan *paving block* yaitu semen, air, pasir, akselerator, dan *fly ash*. Pastikan bahan sudah ditimbang tepat dengan berat yang sudah direncanakan.
2. Masukkan bahan-bahan ke dalam *mixer* untuk dilakukan proses pengadukan.
3. Tunggu proses pengadukan dengan mesin *mixer* selama beberapa menit.
4. Setelah pengadukan selesai, pastikan kembali bahan tercampur secara merata.

3.5.3. Tahap Pembuatan *Paving Block*

Dalam pembuatan benda uji menggunakan metode konvensional yang memudahkan proses pencetakan *paving block*. Berikut ini langkah-langkah pembuatan *paving block* dengan metode konvensional atau lebih umum disebut dengan metode gablokan.

1. Siapkan bahan-bahan yang sudah tercampur merata.
2. Masukkan bahan yang sudah tercampur ke dalam cetakan sampai melebihi cetakan.
3. Pukul cetakan sampai campuran turun dan padat.
4. Lakukan tahapan nomor 3 sampai campuran tidak dapat turun.
5. Pastikan kembali campuran sudah memenuhi cetakan dengan merata.
6. Setelah dikira sudah cukup, lepaskan campuran *paving block* dari cetakan.

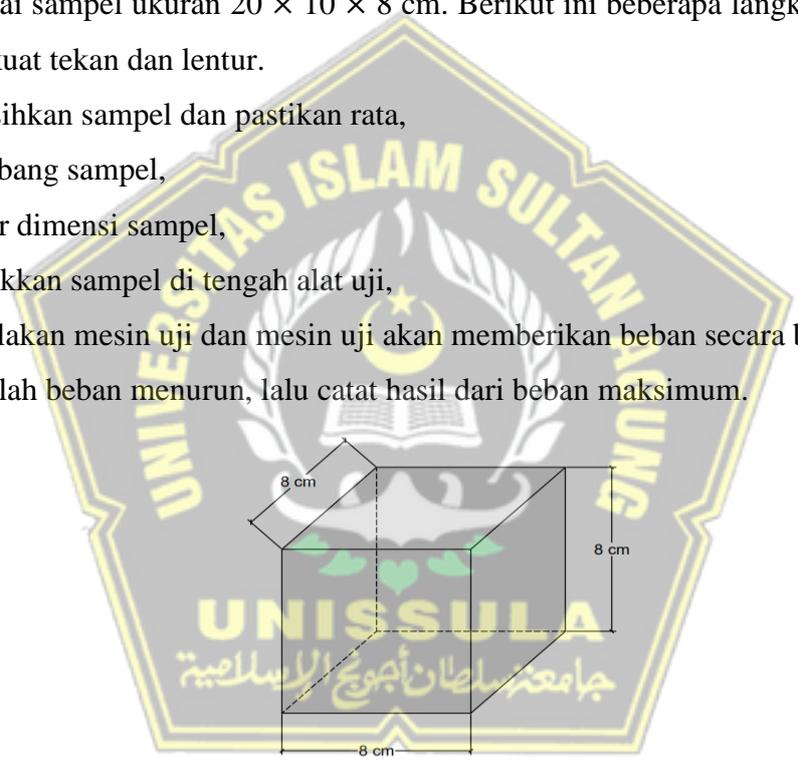
3.5.4. Tahap Perawatan *Paving Block*

Paving block dirawat agar kelembapannya terjaga selama umur yang ditentukan, yaitu 14 hari. Kelembaban diperlukan agar *paving block* saat menunggu umur tidak mengalami retakan. Perawatan yang dimaksudkan dengan cara melakukan perendaman setelah satu hari pencetakan.

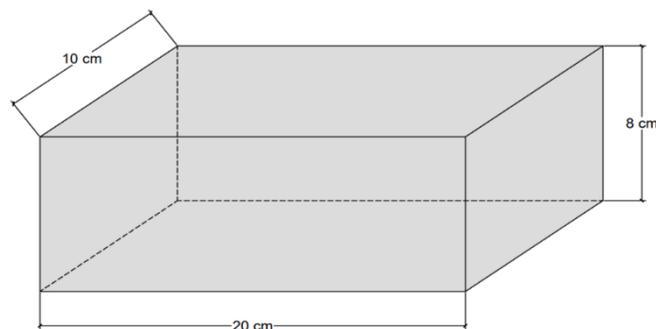
3.5.5. Tahap Pengujian *Paving Block*

Uji kekuatan tekan dan lentur akan dilakukan pada *paving block*. Pengujian dilaksanakan ketika *paving block* sudah berumur 14 hari. Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan sampel ukuran $8 \times 8 \times 8$ cm. Pengujian kuat lentur dilakukan memakai sampel ukuran $20 \times 10 \times 8$ cm. Berikut ini beberapa langkah pengujian untuk kuat tekan dan lentur.

1. Bersihkan sampel dan pastikan rata,
2. Timbang sampel,
3. Ukur dimensi sampel,
4. Letakkan sampel di tengah alat uji,
5. Nyalakan mesin uji dan mesin uji akan memberikan beban secara bertahap,
6. Setelah beban menurun, lalu catat hasil dari beban maksimum.



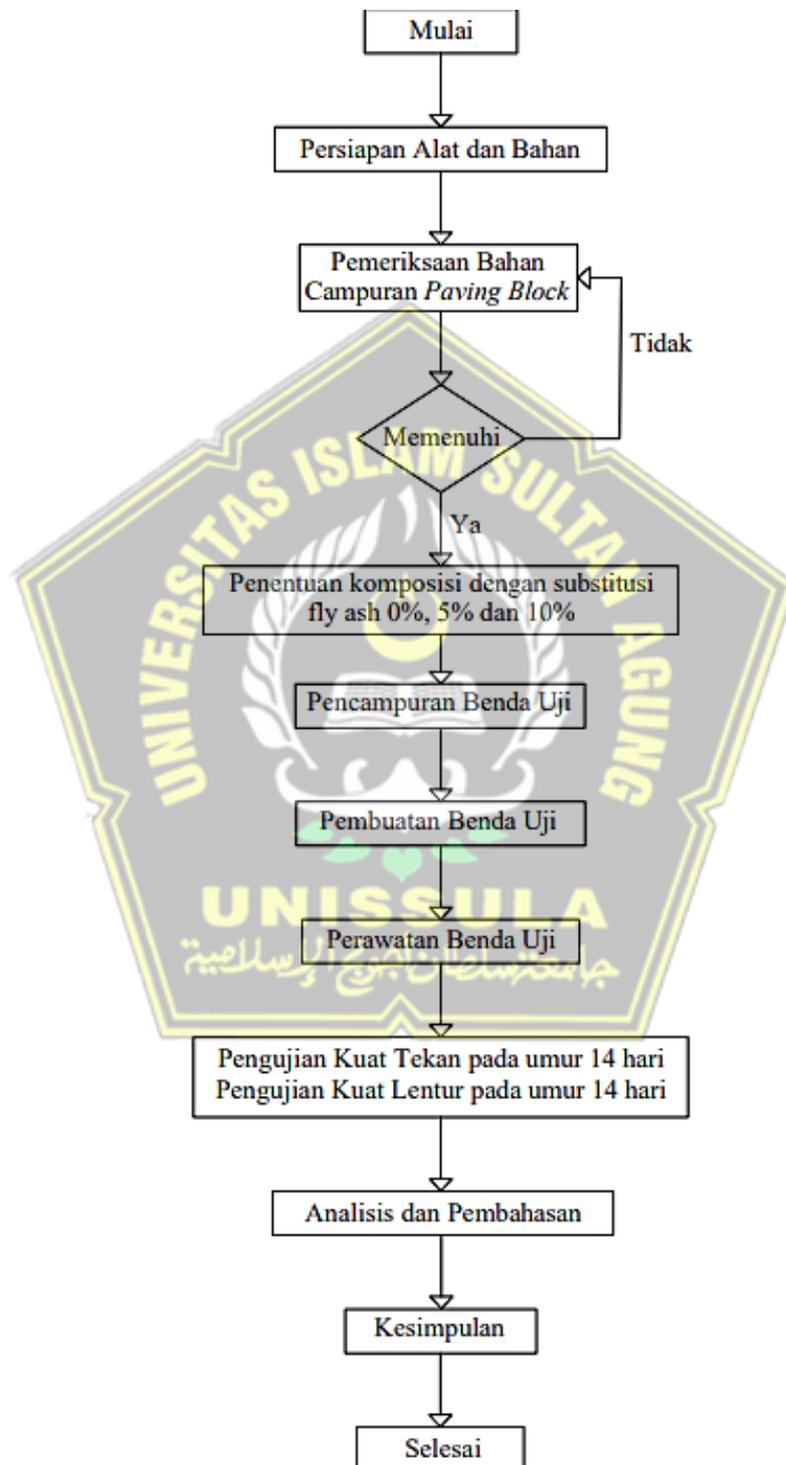
Gambar 3.1. Ukuran sampel kuat tekan



Gambar 3.2. Ukuran sampel kuat lentur

3.6. Bagan Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil maksimal, terarah, dan dapat dipertanggungjawabkan, penelitian perlu dilakukan secara sistematis atau sesuai urutan yang teratur dan jelas. Untuk itu perlu dibuat bagan alir yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.3. Bagan alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Dalam mengetahui hasil penelitian perlu dilakukan pengujian pada agregat dan sampel uji. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Pengujian agregat yang dilakukan yaitu analisa saringan, kadar lumpur, dan kadar air. Uji *paving block* yang dilaksanakan yaitu uji kuat tekan dan lentur.

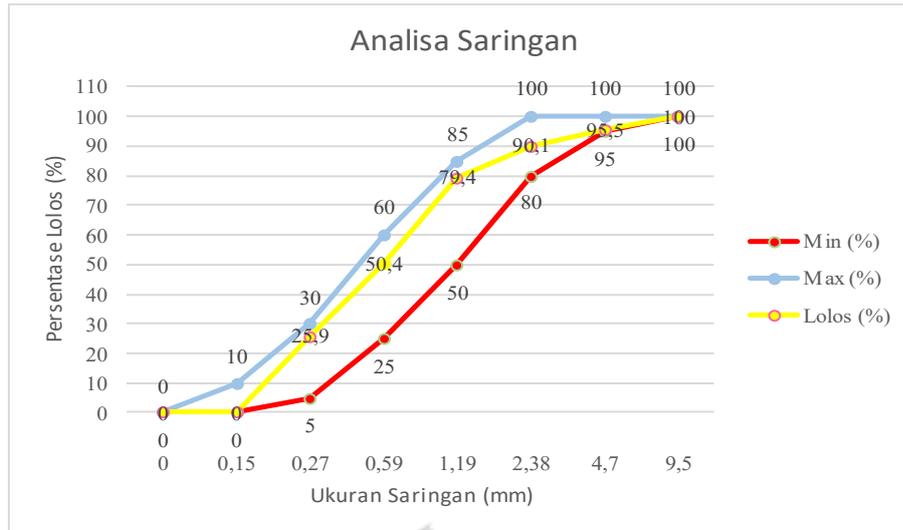
4.1.1. Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan memiliki tujuan untuk menganalisa agregat memiliki kondisi gradasi yang layak digunakan atau tidak. Hasil uji analisa saringan dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 4.1. Hasil analisa saringan

Ukuran Saringan (mm)	Berat Agregat (gr)	Persentase Agregat Tertinggal (%)	Kumulatif Agregat Tertinggal (%)	Persen Finer (%)	SNI Min (%)	SNI Max (%)
9,5	0	0	0	100	100	100
4,7	45	4,5	4,50	95,50	95	100
2,38	54	5,4	9,90	90,10	80	100
1,19	107	10,7	20,60	79,40	50	85
0,59	290	29	49,60	50,40	25	60
0,27	245	24,5	74,10	25,90	5	30
0,15	259	25,9	100,00	0,00	0	10
PAN	0	0	100,00	0,00	0	0
Σ	1000	100				

Dari tabel dapat dibuat grafik untuk diketahui kualitas gradasi. Agregat dengan gradasi yang baik dapat dilihat dari garis persentase lolos yang berada ditengah antara garis minimal dan maksimal. Berikut ini grafik gradasi analisa saringan terdapat dalam gambar berikut.



Gambar 4.1. Grafik analisa saringan

Hasil grafik menunjukkan bahwa garis lolos berada diantara garis minimal dan maksimal tanpa ada yang melebihi batas. Dengan hasil tersebut agregat lolos dari pengujian.

4.1.2. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur berperan penting untuk mengetahui kelayakan agregat untuk penelitian. Dengan kadar lumpur yang melebihi batas yang ditentukan yaitu 5% menyebabkan kurang maksimal hasil yang akan didapatkan saat pengujian *paving block*. Berikut nilai pengujian kadar lumpur terdapat dalam tabel 4.2. di bawah ini.

Tabel 4.2. Nilai kadar lumpur

Sampel	Volume Pasir + Lumpur (ml)	Volume Pasir (V1) (ml)	Volume Lumpur (V2) (ml)	Kadar Lumpur (%)	Kadar Lumpur Rata-rata (%)
1	500	482	18	3,60	3,30
2	500	485	15	3,00	

Perhitungan kadar lumpur didapatkan dari rumus berikut untuk menentukan persentase kadar lumpurnya.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur 1} &= \frac{V \text{ lumpur}}{V \text{ pasir+lumpur}} \times 100\% \\
 &= \frac{18}{500} \times 100\% \\
 &= 3,60\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur 2} &= \frac{V \text{ lumpur}}{V \text{ pasir+lumpur}} \times 100\% \\ &= \frac{15}{500} \times 100\% \\ &= 3,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur rerata} &= (\text{Kadar lumpur 1} + \text{Kadar lumpur 2}) / 2 \\ &= (3,60\% + 3,00\%) / 2 \\ &= 3,30\% \end{aligned}$$

Dari hasil rata-rata pengujian kadar lumpur agregat mendapatkan hasil 3,30%. Hasil kadar lumpur 3,30% < 5,00% menunjukkan agregat lolos pengujian untuk digunakan dalam penelitian.

4.1.3. Kadar Air

Pengujian kadar air untuk melihat kondisi agregat tersebut basah atau tidak. Jika nilai kadar air melebihi batas perlu dilakukan pengeringan terlebih dahulu sebelum digunakan untuk penelitian. Nilai batas kadar air yang boleh digunakan yaitu sebesar 5%. Nilai pengujian kadar air terdapat dalam tabel berikut.

Tabel 4.3. Nilai kadar air

Sampel	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Agregat Sebelum di oven (gr)	Berat Cawan + Agregat Setelah di Oven (gr)	Agregat Sebelum di Oven (gr)	Agregat Setelah di Oven (gr)	Kadar Air (%)	Kadar Air Rata-rata (%)
1	45	545	528	500	483	3,52	3,31
2	45	545	530	500	485	3,09	

Perhitungan kadar air didapatkan dari rumus berikut untuk menentukan persentase kadar airnya.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air 1} &= \frac{\text{Agregat sebelum di oven} - \text{agregat setelah di oven}}{\text{agregat setelah di oven}} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 483}{483} \times 100\% \\ &= 3,52\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar air 2} &= \frac{\text{Agregat sebelum di oven} - \text{agregat setelah di oven}}{\text{agregat sebelum di oven}} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 485}{485} \times 100\% \\ &= 3,09\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar air rerata} &= (\text{Kadar air 1} + \text{Kadar air 2}) / 2 \\ &= (3,52\% + 3,09\%) / 2 \\ &= 3,31\% \end{aligned}$$

Dari tabel hasil kadar air mendapatkan hasil kadar air rata-rata sebesar 3,31%. Hasil kadar air $3,31\% < 5,00\%$ menunjukkan agregat lolos pengujian untuk digunakan dalam penelitian. Jika agregat melebihi kadar yang ditentukan maka dilakukan proses pengeringan sampai agregat lolos uji kadar air.

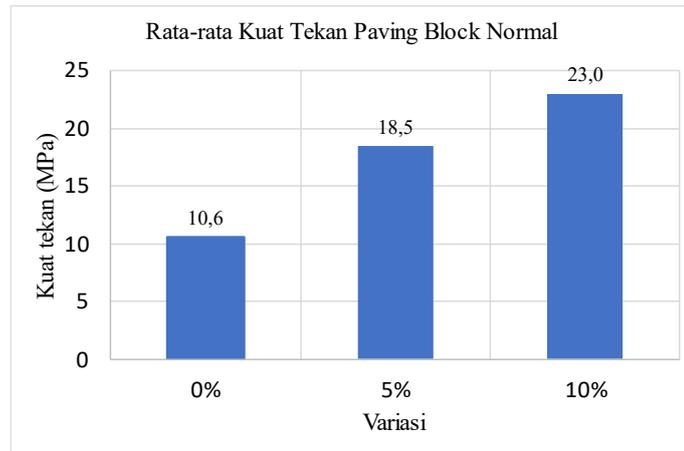
4.1.4. Kuat Tekan

Kuat tekan mengacu pada kapasitas dalam menahan tekanan yang bekerja dan diukur dengan satuan MPa atau kg/cm^2 . Pengujian kekuatan tekan sampel *paving block* dipotong dengan dimensi $8 \times 8 \times 8$ cm. Pada pengujian dilaksanakan saat berumur 14 hari sehingga untuk mendapatkan hasil pada umur 28 hari dilakukan konversi dengan membagi hasil dengan angka rasio 0,88. Tabel 4.4 berikut menunjukkan hasil kuat tekan *paving block* normal.

Tabel 4.4. Hasil kuat tekan *paving block* normal

Variasi Fly Ash	Sampel	Umur	Berat	Gaya	Kuat Tekan	Kuat Tekan Umur 28 Hari	Kuat Tekan Rata-rata
		(hari)	(kg)	(KN)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0%	1	14	1,16	53,261	8,322	9,5	10,6
	2	14	1,09	51,360	8,025	9,1	
	3	14	1,10	54,812	8,564	9,7	
	4	14	1,18	75,715	11,831	13,4	
	5	14	1,15	58,122	9,082	10,3	
	6	14	1,11	57,082	8,919	10,1	
	7	14	1,12	61,357	9,587	10,9	
	8	14	1,15	69,567	10,870	12,4	
	9	14	1,15	48,288	7,545	8,6	
	10	14	1,04	61,338	9,584	10,9	
5%	1	14	1,16	150,958	23,587	26,8	18,5
	2	14	1,26	117,853	18,415	20,9	
	3	14	1,23	93,261	14,572	16,6	
	4	14	1,14	123,150	19,242	21,9	
	5	14	1,20	95,923	14,988	17,0	
	6	14	1,02	100,384	15,685	17,8	
	7	14	1,15	103,334	16,146	18,3	
	8	14	1,06	77,607	12,126	13,8	
	9	14	1,14	102,560	16,025	18,2	
	10	14	1,14	79,593	12,436	14,1	
10%	1	14	1,20	111,085	17,357	19,7	23,0
	2	14	1,16	104,611	16,345	18,6	
	3	14	1,24	124,616	19,471	22,1	
	4	14	1,25	148,309	23,173	26,3	
	5	14	1,32	138,378	21,622	24,6	
	6	14	1,23	175,975	27,496	31,2	
	7	14	1,20	111,374	17,402	19,8	
	8	14	1,24	110,712	17,299	19,7	
	9	14	1,16	128,6784	20,106	22,8	
	10	14	1,20	141,9392	22,178	25,2	

Berikut ini grafik rata-rata dari *paving block* normal berbagai substitusi *fly ash*.



Gambar 4.2. Grafik rata-rata kuat tekan *paving block* normal

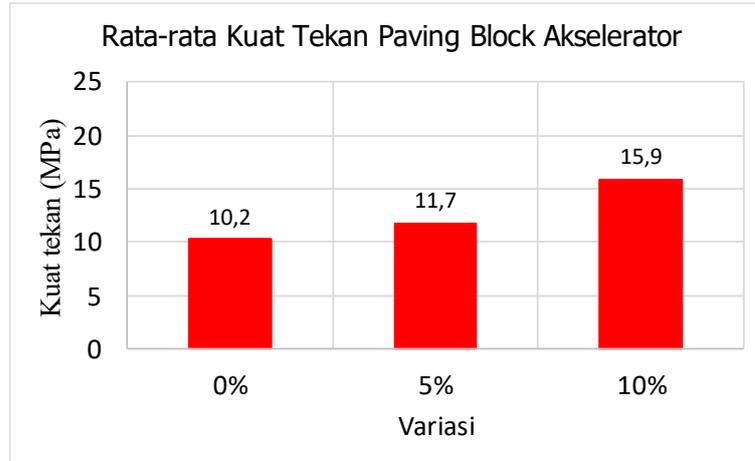
Dari grafik *paving block* normal dengan substitusi 0%, 5%, dan 10% didapatkan hasil kuat tekan rata-rata berurutan yaitu 10,6 MPa, 18,5 MPa, dan 23,0 MPa.

Selain *paving block* normal ada juga *paving block* dengan akselerator dengan hasil kuat tekan sebagai berikut.

Tabel 4.5. Hasil kuat tekan *paving block* akselerator

Variasi Fly Ash	Sampel	Umur	Berat	Gaya	Kuat Tekan	Kuat Tekan Umur 28 Hari	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
		(hari)	(kg)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
0% -Akselerator	1	14	1,07	58,406	9,126	10,4	10,2
	2	14	1,07	58,69	9,170	10,4	
	3	14	1,13	74,249	11,601	13,2	
	4	14	1,17	81,532	12,739	14,5	
	5	14	1,08	49,037	7,662	8,7	
	6	14	1,02	52,410	8,189	9,3	
	7	14	1,10	49,517	7,737	8,8	
	8	14	1,05	51,691	8,077	9,2	
	9	14	1,14	52,301	8,172	9,3	
	10	14	1,11	48,019	7,503	8,5	
5% - Akselerator	1	14	1,10	70,330	10,989	12,5	11,7
	2	14	1,13	59,296	9,265	10,5	
	3	14	1,13	63,667	9,948	11,3	
	4	14	1,06	69,043	10,788	12,3	
	5	14	1,09	56,042	8,757	10,0	
	6	14	1,15	68,915	10,768	12,2	
	7	14	1,14	63,561	9,931	11,3	
	8	14	1,21	53,913	8,424	9,6	
	9	14	1,16	75,482	11,794	13,4	
	10	14	1,13	78,970	12,339	14,0	
10% - Akselerator	1	14	1,22	88,721	13,863	15,8	15,9
	2	14	1,18	70,618	11,034	12,5	
	3	14	1,10	70,618	11,034	12,5	
	4	14	1,19	107,023	16,722	19,0	
	5	14	1,18	94,443	14,757	16,8	
	6	14	1,17	107,165	16,745	19,0	
	7	14	1,14	76,064	11,885	13,5	
	8	14	1,12	72,547	11,335	12,9	
	9	14	1,11	99,078	15,481	17,6	
	10	14	1,14	106,451	16,633	18,9	

Berikut ini grafik rata-rata dari *paving block* akselerator berbagai substitusi *fly ash*.



Gambar 4.3. Grafik rata-rata kuat tekan *paving block* akselerator

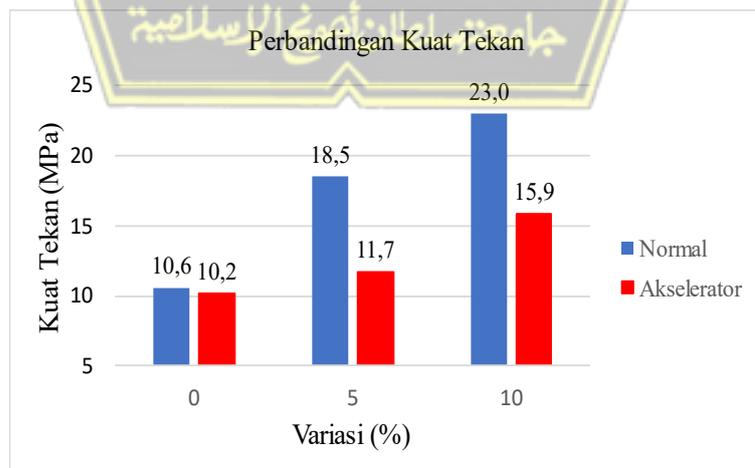
Dari grafik *paving block* menggunakan akselerator dengan substitusi 0%, 5%, dan 10% didapatkan hasil nilai kuat tekan rata-rata berurutan yaitu 10,2 MPa, 11,7 MPa, dan 15,9 MPa.

Pada 2 jenis *paving block* didapatkan hasil perbandingan antara *paving block* normal dan akselerator dalam tabel berikut.

Tabel 4.6. Hasil kuat tekan gabungan

Variasi	Jenis	
	Normal (Mpa)	Akselerator (Mpa)
Rata-rata Kuat Tekan 0%	10,6	10,2
Rata-rata Kuat Tekan 5%	18,5	11,7
Rata-rata Kuat Tekan 10%	23,0	15,9

Berikut ini grafik perbandingan dari *paving block* normal dan dengan akselerator.



Gambar 4.4. Grafik perbandingan kuat tekan

Hasil kuat tekan yang lebih besar yaitu pada jenis *paving block* normal. Pada jenis akselerator didapatkan nilai penurunan rata-rata yaitu 23,80% dibandingkan dengan *paving block* normal.

Perhitungan nilai perhitungan kuat tekan:

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 0\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(10,2 - 10,6)}{10,6} \times 100\% \right| \\ &: 3,77\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 5\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(11,7 - 18,5)}{18,5} \times 100\% \right| \\ &: 36,76\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 10\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(15,9 - 23,0)}{23,0} \times 100\% \right| \\ &: 30,87\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan rata-rata} &: (3,77\% + 36,76\% + 30,87\%) / 3 \\ &: 23,80\% \end{aligned}$$

4.1.5. Kuat Lentur

Kuat lentur *paving block* merujuk ke kemampuan untuk menahan beban lentur tanpa mengalami kerusakan. Pengujian kuat lentur menggunakan sampel dengan ukuran 20 × 10 × 8 cm yaitu merupakan *paving block* utuh. Uji kuat lentur dilaksanakan saat berumur 14 hari. Tabel berikut menunjukkan hasil pengujian lentur kuat *paving block* normal.

Tabel 4.7. Hasil kuat lentur *paving block* normal

Variasi	Sampel	Umur	Berat	Gaya	Kuat Lentur	Kuat Lentur Rata-rata
		(hari)	(kg)	(KN)	(MPa)	(MPa)
0%	1	14	3,20	7,933	1,859	1,6
	2	14	3,15	5,631	1,320	
5%	1	14	3,17	9,678	2,268	2,0
	2	14	3,13	7,37	1,727	
10%	1	14	3,23	10,622	2,490	2,4
	2	14	3,18	9,568	2,243	

Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat lentur *paving block* normal pada substitusi 0%, 5%, dan 10% berurutan yaitu 1,6 MPa, 2,0 MPa, dan 2,4 MPa. Pada jenis *paving block* dengan akselerator hasil kuat lentur terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8. Hasil kuat lentur *paving block* akselerator

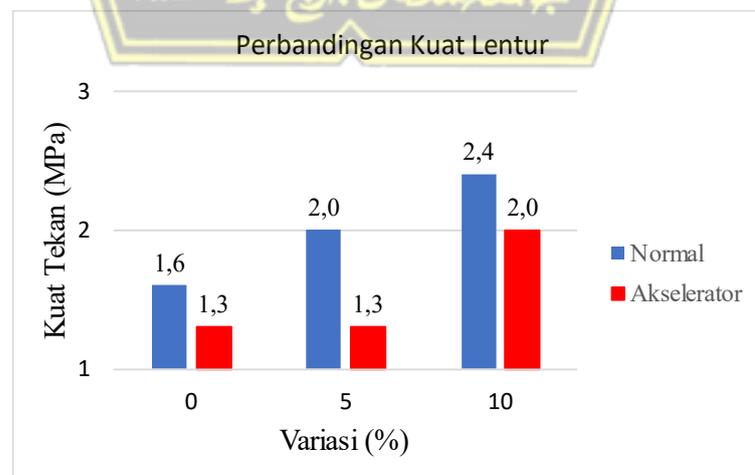
Variasi	Sampel	Umur	Berat	Gaya	Kuat Lentur	Kuat Lentur Rata-rata
		(hari)	(kg)	(KN)	(MPa)	(MPa)
0% - Akselerator	1	14	3,10	6,607	1,549	1,3
	2	14	3,06	4,163	0,976	
5% - Akselerator	1	14	2,98	4,681	1,097	1,3
	2	14	3,14	6,200	1,453	
10% - Akselerator	1	14	3,23	8,081	1,894	2,0
	2	14	3,15	9,176	2,151	

Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat lentur *paving block* dengan akselerator pada substitusi 0%, 5%, dan 10% berturut-turut yaitu sebesar 1,3 MPa, 1,3 MPa, dan 2,0 MPa.

Dari kedua jenis tersebut yaitu jenis *paving block* normal dan *paving block* akselerator maka dapat dibuat tabel dan grafik perbandingan kuat lentur antara keduanya.

Tabel 4.9. Hasil kuat lentur gabungan

Variasi	Jenis	
	Normal (Mpa)	Akselerator (Mpa)
Kuat Lentur 0%	1,6	1,3
Kuat Lentur 5%	2,0	1,3
Kuat Lentur 10%	2,4	2,0



Gambar 4.5. Grafik perbandingan kuat lentur

Hasil kuat lentur yang lebih besar yaitu pada jenis *paving block* normal. Pada jenis akselerator didapatkan nilai penurunan rata-rata yaitu 23,47% dibandingkan dengan *paving block* normal.

Perhitungan nilai penurunan kuat lentur yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 0\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(1,3 - 1,6)}{1,6} \times 100\% \right| \\ &: 18,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 5\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(1,3 - 2,0)}{2,0} \times 100\% \right| \\ &: 35,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan pada 10\%} &: \left| \frac{(\text{Akselerator} - \text{Normal})}{\text{Normal}} \times 100\% \right| \\ &: \left| \frac{(2,0 - 2,4)}{2,4} \times 100\% \right| \\ &: 16,67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan rata-rata} &: (20,57 + 36,17 + 14,54) / 3 \\ &: 23,47\% \end{aligned}$$

4.2. Pembahasan

4.2.1. Kuat Tekan

Paving block mempunyai berbagai pemanfaatan yang berbeda-beda sesuai dengan mutu yang didapatkan. Penelitian ini mendapatkan hasil perbandingan serta kenaikan kuat tekan setiap variasi dan berbagai tingkatan mutu dengan berbagai pemanfaatan berdasarkan kuat tekan terdapat dalam tabel dibawah.

Tabel 4.10. Perbandingan dan kenaikan kuat tekan

Variasi	Jenis	Kenaikan	Jenis	Kenaikan
	Normal (Mpa)	(%)	Akselerator (Mpa)	(%)
Rata-rata Kuat Tekan 0%	10,6	74,53%	10,2	14,71%
Rata-rata Kuat Tekan 5%	18,5		11,7	35,90%
Rata-rata Kuat Tekan 10%	23,0	24,32%	15,9	

Tabel 4.11. Mutu dan pemanfaatan *paving block* normal

Variasi	Hasil Pengujian (MPa)		Mutu	Syarat SNI (MPa)		Pemanfaatan
	Rata-rata	Minimal		Rata-rata	Minimal	
0%	10,6	8,6	D	10	8,5	Taman atau Lainnya
5%	18,5	13,8	C	15	12,5	Tempat Pejalan Kaki
10%	23	18,6	B	20	17	Pelataran Parkir

Tabel 4.12. Mutu dan pemanfaatan *paving block* akselerator

Variasi	Hasil Pengujian (MPa)		Mutu	Syarat SNI (MPa)		Pemanfaatan
	Rata-rata	Minimal		Rata-rata	Minimal	
0% - Akselerator	10,2	8,5	D	10	8,5	Taman atau Lainnya
5% - Akselerator	11,7	9,6	D	10	8,5	Taman atau Lainnya
10% - Akselerator	15,9	12,5	C	15	12,5	Tempat Pejalan Kaki

Penelitian ini mendapatkan hasil yaitu *paving block* normal dengan variasi substitusi *fly ash* 0% mempunyai mutu D berfungsi untuk taman atau lainnya didapatkan rata-rata 10,6 MPa. Untuk variasi 5% mempunyai mutu C yang berfungsi untuk tempat pejalan kaki didapatkan rata-rata 18,5 MPa atau naik sebesar 74,53% dari hasil kuat tekan variasi 0%. Nilai tertinggi terdapat pada variasi 10% dengan mutu B dengan pemanfaatan sebagai pelataran parkir didapatkan rata-rata 23,0 MPa yaitu naik sebesar 24,32% dari pengujian hasil kuat tekan variasi 5%. Nilai kenaikan tertinggi berada pada variasi 5% yaitu naik sebesar 74,53% dari variasi 0%.

Paving block dengan akselerator pada variasi substitusi *fly ash* 0% dan 5% mempunyai mutu D didapatkan rata-rata 10,2 MPa dan 11,7 MPa. Variasi 5% mengalami kenaikan kuat tekan yaitu 14,71% dari variasi 0%. Nilai kuat tekan pada variasi 10% mengalami kenaikan mutu dibandingkan 0% dan 5% pada jenis ini. Pada variasi 10% didapatkan rata-rata yaitu 15,9 MPa termasuk kategori mutu C dimana terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 35,90 % dari hasil kuat tekan variasi 5%.

Paving block normal mempunyai mutu dan kuat tekan lebih baik daripada *paving block* dengan akselerator. Pada jenis akselerator variasi 0% mengalami penurunan sebesar 3,77%, variasi 5% mengalami penurunan sebesar 36,76%, dan variasi 10% mengalami penurunan 30,87% dibandingkan dengan kuat tekan jenis *paving block* normal.

Hasil tersebut menunjukkan untuk kuat tekan akan naik bertahap seiring penambahan substitusi *fly ash* hingga 10%. Namun, kuat tekan optimal yaitu terdapat pada *paving block* normal variasi 5% karena pada variasi ini terdapat kenaikan signifikan sebesar 74,53%.

4.2.2. Kuat Lentur

Penelitian ini juga menguji kuat lentur *paving block* dengan substitusi *fly ash*. Hasil perbandingan dan kenaikan nilai kuat lentur terdapat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.13. Perbandingan dan kenaikan nilai kuat lentur

Variasi	Jenis	Kenaikan	Jenis	Kenaikan
	Normal (Mpa)	%	Akselerator (Mpa)	%
Kuat Lentur 0%	1,6	25,00%	1,3	0,00%
Kuat Lentur 5%	2,0		1,3	
Kuat Lentur 10%	2,4	20,00%	2,0	53,85%

Pada tabel menunjukkan pada jenis normal mengalami kenaikan nilai kuat lentur secara bertahap. Kuat lentur pada jenis normal variasi 0% yaitu sebesar 1,6 MPa, variasi 5% mengalami kenaikan 25,00% dari variasi 0% yaitu sebesar 2,0 MPa, dan variasi 10% mengalami kenaikan 20,00% dari variasi 5% yaitu sebesar 2,4 MPa yang merupakan nilai kuat lentur tertinggi pada variasi normal.

Pada jenis akselerator mengalami kenaikan secara bertahap juga seperti pada jenis normal. Kuat lentur pada jenis akselerator variasi 0% dan 5% yaitu sebesar 1,3 MPa. Pada variasi 10% mengalami kenaikan 53,85% dari variasi 5% yaitu sebesar 2,0 MPa yang merupakan nilai kuat lentur tertinggi pada variasi akselerator. Dari semua jenis dan variasi kuat lentur tertinggi ada di jenis *paving block* normal dengan variasi 10% yaitu sebesar 2,4 MPa.

Dari hasil antara *paving block* normal dan akselerator menunjukkan untuk jenis akselerator mengalami penurunan daripada jenis normal. Pada jenis akselerator variasi 0% mengalami penurunan 18,75%, untuk variasi 5% mengalami penurunan 35,00%, dan untuk variasi 10% mengalami penurunan 16,67% dibandingkan dengan hasil kuat lentur jenis *paving block* normal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh substitusi *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur *paving block* dengan substitusi *fly ash* 0%, 5%, dan 10% dengan rincian secara berurutan, yaitu:
 - a. Pada jenis normal mendapatkan nilai berturut-turut untuk kuat tekan 10,6 MPa, 18,5 MPa, dan 23,0 MPa serta untuk kuat lentur 1,6 MPa, 2,0 MPa, dan 2,4 MPa.
 - b. Pada jenis akselerator mendapatkan nilai berturut-turut untuk kuat tekan 10,2 MPa, 11,7 MPa, dan 15,9 MPa serta nilai kuat lentur 1,3 MPa, 1,3 MPa, dan 2,0 MPa.
2. Hasil penelitian mendapatkan persentase optimal ada pada *paving block* normal dengan variasi 5% karena pada variasi tersebut mendapatkan kenaikan kuat tekan sebesar 74,53% dan kuat lentur sebesar 25,00% dari variasi 0% dengan hasil kuat tekan 18,5 MPa dan hasil kuat lentur 2,0 MPa.
3. Hasil penelitian mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan serta kuat lentur lebih tinggi ada di *paving block* dengan *fly ash*. Pada *paving block* dengan *fly ash* mendapatkan kenaikan kekuatan tekan dan lentur. Jenis normal variasi 5% dan 10% nilai kuat tekan naik 74,53% dan 116,98% serta kuat lentur naik 25,00% dan 50,00% dari variasi 0%. Pada jenis akselerator variasi 5% dan 10% nilai kuat tekan naik 14,71% dan 55,88% serta kuat lentur tetap dan naik 53,85% dari variasi 0%.
4. Hasil penelitian *paving block* normal mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan dan lentur lebih tinggi daripada *paving block* akselerator. Pada *paving block* dengan akselerator didapatkan penurunan kuat tekan rata-rata sebesar 23,87% dari *paving block* normal dan penurunan kuat lentur rata-rata sebesar 23,76% dari *paving block* normal.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan penelitian, ada saran yang dapat digunakan untuk penelitian berikutnya, di antaranya:

1. Dapat membandingkan penggunaan *fly ash* dari berbagai PLTU dengan material utama yang sama guna mengetahui pengaruh nilai kuat tekan dan lentur.
2. Perlu diperhatikan untuk penggunaan akselerator agar lebih disesuaikan dengan berbagai merek yang ada agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
3. Dapat membandingkan metode pembuatan dengan menggunakan teknik konvensional dan mesin press untuk membandingkan selisih nilai kuat tekan dan lentur diantara kedua metode tersebut.
4. Dapat membandingkan metode perawatan *paving block* dengan menggunakan cara rendaman dan siraman untuk mengetahui pengaruh perawatan dengan hasil uji kuat tekan dan lentur.



DAFTAR PUSTAKA

- Huda, I. Al, Lingga, A. A., & Budi, G. S. (2016). Stone Dush sebagai Pengganti Agregat terhadap Beton Normal. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 2(2).
- Lubis, N., & Karolina, R. (2017). Optimasi substitusi Fly Ash dan Bottom Ash terhadap Pembuatan Paving Block Sesuai SNI 03-0691-1996. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 6(1).
- Nofrianto, H., & Hutrio, H. (2023). Analisis Mutu Paving Block dengan Variasi Agregat Halus. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(1), 54–62.
- Nugraha, A. Z., Wiloso, E. I., & Yani, M. (2018). Pemanfaatan Serbuk Gergaji sebagai Substitusi Bahan Bakar pada Proses Pembakaran - Kiln Di Pabrik Semen dengan Pendekatan Life Cycle Assesment (Lca). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 188–198.
- Pratama, S. R., & Risdianto, Y. (2019). Pengaruh Substitusi Fly Ash pada Bahan Pengikat Campuran Paving Block ditinjau dari Kuat Tekan, Keausan, dan Penyerapan Air. *Jurnal Fakultas Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya*, 4–7.
- Purwono, N. A. S., A.M, R. S., Wicaksono, A. C., & Utomo, W. W. (2020). Analisa Pengaruh Penambahan dan Substitusi Agregat Fly Ash terhadap Kuat Tekan Beton Non- Pasir. *Jurnal Rekayasa*, 10(1), 56–71.
- Qomaruddin, M., Ariyanto, A., Saputro, Y. A., & Sudarno, S. (2018). Analisa Kuat Tekan Mortar Beton Fly Ash dari Industri Pltu Tanjung Jati B Jepara dengan Menggunakan Pasir Sungai Tempur Kabupaten Jepara. *Reviews in Civil Engineering*, 2(1), 35–40.
- Rahim, M. R. A., Mustakim, & Misbahuddin. (2024). Pengaruh Penggunaan Fly Ash sebagai Substitusi Semen terhadap Kapasitas Kuat Tekan Paving Block. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 2(2), 145–156.

- Rokhman, A., & Chairi, D. (2022). Pemanfaatan Substitusi Fly Ash dan Bahan Kapur Alam untuk Peningkatan Mutu Paving Block. *Jurnal Sipil Krisna*, 8, 57–67.
- Rumangun, Y., Suraji, A., & Irawan, D. (2024). Analisis Kuat Tekan Paving Block untuk Perkerasan Jalan. *Prosida Widya Saintek*, 3(2), 319–328.
- Sudiana, L. A. L. O. R. I. N. (2019). Sifat Mekanik Paving Block yang Dibuat dari Paduan Slag Nikel dan Abu Serbuk Kayu. *Jurnal Aplikasi Fisika, Vol 15, No 2 (2019): JAF, Agustus 2019*, 66–72.
- Sudjatmiko, A., & Ramadhan, H. K. (2023). Fly Ash sebagai Substitusi Semen pada Paving Block Terhadap Pengujian Kuat Tekan dan Daya Serap Air dengan Penekanan Menggunakan Desak Pyramid. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 160–167.
- Suwarto, F., Fauziyah, S., Setiabudi, B., & Sholeh, M. N. (2020). Peningkatan Kuat Tekan Paving Block dengan Alat Cetak Mekanis. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 1(3), 172–176.
- Utami, P. R., Anisah, & Murtinugraha, R. E. (2023). Pemanfaatan Campuran Fly Ash dan Ldpe Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Paving Block. *Teknik Sipil*, 18, 11–19.

