

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *FLY ASH* PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK* SEBAGAI ALTERNATIF AGREGAT HALUS

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Stevenus Sumber Rezeki Tambun.

NIM : 30202300221

Tsaqifudien Adani.

NIM : 30202300225

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* pada Pembuatan *Paving Block*
sebagai Alternatif Agregat Halus**



Stevenus Sumber Rezeki T
NIM : 30202300221



Tsaqifudien Adani
NIM : 30202300225

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Sumirin,MS.**
NIDN: 0004056302
2. **Dr. Ir Juny Andry Sulisty,ST.,MT.**
NIDN: 0611118903

Tanda Tangan

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the top.

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'M' and 'A'.

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 78 / A.2 / SA – T / XII / 2024

Pada hari ini tanggal 9 Desember 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama :

Nama : Dr. Ir. Sumirin,MS.
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Stevenus Sumber Rezeki Tambun.
NIM : 30202300221

Tsaqifudien Adani.
NIM : 30202300225

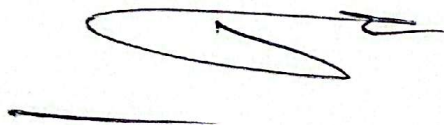
Judul : Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* pada Pembuatan *Paving Block* sebagai Alternatif Agregat Halus.

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	09/12/2024	
2	Seminar Proposal	22/04/2025	ACC
3	Pengumpulan data	29/04/2025	
4	Analisis data	28/05/2025	
5	Penyusunan laporan	03/06/2025	
6	Selesai laporan	19/07/2025	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Ir. Sumirin, MS.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Stevenus Sumber R. NAMA : Tsaqifudien Adani.
NIM : 30202300221 NIM : 30202300225

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* pada Pembuatan *Paving Block* sebagai Alternatif Agregat Halus.**

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Stevenus Sumber R. Tsaqifudien Adani.
NIM : 30202300221 NIM : 30202300225

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Stevenus Sumber R. Nama : Tsaqifudien Adani.

NIM : 30202300221 NIM : 30202300225

JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* pada Pembuatan *Paving Block* sebagai Alternatif Agregat Halus.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Juli 2025
Yang membuat pernyataan,



Stevenus Sumber R. Tsaqifudien Adani.
NIM : 30202300221 NIM : 30202300225

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”
(QS. Al-Insyirah: 6)

“Tuhan tidak akan membebani seseorang melampaui kemampuannya.”
(QS. Al-Baqarah: 286)

“Tidak ada keberhasilan tanpa kerja keras.”

“Proses tidak akan mengkhianati hasil.”

“Lelah itu biasa, menyerah itu bukan pilihan.”

“Berani memulai, berani berjuang, dan siap untuk berhasil.”

“Langkah kecil hari ini adalah awal dari masa depan yang besar.”

“Ilmu tanpa amal adalah sia-sia, amal tanpa ilmu adalah buta.”

“Belajar adalah investasi yang tak pernah rugi.”

“Skripsi ini bukanlah akhir, tapi awal dari perjuangan berikutnya.”

“Man jadda wajada.”

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap Alhamdulillah dan Syukur kepada Allah SWT, saya persembahkan Laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Bapak Sigid Hani Wibowo dan Ibu Hindratmi, serta keluarga yang telah memberikan doa, kasih sayang dan dukungan baik secara moril maupun materi selama mengerjakan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Sumirin,MS. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan saran dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Aulia Rahma Novitasari, S.Pt. selaku sahabat yang telah banyak membantu penulis selama mengerjakan dan menyusun laporan tugas akhir ini dan juga selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis, juga tidak pernah lelah untuk menyemangati penulis.
4. Ade Irfan Oktavian, Dewa Akbar Indiarto, Dicky Dwi Prasetyo, Stevenus Sumber Rezeki Tambun, dan Zaky Dinu Santosa selaku teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu selama mengerjakan laporan tugas akhir ini.
5. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama penyusunan laporan tugas akhir ini.



Tsaqifudien Adani.
NIM : 30202300225

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* pada Pembuatan *Paving Block* sebagai Alternatif Agregat Halus”. guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapat bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., 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 Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Sumirin, MS., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Juli/2025



Stevenus Sumber Rezeki dan
Tsaqifudien Adani.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1. Paving Block	7
2.2.2. Bahan-bahan penyusun Paving Block	11
2.3 Pemeriksaan Material	17

2.3.1	Gradasi Pasir.....	17
2.3.2	Berat Isi.....	19
2.3.3	Kadar Lumpur.....	20
2.4	Pembuatan Paving Block.....	21
2.5	Pengujian Paving Block.....	22
2.3.1	Pengujian Kuat Tekan.....	22
2.3.2	Pengujian Daya Serap Air	23
BAB III METODE ANALISIS		25
3.1	Metode Penelitian	25
3.2	Lokasi Penelitian.....	25
3.3	Waktu Penelitian.....	26
3.4	Teknik Pengumpulan Data	26
3.4.1	Sumber Data.....	26
3.5	Variabel Penelitian.....	27
3.6	Bahan dan Peralatan.....	28
3.6.1	Bahan.....	28
3.6.2	Peralatan	30
3.7	Pembuatan Benda Uji	33
3.8	Perawatan Benda Uji	34
3.9	Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	36
3.10	Tahapan Analisis Data.....	38
3.11	Jenis dan Sampel Pengujian.....	38
3.12	Roadmap Produk Paving Block Inovasi.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Pemeriksaan Material.....	42

4.1.1	Air.....	42
4.1.2	Semen	42
4.1.3	Pemeriksaan Gradasi Pasir	42
4.1.4	Pemeriksaan Berat Jenis	44
4.1.5	Pemeriksaan Kadar Lumpur	45
4.2	Perencanaan Campuran Paving Block.....	46
4.3	Pengujian Kuat Tekan Paving Block.....	48
4.4	Pengujian Daya Serap Air Paving Block	58
4.5	Analisis Peningkatan Kuat Tekan dan Daya Serap Air	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....		71
LAMPIRAN.....		73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Metode Konvensional	10
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Metode <i>Press Hydraulic</i>	10
Gambar 3. 1 Lokasi Pembuatan <i>Paving Block</i>	26
Gambar 3. 2 Hubungan Variabel Penelitian	28
Gambar 3. 3 Air	29
Gambar 3. 4 Semen <i>Portland</i>	29
Gambar 3. 5 Pasir.....	30
Gambar 3. 6 Limbah <i>Fly Ash</i>	30
Gambar 3. 7 Mesin <i>Press</i>	31
Gambar 3. 8 Cetakan <i>Paving Block</i>	31
Gambar 3. 9 Ayakan	31
Gambar 3. 10 Timbangan.....	32
Gambar 3. 11 Sekop dan cetok.....	32
Gambar 3. 12 Gelas Ukur	33
Gambar 3. 13 Oven.....	33
Gambar 3. 14 <i>Compressed Testing Machine</i>	34
Gambar 3. 15 Proses Pembuatan <i>Paving Block</i>	35
Gambar 3. 16 <i>Paving Block</i> Setelah Melalui Uji Kuat Tekan Dengan CTM.....	36
Gambar 3. 17 Proses Pengeringan <i>Paving Block</i> Menggunakan <i>Oven</i>	37
Gambar 3. 18 Proses Perendaman <i>Paving Block</i>	37
Gambar 3. 19 Dimensi <i>Paving Block</i>	39
Gambar 3. 20 Diagram Alir Rencana Penelitian.....	40
Gambar 3. 21 <i>Roadmap</i> Produk.....	42
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Hasil Analisis Pasir	42
Gambar 4. 2 Grafik Kuat Tekan Rata-Rata <i>Paving Block</i>	54
Gambar 4. 3 Grafik Daya Serap Air Pada <i>Paving Block</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kekuatan Fisik <i>Paving Block</i> (SNI 03-0691-1996).....	8
Tabel 2. 2 Unsur-unsur dalam semen	12
Tabel 2. 3 Syarat Batas Gradasi Pasir	18
Tabel 2. 4 Jenis-jenis <i>paving block</i> berdasarkan nilai kuat tekan.....	23
Tabel 2. 5 Jenis-jenis <i>paving block</i> berdasarkan persentase daya serap air.....	23
Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir	41
Tabel 4. 2 Pemeriksaan Berat Jenis Pasir	43
Tabel 4. 3 Perbandingan Bahan Penyusun <i>Paving Block (Mix Design)</i>	45
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 7 Hari.....	46
Tabel 4. 5 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 14 Hari.....	46
Tabel 4. 6 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 28 Hari.....	46
Tabel 4. 7 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 7 Hari.....	46
Tabel 4. 8 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 14 Hari.....	47
Tabel 4. 9 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 28 Hari.....	47
Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 7 Hari.....	47
Tabel 4.11 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 14 Hari.....	47
Tabel 4.12 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 28 Hari.....	47
Tabel 4.13 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 7 Hari.....	47
Tabel 4.14 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 14 Hari.....	48
Tabel 4.15 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 28 Hari.....	48
Tabel 4.16 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 7 Hari.....	48
Tabel 4.17 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 14 Hari.....	48
Tabel 4.18 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 28 Hari.....	48
Tabel 4.19 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 7 Hari.....	48
Tabel 4.20 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 14 Hari.....	49
Tabel 4.21 Hasil Uji Kuat Tekan Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 28 Hari.....	49
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0%.....	50
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10%...50	50
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15%...50	50
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20%...51	51
Tabel 4.26 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25%...51	51
Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30%...51	51

Tabel 4.28	Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 7 Hari.....	52
Tabel 4.29	Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 14 Hari....	52
Tabel 4.30	Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 28 Hari...	53
Tabel 4.31	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 7 Hari.....	56
Tabel 4.32	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 14 Hari.....	56
Tabel 4.33	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 0% Umur 28 Hari.....	56
Tabel 4.34	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 7 Hari.....	56
Tabel 4.35	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 14 Hari...	57
Tabel 4.36	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 10% Umur 28 Hari...	57
Tabel 4.37	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 7 Hari.....	57
Tabel 4.38	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 14 Hari...	57
Tabel 4.39	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 15% Umur 28 Hari...	57
Tabel 4.40	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 7 Hari.....	58
Tabel 4.41	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 14 Hari...	58
Tabel 4.42	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 20% Umur 28 Hari...	58
Tabel 4.43	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 7 Hari.....	58
Tabel 4.44	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 14 Hari...	58
Tabel 4.45	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 25% Umur 28 Hari...	59
Tabel 4.46	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 7 Hari.....	59
Tabel 4.47	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 14 Hari...	59
Tabel 4.48	Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Variasi Limbah <i>Fly Ash</i> 30% Umur 28 Hari...	59
Tabel 4.49	Rekapitulasi Uji Daya Serap Air Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 7 Hari.....	60
Tabel 4.50	Rekapitulasi Uji Daya Serap Air Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 14 Hari.....	60
Tabel 4.51	Rekapitulasi Uji Daya Serap Air Rata-rata <i>Paving Block</i> Umur 28 Hari.....	60
Tabel 4.52	Persentase Kenaikan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Inovasi Terhadap Normal....	62
Tabel 4.53	Persentase Penurunan Daya Serap <i>Paving Block</i> Inovasi Terhadap Normal ..	62

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *FLY ASH* PADA
PEMBUATAN *PAVING BLOCK* SEBAGAI ALTERNATIF
AGREGAT HALUS**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pembakaran batu bara (*fly ash*) sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block*, menggantikan sebagian agregat halus (pasir). *Fly ash* merupakan limbah anorganik yang bersifat pozolanik dan mengandung senyawa silika dan alumina yang dapat meningkatkan kualitas beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah industri serta menciptakan produk *paving block* yang berkualitas dan ramah lingkungan.

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan komposisi campuran *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat pasir. Proses pencampuran dilakukan secara manual, kemudian *paving block* dicetak dengan mesin *press* dan dilakukan perawatan selama 28 hari. Pengujian meliputi kuat tekan dan daya serap air *paving block* pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk mengetahui karakteristik material yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* sebesar 15% dan 20% memberikan hasil terbaik terhadap mutu *paving block* pada umur 28 hari, dengan peningkatan kuat tekan berturut-turut sebesar 19,79 MPa dan 22,00 Mpa, serta penurunan daya serap air berturut-turut sebesar 5,35% dan 5,37%. Variasi tersebut menghasilkan *paving block* dengan mutu tinggi (B) yang sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. *Fly ash* terbukti efektif digunakan sebagai bahan tambah *paving block* dan menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan limbah industri.

Kata Kunci: *fly ash*; *paving block*; kuat tekan; daya serap air; limbah industri; beton ramah lingkungan.

***EXPERIMENTAL STUDY ON THE USE OF FLY ASH IN
MAKING PAVING BLOCKS AS AN ALTERNATIVE
TO FINE AGGREGATE***

ABSTRACT

This research aims to utilize coal combustion waste (fly ash) as an additive in paving block production, partially replacing fine aggregate (sand). Fly ash is an inorganic waste with pozzolanic properties and contains silica and alumina compounds that can improve concrete quality. This research was conducted to reduce environmental pollution caused by industrial waste and to create high-quality, environmentally friendly paving block products.

The research used an experimental method with fly ash mixture compositions of 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of the sand weight. The mixing process was carried out manually, then the paving blocks were molded using a press and cured for 28 days. Tests included compressive strength and water absorption of the paving blocks at 7, 14, and 28 days to determine the characteristics of the resulting material.

The results showed that the addition of fly ash of 15% and 20% gave the best results for the quality of paving blocks at the age of 28 days, with an increase in compressive strength of 19.79 MPa and 22.00 MPa, respectively, and a decrease in water absorption of 5.35% and 5.37%, respectively. These variations produced paving blocks with high quality (B) that comply with the SNI 03-0691-1996 standard. Fly ash has proven to be effective as an additional material for paving blocks and is an alternative solution in industrial waste management.

Keywords: fly ash; paving blocks; compressive strength; water absorption; industrial waste; environmentally friendly concrete.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* (bata beton) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. *Paving block* ini biasanya digunakan untuk perkerasan jalan seperti trotoar, area parkir, kawasan pemukiman atau kompleks perumahan, taman, dan lain – lain.

Berdasarkan sifatnya limbah dibedakan menjadi 2, yaitu limbah anorganik dan organik. Menurut Nandy (2020), limbah anorganik adalah semacam sampah atau sisa bahan yang tidak mudah membusuk dan bukan berasal dari makhluk hidup. Limbah anorganik dapat berupa plastik, botol beling atau kaca, kaleng, kertas, dan pembungkus makanan lainnya. Menurut Latifah (2017), limbah organik merupakan limbah yang dapat diuraikan secara sempurna melalui proses biologi baik aerob maupun anaerob. Limbah organik yang dapat diurai melalui proses biologi mudah membusuk, seperti sisa makanan, sayuran, potongan kayu, daun-daun kering, dan sebagainya.

Fly ash adalah residu berbentuk abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau industri lainnya. Karena berasal dari bahan mineral dalam batu bara, *fly ash* mengandung berbagai senyawa anorganik seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Limbah anorganik seperti *fly ash* tidak mudah terurai secara alami dan dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Namun, *fly ash* juga dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti campuran beton, bahan baku semen, dan stabilisasi tanah.

Fly ash dianggap sebagai benda yang tidak memiliki nilai, oleh sebab itu diperlukan suatu proses pengolahan agar *fly ash* dapat menghasilkan sesuatu yang bernilai. Menurut SNI 03-6414-2002, *fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku PLTU yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozzolanik. Pozzolan adalah bahan yang bersifat mengikat, karena *fly ash* mengandung silika dan

aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida, maka *fly ash* dapat dijadikan sebagai campuran beton, *paving block*, dan batako. Berdasarkan peraturan pemerintah No.22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *fly ash* termasuk limbah Non B3 terdaftar. Dengan dikategorikannya *fly ash* sebagai limbah Non B3 terdaftar, maka *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai material pada sektor infrastruktur dalam hal ini dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus atau pasir untuk pembuatan *paving block* yang lebih berkualitas (Tampubolon, J. 2023)

Dari uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian pembuatan *paving block* dengan menggunakan campuran atau bahan tambah yaitu sisa pembakaran batu bara atau *fly ash* yang merupakan limbah industri sebagai pengganti sebagian pasir guna mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap karakteristik pada *paving block*. Untuk mutu *paving block* yang dibuat dengan campuran *fly ash* diharapkan menghasilkan kualitas yang baik dan tahan lama serta dapat menjadi solusi pengurangan risiko dampak pencemaran yang dihasilkan oleh limbah yang tidak terpakai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai kuat tekan maksimum pada *paving block* dengan menggunakan campuran *fly ash* sebagai alternatif agregat halus dan diperoleh menggunakan komposisi campuran berapa persentase nilai kuat tekan maksimum?
2. Berapa nilai daya serap air minimum pada *paving block* dengan menggunakan campuran *fly ash* sebagai alternatif agregat halus dan diperoleh menggunakan komposisi campuran berapa persentase nilai daya serap air minimum?
3. Berapa perbedaan nilai kuat tekan *paving block* pada umur 7, 14, dan 28 hari?
Dan apakah ada pengaruh umur *paving block* terhadap nilai kuat tekan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai kuat tekan maksimum pada *paving block* dengan variasi bahan tambah *fly ash* sebagai alternatif agregat halus.
2. Mengetahui nilai daya serap air minimum pada *paving block* dengan variasi bahan tambah *fly ash* sebagai alternatif agregat halus.
3. Mengetahui pengaruh umur terhadap nilai kuat tekan *paving block* yaitu di umur 7, 14, dan 28 hari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Menciptakan produk inovasi dari *paving block* yang ramah lingkungan dan berkualitas serta bernilai ekonomis bagi pembuatnya.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh kuat tekan dan daya serap air *paving block* dengan menggunakan limbah sisa pembakaran batu bara atau *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir.
3. Memberikan informasi dalam bidang ilmu pengetahuan bahan bangunan pengaruh limbah sisa pembakaran batu bara atau *fly ash* terhadap kuat tekan dan daya serap air pada *paving block*.
4. Memberikan informasi untuk mengurangi efek pencemaran lingkungan akibat pencemaran limbah sisa pembakaran batu bara atau *fly ash* yang merupakan limbah pabrik atau limbah industri yang sampai sekarang belum dimanfaatkan secara efektif.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk lebih mempermudah penelitian ini perlu adanya batasan – batasan sebagai berikut :

1. *Paving block* dibuat menggunakan campuran limbah sisa pembakaran batu bara atau *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir.
2. *Fly ash* yang digunakan merupakan *fly ash* tipe F yang lolos saringan 4,8 mm.
3. Komposisi persentase penggunaan *fly ash* dengan variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat pasir sebagai pengganti sebagian pasir.
4. Pencampuran bahan dilakukan secara manual.
5. Pengujian kuat tekan dan daya serap air *paving block* yang sudah berumur 7, 14, dan 28 hari.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Doni pada tahun 2024 menyatakan bahwa penambahan limbah batu bara (*fly ash*) pada pembuatan *paving block hexagonal* dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% mengalami penambahan nilai kekuatan kuat tekan dengan masing – masing sampel benda uji sebesar 15,89 MPa, 24,88 MPa, 24,59 Mpa, 22,56 Mpa, dan 21,39 Mpa. Dibandingkan dengan kualitas paving yang direncanakan tanpa menggunakan campuran sama sekali yaitu sebesar 15,13 MPa. Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa penambahan limbah batu bara (*fly ash*) dapat digunakan sebagai bahan tambah guna memperbaiki daya kuat tekan dari *paving block*.

Penelitian perbandingan kuat tekan *paving block* ramah lingkungan berbasis limbah *fly ash* sebagai bahan substitusi terhadap semen yang pernah dilakukan oleh Rahim, Mustakim, dan Misbahuddin pada tahun 2024. Hasil pengujian kuat tekan *paving block* balok berukuran 21cm x 10cm x 8cm pada variasi campuran limbah *fly ash* dengan variasi campuran masing – masing 10%, 20%, dan 30% menghasilkan kuat tekan rata-rata *paving block* secara berturut-turut sebesar 14,23 MPa, 13,49 MPa, dan 11,14 MPa menyatakan bahwa yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi adalah pada variasi campuran pada persentase 10% pada umur 28 hari yaitu sebesar 14,23 MPa, dan hasil pengujian kuat tekan *paving block* kubus berukuran 8cm x 8cm x 8cm pada variasi campuran limbah *fly ash* dengan variasi campuran masing – masing 10%, 20% dan 30% menghasilkan kuat tekan rata-rata *paving block* secara berturut-turut sebesar 12,27 MPa, 10,63 MPa, dan 8,67 MPa menyatakan bahwa yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi adalah pada variasi campuran dengan persentase campuran 10% pada umur 28 hari yaitu sebesar 12,27 MPa .

Penelitian *paving block* dengan campuran *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% yang pernah dilakukan oleh

Pratama pada tahun 2021. Dalam penelitian tersebut menyatakan bahwa, pada pengujian kuat tekan nilai yang dihasilkan *paving block* adalah masing-masing sebesar 18,52 MPa, 18,47 MPa, 19,67 MPa, 17,23 MPa, 16,93 MPa, dan 14,61 MPa dan pada pengujian daya serap air nilai yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran yaitu sebesar 5,07%, 4,33%, 4,20%, 4,49%, 6,13%, dan 6,23%. Dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan *paving block* dengan dengan bahan tambah *fly ash* mengalami peningkatan terbesar di variasi 10% yaitu di angka 19,67 MPa, nilai persentase daya serap air paling sedikit juga terjadi di variasi 10% yaitu di 4,20% yang menyebabkan kualitas mutu pada *paving block* menjadi bertambah.

Penelitian kuat tekan *paving block* dengan campuran *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi persentase *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% pernah dilakukan oleh Harystama, Fathoni dan Azizi pada tahun 2020. Pada penelitian tersebut dilakukan pengujian kuat tekan *paving block* pada setiap sampel benda uji umur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan *paving block* tersebut menunjukkan nilai kuat tekan *paving block* berurutan dari sampel penambahan *fly ash* terkecil hingga terbesar yaitu sebesar 7,22 Mpa, 8,1 Mpa, 8,42 Mpa, dan 9,34 Mpa. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa takaran persentase *fly ash* yang baik untuk desain *paving block* adalah sebesar 20%.

Penelitian *paving block* berbentuk balok berukuran 21cm x 10,5cm x 6cm dengan bahan tambah *fly ash* variasi persentase sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% yang pernah dilakukan oleh Utami, Anisah, dan Martinugraha pada tahun 2023, menyatakan bahwa hasil pengujian kuat tekan pada *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* berturut-turut sebesar 17,3 MPa, 16 MPa, 20 MPa, 15,3 MPa, 12 MPa dan 10 MPa dan pada pengujian daya serap air pada *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* yaitu masing – masing sebesar 7%, 4,2%, 2,6% 3,1%, 2,8% dan 4,3%. Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa *paving block* dengan campuran *fly ash* mengalami peningkatan nilai kuat tekan optimum pada variasi campuran 7,5% yaitu sebesar 20 MPa, di lain sisi pada persentase nilai daya serap air mengalami penurunan atau nilai daya serap air minimum pada variasi campuran 7,5% yaitu sebesar 2,6% sehingga menyebabkan mutu *paving block* menjadi bertambah.

Berdasarkan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah dalam penelitian ini produk yang akan dibuat adalah *paving block* pola ubin dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm dan kombinasi komposisi variasi campuran yang digunakan adalah limbah batu bara atau yang biasa dikenal dengan sebutan *fly ash*, limbah batu bara (*fly ash*) digunakan persentase 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari persentase pasir dengan perbandingan campuran untuk semen dan pasir yaitu 1:3. Pengujian nilai kuat tekan dan daya serap air dilakukan pada *paving block* yang sudah berumur 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah batu bara atau *fly ash* terhadap kuat tekan dan daya serap air pada produk *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Paving Block*

Paving block merupakan material bangunan yang terbuat dari campuran semen portland, air, dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu daripada beton tersebut dan digunakan sebagai lapisan atas struktur jalan selain beton dan aspal. (Abdussalam, dkk. 2017). Perkerasan dengan *paving block* merupakan konstruksi yang ramah lingkungan dimana *paving block* sangat baik dalam membantu konservasi air tanah, pelaksanaannya lebih cepat, mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan, memiliki aneka ragam bentuk yang menambah nilai estetika, serta harganya yang terjangkau.

Menurut SNI 03-0691-1996 bata beton atau *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu batan beton itu.

Sebagai bahan penutup dan pengerasan permukaan tanah, *paving block* sangat luas penggunaannya untuk berbagai keperluan, mulai dari keperluan yang sederhana sampai penggunaan yang memerlukan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk pengerasan dan memperindah trotoar jalan di kota – kota, pengerasan jalan di komplek perumahan atau kawasan pemukiman, memperindah

taman, pekarangan rumah, lahan parkir, area perkantoran, pabrik, halaman sekolah, serta di kawasan hotel dan restoran. *Paving block* dapat digunakan pada area khusus seperti pada pelabuhan peti kemas, bandar udara, terminal bis, dan stasiun kereta (Handayasari, dkk . 2019).

A. Syarat Mutu *Paving Block*

Syarat mutu yang harus dipenuhi *paving block* untuk lantai menurut SNI- 03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

1. Sifat tampak

Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak – retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapuhkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimal 60 mm dengan toleransi kurang lebih 8%

3. Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat – sifat fisika seperti pada tabel 3.1

Tabel 2.1 Kekuatan Fisik *Paving Block* (SNI 03-0691-1996)

No.	Kuat tekan (kg/cm ²)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata – rata maksimum (%)
	Rata - rata	Min	Rata - rata	Min	
A	400	350	0,090	0,103	3
B	200	170	0,130	0,149	6
C	150	125	0,160	0,184	8
D	100	85	0,219	0,251	10

Dari tabel standar SNI 03-0691-1996 di atas, *paving block* diklasifikasikan berdasarkan kegunaannya menjadi :

- a) Mutu A : digunakan untuk perkerasan jalan.
- b) Mutu B : digunakan untuk tempat parkir.
- c) Mutu C : digunakan untuk pejalan kaki.

d) Mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

4. Ketahanan terhadap natrium sulfat

Bata beton apabila diuji dengan larutan natrium sulfat tidak boleh cacat dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

Paving block yang dijual yang di pasaran memiliki bermacam – macam bentuk dan ukuran sesuai dengan kebutuhan, salah satunya adalah *paving block* ukuran persegi yang sering digunakan sebagai pengerasan jalan perumahan, sekolah dan lain – lain.

Dimensi *paving block* persegi memiliki ukuran :

1. Panjang dan lebar berukuran 20 cm dengan toleransi 2 mm.
2. Tebal antara 6, 8, dan 10 cm dengan toleransi 3 mm, dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a) *Paving block* 6 cm, digunakan untuk lalu lintas ringan dan terbatas pada pejalan kaki
 - b) *Paving block* 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas sedang dan terbatas pada transportasi *pick up*, truk hingga bis
 - c) *Paving block* 10 cm, digunakan untuk beban lalu lintas berat, banyak digunakan untuk daerah industri dan pelabuhan karena banyaknya penggunaan *crane* atau alat berat lain.

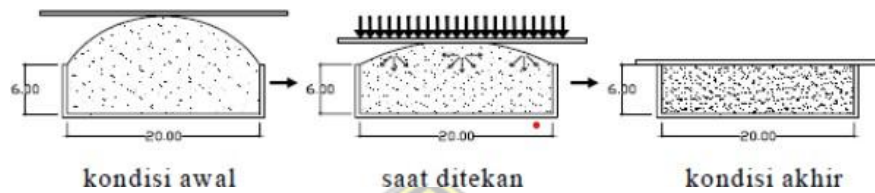
B. Metode Pembuatan *Paving Block*

Cara pembuatan *paving block* yang digunakan dalam masyarakat dapat diklasifikasikan menjadi dua metode (Pamungkas dan Harunnisa.2007), yaitu :

1. Metode konvensional (manual)

Cara pembuatan *paving block* yang biasanya digunakan dalam masyarakat dan lebih dikenal dengan metode gablokan. Pembuatan *paving block* cara konvensional dilakukan dengan menggunakan alat gablokan dengan beban pemadatan yang berpengaruh terhadap tenaga orang yang mengerjakan. Metode ini banyak digunakan oleh masyarakat sebagai industri rumah tangga karena selain alat yang digunakan sederhana, juga mudah dalam proses pembuatannya

sehingga dapat dilakukan oleh siapa saja. Semakin kuat tenaga pekerja yang mengerjakan maka akan semakin padat dan kuat *paving block* yang dihasilkan. Dilihat dari cara pembuatannya, akan mengakibatkan pekerja cepat kelelahan karena proses pemadatan dilakukan dengan menghantam alat pemadat pada adukan yang berada dalam cetakan.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Metode Konvensional

(Pamungkas dan Harunnisa.2007)

2. Cara *press hydraulic* (mesin)

Alat *press paving block* yang digerakan dengan tenaga mesin (diesel), alat *press* hidrolis dapat menghasilkan kualitas *paving block* yang baik, karena tekanan yang diberikan pada tiap – tiap *paving* lebih merata dan tekanan yang diberikan juga lebih besar, sehingga *paving block* yang dibuat dengan alat *press* hidrolis lebih padat dari pada yang dibuat dengan alat *press* manual. Alat *press* hidrolis maksimal kapasitasnya 1000 buah/hari.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Metode *Press Hydraulic*

(Pamungkas dan Harunnisa.2007)

C. Keunggulan dan Kelemahan *Paving Block*

Keunggulan dan kelemahan dalam penggunaan *paving block* (Yahya, 2018) adalah sebagai berikut :

1. Keunggulan *paving block*

- a) *Paving block* lebih mudah dihamparkan dan langsung dapat digunakan tanpa harus menunggu pengerasan seperti pada beton.
- b) Perbandingan harganya yang lebih rendah daripada jenis perkerasan yang lain.
- c) Penyerapan air tinggi sehingga dapat mengurangi genangan air.
- d) Bentuk yang beragam menjadikan perkerasan yang menggunakan *paving block* mempunyai banyak pilihan bentuk, sehingga bentuk estetis perkerasan dapat diperlihatkan.
- e) Pelaksananya mudah serta tidak membutuhkan alat berat, sehingga dapat diproduksi secara masal.

2. Kelemahan *paving block*

- a) Pasangan *paving block* mudah bergelombang apabila pondasinya tidak terlalu kuat.
- b) *Paving block* kurang cocok digunakan untuk lahan yang dilalui dengan kendaraan berkecepatan tinggi dan perkotaan yang padat.
- c) Sering terjadi pemasangan yang kurang cocok, sehingga mudah lepas dari sambungannya dan menghasilkan jalan yang tidak merata.

2.2.2 Bahan – bahan penyusun *Paving Block*

Untuk menghasilkan *paving block* yang berkualitas ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan, dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu bahan, komposisi campuran dan proses pencetakan maka *paving block* yang dihasilkan akan semakin baik pula (Wibowo, 2018). Bahan – bahan penyusun *paving block* umumnya terdiri dari semen portland, agregat halus dan air. Tetapi ada juga *paving block* yang menggunakan bahan tambahan misalnya limbah *fly ash*, serbuk keramik, serbuk kaca dan lain – lain.

A. Semen Portland

Definisi semen portland menurut SNI 15-2049-2004 adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri

atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Jenis dan penggunaan semen portland di Indonesia menurut SNI 15-2049-2004 dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya sebagai berikut :

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum tanpa memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen portland mengandung unsur kalsium dan alumunium silika yang dibuat dari bahan utama *limestone* yang mengandung kalsium oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO_2) serta alumunium oksida (Al_2O_3). Semen portland mengandung unsur utama kapur, silika, alumina dan oksida besi. Unsur – unsur tersebut kemudian berinteraksi satu sama lain selama proses peleburan. Persentase unsur kimia semen portland menurut (Tjokrodimuljo, 2007), dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Unsur – unsur dalam semen (Tjokrodinuljo, 2007)

Unsur kimia dalam semen	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Oxid Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesium (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	0,5 – 1
Soda/Potash (Na ₂ O + K ₂)	0,5 – 1

Fungsi semen adalah mengikat butir – butir agregat menjadi satu padat. Semen bila di campur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air akan menjadi mortar semen. Kemudian akan terjadi proses hidrasi dimana mortar akan mengeras sering bertambahnya umur mortar beton, beton dikatakan mengeras sempurna pada usia 28 hari, dikatakan demikian sebab beton pada usia 1 28 hari terjadi peningkatan yang signifikan dan setelah lebih dari 28 hari tetap terjadi peningkatan akan tetapi peningkatan yang terjadi sangatlah kecil.

Secara garis besar ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland (Mulyono, 2004) yaitu:

1. Trikalsium Silikat (3CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₃S.

Senyawa C₃S jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke – 14.

2. Dikalsium Silikat (2CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₂S.

Senyawa C₂S lebih lambat bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh terhadap semen setelah umur 7 hari. Senyawa C₂S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan.

3. Trikalsium Aluminat (3CaO. Al₂O₃) yang disingkat menjadi C₃A.

Senyawa C₃A bereaksi secara *exothermic* dan bereaksi sangat cepat pada 24 jam pertama. C₃A bereaksi dengan air yang jumlahnya sekitar 40% dari beratnya.

Karena persentasinya dalam semen yang kecil sekitar (10%), maka pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. Unsur ini sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada saat awal maupun pada saat pengerasan berikutnya yang sangat panjang.

4. Tetrakalsium Aluminoforit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF . Senyawa C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil.

Jumlah kandungan semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jumlah semen terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit, sehingga adukan beton sulit dipadatkan dan kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan, sehingga beton mempunyai banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah (SNI 03-2834-2002).

B. Agregat Halus (Pasir)

Dalam susunan beton, agregat mempunyai volume paling besar yaitu antara 60 – 80% dari volume beton, dengan demikian sifat agregat yang dipakai sangat mempengaruhi kualitas beton. Untuk itu diperlukan data yang jelas mengenai agregat yang akan digunakan dalam campuran beton, sehingga komposisi campuran dapat direncanakan dengan tepat, sesuai dengan kualitas beton yang diinginkan (Tjokrodinuljo, 2007).

Penggunaan agregat dalam adukan beton bertujuan sebagai berikut :

1. Menghemat penggunaan semen.
2. Menghasilkan kuat tekan beton yang besar.
3. Memperoleh kepadatan beton optimal dengan memanfaatkan gradasi agregat yang baik.
4. Menjadikan sifat dapat dikerjakan pada adukan beton dengan memakai gradasi agregat yang baik.

Sesuai dengan SK SNI-2-04-1989-F:28 tentang spesifikasi agregat sebagai material bangunan, maka agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras
2. Butiran – butiran pasir harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau mudah hancur akibat pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat pembanding). Yang dimaksud lumpur adalah bagian dari benda uji yang lolos ayakan 0.063 mm. apabila kandungan lebih dari 5% maka pasir harus dicuci.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan – bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams – Harder* (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat dipakai asal kuat tekan adukan pada umur 7 hari dan 28 hari adalah tidak kurang dari 95% kekuatan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci dengan air hingga bersih lagi pada umur yang sama.
5. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 s/d 3,8 dan terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut daerah I,II,III atau IV dan memenuhi syarat – syarat :
 - a. Sisa di atas ayakan 4,8 mm, minimal 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1,2 mm, minimal 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,30 mm, minimal 15% berat.
6. Untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
7. Pasir larut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pengujian bahan yang diakui.
8. Agregat halus yang digunakan untuk spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan agregat untuk pasir pasangan.

C. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan *paving block* yang memiliki harga paling murah diantara bahan yang lain. Penggunaan air digunakan untuk mereaksikan semen sehingga menghasilkan pasta semen yang berfungsi untuk mengikat agregat. Selain itu, fungsi air untuk membasahi agregat dan

memberi kemudahan dalam pengerjaan.

Air yang digunakan dalam pembuatan *paving block* harus bebas dari bahan-bahan merugikan seperti lumpur, tanah liat, bahan organik dan asam organik, alkali dan bahan – bahan lainnya (Mulyono, 2004). Sedangkan persyaratan air yang digunakan untuk campuran beton adalah :

1. Tidak mengandung lumpur, minyak atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam – garam yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO_3 .
3. Air harus bersih dan jernih.
4. Tingkat keasaman (pH) normal.
5. Jika dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaian.

Jumlah air akan mempengaruhi sifat mudah dikerjakan (*workability*) beton segar, kualitas beton segar dan kekuatan beton. Jumlah air ini ditentukan oleh perbandingan berat terhadap berat semen atau faktor air semen (fas) dan tingkat kemudahan pekerjaan. Untuk bereaksi dengan semen portland, air yang diperlukan hanya 25-30% saja dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 menyebabkan beton segar sulit dikerjakan. Pada pembuatan *paving block*, fas yang digunakan adalah 0,2 – 0,35 dari berat semen. Karena jika terlalu encer maka akan susah dalam pencetakan *paving block*.

D. Bahan Tambah Limbah Batu Bara (*Fly Ash*)

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik

(SNI 03-6414-2002). Lebih lanjut, *fly ash* adalah abu halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. *Fly ash* termasuk limbah berbahaya dan beracun. Kandungan kimianya sebagian besar terdiri dari: Silikat oksida (SiO_2), Aluminium (Al_2O_3), Besi (Fe_2O_3), Calcium (CaO), Potasium, Sodium, Titanium, dan Sulfur. *Fly ash* memiliki sifat pozzolanik dan mengandung kadar semen yang tinggi. Oleh karena itu *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan campuran pembuatan beton atau *paving block*. Penelitian ini memanfaatkan karakteristik yang dimiliki oleh *fly ash* tersebut guna membuat produk *paving block* yang kuat dan memiliki daya serap air yang baik sesuai dengan SNI 03-0691-1996. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe F

2.3 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material merupakan tindakan yang digunakan untuk mendapatkan bahan – bahan campuran yang memenuhi persyaratan, sehingga *paving block* yang dihasilkan sesuai dengan standar

2.3.1 Gradasi Pasir

Gradasi pasir adalah distribusi ukuran butir pasir. Bila butir – butir pasir mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori – porinya menjadi lebih sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi (Syefringga,2021)

Untuk menyatakan gradasi pasir, dipakai nilai persentase berat butiran yang tertinggal atau lewat dalam susunan ayakan. Susunan ayakan pasir yang dipakai adalah : 9,60 mm; 4,80 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; dan 0,15 mm. hasil yang diperoleh dari pemeriksaan gradasi pasir berupa modulus halus butir (MHB) dan tingkat kekasaran pasir. Berdasarkan SNI 03-1750-1990, Syarat modulus kehalusan agregat halus adalah 1,5 – 3,8. Modulus halus butir menunjukkan ukuran kehalusan atau kekasaran butir – butir agregat yang dihitung dari jumlah persen kumulatif tertahan dibagi 100. Semakin besar nilai MHB menunjukkan semakin besar butir – butir agregatnya.

SNI 03-2834-2002 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran pasir dapat dibagi menjadi empat daerah atau zona yaitu zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus), dan zona IV (halus), sebagaimana tampak pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Syarat Batas Gradasi Pasir (SNI 03-2834-2002)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Lolos Saringan Kumulatif (%)							
	Zona I		Zona II		Zona III		Zona IV	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
10	100	100	100	100	100	100	100	100
4,8	90	100	90	100	90	100	95	100
2,4	60	95	75	100	85	100	95	100
1,2	30	70	55	100	75	100	90	100
0,6	15	34	55	59	60	79	80	100
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50
0,15	0	10	0	10	0	10	0	15

Langkah – langkah pemeriksaan gradasi agregat halus :

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° C, hingga berat tetap.
2. Ayakan (saringan) disusun menurut susunan dengan lubang ayakan 9,60 mm; 4,80 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; dan 0,15 mm yang paling besar ditaruh paling atas kemudian secara berurutan lubang yang lebih kecil dibawahnya.
3. Agregat dimasukkan ke dalam ayakan yang paling atas.
4. Diayak agregat yang telah masuk ke dalam ayakan dengan tangan atau alat penggetar hingga jelas bahwa agregat telah terpisah satu sama lain. Ayakan ini diguncang selama kurang lebih 15 menit.
5. Agregat yang tertinggal di dalam masing – masing ayakan dipindahkan ke wadah lain atau kertas. Ayakan dibersihkan terlebih dahulu dengan sikat agar tidak ada butir – butir agregat yang tertinggal dalam ayakan.
6. Agregat kemudian ditimbang satu sama lain. Penimbangan sebaiknya dilakukan secara kumulatif yaitu dari butiran yang kasar terlebih dahulu, kemudian

ditambahkan dengan butiran yang lebih halus hingga semua butir ditimbang. Berat agregat dicatat pada setiap kali penimbangan. Penimbangan juga dilakukan dengan hati – hati agar semua butir tidak ada yang tidak ditimbang. Analisa saringan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Persentase berat tertahan} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat total}} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$\text{Modulus halus butir (MHB)} = \frac{\sum \text{Berat Tertahan Kumulatif}}{100} \quad (2.2)$$

2.3.2 Berat Isi

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat dan volume (termasuk rongga – rongga antara butir – butir baik agregat kasar maupun halus). Berat jenis dihitung berdasarkan berat pasir dalam suatu bejana dibagi volume bejana tersebut, sehingga yang dihitung adalah volume padat pasir (meliputi volume tertutup dan volume pori terbukanya (Syefringga,2021). Berdasarkan SNI 03-4804-1998, langkah – langkah pemeriksaan berat isi (satuan) adalah sebagai berikut :

1. Berat jenis (satuan) gempur atau lepas.
 - a. Disediakan benda uji (agregat halus dan kasar) yang mewakili agregat dilapangan.
 - b. Ditimbang dan dicatat berat tempat/wadah bejana (W_1)
 - c. Dimasukkan benda uji dengan perlahan – lahan (agar tidak terjadi pemisahan butiran) maksimum 5 cm dari atas wadah dengan mempergunakan sendok lalu datarkan permukaannya, jika perlu menggunakan mistar perata.
 - d. Ditimbang dan dicatat berat wadah/bejana yang berisi benda uji (W_2).
2. Berat Jenis (satuan) padat.
 - a. Diambil benda uji (agregat halus dan kasar) yang akan diperiksa yang mewakili agregat dilapangan.
 - b. Ditimbang dan dicatat berat/wadah (W_1).
 - c. Dimasukkan benda uji kedalam wadah lebih kurang 3 lapis yang sama ketebalannya, setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tumbukan secara merata. Setiap tusukan tidak boleh sampai ke lapisan sebelumnya.

- d. Diratakan permukaan benda uji sehingga rata dengan bagian atas bejana dengan menggunakan mistar perata (jika perlu).
- e. Ditimbang dan dicatat berat wadah/tempat yang berisi benda uji (W_2).

Berat Jenis (satuan) pasir dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\gamma_{\text{sat. pasir}} = \text{berat satuan pasir (gr/cm}^3\text{)} \quad (2.3) \quad (W_1) \quad =$$

berat wadah (gr)

$$(W_2) = \text{berat wadah yang berisi benda uji (gr)}$$

$$V = \text{volume wadah (cm}^3\text{)}$$

2.3.3 Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur merupakan cara untuk menetapkan banyaknya kandungan lumpur (tanah liat dan debu) terutama dalam pasir secara teliti. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat dalam agregat halus.

Langkah – langkah pemeriksaan kadar lumpur agregat adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan gelas ukur 100 ml,
2. Memasukkan agregat halus secukupnya ke dalam gelas ukur,
3. Memasukkan air bersih ke dalam gelas ukur yang terisi agregat halus hingga hampir penuh,
4. Melakukan pengadukan, dengan cara menutup mulut gelas ukur dengan rapat, kemudian mengocok gelas ukur tersebut secara berulang-ulang.
5. Setelah melakukan pengadukan, kemudian meletakkan gelas ukur tersebut di daerah yang aman dan dibiarkan selama 24 jam,
6. Melakukan pengukuran nilai tinggi total (T_1) dan tinggi pasir (T_2).

Setelah langkah kerja dilakukan, kadar lumpur yang sudah dilakukan pemeriksaan diharapkan mempunyai nilai $< 5 \%$. Kadar lumpur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Pesentase kadar lumpur

$$T_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan :

T_1 = Tinggi total (ml)

T_2 = Tinggi pasir (ml)

2.4 Pembuatan *Paving Block*

Pembuatan mortar atau adukan *paving block* dilakukan secara manual karena jumlah campuran bahan yang tidak terlalu banyak. Pencampuran bahan dilakukan hingga mortar menjadi homogen dan kemudian ditambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk.

1. Perhitungan dan penimbangan bahan

Semua bahan dihitung kemudian ditimbang sesuai dari kebutuhan dari masing – masing komposisi campuran yaitu semen portland, pasir, air, dan limbah *fly ash*. Komposisi campuran menggunakan perbandingan berat, sehingga kebutuhan bahan ditentukan dengan berat sesuai kebutuhan masing – masing variasi campuran. Perbandingan komposisi semen pasir adalah 1 pc : 3 ps dengan variasi penggunaan limbah *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat pasir untuk masing – masing 3 benda uji.

2. Pembuatan adukan

Langkah – langkah pembuatan adukan adalah sebagai berikut :

- a. Setelah masing – masing bahan ditimbang, bahan kemudian diaduk dalam keadaan kering hingga homogen dalam bak adukan. Langkah ini dilakukan agar pencampuran bahan – bahan tersebut bisa lebih mudah dan merata sehingga diharapkan mendapat hasil yang merata.
- b. Tuangkan air kedalam bak adukan dengan merata, kemudian aduk hingga didapatkan adukan yang merata selama 5 – 10 menit.

Proses pembuatan atau pencetakan *paving block* dilakukan dengan menggunakan alat cetak berukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm. bahan yang telah dicampur dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian campuran diratakan dengan cara dipress dengan mesin disel supaya campuran *paving block* lebih padat.

2.5 Pengujian *Paving Block*

2.5.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan guna mendapatkan hasil apakah penelitian yang dilakukan dengan cara menambahkan limbah *fly ash* dapat memperbaiki daya kuat tekan *paving block* atau sebaliknya.

Pelaksanaan pengujian kuat tekan *paving blok* harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Ambil benda uji yang akan diuji
2. Hitung luas penampang benda uji sebelum diuji sebagai data untuk perhitungan kuat tekan *paving block*
3. Letakkan benda uji pada mesin penekan dengan posisi yang datar kemudian contoh benda uji yang siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan.
4. Catat data beban yang terjadi sampai benda uji itu hancur dalam satuan kN.
5. Kemudian data beban hancur *paving block* dikonversi dari kN ke Kg dengan rumus :

$$\text{Besarnya beban tekan} = \text{Beban hancur} \times 101,097 \quad (2.5)$$

Keterangan :

Besarnya beban tekan = kg Beban hancur = kN.

1 kN = 101,097 Kg

Rumus perhitungan kuat tekan adalah sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan } (\sigma) = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

P = tekanan hancur (Kg)

A = luas penampang (cm²) 1 Kg/cm² = 0,0981 Mpa

Tabel 2.5 Jenis – jenis *paving block* berdasarkan nilai kuat tekan

Mutu	Kuat tekan (MPa)	
	Rata - rata	Minimal
A	40	35
B	20	17
C	15	12,5
D	10	8,5

Sumber : SNI 03-0691-1996

Keterangan :

1. *Paving block* mutu A digunakan untuk jalan
2. *Paving block* mutu B digunakan untuk peralatan parkir
3. *Paving block* mutu C digunakan untuk pejalan kaki
4. *Paving block* mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lain.

2.5.2 Pengujian Daya Serap Air pada *Paving Block*

Daya serap air merupakan persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air. Pori dalam butiran agregat mempunyai ukuran dengan variasi yang cukup besar. Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* dibagi menjadi 4 (empat) jenis kelas berdasarkan persentase penyerapan airnya.

Tabel 2.6 Jenis – jenis *paving block* berdasarkan persentase daya serap air.

Jenis	Penyerapan air rata – rata maksimum (%)
A	3
B	6
C	8
D	10

Sumber : SNI 03-0691-1996

Keterangan :

5. *Paving block* mutu A digunakan untuk jalan
6. *Paving block* mutu B digunakan untuk peralatan parkir
7. *Paving block* mutu C digunakan untuk pejalan kaki
8. *Paving block* mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lain.

Besar kecilnya penyerapan air pada benda uji sangat dipengaruhi oleh pori – pori atau rongga. Jika semakin banyak pori – pori yang terkandung dalam benda uji maka akan semakin besar pula penyerapan airnya sehingga ketahanannya akan berkurang, begitupun dengan sebaliknya (Masthura, dkk. 2020).

Daya serap air dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\%$$

M_b = Massa basah benda uji (gr) (2.7)

M_k = Massa kering benda uji (gr) (2.6)



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi ataupun data yang nantinya akan dianalisis sesuai dengan kerangka berpikirnya untuk mendapatkan kesimpulan dari apa yang telah diteliti. Untuk penelitian ini, metode yang diterapkan adalah metode eksperimental (pengujian), yaitu metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan (Sugiyono, 2016)..

3.2 Lokasi Penelitian

Pembuatan sampel benda uji *paving block* di toko bangunan Surya Agung yang beralamat di Desa Simo, Kecamatan Simo, Kabupaten Boyolali. Sedangkan lokasi pengujian dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi Dasar dan Laboratorium Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.



Gambar 3.1 Lokasi Pembuatan *Paving Block*

Sumber : Cropping Google Maps

3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dimulai dari bulan Februari 2025 dan direncanakan akan selesai pada bulan Juni 2025.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dengan beberapa variasi yang akan dibuat di laboratorium. Untuk beberapa hal pada penelitian ini menggunakan sumber data dan variabel penelitian sebagai berikut.

3.4.1 Sumber Data

Sumber data menurut Suharsimi Arikunto (2013:172) adalah subjek dari mana data dapat diperoleh. Sumber data pada penelitian ini diperoleh dari:

1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu: Analisis saringan agregat, berat jenis, pemeriksaan berat volume agregat, perbandingan dalam campuran *paving block (mix design)*, serta uji kuat tekan dan daya serap air *paving block*.

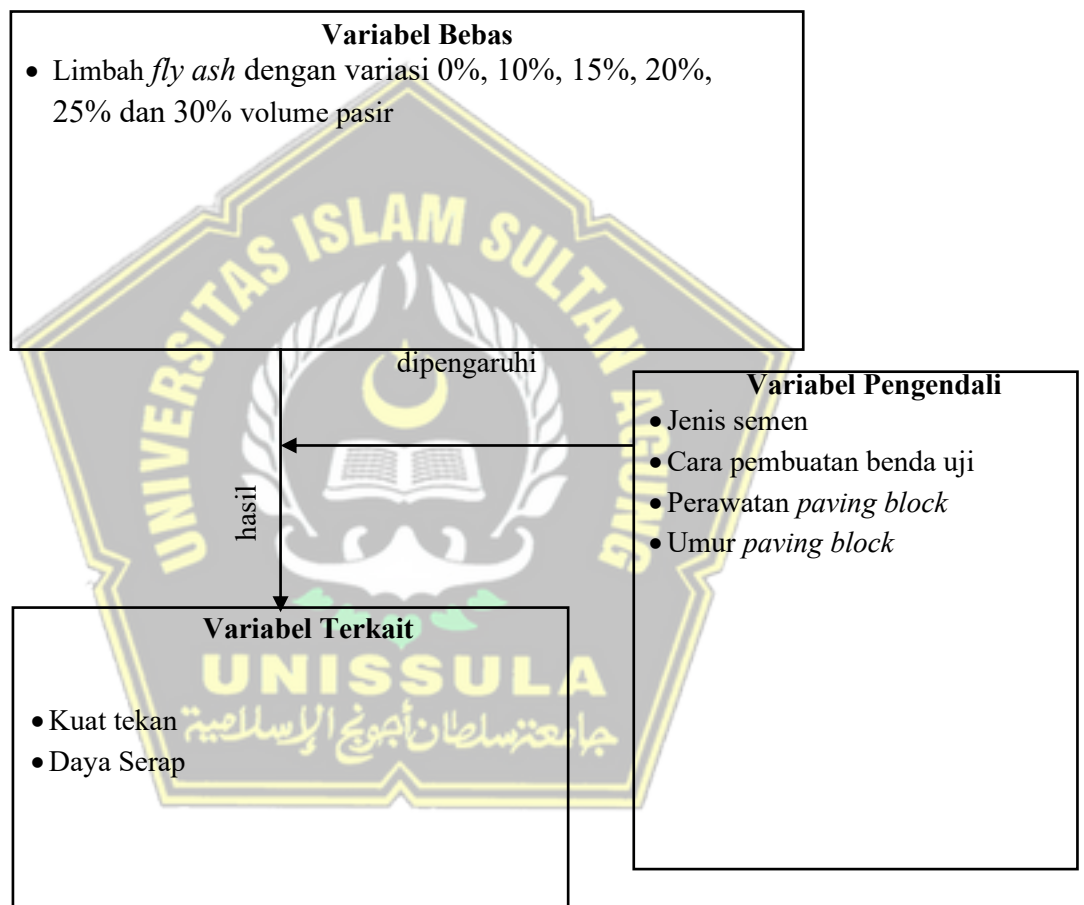
2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan *paving block* (literatur) dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia, yaitu SNI 03-0691-1996, serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan gejala yang menjadi objek penelitian. Secara garis besar ada dua macam variabel yaitu variabel yang mempengaruhi dan variabel yang dipengaruhi. Variabel yang mempengaruhi adalah variabel bebas dan variabel yang dipengaruhi adalah variabel terikat.

Hubungan variabel yang ada dalam penelitian ini dapat ditampilkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Hubungan variabel penelitian

Sumber : Analisis Tim

3.6 Bahan dan Peralatan

3.6.1 Bahan

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan *paving block* dalam penelitian ini adalah :

1. Air

Air yang digunakan adalah air yang tidak berwarna, jernih, tidak berbau, dan tidak mengandung benda asing yang dapat dilihat secara kasat mata.



Gambar 3.3 Air

2. Semen Portland

Semen yang digunakan untuk bangunan pada umumnya yaitu PCC (*Portland Composite Cement*) sama penggunaannya semen *portland* jenis I dengan merek Semen Gresik kemasan kantong 50 kg.



Gambar 3.4 Semen Portland

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang lolos saringan 4,8 mm pada kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) berasal dari pasir Kulon Progo.



Gambar 3.5 Pasir

4. Limbah *Fly Ash*

Dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah limbah *fly ash* tipe F dari PLTU Paiton di Jawa Timur.



Gambar 3.6 Limbah *Fly Ash*

3.6.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi :

1. Mesin *Press* dengan diesel

Alat ini digunakan untuk menekan dan memadatkan adonan *paving block*.



Gambar 3.7 Mesin *Press*

2. Cetakan

Alat ini digunakan sebagai cetakan bentuk *paving block*.



Gambar 3.8 Cetakan *Paving Block*

3. Ayakan

Alat ini digunakan dalam pengujian gradasi agregat halus (pasir dan *fly ash*).



Gambar 3.9 Ayakan

4. Timbangan

Digunakan untuk menimbang bahan penyusun yang digunakan untuk pembuatan

paving block.



Gambar 3.10 Timbangan

5. Sekop dan Cetok

Sekop digunakan untuk mengambil, memindahkan dan mencampurkan bahan penyusun *paving block*. Cetok digunakan untuk memasukkan dan adonan campuran yang dimasukkan pada cetakan.



Gambar 3.11 Cetok

6. Gelas Ukur

Digunakan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan untuk proses pencampuran adonan *paving block*.



Gambar 3.12 Gelas Ukur

7. Oven

Digunakan untuk memperoleh keadaan kering mutlak pada pasir dan benda uji *paving block*.



Gambar 3.13 Oven

8. *Compressed Testing Machine*

(CTM) Digunakan untuk uji kuat tekan benda uji.



Gambar 3.14 *Compressed Testing Machine*

3.7 **Pembuatan Benda Uji**

Berikut ini adalah langkah – langkah proses pembuatan *paving block* dengan menggunakan alat cetak konvensional :

1. Menyiapkan bahan campuran *paving block* yaitu semen, pasir, air dan bahan tambah (limbah *fly ash*).
2. Menyiapkan alat yang dibutuhkan yaitu cetakan, mesin *press*, cangkul, sekop, dan cetok.
3. Melakukan proses pencampuran agregat dan bahan tambah pengganti pasir berdasarkan masing – masing variasi campuran yang telah direncanakan.
4. Menuangkan air kerja pada campuran agregat lalu mengaduk adonan campuran hingga menjadi homogen, campuran tidak boleh terlalu basah dan tidak boleh terlalu kering.
5. Menuangkan adonan kering lalu kemudian menuangkan campuran adonan basah ke dalam cetakan lalu ditekan dengan menggunakan mesin *press*.

6. Angkat alat cetakan lalu diletakkan di tempat kering,.
7. Jika *paving block* sudah mengering dan dilakukan perawatan berupa penyiraman air minimal 2 kali sehari,



Gambar 3.15 Proses Pembuatan *Paving Block*

3.8 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan setelah dari pencetakan *paving block*. Pada umur satu hari atau benda uji cukup kering dijemur dan disiram kira – kira setiap 2 hari sekali untuk menjaga kelembapannya sampai *paving block* umur 28 hari. Hal ini dimaksud agar proses pengeringan dan pengerasan pada *paving block* berjalan dengan baik dan mencegah terjadinya retakan pada *paving block*.

A. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui beban maksimum kuat tekan

paving block. Langkah – langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat – alat yang diperlukan dalam pengujian seperti alat untuk pencatatan, timbangan dan gerobak sebagai tempat benda uji setelah diuji dengan CTM,
2. Pengecekan alat pengujian alat kuat tekan CTM (*Compressed Testing Machine*),

3. Menimbang dan mencatat berat benda uji *paving block* untuk masing – masing sampel yang akan diuji kuat tekannya dan meletakkan benda uji *paving block* pada alat uji kuat tekan,
4. Mengatur jarum alat kuat tekan CTM (*Compressed Testing Machine*) tepat pada posisi nol dan memompa kompresor dengan menekan tuas naik – turun secara kontinu sampai benda uji mengalami pecah atau hancur,
5. Mencatat besar nilai beban tekan maksimum yang terbaca pada jarum CTM (*Compressed Testing Machine*), kemudian keluarkan benda uji tersebut,



Gambar 3.16 *Paving Block* Setelah Melalui Uji Kuat Tekan Dengan CTM

6. Mengulang kegiatan 2 sampai 5 pada variasi *paving block* yang lain.

B. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan *paving block* untuk menyerap air melalui pori-pori. Langkah-langkah pengujian daya serap air berdasarkan SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

1. Sampel yang telah berumur 28 hari dan dalam kondisi kering udara dimasukkan kedalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam,



Gambar 3.17 Proses Pengeringan *Paving Block* Menggunakan Oven

2. Setelah dioven maka sampel harus dikeluarkan dan didinginkan,
3. Jika sampel sudah dingin maka timbang berat kering oven (W_k)
4. Kemudian dilanjutkan dengan merendam sampel selama 24 jam,



Gambar 3.18 Proses Perendaman *Paving Block*

5. Setelah 24 jam angkat *paving block* kemudian menimbang beratnya (W_b)

3.9 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan

Meliputi semua persiapan yang dilakukan sebelum melakukan pemeriksaan dan pengujian pada penelitian seperti izin peminjaman alat laboratorium, persiapan material, bahan tambah dan persiapan semua alat yang akan digunakan dalam penelitian.

2. Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material yang dilakukan terdiri dari analisa saringan, berat jenis, dan kadar lumpur.

3. Perencanaan Campuran Benda Uji

Perencanaan campuran benda uji meliputi komposisi yang akan digunakan pada pembuatan benda uji yang mengacu pada SNI 03-0691-1996.

4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan alat cetak tekan mesin press

5. Perawatan

Perawatan *paving block* dilakukan sesuai dengan umur beton normal yaitu 28 hari umur perawatan dengan melakukan penyiraman dua hari sekali.

6. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin kuat tekan CTM (*Compressed Testing Machine*).

7. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air *paving block* dilakukan dengan perendaman benda uji selama 24 jam. Lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C.

8. Analisa dan Pembahasan

Menganalisa benda uji dari penggunaan limbah *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir.

9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran akan didapat setelah pengujian selesai dilakukan dan didapat hasil analisa dan pembahasan yang telah diuraikan oleh peneliti.

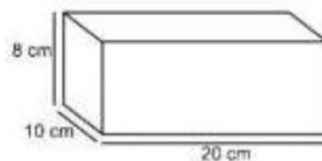
3.10 Tahapan Analisis Data

Tahapan – tahapann analisis data dalam penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut :

1. Pemeriksaan material agregat halus
 - a. Pengujian analisa saringan.
 - b. Pengujian berat jenis.
 - c. Pengujian kadar lumpur.
2. Menghitung rencana campuran pembuatan *paving block*
 - a. Menentukan kebutuhan agregat halus.
 - b. Menentukan kebutuhan semen.
 - c. Menentukan kebutuhan bahan tambah limbah *fly ash*.
3. Analisa pengujian *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996
 - a. Menentukan nilai rata – rata kuat tekan dan daya serap air.

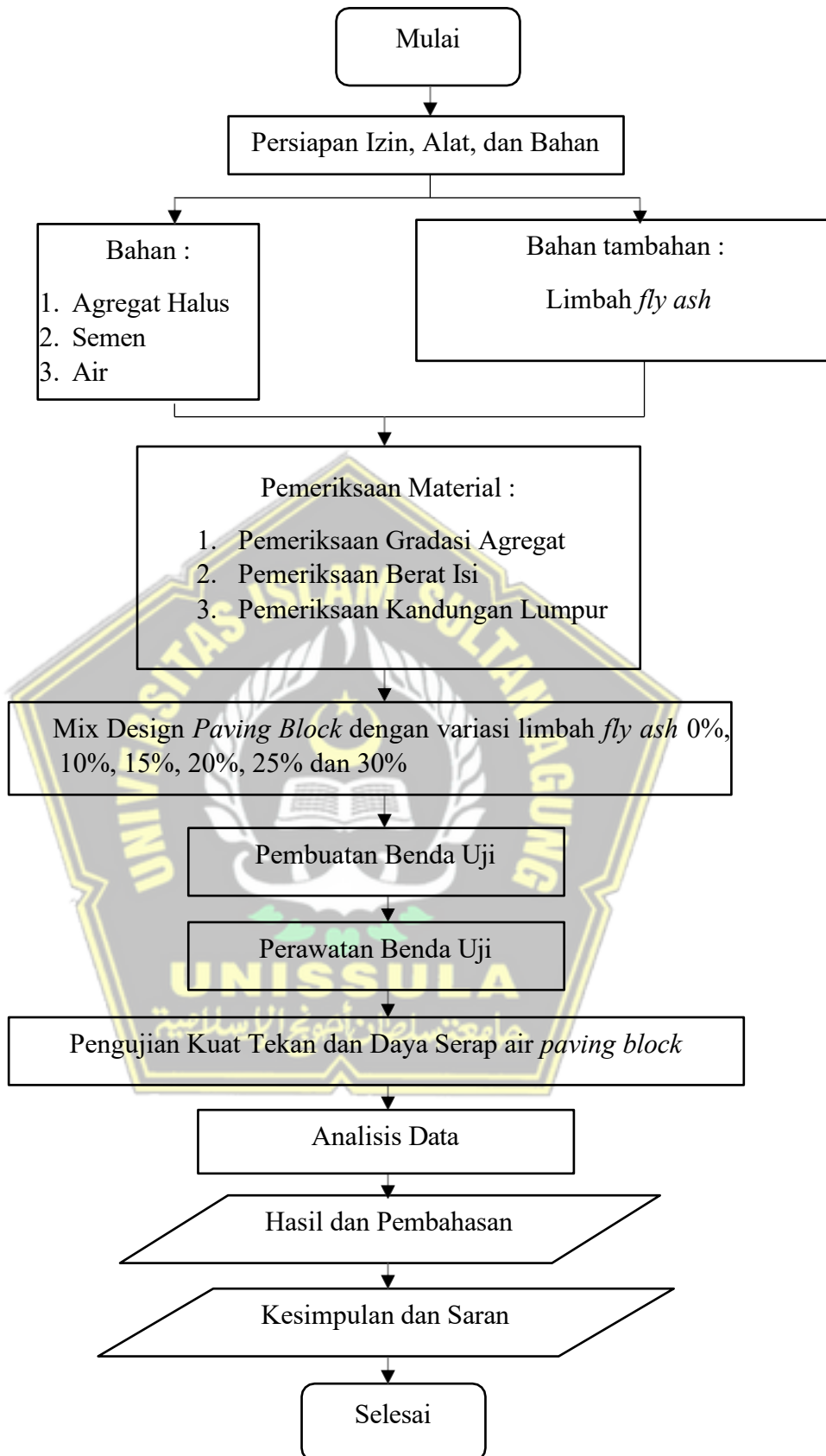
3.11 Jenis dan Sampel Pengujian

Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan adalah *paving block* yang dibuat dengan jenis holand atau bentuk persegi panjang dengan dimensi 20 x 10 x 8 cm seperti pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.19 Dimensi *Paving Block*

Paving block dibuat dengan campuran semen : pasir = 1:3, dengan variasi persentase penambahan limbah *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat pasir. Pengujian kuat tekan dan daya serap air pada *paving block* dilakukan pada umur perawatan 7, 14, dan 28 hari. Karena keterbatasan biaya, sampel yang digunakan tiap variasi campuran sebanyak 2 buah, sehingga total sampel dalam penelitian ini sebanyak 36 buah.



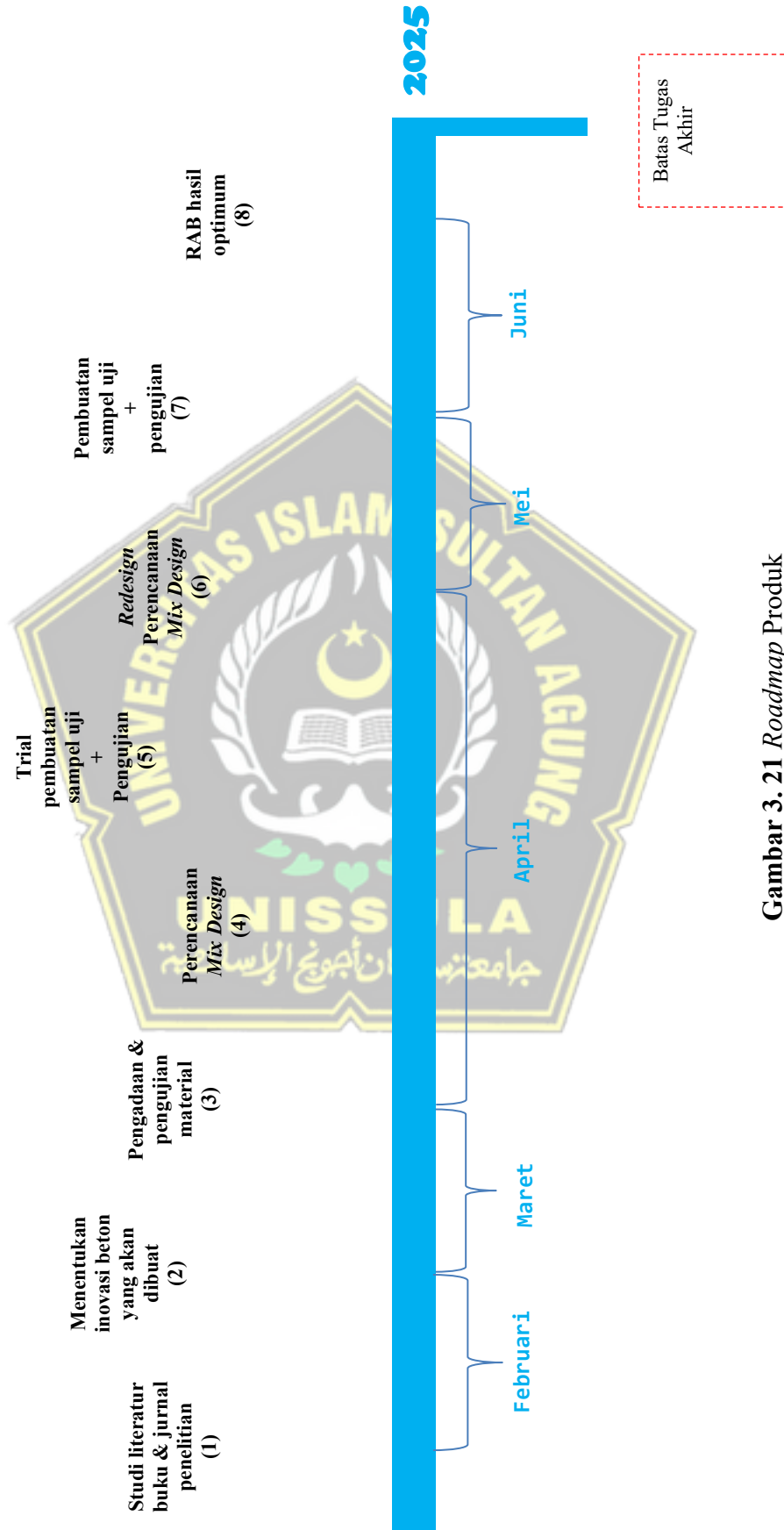
Gambar 3.20 Diagram Alir Rencana Penelitian

3.12 Roadmap Produk *Paving Block* Inovasi

Penelitian ini memiliki tujuan akhir untuk menghasilkan suatu produk *paving block* dengan memanfaatkan bahan inovasi berupa limbah *fly ash* sebagai substitusi agregat halus. Maka dari itu, terdapat *roadmap* produk yang digunakan sebagai acuan dalam mengembangkan produk *paving block* ini. Cakupan dari *roadmap* produk ini meliputi lamanya pengerjaan produk.

Berikut merupakan *roadmap* produk *paving block* dengan memanfaatkan bahan inovasi berupa limbah *fly ash* yang dapat dilihat pada Gambar 3.21.





Gambar 3.21 Roadmap Produk

Sumber : Analisis Tim

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan bahan material penyusun *paving block* pada penelitian ini meliputi pemeriksaan air, pemeriksaan semen, pemeriksaan gradasi agregat halus, pemeriksaan berat jenis agregat halus, dan pengujian kadar lumpur.

4.1.1 Air

Air yang akan digunakan untuk bahan pembuatan *paving block* bersumber dari perusahaan daerah air minum (PDAM), setelah dilakukan pengamatan sesuai dengan kriteria SNI S-04-1989-F, antara lain air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.

4.1.2 Semen

Semen merupakan bahan perekat yang biasa digunakan pada beton, adukan mortar, plesteran, bahan penambal, adukan encer (*grout*) dan sebagainya. Semen yang digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah Semen Gresik kemasan kantong 50 kg. Pemeriksaan terhadap semen meliputi :

1. Keadaan Kemasan Semen

Pengujian secara visual mengenai keadaan kemasan semen yang digunakan masih baik, tidak terdapat cacat pada kemasan (robek kemasan), keadaan kemasan kering serta keadaan semen dalam kemasan masih gembur atau tidak memadat (dilakukan dengan cara memijat semen dalam kemasan).

2. Keadaan Butiran Semen

Pengujian keadaan butiran semen dilakukan dengan membuka kantong semen kemudian dilihat secara visual mengenai keadaan butiran semen. Dari hasil pengamatan terlihat semen yang digunakan masih dalam keadaan baik atau tidak ada butiran yang menggumpal.

4.1.3 Pemeriksaan Gradasi Pasir

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui gradasi pasir yang digunakan sebagai agregat dalam pembuatan *paving block*. Pasir yang digunakan dalam

pembuatan *paving block* ini adalah pasir dari Kali Gendol Merapi. Gradasi pasir dapat diklasifikasikan menjadi empat zona, yaitu kasar, agak kasar, agak halus, dan halus,

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir

Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertinggal			Berat Lolos Kumulatif (%)
	Gram	Persentase (%)	Kumulatif (%)	
9.6	0	0	0	100
4.8	190	8.636	8.636	91.36
2.4	190	8.636	17.273	82.73
1.3	260	11.818	29.091	70.91
0.6	620	28.182	57.273	42.73
0.3	290	13.182	70.455	29.55
0.15	420	19.091	89.545	10.45
0	200	9.091	98.636	1.36
Total	2170	98.64	370.90909	429.091

Sumber : Hasil Analisis

Berat awal = 2180 gram

Berat setelah diayak = 2170 gram

Berat pasir tertinggal = $\frac{(\text{Berat awal} - \text{berat setelah diayak})}{\text{Berat setelah diayak}} \times 100\%$

$$= \frac{(2180 - 2170)}{2170} \times 100\%$$

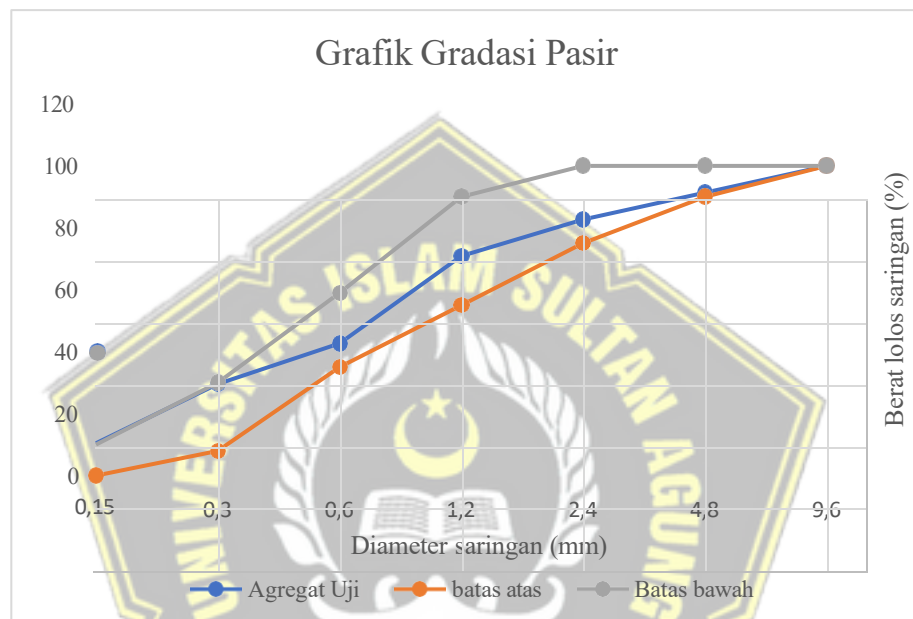
= 0.46% (Memenuhi syarat tidak lebih dari 1%)

Modulus Halus Butir = $\frac{\sum \text{Berat tertahan kumulatif}}{100}$

$$= \frac{(370.90909)}{100}$$

= 3,70

Hasil pengujian pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir adalah sebesar 3,7. Nilai tersebut masuk kedalam syarat modulus halus butir agregat halus yaitu 1,5 – 3,8. Hal ini menunjukkan bahwa pasir yang digunakan cukup baik untuk menghasilkan *paving block* mutu tinggi secara optimal. Dari hasil pengujian Tabel 4.1 diatas, dapat digambarkan grafik gradasi pasir pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Hasil Analisis Pasir

Berdasarkan Gambar 4.1 yang didapat dari pengujian, gradasi pasir masuk dalam zona II yaitu pasir dengan ukuran butiran agak kasar. Jenis pasir ini sudah masuk dalam syarat batas gradasi pasir (SNI 03-2834-1992).

4.1.4 Pemeriksaan Berat Jenis

Pemeriksaan berat jenis terhadap pasir dilakukan dengan membandingkan berat terhadap volume bejana. Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume pasir, volume dalam kondisi gembur atau lepas dan kondisi padat. Hasil pemeriksaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Pasir

Kondisi Pengujian	Berat Agregat (gr)	Volume Wadah (cm ³)	Berat Satuan (gr/cm ³)
Kondisi Padat	2.938	1571,42	1,86
Kondisi Lepas	2.598	1571,42	1,65

Sumber : Hasil Analisis

Hasil tersebut menunjukkan bahwa berat satuan padat lebih besar dari berat satuan gembur atau lepas agregat halus, karena pada pengujian berat satuan padat dilakukan pemadatan dengan cara ditumbuk sehingga pori-pori yang kosong terisi.

4.1.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pada pengujian ini menggunakan pasir yang lolos saringan diameter 4,8 mm. pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir yang akan digunakan dalam pembuatan *paving block*. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Lumpur merupakan agregat yang lolos saringan 0,075 mm. Pada pengujian kadar lumpur ini menggunakan gelas ukur sebagai alat untuk pengujian kadar terhadap pasir.

$$\begin{aligned} \text{Persentase kadar lumpur} &= \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} \times 100\% = \frac{19 - 18,5}{19} \times 100\% \\ &= 2,63\% \end{aligned}$$

Keterangan

B₁ = Tinggi total

B₂ = Tinggi pasir

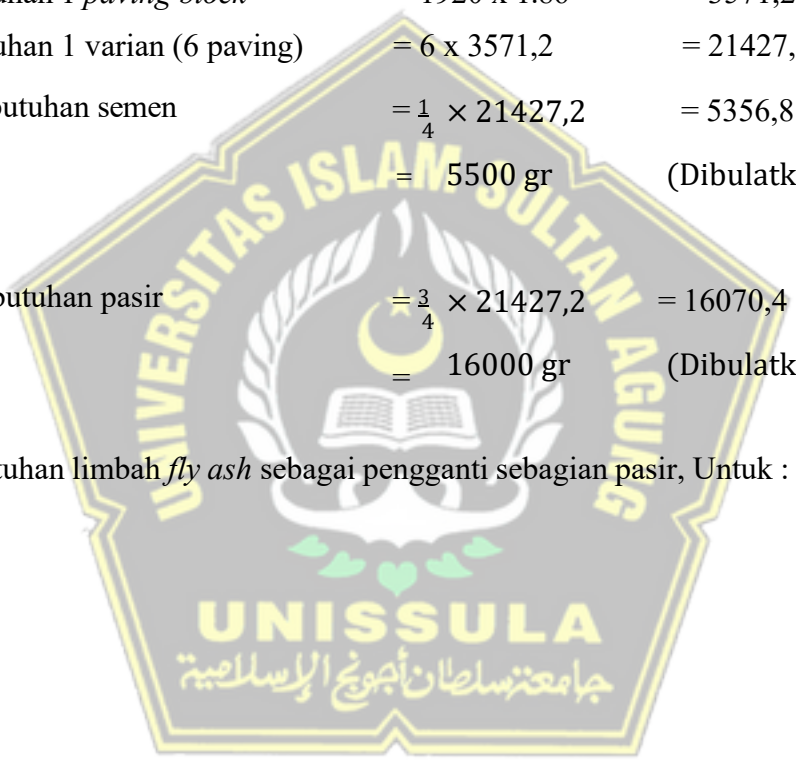
Dari hasil pemeriksaan diatas, didapatkan hasil pengujian kadar lumpur 2,63%, angka tersebut memenuhi standar karakteristik agregat halus (pasir) yaitu SNI 03-4142-1996 dimana persentase kandungan lumpur agregat halus yang diizinkan adalah < 5%.

4.2 Perencanaan Campuran *Paving Block*

Benda uji dibuat dengan campuran menggunakan perbandingan semen dan pasir 1:3. Sedangkan kebutuhan limbah *fly ash* pengganti sebagian pasir untuk perhitungan setiap benda uji adalah sebagai berikut :

Berat jenis pasir	= 1,86 gr/cm ³	
Volume 1 benda uji (<i>paving block</i>)	= 20 x 10 x 8 cm ³	= 1600 cm ³
Faktor pencampuran	= 1,2 x 1600	= 1920 cm ³
Kebutuhan 1 <i>paving block</i>	= 1920 x 1.86	= 3571,2 gr
Kebutuhan 1 varian (6 paving)	= 6 x 3571,2	= 21427,2 gr
1. Kebutuhan semen	= $\frac{1}{4} \times 21427,2$	= 5356,8 gr
	= 5500 gr	(Dibulatkan)
2 Kebutuhan pasir	= $\frac{3}{4} \times 21427,2$	= 16070,4 gr
	= 16000 gr	(Dibulatkan)

Kebutuhan limbah *fly ash* sebagai pengganti sebagian pasir, Untuk :



1. Untuk kebutuhan 10% limbah *fly ash*

$$\text{Kebutuhan} = \frac{10}{100} \times 16000 = 1600 \text{ gr}$$

- 10% limbah *fly ash* = 1600 gr
- pasir = 14400 gr

2. Untuk kebutuhan 15% limbah *fly ash*

$$\text{Kebutuhan} = \frac{15}{100} \times 16000 = 2400 \text{ gr}$$

- 15% limbah *fly ash* = 2400 gr
- pasir = 13600 gr

3. Untuk kebutuhan 20% limbah *fly ash*

$$\text{Kebutuhan} = \frac{20}{100} \times 16000 = 3200 \text{ gr}$$

- 20% limbah *fly ash* = 3200 gr
- pasir = 12800 gr

4. Untuk kebutuhan 25% limbah *fly ash*

$$\text{Kebutuhan} = \frac{25}{100} \times 16000 = 4000 \text{ gr}$$

- 25% limbah *fly ash* = 4000 gr
- pasir = 12000 gr

5. Untuk kebutuhan 30% limbah *fly ash*

$$\text{Kebutuhan} = \frac{30}{100} \times 16000 = 4800 \text{ gr}$$

- 30% limbah *fly ash* = 4800 gr
- Pasir = 11200 gr

Tabel 4.3 Perbandingan Bahan Penyusun *Paving Block* (*Mix Design*)

Variasi Benda Uji	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Limbah <i>Fly Ash</i> (gr)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)	Jumlah
P0	0	0	5500	16000	1000	6
P1	10	1600	5500	14400	1000	6
P2	15	2400	5500	13600	1000	6
P3	20	3200	5500	12800	1000	6
P4	25	4000	5500	12000	1000	6
P5	30	4800	5500	11200	1000	6

4.3 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah *paving block* berumur 7, 14, dan 28 hari dengan jumlah benda uji masing-masing sebanyak 2 buah dengan 6 variasi. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Hasil pengujian kuat tekan *paving block* ditampilkan pada Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.21 berikut ini.

Tabel 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
A1	200,4
A2	204,6

Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
A3	228,0
A4	229,2

Tabel 4.6 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
A5	232,8
A6	240,8

Tabel 4.7 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
B1	274,6
B2	267,4

Tabel 4.8 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
B3	297,4
B4	292,8

Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
B5	311,8
B6	316,2

Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
C1	306,0
C2	310,4

Tabel 4.11 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
C3	343,2
C4	345,8

Tabel 4.12 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
C5	398,8
C6	392,8

Tabel 4.13 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
D1	331,0
D2	329,4

Tabel 4.14 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
D3	374,0
D4	374,6

Tabel 4.15 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
D5	440,6
D6	439,2

Tabel 4.16 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
E1	270,0
E2	274,8

Tabel 4.17 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
E3	299,8
E4	303,6

Tabel 4.18 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
E5	328,4
E6	329,6

Tabel 4.19 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% umur 7 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
F1	260,4
F2	258,2

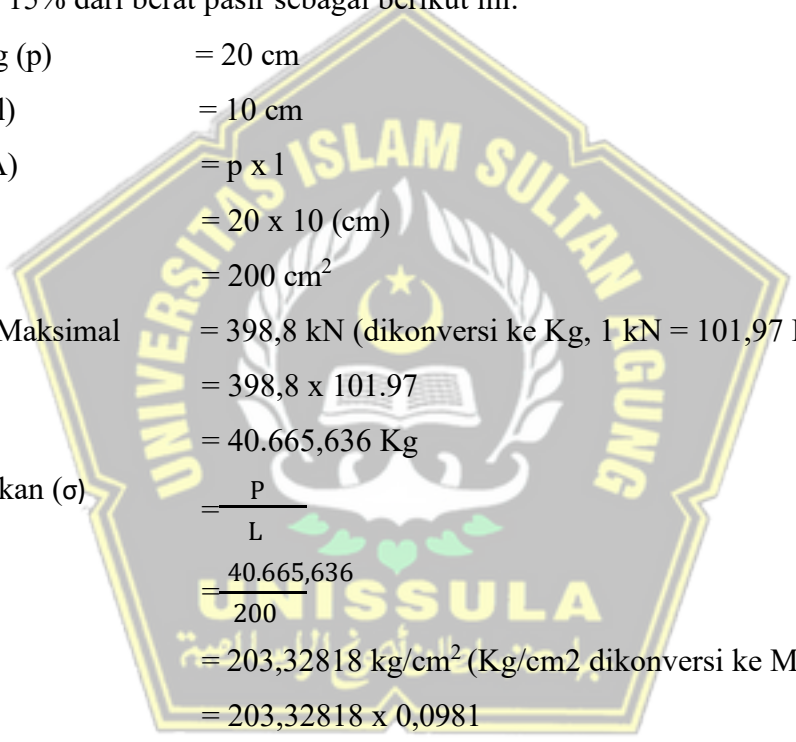
Tabel 4.20 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% umur 14 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
F3	290,6
F4	287,6

Tabel 4.21 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% umur 28 hari

Kode Sampel	Beban Maksimal (kN)
F5	315,2
F6	310,4

Sebagai contoh perhitungan kuat tekan, diambil hasil pengujian kuat tekan *paving block* varian C5 dengan limbah *fly ash* sebagai bahan tambah pengganti pasir sebesar 15% dari berat pasir sebagai berikut ini.



Panjang (p) = 20 cm
 Lebar (l) = 10 cm
 Luas (A) = p x l
 = 20 x 10 (cm)
 = 200 cm²
 Beban Maksimal = 398,8 kN (dikonversi ke Kg, 1 kN = 101,97 Kg)
 = 398,8 x 101.97
 = 40.665,636 Kg
 Kuat tekan (σ) = $\frac{P}{L}$
 = $\frac{40.665,636}{200}$
 = 203,32818 kg/cm² (Kg/cm² dikonversi ke MPa)
 = 203,32818 x 0,0981
 = 19,9465 MPa

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
A1	7	200,4	10,02	10,13
A2	7	204,6	10,23	
A3	14	228,0	11,4	11,43
A4	14	229,2	11,46	
A5	28	232,8	11,64	11,84
A6	28	240,8	12,04	

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
B1	7	274,6	13,73	13,55
B2	7	267,4	13,37	
B3	14	297,4	14,87	14,76
B4	14	292,8	14,64	
B5	28	311,8	15,59	15,70
B6	28	316,2	15,81	

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
C1	7	306,0	15,3	15,41
C2	7	310,4	15,52	
C3	14	343,2	17,16	17,23
C4	14	345,8	17,29	
C5	28	398,8	19,94	19,79
C6	28	392,8	19,64	

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
D1	7	331,0	16,55	16,51
D2	7	329,4	16,47	
D3	14	374,0	18,7	18,72
D4	14	374,6	18,73	
D5	28	440,6	22,03	22,00
D6	28	439,2	21,96	

Tabel 4.26 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
E1	7	270,0	13,5	13,62
E2	7	274,8	13,74	
E3	14	299,8	14,99	15,09
E4	14	303,6	15,18	
E5	28	328,4	16,42	16,45
E6	28	329,6	16,48	

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Kuat Tekan *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30%

Kode Sampel	Umur (hari)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
F1	7	260,4	13,02	12,97
F2	7	258,2	12,91	
F3	14	290,6	14,53	14,45
F4	14	287,6	14,38	
F5	28	315,2	15,76	15,64
F6	28	310,4	15,52	

Berdasarkan tabel hasil perhitungan kuat tekan rata – rata *paving block*, semua variasi campuran *paving block* dibuat hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan *paving block* yang disajikan pada Tabel 4.28 sampai dengan 4.30 berikut ini.

Tabel 4.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Rata-rata *paving block* umur 7 hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Kuat Tekan Rata – rata (MPa)
A	0	10,13
B	10	13,55
C	15	15,41
D	20	16,51
E	25	13,62
F	30	12,97

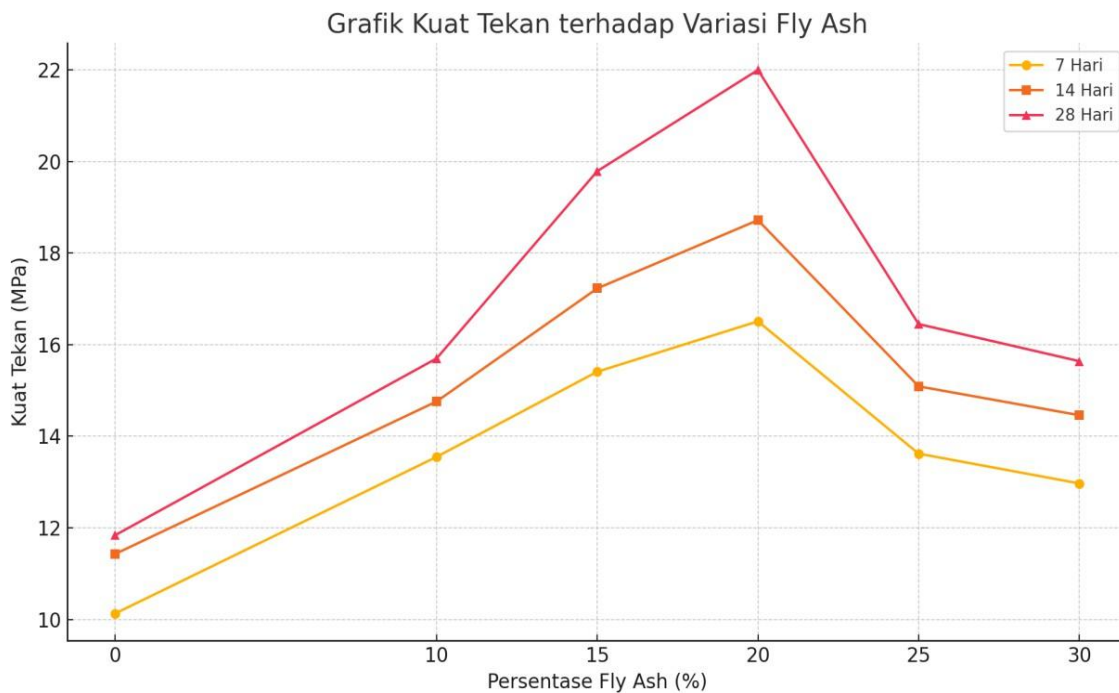
Tabel 4.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Rata-rata *paving block* umur 14 hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Kuat Tekan Rata – rata (MPa)
A	0	11,43
B	10	14,76
C	15	17,23
D	20	18,72
E	25	15,09
F	30	14,45

Tabel 4.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Rata-rata *paving block* umur 28 hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Kuat Tekan Rata – rata (MPa)
A	0	11,84
B	10	15,70
C	15	19,79
D	20	22,00
E	25	16,45
F	30	15,64

Untuk grafik peningkatan dan penurunan nilai kuat tekan *paving block* dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata *Paving Block* dengan Variasi Persentase Limbah *Fly Ash*

Berdasarkan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa penggunaan limbah *fly ash* sebagai *substitusi* pasir mempengaruhi kuat tekan *paving block* sehingga mengalami peningkatan. Peningkatan nilai kuat tekan terjadi karena limbah *fly ash* memiliki sifat pozolan yang dapat bereaksi dengan semen untuk menguatkan interaksi ikatan antara material pasir dan semen. Data menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* hingga 20% meningkatkan kuat tekan *paving block*, kemudian menurun setelahnya. Hasil tertinggi nilai kuat tekan *paving block* dengan perbandingan campuran semen dan pasir sebesar 1:3 diperoleh pada variasi campuran limbah *fly ash* 20% pada umur 28 hari dengan nilai sebesar 22,00 MPa. Dilihat dari hasil diatas, berdasarkan SNI 03-0691-1996 dapat disimpulkan bahwa variasi campuran *paving block* dengan penambahan limbah *fly ash* 15% serta 20% pada umur 28 hari dapat digolongkan ke dalam mutu B yang artinya *paving block* dapat digunakan untuk tempat parkir kendaraan. Umur *paving block* juga mempengaruhi nilai kuat tekannya, seperti

yang ditunjukkan oleh data yaitu *paving block* dengan variasi campuran limbah *fly ash* 20% mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7, 14, dan 28 hari yaitu berurutan sebesar 16,51 MPa, 18,72 MPa, dan 22,00 MPa.

4.4 Pengujian Daya Serap Air *Paving Block*

Pengujian daya serap air pada *paving block* dilaksanakan dengan cara direndam ke dalam air selama 24 jam, kemudian dioven pada suhu 110°C selama 24 jam. Pengujian penyerapan air *paving block* dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan jumlah benda uji masing – masing 2 buah untuk 6 variasi benda uji.

Sebagai contoh perhitungan daya serap air, diambil hasil pengujian daya serap air *paving block* varian D3 dengan limbah *fly ash* sebagai bahan tambah pengganti pasir sebesar 20% dari berat semen sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Basah (A)} &= 3,068 \text{ kg} \\
 \text{Berat Kering (B)} &= 2,895 \text{ kg} \\
 \text{Penyerapan air} &= \frac{A-B}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{3,068 - 2,895}{2,895} \times 100\% \\
 &= 5,99\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kuat tekan seluruh variasi *paving block* ditampilkan pada tabel 4.31 sampai dengan 4.48

Tabel 4.31 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
A1	3,131	2,865	9,31	9,45
A2	2,974	2,715	9,58	

Tabel 4.32 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
A3	3,158	2,890	9,30	9,21
A4	3,050	2,794	9,12	

Tabel 4.33 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 0% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
A5	3,119	2,877	8,43	8,54
A6	2,969	2,733	8,65	

Tabel 4.34 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
B1	3,082	2,850	8,16	8,16
B2	3,009	2,781	8,15	

Tabel 4.35 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
B3	3,112	2,889	7,68	7,64
B4	2,958	2,748	7,59	

Tabel 4.36 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 10% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
B5	3,031	2,832	7,03	7,00
B6	2,995	2,798	6,97	

Tabel 4.37 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
C1	3,075	2,870	7,13	6,99
C2	2,953	2,764	6,84	

Tabel 4.38 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
C3	2,992	2,825	5,90	6,00
C4	2,907	2,739	6,10	

Tabel 4.39 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 15% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
C5	2,997	2,846	5,29	5,35
C6	2,907	2,758	5,41	

Tabel 4.40 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
D1	3,048	2,853	6,50	6,58
D2	2,965	2,780	6,65	

Tabel 4.41 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
D3	3,068	2,895	5,99	6,00
D4	2,873	2,709	6,01	

Tabel 4.42 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 20% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
D5	2,997	2,841	5,49	5,37
D6	2,924	2,777	5,24	

Tabel 4.43 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
E1	3,114	2,879	8,11	7,97
E2	2,950	2,736	7,83	

Tabel 4.44 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
E3	3,052	2,844	7,32	7,30
E4	2,995	2,791	7,28	

Tabel 4.45 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 25% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
E5	3,031	2,837	6,85	6,79
E6	2,935	2,749	6,73	

Tabel 4.46 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% Umur 7 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
F1	3,139	2,893	8,46	8,36
F2	2,955	2,729	8,26	

Tabel 4.47 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% Umur 14 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
F3	3,084	2,862	7,75	7,70
F4	2,959	2,751	7,64	

Tabel 4.48 Hasil Perhitungan Daya Serap Air *Paving Block* Variasi Limbah *Fly Ash* 30% Umur 28 Hari

Kode Sampel	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (Kg)	Persentase daya serap(%)	Nilai rata – rata (%)
F5	3,013	2,816	6,99	7,06
F6	2,969	2,772	7,12	

Berdasarkan tabel hasil perhitungan daya serap air rata – rata *paving block*, semua variasi campuran *paving block* dibuat hasil rekapitulasi nilai daya serap air *paving block* yang disajikan pada Tabel 4.49 sampai dengan 4.51 berikut ini.

Tabel 4.49 Rekapitulasi Hasil Daya Serap Air Rata-rata *Paving Block* Umur 7 Hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Daya Serap Rata – Rata (%)
A	0	9,45
B	10	8,16
C	15	6,99
D	20	6,58
E	25	7,97
F	30	8,36

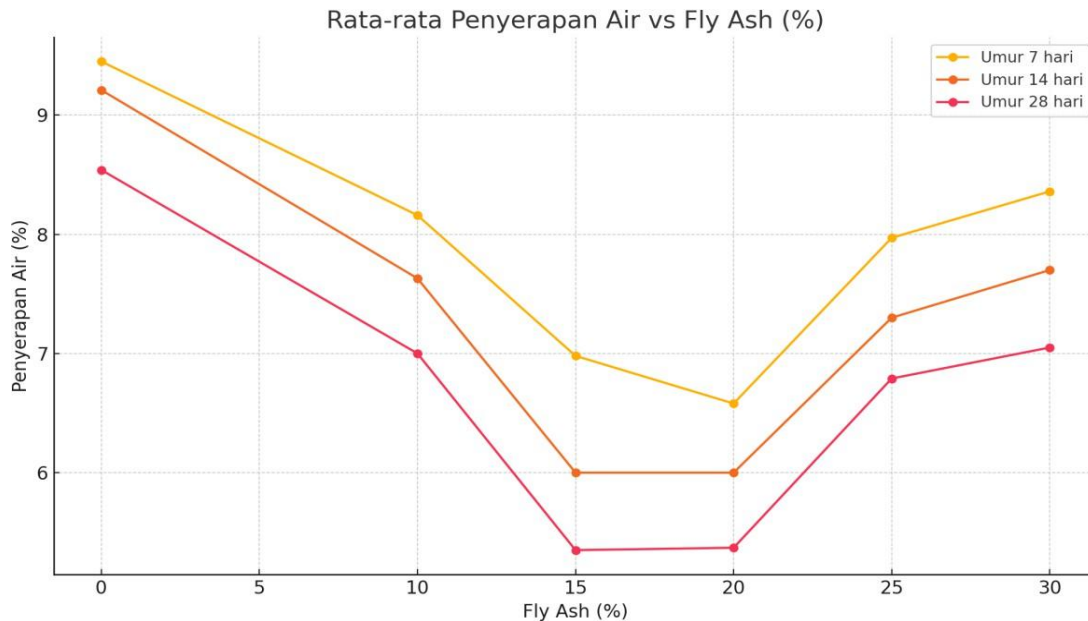
Tabel 4.50 Rekapitulasi Hasil Daya Serap Air Rata-rata *Paving Block* Umur 14 Hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Daya Serap Rata – Rata (%)
A	0	9,21
B	10	7,64
C	15	6,00
D	20	6,00
E	25	7,30
F	30	7,70

Tabel 4.51 Rekapitulasi Hasil Daya Serap Air Rata-rata *Paving Block* Umur 28 Hari

Sampel	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Daya Serap Rata – Rata (%)
A	0	8,54
B	10	7,00
C	15	5,35
D	20	5,37
E	25	6,79
F	30	7,06

Untuk grafik peningkatan dan penurunan nilai daya serap *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.

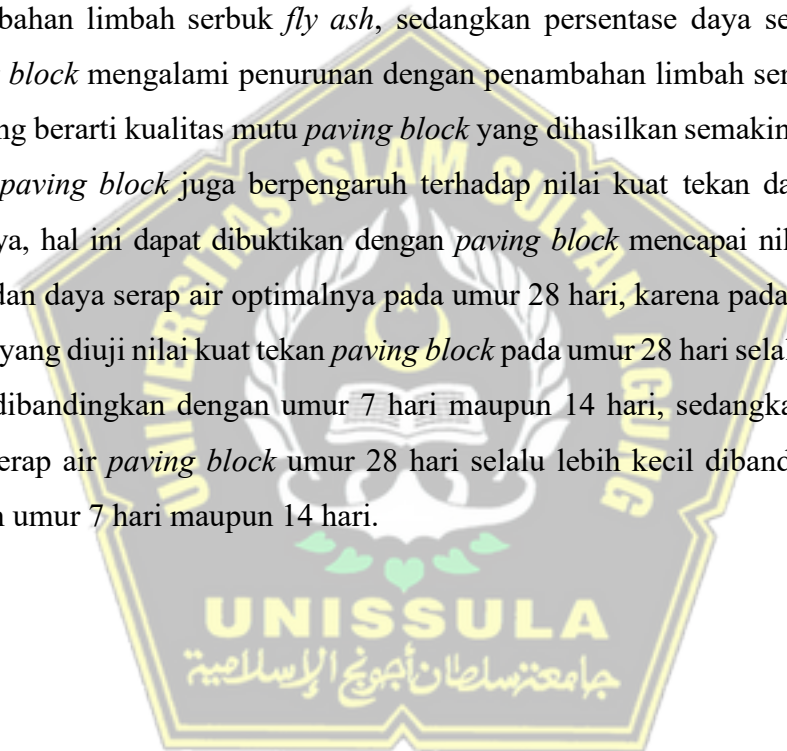


Gambar 4.3 Grafik Daya Serap Air pada Benda Uji *Paving Block* dengan Variasi Persentase Limbah *Fly Ash*

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas, didapatkan hasil daya serap air yang mengalami penurunan pada penambahan limbah *fly ash*, penurunan nilai daya serap optimal terjadi pada variasi campuran limbah *fly ash* 15% pada umur 28 hari. hal tersebut dikarenakan reaksi pozzolanik *fly ash* menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang merupakan komponen utama penyumbang kekuatan dan kerapatan pada *paving block*, dengan lebih banyak C-S-H struktur *paving block* menjadi lebih kompak dan kedap air. Persentase terendah nilai daya serap air rata-rata *paving block* dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:3 diperoleh pada campuran limbah *fly ash* 15% pada umur 28 hari dengan nilai sebesar 5.35% yang dapat digolongkan ke dalam mutu B yang artinya *paving block* dapat digunakan untuk peralatan parkir. Pada variasi limbah *fly ash* 0%, 10%, 20%, 25%, dan 30% dengan umur 28 hari memiliki nilai daya serap air berurutan masing-masing sebesar 8,54%, 7,00%, 5,37%, 6,79%, dan 7,06% sehingga masing-

masing berurutan digolongkan ke dalam mutu D, C, B, C, dan C yang artinya semua varian *paving block* dengan bahan tambah limbah *fly ash* mengalami penurunan nilai daya serap air dibandingkan dengan *paving block* tanpa tambahan limbah *fly ash*.

Berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 diatas, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk limbah *fly ash* berpengaruh kepada semakin meningkatnya mutu *paving block* yang dihasilkan. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai kuat tekan *paving block* yang mengalami kenaikan dengan penambahan limbah serbuk *fly ash*, sedangkan persentase daya serap air *paving block* mengalami penurunan dengan penambahan limbah serbuk *fly ash* yang berarti kualitas mutu *paving block* yang dihasilkan semakin bagus. Umur *paving block* juga berpengaruh terhadap nilai kuat tekan dan daya serapnya, hal ini dapat dibuktikan dengan *paving block* mencapai nilai kuat tekan dan daya serap air optimalnya pada umur 28 hari, karena pada semua varian yang diuji nilai kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari selalu lebih besar dibandingkan dengan umur 7 hari maupun 14 hari, sedangkan nilai daya serap air *paving block* umur 28 hari selalu lebih kecil dibandingkan dengan umur 7 hari maupun 14 hari.



4.5 Analisis Peningkatan Kuat Tekan dan Daya Serap Air

Tabel 4.52 Persentase Kenaikan Nilai Kuat Tekan *Paving Block* Dengan Bahan Tambah *Fly Ash* Dibandingkan Dengan *Paving Block* Tanpa *Fly Ash* (0%)

Fly Ash (%)	7 Hari (%)	14 Hari (%)	28 Hari (%)
10	33.8	29.1	32.6
15	52.2	50.7	67.1
20	63.0	63.7	85.8
25	34.5	32.0	38.9
30	28.0	26.4	32.2

Tabel 4.53 Persentase Penurunan Nilai Daya Serap Air *Paving Block* Dengan Bahan Tambah *Fly Ash* Dibandingkan Dengan *Paving Block* Tanpa *Fly Ash* (0%)

Fly Ash (%)	7 Hari (%)	14 Hari (%)	28 Hari (%)
10	1.29	1.57	1.54
15	2.46	3.21	3.19
20	2.87	3.21	3.17
25	1.48	1.91	1.75
30	1.09	1.51	1.48

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan fly ash ke dalam campuran paving block secara signifikan meningkatkan nilai kuat tekan dibandingkan dengan paving block tanpa fly ash. Berdasarkan data yang telah diperoleh, berikut adalah persentase peningkatan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari:

10% fly ash: meningkat sebesar 32,6% dari 11,84 MPa menjadi 15,70 MPa

15% fly ash: meningkat sebesar 32,6% dari 11,84 MPa menjadi 19,79 MPa

20% fly ash: meningkat sebesar 32,6% dari 11,84 MPa menjadi 22,00 MPa

25% fly ash: meningkat sebesar 32,6% dari 11,84 MPa menjadi 16,45 MPa

30% fly ash: meningkat sebesar 32,6% dari 11,84 MPa menjadi 15,64 MPa

Peningkatan ini disebabkan oleh adanya reaksi pozolanik dari fly ash. Menurut Neville (2010), fly ash yang mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dari hasil hidrasi semen untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H). Senyawa C-S-H ini merupakan komponen utama yang memberikan kekuatan pada beton karena mengisi rongga pori dan memperkuat ikatan antar partikel dalam pasta semen. Proses ini meningkatkan kepadatan dan kekompakan mikrostruktur paving block.

Dari hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa peningkatan kekuatan terjadi hingga penambahan fly ash sebesar 20%, kemudian mengalami penurunan pada variasi di atas 20%. Penurunan tersebut kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya jumlah pasir dan semen aktif yang mengakibatkan kurangnya pembentukan C-S-H yang optimal.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian terdahulu. Misalnya, Pratama & Risdianto (2019) melaporkan bahwa dengan penambahan fly ash sebesar 10%, kuat tekan paving block meningkat menjadi 19,69 MPa dan daya serap menurun hingga 4,20%. Sementara itu, Nedra et al. (2024) mencatat bahwa dengan komposisi fly ash sebesar 20%, diperoleh kuat tekan 22,41 MPa, yang sangat mendekati hasil pada penelitian ini (22,00 MPa).

Perbedaan komposisi, jenis fly ash, dan bahan tambahan lainnya dalam berbagai penelitian terdahulu tetap menunjukkan tren peningkatan kekuatan dan penurunan daya serap ketika fly ash digunakan sebagai substitusi material. Oleh karena itu, meskipun ada variasi metode, fly ash terbukti efektif dalam meningkatkan mutu paving block.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan percobaan pembuatan *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%, penambahan *fly ash* terbukti meningkatkan kuat tekan *paving block* hingga didapatkan nilai kuat tekan rata – rata *paving block* yang tertinggi pada campuran 20% limbah *fly ash* dengan umur 28 hari yaitu sebesar 21,99 MPa dimana pada campuran tersebut mengalami peningkatan sebesar 85,8% dibandingkan dengan *paving block* tanpa tambahan *fly ash* dengan umur yang sama, *paving block* tersebut dapat digolongkan ke dalam kategori mutu B yang artinya *paving block* tersebut dapat digunakan untuk tempat parkir berdasarkan SNI 03-0691-1996.
2. Berdasarkan percobaan pembuatan *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%, penambahan *fly ash* terbukti menurunkan daya serap air *paving block* hingga didapatkan nilai daya serap air rata – rata *paving block* yang terendah pada campuran 15% limbah *fly ash* dengan umur 28 hari yaitu sebesar 5,35% dimana pada campuran tersebut mengalami penurunan sebesar 3,19% dibandingkan dengan *paving block* tanpa tambahan *fly ash* dengan umur yang sama, *paving block* tersebut dapat digolongkan ke dalam kategori mutu B yang artinya *paving block* tersebut dapat digunakan untuk tempat parkir berdasarkan SNI 03-0691-1996.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan *paving block* pada umur 7, 14, dan 28 hari, diperoleh bahwa semakin bertambah umur *paving block*, nilai kuat tekannya juga meningkat. Nilai kuat tekan rata-rata *paving block* umur 7 hari mencapai 75% dari nilai kuat tekan rata-rata *paving block* umur 28 hari sedangkan nilai kuat tekan rata-rata *paving block*

umur 14 hari mencapai 85% dari nilai kuat tekan rata-rata *paving block* umur 28 hari. Peningkatan kuat tekan dari umur 7 ke 28 hari menunjukkan bahwa proses hidrasi semen yang terus berlangsung selama masa curing sangat berpengaruh terhadap pembentukan kekuatan beton. Dengan demikian, umur *paving block* memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai kuat tekan, di mana umur 28 hari merupakan kondisi optimum sesuai dengan standar pengujian beton.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang diharapkan mampu menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut, diantaranya adalah :

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan penambahan persentase limbah *fly ash* antara 15% sampai 20% untuk produksi *paving block* berkualitas tinggi karena pada rentang ini memberikan kombinasi terbaik dari hasil penelitian yaitu kuat tekan tinggi dan daya serap air rendah (mutu B) yang berarti kualitas *paving block* yang dihasilkan lebih baik.
2. Lakukan optimasi lanjutan pada umur pengerasan dan bahan tambah lainnya dan juga teknik pembuatan *paving block* yang baik dan benar dapat dipelajari kembali supaya penelitian selanjutnya bisa membuat *paving block* yang lebih bagus karena mungkin ada potensi peningkatan lebih lanjut jika variabel lain juga dioptimalkan.
3. Hindari penggunaan *fly ash* di atas 20% tanpa kajian tambahan karena dapat menurunkan kualitas fisik *paving block* dan hanya menghasilkan mutu C.
4. Alat penggetar sebaiknya menggunakan mesin untuk mendapatkan hasil gradasi yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 1996. *SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Block)*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 1996. *SNI 03-4142-1996 Kadar Lumpur Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004. *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *SNI 03-2834-2002 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 1989. *SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990. *SNI 03-1750-1990 Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Harystama, A., Salim Al Fathoni, M. A., & Azizi, A. (2020). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(1), 11–16.
- Pratama, S. R. (2021). Pengaruh Substitusi *Fly Ash* pada Bahan Pengikat Campuran *Paving Block* Ditinjau Dari Kuat Tekan, Keausan dan Penyerapan Air. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya*.
- Utami, P. R., Anisah, & Murtinugraha, R. E. (2023). Pemanfaatan Campuran *Fly Ash* dan LDPE Sebagai Substitusi Agregat Halus pada *Paving Block*. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 11–19.
- Ridzeki, F., Fathurrahman, Abdurrahman, Purnamasari, E., Mulyadi, & Doni, M. (2024). Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Pembuatan *Paving Block* Ditinjau dari Uji Kuat Tekan dan Uji Porositas. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 7(1), 93–103.
- 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.
- Nedra, R. S., Taufik, & Rita, E. (2024). Pengaruh *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen pada Pembuatan *Paving Block* Mutu B. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta Padang*.

- Adani, T., Handayani, D., & Ilonka, W. A. (2023). Pengaruh penambahan limbah serbuk kaca dan limbah serbuk keramik terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block. *Enviro: Journal of Tropical Environmental Research*, 25(2), 20–27.
- Novita, Linda. 2022. Pemanfaatan Limbah Organik Skala Rumah Tangga. Skripsi. Program Studi Pendidikan Biologi. Tidak diterbitkan. Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Raden Intan: Lampung.
- Taslim, M. 2017. *Pemanfaatan Limbah Anorganik Sebagai Kerajinan Cenderamata Pada Forum Komunikasi Pemuda Pemudi (FKPP) Desa Maradekaya Kabupaten Gowa*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Muhammadiyah Makassar: Makassar.

