

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN
EPOKSI TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING*
*BLOCK***

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



Disusun Oleh :

**Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098**

**Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI
TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*



Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098



Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Mei 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Ari Sentani, ST., M.Sc**
NIDN: 0604028502
2. **Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng**
NIDN: 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 06 / A.2 / SA – T / IV / 2025

Pada hari ini tanggal dd-mm-yyyy berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

Nama : Ari Sentani, ST., M.Sc
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098

Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106

Judul : PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	06/11/2024	ACC
2	Seminar Proposal	02/01/2025	ACC
3	Pengumpulan data	25/01/2025	ACC
4	Analisis data	28/01/2025	ACC
5	Penyusunan laporan	01/02/2025	ACC
6	Selesai laporan	26/02/2025	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ari Sentani, ST., M.Sc

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098
2. NAMA : Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI
TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK* 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, 17 Mei 2025

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098

Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098
2. NAMA : Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106

JUDUL TUGAS AKHIR :

PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI
TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*

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 ijazah 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, 17. Mei 2025

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098



Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106



MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. (Qs. Ali Imran :110)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan” . (QS. Al-Insyirah: 5 – 6)

” Dan tetaplah kamu sabar, sesungguhnya Allah bersama orang – orang yang sabar “ . (QS. Al-Anfal : 46)

“ Orang yang menuntut ilmu berarti menuntut rahmat; orang yang menuntut ilmu berarti menjalankan rukun islam dan pahala yang diberikan kepada sama dengan para Nabi “ (HR. Dailani dari Anas r.a.)

“ Maka serahkanlah kepada-Ku (urusannya) dan orang – orang yang mendustakan (Al-Quran). Kelak akan Kami hukum mereka berangsur-angsur dari arah yang tidak mereka ketahui, “ . (QS. Al-Qalam : 44)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya yang tercinta, Bapak Endro Ricatmiko dan Ibu Sri Mulyani, Budhe Sri Budi Lestari, Bulik Suryanti, Om Sujarwo Setyo Utomo dan Bulik Lirwati , Adek saya Adela Berliana yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan, kasih sayang tiada henti sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Sherly Eka Apriyana terima kasih telah menjadi batu karang dan sistem pendukungku. Terima kasih selalu memotivasiku. Cintamu sangat berarti bagiku. Terima kasih atas dukunganmu.
3. Bapak Ari Sentani, ST., M.Sc , selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Juny Andry Sulisty ST., MT , Cak TB, Om Tohar, Mas Dar, dan Mas Topan yang telah memberikan jalan, arahan, dan bimbingan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini baik di lingkungan kampus atau di luar kampus
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Univeristas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya yang bermanfaat bagi dunia dan akhirat.
6. Pengurus Laboratorium Transportasi Jalan Unissula yang telah membantu penulis dalam penelitian sehingga dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.
7. Irfan Nafi' Priyambodo, selaku *partner* dan bro saya dari awal kuliah yang telah berjuang, bekerja keras bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir.
8. Teman sekaligus keluarga ALIANSI yang selalu memberikan dukungan dan dorongan selama masa perkuliahan.
9. Sahabat sekaligus Keluarga Pak GIK (Cambug, Ipul, Kim, Hepi, Elan) yang selalu menjalani kemanapun berada selama masa perkuliahan.
10. Bapak soni Selaku Staff khusus PT. Sango yang telah memberikan bantuan bahan – bahan dalam Penelitian Tugas akhir.

11. Teman SMP saya Akmal Adam yang telah memberikan bantuan tempat dan alat – alat praktek serta dukungan terhadap proses penelitian dalam kegiatan Tugas Akhir saya.
12. Seluruh teman – teman yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah mendukung dan membantu saya saat kuliah maupun di luar waktu kuliah.

Harish Dwi Nugroho
NIM : 30202100098



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya yang tercinta, Ayah Agung Priyambodo dan Ibu Sri Wahyu Andayani, Kakek Kasiyo dan Nenek Suciati, Paman Bambang Setyo Budi, dan Kakak saya Lina Anindita Putri Priyambodo yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan, kasih sayang tiada henti sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ari Sentani, ST., M.Sc , selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Juny Andry Sulisty ST., MT, Cak TB, Om Tohar, dan Mas Dar yang telah memberikan jalan, arahan, dan bimbingan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini baik di lingkungan kampus atau di luar kampus
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Univeristas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya yang bermanfaat bagi dunia dan akhirat.
5. Pengurus Laboratorium Transportasi Jalan Unissula yang telah membantu penulis dalam penelitian sehingga dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.
6. Harish Dwi Nugroho, selaku *partner* dan cees saya dari awal kuliah yang telah berjuang, bekerja keras bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir.
7. Teman sekaligus keluarga ALIANSI yang selalu memberikan dukungan dan dorongan selama masa perkuliahan.
8. Sahabat sekaligus Keluarga Pak GIK (Cambug, Ipul, Kim, Hepi, Elan) yang selalu menjalani kemanapun berada selama masa perkuliahan.
9. Seluruh teman – teman yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah mendukung dan membantu saya saat kuliah maupun di luar waktu kuliah.

Irfan Nafi' Priyambodo
NIM : 30202100106

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK* ” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., M.T , selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Ari Sentani, ST., M.Sc , selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang sekaligus menjadi Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
4. Bapak Eko Muliawan Satrio, ST., MT , selaku Sekretaris Program Studi Teknsik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
5. Seluruh 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, Maret 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. <i>Bottom Ash</i> Limbah Batu Bara.....	5
2.1.1. Sifat Fisik	5
2.1.2. Sifat Kimia	6
2.1.3. Sifat Mekanis	7
2.1.4. Pemanfaatan <i>Bottom Ash</i> pada <i>Paving Block</i>	7
2.1.4.1. Keuntungan Pemanfaatan <i>Bottom Ash</i> pada <i>Paving Block</i>	8
2.2. Resin Epoksi	8
2.2.1. Klasifikasi Resin Epoksi	9
2.2.2. Karakteristik Resin Epoksi.....	10
2.2.2.1. Ketahanan Kimia yang Tinggi	10
2.2.2.2. Kekuatan Mekanik yang Tinggi.....	10
2.2.2.3. Perawatan atau <i>curing</i> yang dapat dikendalikan.....	10
2.2.2.4. Ketahanan terhadap Air dan Suhu.....	10
2.3. <i>Paving Block</i>	11
2.3.1. Karakteristik <i>Paving Block</i>	12
2.3.1.1. Karakteristik <i>Paving Block</i> berdasarkan Bentuk.....	12
2.3.1.2. Karakteristik <i>Paving Block</i> berdasarkan Ketebalan.....	13
2.3.1.3. Karakteristik <i>Paving Block</i> berdasarkan Kekuatan.....	14
2.3.1.4. Karakteristik <i>Paving Block</i> berdasarkan Warna	14
2.3.2. Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	14
2.3.2.1. Faktor Kuat Tekan <i>Paving Block</i> setelah ditambahkan dengan <i>Bottom Ash</i>	16

2.3. Keaslian Tugas Akhir.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	47
3.1. Metode Penelitian.....	47
3.2. Lokasi Penelitian.....	47
3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	47
3.3.1. Bahan Penelitian.....	47
3.3.2. Peralatan Penelitian.....	50
3.4. Tahapan Rencana Penelitian.....	53
3.4.1. Bagan Alir Pengujian.....	54
3.5. Prosedur Penelitian.....	56
3.5.1. Penyiapan <i>Bottom Ash</i> dan Resin Epoksi.....	56
3.5.2. Pembuatan <i>Paving Block</i>	56
3.6. Metode Karakterisasi.....	57
3.6.1. Metode Karakterisasi Fisis.....	57
3.6.1.1. Densitas.....	57
3.6.1.2. Daya Serap Air.....	57
3.6.2. Metode Karakterisasi Mekanis.....	58
3.6.2.1. Uji Kuat Tekan.....	58
3.7. Pembuatan Benda Uji dengan Kuat Tekan <i>Paving K-250</i> (Fc 20 MPa).....	58
3.8. Rancangan Campuran <i>Paving Block</i> (<i>Job Mix Design</i>).....	59
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1. Uraian Umum.....	63
4.2. Karakteristik Fisis.....	63
4.2.1. Densitas.....	63
4.2.2. Daya Serap Air.....	65
4.3. Karakterisasi Mekanis.....	67
4.3.1. Uji Kuat Tekan.....	67
4.3.1.1. Uji Kuat Tekan Umur <i>Paving Block</i> 7 Hari.....	68
4.3.1.2. Uji Kuat Tekan Umur <i>Paving Block</i> 14 Hari.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1. Kesimpulan.....	71
5.1. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	xvi
LAMPIRAN.....	xvii

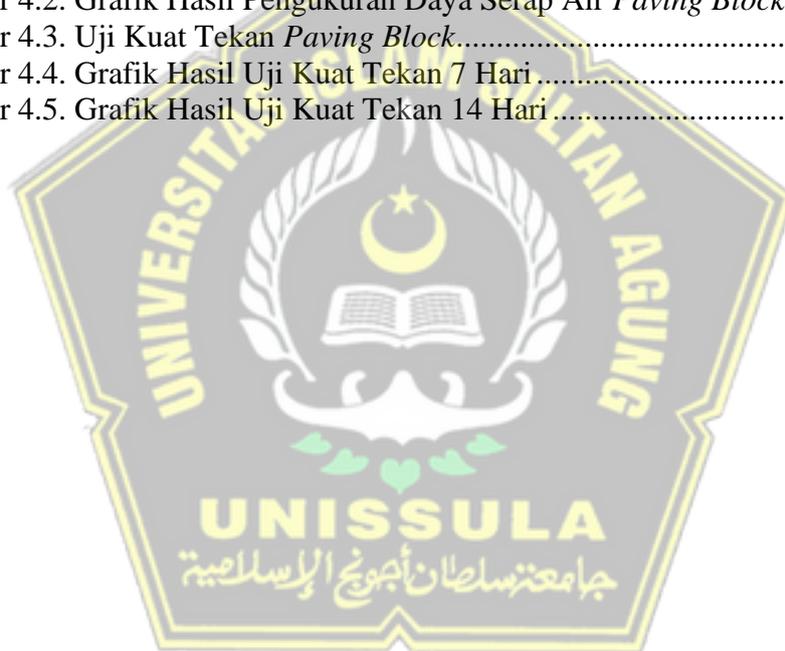
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	6
Tabel 2.2. Sifat Kimia <i>Bottom Ash</i>	6
Tabel 2.3. Sifat Mekanis Khas dari <i>dry</i> dan <i>wet bottom ash</i>	7
Tabel 2.4. Karakteristik <i>Paving Block</i> berdasarkan Bentuk	12
Tabel 2.5. Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i>	16
Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	55
Tabel 3.2. Komposisi Bahan Baku Pembuatan <i>Paving Block</i>	56
Tabel 3.3. Rancangan Campuran <i>Paving Block (Job Mix Design)</i> dengan Kuat Tekan F_c 20 MPa.....	59
Tabel 3.4. Rancangan Campuran <i>Paving Block (Job Mix Design)</i> dengan <i>Bottom Ash</i> 0% dan Resin Epoksi 0%	59
Tabel 3.5. Rancangan Campuran <i>Paving Block (Job Mix Design)</i> dengan <i>Bottom Ash</i> 4% dan Resin Epoksi 3%	60
Tabel 3.6. Rancangan Campuran <i>Paving Block (Job Mix Design)</i> dengan <i>Bottom Ash</i> 6% dan Resin Epoksi 5%	60
Tabel 3.7. Rancangan Campuran <i>Paving Block (Job Mix Design)</i> dengan <i>Bottom Ash</i> 8% dan Resin Epoksi 7%	61
Tabel 3.8. Perhitungan Jumlah Sampel Benda Uji	62
Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Densitas <i>Paving Block</i>	64
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Daya Serap Air <i>Paving Block</i>	66
Tabel 4.3. Hasil Uji Kuat Tekan Umur <i>Paving Block</i> 7 Hari	68
Tabel 4.4. Hasil Uji Kuat Tekan Umur <i>Paving Block</i> 14 Hari	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Compression Testing Machine</i>	15
Gambar 3.1. <i>Semen Portland</i>	48
Gambar 3.2. Agregat Halus.....	48
Gambar 3.3. Air.....	49
Gambar 3.4. <i>Bottom Ash</i>	49
Gambar 3.5. Resin Epoksi.....	49
Gambar 3.6. Saringan.....	50
Gambar 3.7. Timbangan Digital	50
Gambar 3.8. Gelas Ukur.....	51
Gambar 3.9. Cetakan <i>Paving Block</i>	51
Gambar 3.10. <i>Hydraulic Paving Block Press Machine</i>	52
Gambar 3.11. <i>Compression Testing Machine</i>	52
Gambar 4.1. Grafik Hasil Pengukuran Densitas <i>Paving Block</i>	65
Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengukuran Daya Serap Air <i>Paving Block</i>	66
Gambar 4.3. Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	67
Gambar 4.4. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan 7 Hari	69
Gambar 4.5. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan 14 Hari	70



PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* BATU BARA DAN RESIN EPOKSI TERHADAP KUALITAS KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*

Abstrak

Paving block merupakan suatu produk bahan bangunan yang umum digunakan pada pembangunan jalan, trotoar, lapangan parkir dan untuk penggunaan lantai lainnya karena memiliki sifat yang cukup kuat dan tahan lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai rata – rata kuat tekan *paving block* setelah diberi bahan tambahan *bottom ash* dan resin epoksi dan mengetahui perbandingan antara *paving block* umur 7 hari dan 14 hari.

Penelitian ini menentukan *Job Mix Design* dengan 12 sampel, mengukur kuat tekan *paving block*, menguji daya serap air dan densitas *paving block*. Untuk melakukan uji daya serap air, *paving block* direndam selama 24 jam, sedangkan uji kuat tekan *paving block* menggunakan alat *compression testing machine*.

Berdasarkan *Job Mix Design*, komposisi terbaik ditemukan pada sampel B6R5 yaitu yang memiliki bahan tambahan *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5% yang memiliki nilai rata – rata kuat tekan 21,377 MPa pada umur 7 hari, sedangkan saat umur 14 hari memiliki nilai rata – rata kuat tekan 24,085 MPa. Nilai tersebut sudah memenuhi target penelitian yang memiliki target minimal 20 MPa.

Kata Kunci: *paving block*, *bottom ash*, resin epoksi, uji kuat tekan

UTILIZATION OF COAL BOTTOM ASH AND EPOXY RESIN ON THE QUALITY OF PAVING BLOCK COMPRESSIVE STRENGTH

Abstract

Paving block is a building material product commonly used in the construction of roads, sidewalks, parking lots and for other floor uses because it has quite strong and durable properties. This study aims to determine the average value of the compressive strength of paving blocks after being given additional materials of bottom ash and epoxy resin and to find out the comparison between paving blocks aged 7 days and 14 days.

This study determines the Job Mix Design with 12 samples, measures the compressive strength of paving blocks, tests the water absorption and density of paving blocks. To conduct the water absorption test, the paving blocks are soaked for 24 hours, while the compressive strength test of paving blocks uses a compression testing machine.

Based on Job Mix Design, the best composition was found in sample B6R5, which has 6% bottom ash and 5% epoxy resin additives which have an average compressive strength of 21,377 MPa at the age of 7 days, while at the age of 14 days it has an average compressive strength of 24,085 MPa. This value has met the research target which has a minimum target of 20 MPa.

Keywords : *paving block, bottom ash, epoxy resin, compressive strength test*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Paving blok banyak digunakan untuk membangun jalan, jalan setapak, tempat parkir, dan lantai lainnya karena kuat dan tahan lama. Terdiri dari campuran air, abu batu, semen, agregat kasar, dan agregat halus, paving blok adalah bahan bangunan yang populer.

Seiring dengan perkembangan teknologi serta kebutuhan pembangunan yang berkepanjangan, teknik dan material paving terus menjadi bermacam-macam. Sebagian inovasi mencakup *paving block* yang ramah lingkungan, seperti paving yang dibuat dari bahan daur ulang, ataupun paving dengan desain yang lebih efektif untuk mengatasi masalah bagi lingkungan.

Namun disisi lain, banyak limbah, termasuk bottom ash, dibuat oleh pertambangan, terutama selama penggunaan batu bara. Bottom ash adalah sisa-sisa dari pembakaran batu bara yang diangkut ke tempat pembuangan sampah batu bara dan menumpuk di sana. Seiring dengan meningkatnya jumlah bottom ash, perusahaan harus beralih ke penggunaan bottom ash, yang dapat digunakan sebagai bahan baku pengganti untuk membuat paving blok. Penggunaan bottom ash juga dapat mengurangi limbah dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional.

Tidak hanya *bottom ash*, resin epoksi juga dapat digunakan dalam proses pembuatan *paving block*. Resin epoksi, yang sering digunakan dalam industry konstruksi, mempunyai sifat *adhesive* yang meningkatkan kekuatan mekaniknya yang besar serta ketahanan terhadap bahan kimia sehingga bisa meningkatkan kualitas dan daya tahan *paving block*. Kombinasi antara *bottom ash* dan resin diharapkan dapat menghasilkan *paving block* dengan mutu yang lebih baik, baik dari segi kekuatan tekan maupun daya tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah *bottom ash* dan resin dalam pembuatan *paving block* serta menganalisis pengaruhnya terhadap kualitas tekan *paving block*. Diharapkan, hasil dari penelitian ini bisa memberikan kontribusi pada pengembangan material

konstruksi yang lebih ramah lingkungan serta menjawab tantangan dalam pengelolaan limbah industri.

Melalui tugas akhir ini, diharapkan bisa memberikan informasi dan data yang berguna bagi industri konstruksi serta mendorong penggunaan material daur ulang selaku solusi untuk masalah lingkungan yang dialami saat ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas campuran *paving block* dengan tambahan *bottom ash* limbah batu bara dan resin epoksi?
2. Berapa hasil rata-rata kuat tekan yang dapat ditahan *paving block* pada setiap komposisi?
3. Mengetahui perbandingan nilai rata – rata kuat tekan *paving block* antara umur 7 hari dengan umur 14 hari.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah didapatkan, maka tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mendapatkan *Job Mix Formula* terbaik dari pencampuran *paving block* dengan tambahan *bottom ash* (limbah batu bara) dan resin epoksi.
2. Menganalisa hasil rata-rata kuat tekan yang dapat diterima oleh *paving block* dengan tambahan *bottom ash* (limbah batu bara) dan resin epoksi untuk tiap komposisi.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan melakukan penelitian ini didapatkan beberapa manfaat yang diperoleh, antara lain :

1. Menambah wawasan di bidang ilmu Teknik Sipil, khususnya dalam pengembangan inovasi konstruksi jalan dengan pemanfaatan *bottom ash* limbah batu bara dan resin epoksi untuk campuran paving.

2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bentuk pengembangan inovasi teknologi terutama dalam bidang konstruksi jalan yang efisien dengan penambahan *bottom ash* limbah batu bara dan resin epoksi.
3. Dengan memanfaatkan limbah, penelitian ini dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon dan dampak lingkungan dari industri konstruksi sehingga memberikan dampak lingkungan yang positif.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini hanya meliputi tentang komposisi benda uji *paving block* dengan tambahan *bottom ash* limbah batu bara dan resin epoksi sehingga pengujiannya meliputi :

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Dalam penelitian ini kami dibantu dengan salah satu alat di pabrik Paving Multiblock yang beralamat di Jalan Sumberejo, Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah
3. Material berupa semen, pasir, agregat halus, air, *bottom ash* limbah batu bara dan resin epoksi
4. Pembuatan benda uji terdiri dari tiap komposisi campuran *paving block*
5. Uji sampel menggunakan alat *Compression Testing Machine*, Pengujian ini dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika disusun sebagai pedoman agar tetap terarah untuk mencapai tujuan penelitian sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, keunggulan penelitian, kendala masalah, dan metodologi penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan hipotesis, temuan, dan penelitian sebelumnya yang menjadi dasar penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan desain dan prosedur penelitian, yang mencakup pengumpulan data, metodologi penelitian, dan prosedur pengujian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Hasil pengujian *paving block* dan kualitas kekuatan tekan yang akan diperoleh dibahas dalam bab ini. Ini juga mencakup hasil tes *paving block* dan disajikan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini, hasil dan tes yang telah dilakukan dibahas. Ini juga mencakup kemungkinan dalam pengaplikasian, kemampuan untuk mengurangi limbah, dan efek yang lebih baik. Penulis kemudian akan memberikan saran untuk perbaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bottom Ash Limbah Batu Bara

Batubara adalah bahan bakar yang banyak digunakan pada industri-industri sekarang ini salah satunya adalah PLTU. Hal ini dikarenakan harga dari minyak diesel industri yang semakin naik dan semakin tahun bahan bakar fosil akan terus berkurang. Bottom ash adalah sisa dari pembakaran batu bara. Itu lebih berat dari fly ash dan memiliki ukuran partikel yang lebih besar. Akibatnya, bottom ash akan jatuh ke *boiler* atau tungku, berkumpul di hopper abu, dan kemudian disemprot dengan air untuk dikeluarkan dari tungku untuk dibuang atau digunakan di tempat lain. (*US Enviromental Protection Agency, 2000*).

Abu batu bara terbagi menjadi dua kategori: abu batu bara basah atau terak boiler. Abu batu bara basah mengacu pada debu padat di dasar tungku. Jika debu cair atau cair jatuh ke dalam pengumpul debu (hopper abu), itu akan mengkristal dan menghasilkan partikel yang disebut abu batu bara basah atau abu batu bara kering. (Indriani Santoso, et. al, 2003).

Beberapa aspek bottom ash yang penting dalam hal sifat mekanis, kimia, dan fisik dijelaskan di bawah ini

2.1.1 Sifat Fisik

Bottom ash biasanya pasir sedang, dengan 50% hingga 90% melalui filter 4,75 mm (nomor 4), 10% hingga 60% melalui filter 0,42 mm (nomor 40), dan 0 hingga 10% melalui filter 0,075 mm (nomor 200). Ini terjadi meskipun distribusi ukuran partikel di pembangkit listrik yang sama dilakukan pada waktu yang berbeda.

(*US Enviromental Protection Agency, 2000*).

Karakteristik fisik bottom ash dilihat dari ukuran, bentuk, warna, penampilan, berat jenis, berat satuan kering, dan penyerapan bottom ash ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Bottom Ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berutir / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40(10%)	No.10 (10-60%)
	No.200(5%)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2.3-2.9	2.1-2.7
Dry Unit Weight	960-1440 kg/m ³	720-1600 kg/m ³
Penyerapan	0.3-1.1 %	0.8-2.0 %

Sumber : *US Enviromental Protection Agency, 2000*

2.1.2 Sifat Kimia

Secara teoritis, bottom ash terdiri dari silika (Si), aluminium (Al), dan besi (Fe), dengan jumlah kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan zat lainnya yang lebih sedikit.

Tabel 2.2 menunjukkan karakteristik kimia bottom ash.

Tabel 2.2 Sifat Kimia *Bottom Ash*

Parameter	Hasil Analisa	
	Kadar	Satuan
Si	29.40 ± 0.03	%
Mg	1.17	%
Ca	14.55 ± 6.13	%
Fe	590.33 ± 0.89	Ppm
Al	0.2576 ± 0.0001	%

Sumber : Studi Bottom Ash di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, 2012

2.1.3. Sifat Mekanis

Pada umumnya, terak boiler dan bottom ash memiliki kepadatan kering 10% hingga 25% yang lebih rendah daripada bahan alami granular. Sebaliknya, terak boiler dan bottom ash memiliki nilai kelembaban ideal yang lebih tinggi daripada bahan alami granular. (*US Enviromental Protection Agency, 2000*).

Beberapa nilai sifat mekanik terak boiler dan bottom ash antara lain permeabilitas, nilai CBR, ciri daya tahan (diukur melalui Los Angeles Abrasion Test), dan ciri pemadatan, seperti ketumpatan kering dan kelembaban optimal ditunjukkan dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat Mekanis Khas dari *dry* dan *wet bottom ash*

Sifat Mekanis	Dry Bottom Ash	Wet Bottom Ash
Max. Dry Density	1210-1620 kg/m ³	1330-1650 kg/m ³
Kelembaban	12-24%	8-20%
Tes Abrasi LA (% kehilangan)	30-50	24-48
Sodium Sulfat <i>Soundness Test</i> (% kehilangan)	1.5-10	1-9
Kuat Geser (Sudut Geser)	38-42° 38-45% (ukuran butir < 9.5% mm)	38-42° 38-46° (ukuran butir <9.5mm)
CBR (%)	40-70	40-70
Koefisien Permeabilitas	10 ⁻² - 10 ⁻³ cm/det	10 ⁻² - 10 ⁻³ cm/det
<i>Friable Particle</i> (Kerak Batu Bara)	Ada	Tidak ada

Sumber : *US Enviromental Protection Agency, 2000*

2.1.4 Pemanfaatan *Bottom Ash* pada *Paving Block*

Fly ash dan *bottom ash* adalah metode daur ulang yang mengubah limbah B3 menjadi bahan baku yang dapat digunakan untuk konstruksi seperti batu bata dan paving blok. Proses ini tidak hanya mengolah limbah B3 agar tidak mencemari lingkungan tetapi juga menghasilkan bahan bangunan yang kuat dan ramah lingkungan.

2.1.4.1 Keuntungan Pemanfaatan *Bottom Ash* pada *Paving Block*

Pemanfaatan *Bottom Ash* untuk pembuatan *Paving Block* memiliki banyak keuntungan, baik dari faktor sosial dan ekonomi maupun dampak untuk lingkungan. Keuntungan dari pemanfaatan *bottom ash*, antara lain :

1. Pengurangan limbah yang harus dikelola di tempat pembuangan akhir
2. Metode ini menggunakan limbah untuk menghasilkan bahan bangunan yang tahan lama, bermutu tinggi, dan hemat energi.
3. Mengurangi biaya pengelolaan limbah dan mendapatkan material konstruksi dengan biaya lebih rendah
4. Membuka peluang pekerjaan dalam industri daur ulang dan manufaktur *paving block*
5. Memberikan kemampuan membuat *paving block* kepada mereka yang membutuhkannya

2.2. Resin Epoksi

Resin termoset, yang juga disebut sebagai bahan epoksi, adalah polimer cair yang mengalami polimerisasi lintas jaringan untuk mengeras. Panjang jaringan silang dan unit molekul yang membentuk jaringan padat mempengaruhi kualitas mekanisnya secara kimiawi. Untuk mendapatkan material dengan kualitas terbaik, proses pembuatan dapat dilakukan pada suhu kamar sambil memperhatikan bahan kimia yang mengontrol polimerisasi lintas jaringan.

Menurut Kuntari (2009) menyatakan bahwa epoksi terdiri dari dua bahan kimia, penguas dan resin, yang digabungkan dengan proporsi yang tepat untuk membuat padatan yang menempel dengan baik pada logam, kulit, kayu, atau beton.

Resin epoksi (RE) adalah polimer termoset yang memiliki gugus epoksi yaitu, gugus dengan dua atom karbon mengikat atom oksigen Karena banyak manfaatnya, resin ini digunakan secara luas sebagai perekat. Salah satu manfaatnya adalah ketahanannya terhadap suhu panas dan dingin serta terhadap alkohol, asam, alkali, minyak, dan pelarut aromatik. Selain itu, itu tetap kuat selama bertahun-tahun. Banyak orang juga menggunakannya dalam kayu, kaca, keramik, dan logam. Karena resin epoksi menghasilkan panas, proses pengerasan beton dapat dipercepat. (Gemert,D. V.,et. al., 2004).

Resin epoksi ini memiliki sifat mekanis yang kuat, penyusutan yang rendah, daya rekat yang baik pada banyak bahan logam, tahan terhadap kelembapan udara, dan tahan terhadap tekanan. Setelah dikeraskan, resin ini tidak dapat dilelehkan lagi, bahkan dengan pemanasan sekalipun.

2.2.1 Klasifikasi Resin Epoksi

Jenis, kelas, dan warna resin epoksi digunakan untuk mengatur sistem perekat menurut SNI 8127:2015 (ASTM C881/C881M-10,MOD)

- a. Tipe I : Digunakan untuk melekat beton keras ke dalam mortar epoksi atau bahan epoksi lainnya, serta pada sambungan yang tidak dipenuhi untuk menggabungkan beton keras dengan bahan lain.
- b. Tipe II : Digunakan untuk menyatukan beton segar dan keras pada sambungan yang tidak dimuat.
- c. Tipe III : Digunakan untuk melekat pada mortar epoksi atau beton epoksi pada permukaan yang dilalui (atau permukaan yang terkena gerakan mekanis atau termal). Ini juga dapat digunakan untuk menggabungkan bahan anti selip dengan beton keras.
- d. Tipe IV : Digunakan untuk mengikat mortar epoksi dan beton epoksi, serta untuk membuat sambungan yang dimuat ketika beton keras digabungkan dengan bahan lain.
- e. Tipe V : Digunakan untuk menggabungkan beton yang segar dan keras ke dalam sambungan yang berat.

- f. Tipe VI : Digunakan untuk menutupi dan mengikat bagian pracetak segmental selama pasca-tegangan dengan menggunakan peregangan rentang demi bentang dan tendon internal
- g. Tipe VII : Bahan penutup bebas tegangan ini digunakan untuk potongan pracetak segmental ketika tarikan sementara tidak dilakukan untuk meregangkan pemasangan.

2.2.2 Karakteristik Resin Epoksi

Resin Epoksi merupakan bahan polimer yang sangat populer dalam berbagai industri karena karakteristiknya yang unik, resin epoksi memiliki berbagai macam karakteristik antara lain yaitu :

2.2.2.1 Ketahanan Kimia yang Tinggi

Resin epoksi terkenal karena ketahanannya terhadap berbagai bahan kimia seperti pelarut organik, asam, dan alkali. Ini menjadikannya pilihan utama dalam pelapisan atau komposit yang harus bertahan di lingkungan yang korosif (Bledzki et al., 2008).

2.2.2.2 Kekuatan Mekanik yang Tinggi

Resin epoksi memiliki sifat mekanik yang sangat baik setelah proses pengeringan, yang membuatnya cocok untuk aplikasi struktural dan komposit. Ini memberikan kekuatan tarik, lentur, dan geser yang tinggi (Bharadwaj et al., 2013).

2.2.2.3 Perawatan atau *curing* yang dapat dikendalikan

Proses perawatan resin epoksi, yang mengandalkan campuran resin dan pengeras, dapat dikendalikan, memungkinkan penyesuaian waktu pengeringan untuk berbagai aplikasi (Kumar et al., 2011).

2.2.2.4 Ketahanan terhadap Air dan Suhu

Resin epoksi memiliki ketahanan terhadap air dan suhu tinggi, yang membuatnya sering digunakan dalam aplikasi luar ruangan atau di lingkungan ekstrem (Wang et al., 2014).

2.3 Paving Block

Batu bata beton, atau bisa disebut *paving block*, dibuat dari agregat, air, dan semen portland atau lem hidrolitik. Mereka dapat digunakan dengan atau tanpa bahan variasi lain, dan mereka tidak mengurangi kualitas batu bata beton. Baik di halaman maupun di luar struktur, batu bata beton dapat dipakai. Mereka dapat diwarnai untuk menciptakan efek warna-warni atau mempertahankan warna aslinya. (SNI 03-0691, 1996).

Paving blok, juga dikenal sebagai "batu bata beton", adalah jenis beton yang dibuat dengan agregat, air, semen portland yang sebanding, dan bahan tambahan yang tidak mengurangi kualitas secara keseluruhan. Di lapangan, beton, semen, pasir, 17 agregat, dan air digunakan untuk membuatnya. Selama proses pembuatan, semua komponen dicampur dan campuran bata beton (*paving block*) dilemparkan. *Compactor paving block* dibuat untuk meningkatkan kualitas *paving block* yang dibuat dari semen dan kotoran. (Hidayati, t.t.).

Paving biasanya digunakan untuk membangun jalan dan jalur baru. Mereka juga dapat digunakan di tempat parkir, pelabuhan, dan area bisnis yang luas. *Paving block* juga membuat tindakan ramah lingkungan menjadi lebih mudah, sesuai dengan tren keberlanjutan global. Mereka meningkatkan kapasitas retensi air, membantu menyeimbangkan permukaan air tanah. (Adibroto, 2014).

Paving block biasanya dipasang di permukaan yang tidak rusak atau retak di luar bangunan. Berikut adalah beberapa keuntungan menggunakan *paving block* :

- a. Tahan lama dan kuat karena *paving block* terbuat dari beton yang dipadatkan dengan tekanan tinggi, sehingga sangat kuat dan tahan lama.
- b. Perawatan yang rendah karena membutuhkan sedikit perawatan dibandingkan dengan aspal dan jalan cor beton, Jika ada bagian yang retak atau rusak, penggantian *paving block* yang rusak dapat dilakukan dengan mudah tanpa memperbaiki seluruh permukaan.
- c. Kemampuan dalam mendukung drainase, karena area di antara trotoar memungkinkan curah hujan turun ke tanah.
- d. Ramah lingkungan karena proses produksinya yang relatif sederhana, *paving block* lebih ramah lingkungan dibandingkan aspal atau jalan cor beton.

- e. Estetika dan Variasi Desain, memungkinkan desain yang lebih serbaguna dan menarik karena tersedia dalam berbagai ukuran, bentuk, dan warna.

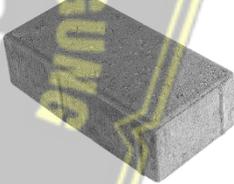
2.3.1 Karakteristik *Paving Block*

Berdasarkan SK SNI T-04-1990-F, *paving block* memiliki karakteristik antara lain: Karakteristik berdasarkan bentuk, Karakteristik berdasarkan tebal, Karakteristik berdasarkan kekuatan, dan karakteristik berdasarkan warna akan diperlihatkan sebagai berikut.

2.3.1.1 Karakteristik *Paving Block* berdasarkan Bentuk

Paving Block memiliki berbagai macam bentuk, karena memiliki fungsi yang berbeda dan harga yang berbeda dari masing masing bentuk. Berbagai jenis *paving block* akan dijelaskan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Karakteristik *Paving Block* berdasarkan Bentuk

NO	Bentuk <i>Paving Block</i>	Gambar
1	Bentuk Segi Empat (Balok)	
2	Bentuk Segi Empat (Kubus)	
3	Bentuk Segi Lima (Topi Uskup)	

4	Bentuk Segi Enam (Hexagon)	
5	Bentuk Zig – Zag (Cacing)	
6	Bentuk Pola Khusus (Kombinasi)	

Sumber : SK SNI T-04-1990-F

2.3.1.2 Karakteristik *Paving Block* berdasarkan Ketebalan

Karakteristik *paving* berdasarkan ketebalan banyak variasi tergantung pada penggunaannya dan bahan yang digunakan. Berikut adalah karakteristik *paving block* berdasarkan ketebalannya

- Paving blok* dengan ketebalan 3–6 cm biasanya digunakan di taman, area pejalan kaki, dan tempat dengan lalu lintas rendah.
- 6 – 8 cm, biasanya digunakan untuk area parkir, jalan setapak, dan area dengan lalu lintas standar
- Paving Block* dengan ketebalan 8 – 10 cm, digunakan untuk jalan raya, area parkir, dan lokasi dengan lalu lintas padat
- Paving Block* dengan ketebalan khusus yaitu lebih dari 10 cm, digunakan untuk aplikasi industri atau area yang memerlukan ketahanan ekstra

2.3.1.3 Karakteristik *Paving Block* berdasarkan Kekuatan

Karakteristik *Paving Block* berdasarkan kekuatan bisa dibedakan berdasarkan beberapa faktor, termasuk material, metode produksi, dan ketebalan. Berikut adalah beberapa karakteristik *paving block* berdasarkan kekuatan.

- a. Paving blok digunakan untuk jalan raya yang terbuat dari beton kualitas A dengan nilai $f'c$ 35–40 Mpa.
- b. Paving blok yang terbuat dari beton kualitas B dengan nilai $f'c$ 17–20 Mpa dipakai untuk tempat parkir atau ruang.
- c. Paving blok yang digunakan untuk area pejalan kaki terbuat dari beton kualitas C dengan nilai $f'c$ antara 15 hingga 12,5 Mpa.
- d. Paving blok yang dibuat dari beton kualitas D dengan nilai $f'c$ 10–8,5 Mpa dipakai untuk area taman.

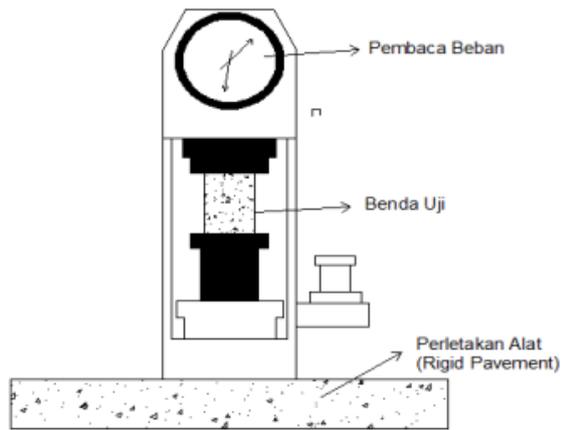
2.3.1.4 Karakteristik *Paving Block* berdasarkan Warna

Karakteristik *paving block* berdasarkan warna dapat mempengaruhi estetika, fungsi, dan bahkan daya tahan *paving block* itu sendiri. Trotoar berwarna dapat berfungsi sebagai pembatas untuk area seperti tempat parkir dan saluran air, selain menambah nilai estetika. Dengan mempertimbangkan karakteristik berdasarkan warna, pemilihan *paving block* dapat membuat keputusan yang lebih baik mengenai desain maupun fungsional area yang akan di pasang *paving block*.

2.3.2. Kuat Tekan *Paving Block*

Kekuatan tekan adalah tekanan tertinggi yang dapat ditahan batu paver sebelum mengalami kerusakan atau deformasi yang tidak dapat diubah. Nilai ini dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa) atau kilogram per sentimeter persegi (kg/cm^2). Salah satu ukuran penting untuk mengevaluasi kualitas *paving block* adalah kekuatan tekannya.

Menggunakan benda uji kubus, mesin uji digunakan untuk mengukur kekuatan tekan perkerasan dengan menerapkan beban tekan multi-level pada kecepatan peningkatan beban tertentu. Mesin press kemudian menekan benda uji hingga pecah. Kekuatan tekan beton, yang diberikan dalam MPa atau kg/cm^2 , dihitung dengan membagi beban tekan tertinggi saat sampel pecah dengan luas penampangnya. Metode pengujian yang paling umum adalah standar ASTM C 39 atau PBI 1989.



Gambar 2.1 *Compression Testing Machine*

Sumber : *Wikipedia*

Untuk memperoleh nilai kuat tekan *paving block* menggunakan rumus di bawah ini:

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

Keterangan :

$f'c$: Kuat tekan *paving* (Mpa)

P : Beban maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji (mm²)

Kualitas paving blok diklasifikasikan menurut SNI 03-0691-96 dan dibagi menjadi empat kategori. Kualitas A, B, C, dan D dipakai untuk trotoar jalan, lahan parkir, taman kota, dan area pejalan kaki. Tabel 2.5 menjelaskan nilai batas *paving block* untuk penyerapan air dan kekuatan tekan karena berbagai aplikasinya.

Tabel 2.5. Klasifikasi Mutu *Paving Block*

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

Sumber : SNI 03-0691-1996

2.3.2.1 Faktor Kuat Tekan *Paving Block* setelah ditambahkan dengan *Bottom Ash* dan Resin Epoksi

Niali Kuat tekan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut antara lain :

a. Jenis resin dan kualitasnya

Banyak nya jenis resin dengan berbagai macam – macam keunggulan menjadikan pengaruh terhadap kualitas *paving block* tersebut seperti resin epoksi yang mempunyai sifat mekanis tergantung pada unit molekuler yang dapat membentuk jaringan rapat hingga panjang jaringan silang.

b. Komposisi Limbah Batu Bara *Bottom Ash* dan Resin Epoksi

Komposisi limbah batu bara *bottom ash* dan resin epoksi dipengaruhi oleh sifat dan peran kedua material tersebut dalam struktur *paving block*. Sebagai limbah hasil pembakaran batu bara, memiliki sifat *pozzolanik*, artinya material ini mengandung senyawa silika dan alumina yang dapat bereaksi dengan kapur dalam beton, sementara itu, resin epoksi berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) yang memiliki sifat tahan terhadap beban mekanis serta kimia.

Komposisi yang ideal antara *bottom ash* dan resin epoksi sangat penting untuk mencapai kuat tekan optimal. Proporsi yang berlebihan dari *bottom ash* dapat meningkatkan porositas, yang justru menurunkan kekuatan tekan, sementara penggunaan resin epoksi yang terlalu sedikit tidak cukup untuk

memperkuat struktur paving, kombinasi yang tepat dari kedua bahan ini mampu menghasilkan *paving block* yang ramah lingkungan dengan performa mekanis yang sangat baik.

c. Sifat Agregat

Agregat adalah material yang mencakup hingga 70-80% dari total volume *paving block*, sehingga karakteristiknya memainkan peran krusial dalam menentukan kekuatan akhir *paving block*. Beberapa sifat agregat yang memengaruhi kuat tekan adalah :

- Ukuran dan Gradasi Agregat, Gradasi agregat yang baik, dengan kombinasi ukuran partikel besar dan kecil, membantu meningkatkan kepadatan campuran *paving block*, namun gradasi yang buruk akan membuat *paving block* banyak memiliki rongga udara yang dapat melemahkan strukturnya.
- Bentuk dan Tekstur Permukaan Agregat, Agregat bersudut dan bertekstur kasar menciptakan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen dibandingkan agregat bulat atau halus. Namun, agregat bersudut membutuhkan lebih banyak semen untuk membentuk adukan yang homogen.
- Kekerasan dan Ketahanan Agregat, Agregat keras, seperti batu pecah dari batuan beku (andesit atau *basalt*), memiliki ketahanan yang tinggi terhadap tekanan dan deformasi. Sebaliknya, agregat yang lunak atau mudah pecah, seperti batu kapur, dapat menurunkan kuat tekan *paving block* karena tidak mampu menahan beban berat.
- Kebersihan Agregat, Agregat yang terkontaminasi oleh lumpur, debu, atau bahan organik dapat mengganggu adhesi antara agregat dan pasta semen. Hal tersebut mempengaruhi lemahnya ikatan material dan menurunkan kekuatan *paving block*. Oleh karena itu, agregat harus dicuci sebelum digunakan jika ditemukan kotoran yang signifikan.

d. Umur *Paving Block*

Umur *paving block* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji kuat tekan. Proses ini berlangsung selama beberapa waktu, dan kekuatan paving terus meningkat seiring bertambahnya umur. Biasanya, saat umur 7 hari, beton mendapat nilai sekitar 70% dari kekuatan maksimumnya, dan saat umur 28 hari, beton dapat mendapat kekuatan penuh. Umumnya, *paving block* diuji saat umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *paving block* yang diuji saat umur 28 hari mendapatkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi diperbandingkan dengan yang diuji pada umur yang lebih muda, serta dilakukan perawatan (*curing*) yang baik sangat penting untuk mencapai kekuatan maksimum.



2.3. Keaslian Tugas Akhir

Telah terdapat penelitian sebelumnya yang memfokuskan pada teknologi dan inovasi dalam bidang perkerasan jalan. Meskipun demikian sejauh pengetahuan peneliti, belum ditemukan penelitian sebelumnya yang sebanding dengan penelitian yang kami lakukan. Penelitian sebelumnya antara lain :

NO	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2020	Sofian Ari Saputra, Wahyu Satria Virmansyah	Penggunaan Sampah Plastik Untuk Campuran <i>Paving Block</i>	Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan komposisi sampah plastik yang digunakan untuk membuat <i>paving block</i> , serta efek kekuatan lentur dan tekan yang dimiliki oleh material tersebut.	Selama pengujian pendekatan proyek akhir, mesin uji kompresi digunakan untuk memastikan kekuatan lentur dan tekan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>paving block</i> yang terbuat dari campuran limbah plastik PET, LDPE, dan HDPE memiliki kualitas yang sebanding dengan <i>paving block</i> konvensional.
2	2019	Hadi Winarno, Damris Muhammad, Rayandra	Pemanfaatan Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dari PLTU	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah limbah fly ash dan limbah bottom ash yang ditambahkan.	Lokasi produksi adalah Workshop UKM Mulio Asih di Suka Jaya, Desa Suka Jaya, Kecamatan Bayung Lencir,	Menurut penelitian yang dilakukan, campuran maksimal yang didapat pada sampel adalah 1:2:2 dengan perbandingan fly ash, bottom ash, dan semen.

		Ashyar, Yudha Gusti Wibowo	SUMSEL-5 sebagai Bahan Utama Pembuatan <i>Paving Block</i>	Dengan mempertimbangkan perbedaan antara keduanya, tujuan ini cukup layak.	Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan.	
3	2019	Qurrota Ayyuni Luthfianti	Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) sebagai Substitusi Agregat Halus pada <i>Paving Block</i> .	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan rata-rata yang dapat ditoleransi <i>Paving Block</i> ketika plastik PET diganti untuk setiap bagian.	Untuk penelitian ini, variabel terikat, variabel independen, dan SNI digunakan. Komposisi <i>Paving Block</i> didasarkan pada beberapa referensi jurnal sebelumnya.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>paving block</i> normal (0%) memiliki kekuatan tekan 11,32 MPa, naik 0,3% menjadi 12,31 MPa, naik 0,4% menjadi 12,70 MPa, naik 0,5% menjadi 14,55 MPa, dan naik 0,6% menjadi 11,82 MPa. Dengan menggunakan <i>paving block</i> daripada kisi plastik PET, kekuatan tekan yang dapat ditoleransi untuk setiap komposisi

4	2019	Fadhil Ammar Hakim	Pemanfaatan Biji Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) sebagai Substitusi Agregat pada Bata Beton (<i>Paving Block</i>)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tekan rata-rata yang diizinkan dari blok paving yang dibuat dengan biji plastik <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) yang disubstitusi dalam setiap komposisi.	Metode penelitian ini mengikuti SNI 03-0691-1996 untuk batu bata beton. Struktur <i>paving block</i> berasal dari beberapa artikel jurnal yang sudah diterbitkan.	Temuan menunjukkan bahwa <i>paving block</i> normal (0%) mengalami peningkatan 0,3% dari 12,90 MPa, peningkatan 0,4% dari 14,63 MPa, peningkatan 0,5% dari 13,29 MPa, dan peningkatan 0,6% dari 11,58 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paving blok dapat memiliki kekuatan tekan berikut ketika setiap komposisi diganti dengan biji plastik HDPE.
5	2020	Fadhilatul Rohma	Pembuatan <i>Paving Block</i> berbahan Dasar Limbah Plastik <i>Polyethylene, Bottom Ash</i>	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik fisik (kuat tekan dan penyerapan air) <i>paving block</i> yang terbuat dari bottom ash,	Langkah pertama dalam metodologi penelitian ini adalah 1. memilih dan menyiapkan bottom ash dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa batu bata dengan masa inkubasi 28 hari menunjukkan karakteristik fisik berdasarkan kekuatan tekan sebesar 25,63 Mpa dan penyerapan air sebesar 0,59%.

			<p>Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir</p>	<p>pasir, dan plastik polietilen dalam berbagai rasio massa.</p>	<p>sampah plastik PET.</p> <p>2. Langkah kedua adalah membuat blok paving.</p> <p>3. Uji blok paving: penyerapan air, ketahanan natrium sulfat, kekuatan tekan, dan mikroskop elektron pemindaian (SEM)</p>	
--	--	--	--	--	---	--

BAB III

METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

Salah satu dari banyak elemen penelitian yang sedang dilakukan adalah teknik eksperimental; ini adalah strategi yang digunakan untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan dengan terkendali, dampak dari satu perlakuan terhadap perlakuan lainnya (Jaya et al., 2019). Menurut definisi yang diberikan oleh ahli tersebut, Bagaimana terapi memengaruhi subjek penelitian adalah tujuan dari penelitian eksperimental.

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan dan eksperimen dengan desain yang sistematis. *Bottom ash* akan dihancurkan dan disaring agar menjadi halus untuk memudahkan pencampuran dengan bahan lainnya. Proses pencampuran akan dilakukan dengan proporsi tertentu, yaitu 0%, 4%, 6%, dan 8% dari total berat campuran.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap produksi benda uji, proses produksi dilakukan di Pabrik Paving Multiblock yang beralamat di Jalan Sumberejo, Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah, sedangkan pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan di Laboratorium Transportasi Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Desember 2024 sampai dengan bulan Januari 2025.

3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.3.1. Bahan Penelitian

Beberapa sumber daya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen

Pengecekan, tidak ada gumpalan pada semen setelah dibuka, menurut inspeksi visual.



Gambar 3.1 Semen *Portland*

Sumber : Penulis, 2024

2. Pasir (Agregat Halus)

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir yang bersumber dari Muntilan.



Gambar 3.2 Agregat Halus

Sumber : Penulis, 2024

3. Air

Air penelitian berasal dari air PDAM, dan telah diperiksa secara visual untuk memastikan bahwa itu murni dan tidak mengandung zat-zat yang tidak diperlukan untuk air minum, seperti lumpur, minyak, atau garam.



Gambar 3.3 Air

Sumber : Penulis, 2024

4. *Bottom ash*

Bottom ash yang digunakan bersumber dari PT. Sango Ceramics Indo yang telah dihancurkan kemudian disaring agar halus untuk mempermudah dalam pencampuran *paving block*.



Gambar 3.4 *Bottom Ash*

Sumber : Penulis, 2024

5. Resin epoksi

Ketika epoksi bereaksi dengan katalis atau pengeras, polimer tertentu yang disebut resin epoksi dihasilkan. Resin ini dikenal dengan sifatnya yang kuat, tahan lama, dan memiliki daya rekat yang sangat baik.



Gambar 3.5 Resin Epoksi

Sumber : Penulis, 2024

3.3.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Saringan

Saringan yang dipakai menyaring pasir dan *bottom ash* dalam pembuatan *paving block* dan menggunakan nomor 30, 50, 100 dan 200



Gambar 3.6 Saringan

Sumber : Penulis, 2024

2. Timbangan Digital

Timbangan tersebut digunakan untuk penimbangan berat semen, pasir, *bottom ash*, dan lain sebagainya.



Gambar 3.7 Timbangan Digital

Sumber : Penulis, 2024

3. Gelas Ukur

Penelitian ini menggunakan gelas ukur ukuran 500 ml yang berfungsi untuk mengukur jumlah dan zat lainnya.



Gambar 3.8 Gelas Ukur

Sumber : Penulis, 2024

4. Cetakan *Paving Block* (20 cm x 10 cm x 6 cm)

Penelitian ini menggunakan cetakan dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm.



Gambar 3.9 Cetakan *Paving Block*

Sumber : Penulis, 2025

5. *Hydraulic Paving Block Press Machine*

Alat ini digunakan untuk membantu proses pembuatan *paving block* dengan menggunakan tekanan hidrolis.



Gambar 3.10 *Hydraulic Paving Block Press Machine*

Sumber : Penulis, 2024

6. *Compression Testing Machine*

Alat ini dapat digunakan untuk memeriksa kekuatan tekan dan lentur sampel *paving block*.



Gambar 3.11 *Compression Testing Machine*

Sumber : Penulis, 2024

7. Alat Pendukung

Alat bantu yang digunakan antara lain sendok semen, ember, spidol, penggaris, jangka sorong, dan berbagai alat lainnya.

3.4. Tahapan Rencana Penelitian

Di bawah ini adalah diagram alur penelitian yang menunjukkan tahapan penelitian ini:



3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Penyiapan *Bottom Ash* dan Resin Epoksi

Paving blok yang dibuat dari bottom ash dan resin epoksi digunakan dalam penelitian ini dan kemudian dievaluasi menggunakan SNI 03-0691-1996. Faktor yang sedang diperiksa adalah kekuatan tekan, kepadatan, dan penyerapan air. Tabel 3.1 menunjukkan proses pencampuran bahan dasar dengan bottom ash dan resin epoksi.

Tabel 3.2 Komposisi Bahan Baku Pembuatan *Paving Block*

Kode Uji Sampel	Semen	Pasir	<i>Bottom Ash</i>	Resin Epoksi	Air
B0R0	40%	60%	0%	0%	0,5%
B4R3	40%	60%	4%	3%	0,5%
B6R5	40%	60%	6%	5%	0,5%
B8R7	40%	60%	8%	7%	0,5%

3.5.2. Pembuatan *Paving Block*

Beberapa metode yang digunakan untuk membuat *paving block*:

1. Memberikan bahan *paving block* yang terdiri dari semen, pasir, air, bottom ash, dan resin epoksi.
2. Untuk menghindari zat yang dapat mempengaruhi campuran paving blok dan menurunkan kualitasnya, bersihkan semua peralatan yang akan digunakan.
3. Mengikuti proporsi bahan yang telah ditentukan sebelumnya, bahan yang telah disiapkan dan diaduk digabungkan secara seragam.
4. Pindahkan adonan ke dalam cetakan.
5. Untuk menekan cetakan, gunakan mesin *Hydraulic Paving Block Press*.
6. Setelah cetakan diberi dengan variasi paduan, paving dibiarkan mengeras dalam waktu dua hari. Setelah itu, selama empat belas hari, paving dibiarkan di bawah sinar matahari.

3.6. Metode Karakterisasi

Di dalam penelitian ini ada beberapa pemeriksaan karakteristik, yaitu karakteristik fisis dan karakteristik mekanis, yaitu sebagai berikut :

3.6.1. Metode Karakterisasi Fisis

Metode karakterisasi fisis adalah teknik yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat fisik suatu material. Metode karakteristik fisis pada penelitian ini yang akan diuji ada Uji Densitas dan Uji Daya Serap Air

3.6.1.1. Densitas

Uji densitas adalah metode yang digunakan untuk mengukur densitas atau kerapatan suatu material, yang didefinisikan sebagai massa per unit volume. Uji densitas dilakukan dengan cara berikut:

1. Siapkan sampel penelitian.
2. Timbang massa item uji.
3. Ukur volume item uji.
4. Dengan menggunakan data yang dihasilkan, hitung nilai kerapatan masing-masing item uji.
5. Berikan hasil nilai kerapatan.

3.6.1.2. Daya Serap Air

Uji penyerapan air adalah cara untuk mengetahui seberapa baik material dapat menyerap air. Untuk mengetahui berapa banyak air yang diserap, prosedur berikut diikuti:

1. Setelah 14 hari pengeringan, masukkan batu paving yang akan diuji ke dalam wadah dengan air.
2. Hasil pengukuran massa paving blok dicatat.
3. Selama satu hari, rendam paving dalam air.
4. Setelah *paving block* direndam selama 24 jam, *paving block* diangkat dari wadah dan dihitung massa *paving block*.
5. Hitung nilai daya serap air masing-masing benda uji dari data yang dihasilkan.
6. Catat nilai daya serap air yang dihasilkan.

3.6.2. Metode Karakterisasi Mekanis

Metode karakterisasi mekanis adalah teknik yang digunakan untuk menentukan sifat mekanik suatu material, seperti kekuatan, kekakuan, ketangguhan, dan deformasi. Metode karakteristik mekanis yang akan diuji adalah Uji Kuat Tekan.

3.6.2.1. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan adalah metode yang dipakai untuk mengukur kemampuan bahan *paving block*, dalam menahan beban tekan tanpa mengalami kerusakan. Nilai kekuatan tekan blok paving harus diukur melalui pengujian berikut:

1. Siapkan item uji.
2. Sebelum melakukan uji kekuatan tekan, ukur panjang, lebar, dan tinggi sampel.
3. Benda uji berukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm harus diletakkan ke dalam Mesin *Compression Testing Machine*
4. Atur jarum instrumen gaya tekan ke nol.
5. Setelah menekan tombol daya, berikan tekanan (F) dengan lembut dari atas hingga blok paving runtuh; perhatikan lampu yang menunjukkan beban.
6. Observasi nilai beban kompresi maksimum yang ditunjukkan oleh pengukur.
7. lakukan kembali prosesnya tiga kali menggunakan sampel uji, untuk mengkodekan sampel dengan komposisi yang berbeda

3.7. Pembuatan Benda Uji dengan Kuat Tekan *Paving K-250 (Fc 20 MPa)*

Komposisi *paving block* yang direncanakan menggunakan kuat tekan F_c 20 Mpa. Pembuatan benda uji akan memastikan kekuatan tekan dasar yang ideal, yang selanjutnya akan dipakai adalah kombinasi *paving block* yang diubah. Variasi *paving block* tanpa bahan *bottom ash* dan resin epoksi akan dibuat dengan jumlah 3 buah dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.3 Rancangan Campuran *Paving Block (Job Mix Design)* dengan Kuat Tekan Fc 20 Mpa

No	Komposisi	%	Hasil
1	Pasir	60%	1500 g
2	Semen	40%	1000 g
3	Air	0,5%	0,5 l
Total		100%	2500 g

3.8. Rancangan Campuran *Paving Block (Job Mix Design)*

Komposisi campuran *paving block* modifikasi menggunakan kuat tekan Fc 20 Mpa yang direncanakan menggunakan bahan tambah *bottom ash* dan resin epoksi dengan kadar *bottom ash* 4%, 6%, dan 8% dan resin epoksi 3%, 5%, dan 7%. Masing-masing variasi yang dibuat yaitu 3 buah dengan campuran *bottom ash* 4% dan resin epoksi 3%, *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5%, *bottom ash* 8% dan resin epoksi 7% dengan keseluruhan *paving block* modifikasi adalah 12 benda uji.

Tabel 3.4 Rancangan *Paving Block (Job Mix Design)* dengan *bottom ash* 0% dan Resin Epoksi 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Pasir	60%	1500 g
2	Semen	40%	1000 g
3	Air	0,5 %	0,5 l
Total		100%	2500 g
Keterangan Bahan Tambah :			
<i>Bottom Ash</i>		0%	0 g
Keterangan Bahan Tambah :			
Resin Epoksi		0%	0 g

Tabel 3.5 Rancangan *Paving Block (Job Mix Design)* dengan *bottom ash* 4% dan Resin Epoksi 3%

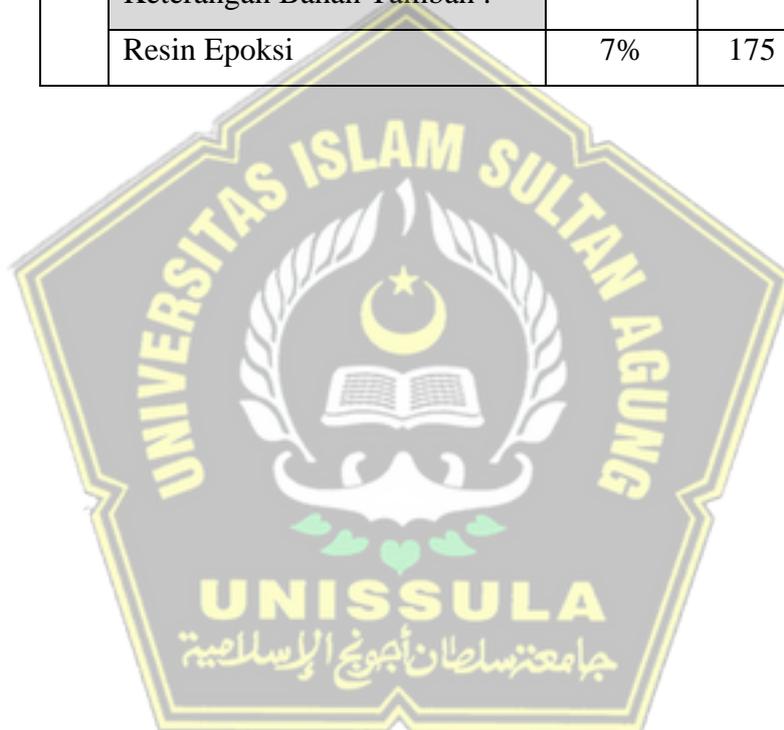
No	Komposisi	%	Hasil
1	Pasir	60%	1500 g
2	Semen	40%	1000 g
3	Air	0,5%	0,5 l
	Total	100%	2500 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	<i>Bottom Ash</i>	4%	100 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Resin Epoksi	3%	75 g

Tabel 3.6 Rancangan *Paving Block (Job Mix Design)* dengan *bottom ash* 6% dan Resin Epoksi 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Pasir	60%	1500 g
2	Semen	40%	1000 g
3	Air	0,5%	0,5 l
	Total	100%	2500 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	<i>Bottom Ash</i>	6%	150 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Resin Epoksi	5%	125 g

Tabel 3.7 Rancangan *Paving Block (Job Mix Design)* dengan *bottom ash* 8% dan Resin Epoksi 7%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Pasir	60%	1500 g
2	Semen	40%	1000 g
3	Air	0,5 %	0,5 l
	Total	100%	2500 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	<i>Bottom Ash</i>	8%	200 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Resin Epoksi	7%	175 g



Tabel 3.8. Perhitungan Jumlah Sampel Benda Uji *Paving Block* dengan Fc 20 Mpa

Nama Sampel	Semen		Pasir		Air		Bottom Ash		Resin Epoksi		Total	Jumlah Sampel
	(g)	(%)	(g)	(%)	(l)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
B0R0	1000	40	1500	60	0,5	0,5	0	0	0	0	0	3
B4R3	1000	40	1500	60	0,5	0,5	100	4	75	3	2675,5	3
B6R5	1000	40	1500	60	0,5	0,5	150	6	125	5	2775,5	3
B8R7	1000	40	1500	60	0,5	0,5	200	8	175	7	2875,5	3
TOTAL SAMPEL DENGAN MUTU Fc 20 Mpa												12



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Uraian Umum

Penelitian dan pengujian ini dilaksanakan di dua tempat yang berbeda, untuk pembuatan sampel benda uji dilakukan di Pabrik Multiblock yang beralamat di Kabupaten Demak sedangkan untuk pengujian sampel benda uji ini dilakukan di Laboratorium Transportasi Jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Studi ini akan menguji sifat mekanik, seperti kekuatan tekan, dan fisik, paving blok yang mengandung bahan tambahan seperti bottom ash dan resin epoksi. Berbagai komposisi bahan yang berbeda telah diuji. Sesuai dengan batasan masalah yang ditetapkan, pengujian dilakukan pada usia 14 hari.

4.2. Karakteristik Fisis

Karakteris fisis *paving block* adalah sifat-sifat yang dapat diukur dan diamati secara langsung, yang akan mempengaruhi fungsi dan penggunaan *paving block*. Pada penelitian ini meneliti karakteristik fisik *paving block* terdiri dari densitas maupun daya serap air *paving block* setelah diberi variasi *bottom ash* dan resin epoksi.

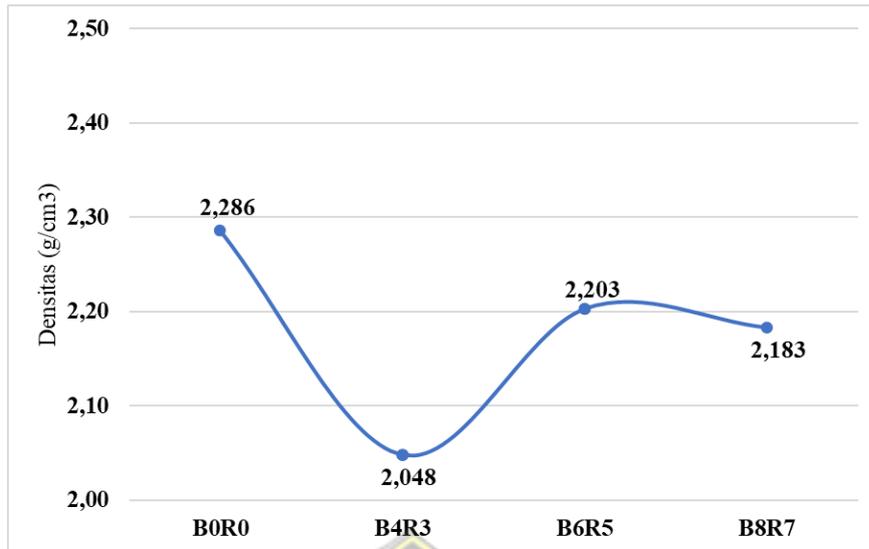
4.2.1. Densitas

Uji densitas *paving block* adalah salah satu metode untuk menentukan kepadatan atau berat jenis dari *paving block*. Uji ini penting untuk memastikan bahwa *paving block* memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1,

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Uji Densitas *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Volume (cm ³)	Berat (g)	Densitas (g/cm ³)	Densitas rata – rata (g/cm ³)
B0R0	A	1200	294	2,222	2,286
	B		294,5	2,226	
	C		319	2,411	
B4R3	A	1200	273,5	2,067	2,048
	B		279	2,109	
	C		260,5	1,969	
B6R5	A	1200	275	2,079	2,203
	B		310,5	2,347	
	C		289	2,184	
B8R7	A	1200	295	2,230	2,183
	B		287,5	2,173	
	C		284	2,147	

Nilai densitas paving blok ditunjukkan pada Tabel 4.1 di atas pada campuran *bottom ash* 4% dan resin epoksi 3% memiliki nilai densitas rata rata 2,048 g/cm³, pada campuran *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5% memiliki nilai densitas rata – rata 2,203 g/cm³, Dalam perbedaan dari sampel B4R3 dan B8R7, campuran *bottom ash* 8% dan resin epoksi 7% memiliki kerapatan rata-rata 2,183 g/cm³. Ini memenuhi tingkat minimum 2,20 g/cm³ yang sesuai dengan SNI 3-2847-2002. Data kepadatan untuk beberapa campuran *bottom ash* dan resin epoksi ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Densitas *Paving Block*

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, sampel dengan bottom ash 0% dan resin epoksi 0% memiliki nilai kerapatan tertinggi, dengan densitas 2,286 g/cm³; sampel dengan bottom ash 4% dan resin epoksi 3% memiliki nilai kerapatan terendah, dengan densitas 2,048 g/cm³.

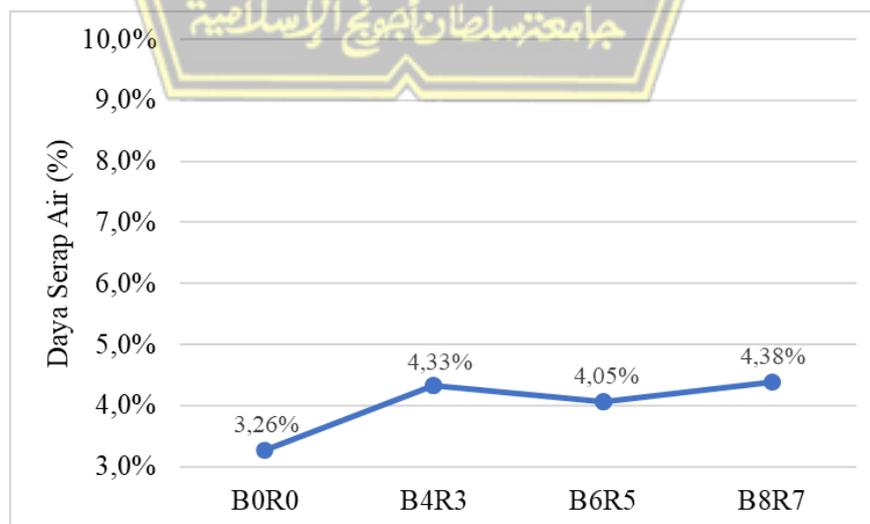
4.2.2. Daya Serap Air

Pengujian penyerapan air pada batu paving sangat penting untuk mencegah kerusakan air dan mengevaluasi ketahanan batu paving terhadap lingkungan luar. Hasil pengujian daya serap air dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*

Sampel	Kode Sampel	Daya Serap Air (%)	Daya Serap Air Rata – Rata (%)	SNI 03-0691-1996 (%)
B0R0	A	3,74	3,26	Minimal 3 dan Maksimal 10
	B	3,23		
	C	2,82		
B4R3	A	4,02	4,33	
	B	3,58		
	C	5,37		
B6R5	A	5,82	4,05	
	B	3,06		
	C	3,29		
B8R7	A	4,41	4,38	
	B	5,74		
	C	4,38		

Seperti terlihat pada Tabel 4.2, nilai rata – rata daya serap air pada sampel B0R0 adalah 3,26%, untuk B4R3 sebesar 4,33%, untuk B6R5 sebesar 4,05%, dan untuk sampel B8R7 yaitu 4,38%. Temuan tersebut memenuhi SNI 03-0691-1996, yang menetapkan minimal 3% dan maksimal 10%. Grafik ini menunjukkan pengukuran rembesan air untuk blok paving resin epoksi dan bottom ash.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengukuran Daya Serap Air *Paving Block*

Setiap sampel yang diuji dalam penelitian ini diuji sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa sampel uji dengan resin epoksi 6% bottom ash dan 5% (B6R5) memiliki nilai penyerapan air terendah, yaitu 4,05%; sampel uji dengan resin epoksi 8% dan 7% (B8R7) memiliki nilai tertinggi, yaitu 4,38%.

4.3. Karakteristik Mekanis

Karakteristik mekanis *paving block* yaitu untuk menentukan kualitas dan kinerja material tersebut dalam penelitian ini. Karakteristik mekanis dalam penelitian ini terdiri dari uji kuat tekan pada *paving block* setelah diberi bahan tambahan *bottom ash* dan resin epoksi.

4.3.1. Uji Kuat Tekan

Setelah dibuat menjadi kubus berdimensi 6 x 6 x 6 cm sesuai dengan SNI 03-0691-1996, sampel paving blok diuji kekuatan tekan. Dengan menggunakan mesin *compressive strength test*, benda uji diberi beban tekan secara berkelanjutan hingga mencapai titik maksimum dan mengalami kegagalan.

Hasil pengujian yang ditunjukkan oleh bantalan monitor menunjukkan bahwa dua jenis paving blok, masing-masing berumur tujuh dan empat belas hari, memiliki nilai kuat tekan yang berbeda.



Gambar 4.3. Uji Kuat Tekan *Paving Block*

Sumber : Penulis, 2024

4.3.1.1. Uji Kuat Tekan Umur *Paving Block* 7 Hari

Tabel 4.3 menunjukkan jumlah kuat tekan paving blokk terhadap umur paving blok selama tujuh hari dengan menggunakan campuran bottom ash dan resin epoksi, sesuai dengan pengujian yang dilakukan.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan Umur *Paving Block* 7 Hari

UMUR 7 HARI					
SAMPSEL	NO SAMPEL	BERAT	GAYA	KUAT TEKAN	RATA-RATA
		(g)	(KN)	(MPa)	(MPa)
B0R0	A	483	74,969	20,82	20,445
	B	477	72,549	20,15	
	C	520	73,291	20,36	
B4R3	A	452	69,119	19,20	18,618
	B	427	65,869	18,30	
	C	354	66,086	18,36	
B6R5	A	386	76,864	21,35	21,377
	B	554	75,536	20,98	
	C	441	78,469	21,80	
B8R7	A	453	66,688	18,52	18,559
	B	477	68,782	19,11	
	C	410	64,968	18,05	

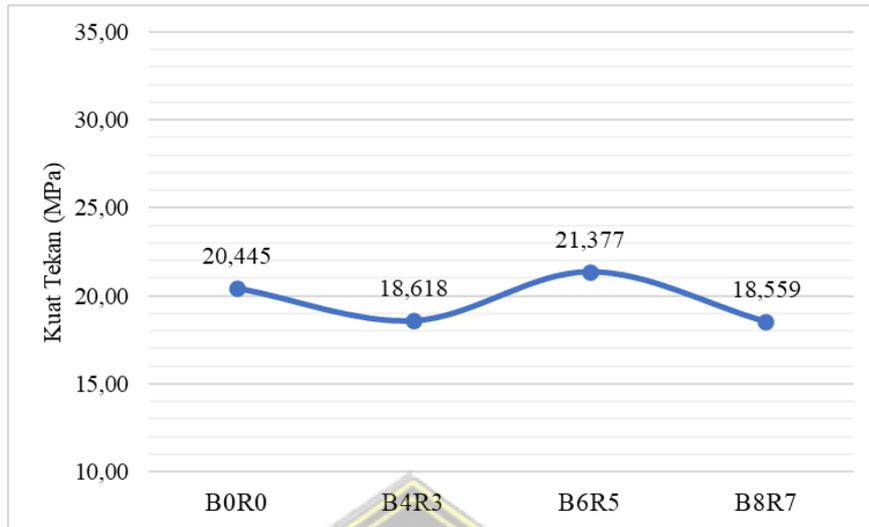
Hasil tes setelah tujuh hari menunjukkan kekuatan tekan yang berbeda. Tabel di atas menunjukkan hasil kekuatan tekan dari setiap sampel.

Perhitungan luas alas sampel yang diuji,

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 6 \text{ cm} \\
 \text{Lebar} &= 6 \text{ cm} \\
 \text{Luas} &= p \times l \\
 &= 6 \times 6 \\
 &= 36 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Data yang diperoleh dari hasil uji tekan,

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya maksimum} &= 76,864 \text{ KN} = 76864 \text{ N} \\
 \text{Luas} &= 36 \text{ cm}^2 = 3600 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{76864}{3600} \\
 &= 21,35 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan 7 Hari

Seperti terlihat pada Gambar 4.4, hasil kuat tekan tertinggi setelah diberi campuran *bottom ash* dan resin epoksi terjadi pada sampel B6R5 yaitu dengan campuran *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5% yang menghasilkan nilai rata – rata 21,377 MPa, sedangkan hasil kuat tekan terendah setelah diberi campuran *bottom ash* dan resin epoksi terjadi pada sampel B4R3 yaitu dengan campuran *bottom ash* 4% dan resin epoksi 5% yang memiliki nilai kuat tekan rata - rata 18,618 MPa.

4.3.1.2. Uji Kuat Tekan Umur *Paving Block* 14 Hari

Berdasarkan uji sampel yang sudah dilakukan, besarnya kuat tekan *paving block* terhadap umur *paving block* 14 hari dengan campuran *bottom ash* dan resin epoksi dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan Umur *Paving Block* 14 Hari

UMUR 14 HARI					
SAMPEL	NO SAMPEL	BERAT	GAYA	KUAT TEKAN	RATA-RATA
		(g)	(KN)	(MPa)	(MPa)
B0R0	A	463,8	81,012	22,50	21,054
	B	439,8	66,635	18,51	
	C	507	79,735	222,15	
B4R3	A	422,2	70,103	19,47	20,078
	B	423,4	74,585	20,72	
	C	413	72,153	20,04	
B6R5	A	497	86,207	23,95	24,085
	B	508,8	88,725	24,65	
	C	492,4	85,19	23,66	
B8R7	A	467	70,856	19,61	19,908
	B	536	68,068	18,91	
	C	539,4	76,347	21,21	

Hasil pengujian kuat tekan setelah umur 14 hari menghasilkan kuat tekan yang bervariasi. Pada tabel di atas didapatkan hasil kuat tekan dari setiap sampel.

Perhitungan luas alas sampel yang diuji,

Panjang = 6 cm

Lebar = 6 cm

Luas = p x l

= 6 x 6

= 36 cm²

Data yang diperoleh dari hasil uji tekan,

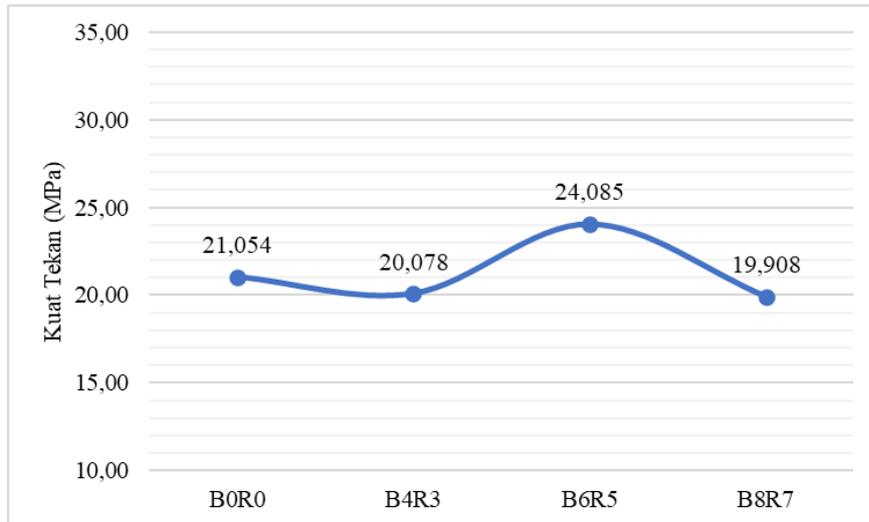
Gaya maksimum = 88,725 KN = 88725 N

Luas = 36 cm² = 3600 mm²

Kuat Tekan = $\frac{P}{A}$

= $\frac{88725}{3600}$

= 24,65 MPa



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan 14 Hari

Seperti terlihat pada Gambar 4.5, hasil kuat tekan tertinggi setelah diberi campuran *bottom ash* dan resin epoksi terjadi pada sampel B6R5 yaitu dengan campuran *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5% yang mendapatkan kuat tekan rata – rata 24,085 MPa, Kekuatan tekan Sampel B8R7, yang memiliki kekuatan tekan rata-rata 19,908 MPa, terendah setelah digabungkan dengan campuran *bottom ash* dan resin epoksi, yang terdiri dari 8% *bottom ash* dan 7% resin epoksi.

4.3.1.3. Perbandingan Nilai Rata – Rata Kuat Tekan



Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Nilai Rata – Rata Kuat Tekan

Seperti yang ditunjukkan pada grafik di atas, sampel B6R5, yang mengandung 6% bottom ash dan 5% resin epoksi, adalah pilihan terbaik karena tujuan penelitian adalah untuk membuat *paving block* dengan kekuatan tekan minimal 20 MPa. Hasil kekuatan tekan rata-rata *paving block* pada 7 hari lebih rendah yaitu sebesar 21,38 MPa daripada nilai pada 14 hari yang memiliki nilai rata – rata kuat tekan yaitu 24,09 MPa. Nilai ini sudah memenuhi tujuan penelitian ini yang memiliki target nilai minimal sebesar 20 MPa.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Mengingat komponen tambahan, bottom ash, dan berbagai resin epoksi, penilaian paving blok dapat menghasilkan kesimpulan berikut:

1. Hasil pengujian daya serap air menunjukkan dari sampel *paving block* dengan tambahan *bottom ash* 8% dan resin epoksi 7% yang menjadi sampel yang terbaik dibandingkan dengan sampel yang lain.
2. Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa *paving block* yang mengandung 6% *bottom ash* dan 5% resin epoksi memiliki kekuatan tekan rata-rata yang lebih tepat. Sampel B4R3 dan B8R7 memiliki kekuatan tekan rata-rata yang lebih rendah daripada sampel yang tidak diberi bahan tambahan, atau sampel optimal, dan B6R5 memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada sampel yang tidak diberi bahan tambahan bottom ash dan resin epoksi.
3. Jadi dalam penelitian ini didapatkan sampel terbaik pada *paving block* dengan bahan tambahan *bottom ash* 6% dan resin epoksi 5% yaitu sampel B6R5. Untuk hasil rata – rata kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 21,377 MPa, sedangkan untuk hasil rata – rata kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 24,085 MPa.

5.2. Saran

Penelitian pemanfaatan *bottom ash* batu baran dan resin epoksi terhadap kualitas kekuatan tekan *paving blok* dapat diberi masukan seperti ini :

1. Karena penelitian ini menggunakan alat *press*, kualitas *paving block* yang dihasilkan cukup optimal tetapi kurangnya pengecekan rutin terhadap alat *press* sehingga ada kendala saat pembuatan *paving block*.
2. Untuk material penyusun *paving block* sebaiknya diperhatikan kondisi materialnya, disarankan kualitas yang sesuai dengan SNI.

DAFTAR PUSTAKA

- Endah Kanti Pangestuti., Praba Bagaskara., & Fadhila Rizqina Heriyanto. (2023, Oktober). Pengaruh *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) PLTU Sebagai Campuran *Paving Block* Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air. Universitas Negeri Semarang
- Eko Fahrul Umam. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Epoksi Termodifikasi *Poliuretan*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Fadhil Ammar Hakim. (2019). Pemanfaatan Bijih Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) Sebagai Substitusi Agregat pada Bata Beton (*Paving Block*). Universitas Islam Indonesia.
- Fadhilatul Rohma. (2020). Pembuatan *Paving Block* Berbahan Dasar Limbah Plastik *Polyethylene*, *Bottom Ash* Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir. Universitas Negeri Semarang
- Hadi Winarno., Damris Muhammad., Rayandra Ashyar., & Yudah Gusti Wibowo. (2019). Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dari PLTU Sumsel – 5 sebagai Bahan Utama Pembuatan *Paving Block*. Jurnal Teknik Volume 11, No 1, Tahun 2019. Universitas Jambi.
- Hilal Achmad Ghozali. (2018). Pengaruh Penggunaan Abu Dasar (*Bottom Ash*) pada *Paving Block* dengan Campuran Limbah Kerang sebagai Substitusi Semen. *Rekayasa Teknik Sipil Vol 1 Nomor 01/rekat/18* (2018), 49 – 55 . Universitas Negeri Surabaya
- HN Nurul Huda Putu Ekapraja. (2023). Pengaruh Serat Baja (*Steel Fibre*) Terhadap Karakteristik *Paving Block*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- Indra Basuki., Muhammad Fikri Lubis., Muda Ariadi Daulay., & Putri Lynna A Luthan. (2019). *Paving Block* berbasis Abu Gosok. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil Vol. 5, No. 1, Juni 2019* : 1 – 7, ISSN-E : 2477-4901, ISSN-P : 2477-4898. Universitas Negeri Medan

- Mochammad Qomaruddin., & Sudarno. (2017). Pemanfaatan Limbah *Bottom Ash* Pengganti Agregat Halus Dengan Tambahan Kapur Pada Pembuatan Paving. Universitas Tidar.
- Nasional, B. S. (1996). SNI 03-0691-1996. Bata Beton (*Paving Block*). Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, B. S. (2002). SNI 03-6820-2002. Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, B. S. (2004). SNI 15-2049-2004 : Semen *Portland*. Jakarta : BSN.
- Nasional, B. S. (2015). SNI 8127 : 2015. Spesifikasi Sitem Pelekat Berbahan Dasar Epoksi Resin Untuk Beton. Badan Standarisasi Nasional
- Qurrota Ayyuni Luthfianti. (2019). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada *Paving Block*. Universitas Islam Indonesia.
- Sofian Ari Saputra., & Wahyu Satria Virmansyah. (2020). Penggunaan Sampah Plastik untuk Campuran *Paving Block*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- Y. Djoko Setiyarto., & Dhika Pradana. (2022). Pengaruh Penggunaan Zat *epoxy* Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *CRANE : Civil Engineering Research Journal* Volume 3 Nomor 1 Edisi April 2022. Universitas Komputer Indonesia
- Yuri Khairizal., Ibrahim., Julian Fikri., Didi Yuda Wiranata., Tody Amanah., Mahmuda., & Sumiyati. (20). Pemanfaatan Kombinasi Limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dalam Campuran Mortar untuk *Paving Block* . *Jurnal Talenta Sipil* Vol 7, No 1 (2024) : Februari, 414 - 420. Universitas Batanghari