

**TUGAS AKHIR**

**KARAKTERISTIK FISIK DAN EKONOMI PAVING  
BLOCK DENGAN TAMBAHAN LIMBAH PLASTIK  
(*PHYSICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF  
PAVING BLOCKS WITH ADDITIONAL PLASTIC  
WASTE*)**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**ABDOLLAH INTIZAR TAFALAS  
21511096**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
PROGRAM SARJANA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2026**

## TUGAS AKHIR

# KARAKTERISTIK FISIK DAN EKONOMI PAVING BLOCK DENGAN TAMBAHAN LIMBAH PLASTIK (*PHYSICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF PAVING BLOCKS WITH ADDITIONAL PLASTIC WASTE*)

Disusun oleh


**ABDOLLAH INTIZAR TAFALAS**  
**21511096**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 14 Januari 2026

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I



**a Winarno, S.T., MT., Ph.D.**  
NIK: 945110101

Penguji I



**Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM**  
NIK: 005110101

Penguji II



**Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D**  
NIK: 155110108

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana

**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng).. IPM**  
NIK: 095110101

26 / 02 2026

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian di Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Adollah Intizar Tafalas  
(21511096)

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb.

Alhamdulillahirabbil 'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Atas izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Karakteristik Fisik dan Ekonomi Paving Block dengan Tambahan Limbah Plastik." Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai hambatan. Namun, berkat dukungan berupa saran, kritik, dan dorongan semangat dari berbagai pihak, penyusunan Tugas Akhir ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Setya Winarno, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM dan Bapak Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Abu Saleh Tafalas dan Ibu Hurul In Tafalas, selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, nasihat, serta dukungan moral dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Teman, sahabat, dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan penulisan ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wr wb

Yogyakarta, 12 Januari 2026  
Penulis,



Abdollah Intizar Tafalas  
(21511096)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	7
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 <i>Paving Block</i>	15
3.1.1 Pengertian <i>Paving Block</i>	15
3.1.2 Bentuk dan Dimensi <i>Paving Block</i>	15
3.1.3 Persyaratan Mutu <i>Paving Block</i>	16
3.2 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i> Konvensional	17
3.2.1 Semen Portland	17
3.2.2 Agregat Halus	18
3.2.3 Air	20

3.3	Limbah Plastik	21
3.3.1	Plastik HDPE	23
3.4	Abu Batu	24
3.5	Pengujian <i>Paving Block</i>	25
3.4.1	Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	25
3.4.2	Daya Serap Air <i>Paving Block</i>	27
3.4.3	Ketahanan Aus <i>Paving Block</i>	28
3.4.4	Harga Pokok Produksi	29
BAB IV METODE PENELITIAN		32
4.1	Umum	32
4.2	Alat dan Bahan yang Digunakan	32
4.2.1	Alat yang Digunakan	32
4.2.2	Bahan yang Digunakan	40
4.3	Tahapan Penelitian	43
4.3.1	Persiapan bahan	43
4.3.2	Pembuatan Benda Uji	49
4.3.3	Perawatan Benda Uji	55
4.3.5	Pengujian Benda Uji	55
4.4	Prosedur Pengujian	56
4.4.1	Pengujian Kuat Tekan	56
4.4.2	Pengujian Daya Serap Air	57
4.4.3	Pengujian Ketahanan Aus	57
4.5	Analisis Hasil Pengujian	58
4.6	Analisis Data dan Pembahasan	58
4.7	Analisis Ekonomi	59
4.8	Kesimpulan dan Saran	60
4.9	Bagan Alir Penelitian	60
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		62
5.1	Tinjauan Umum	62
5.2	Hasil Pengujian Bahan Susun <i>Paving Block</i>	62
5.2.1	Agregat Halus (Pasir)	62
5.2.2	Semen	67

5.2.3	Air	68
5.2.4	Plastik	68
5.2.5	Abu Batu	68
5.3	Perhitungan Kebutuhan Campuran	69
5.4	Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	72
5.5	Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i>	77
5.6	Pengujian Ketahanan Aus <i>Paving Block</i>	81
5.7	Harga Pokok Produksi	87
5.8	Survey Biaya Subsidi Pemerintah	92
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		94
6.1	Kesimpulan	94
6.2	Saran	95
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN		100

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	12
Tabel 2.2	Lanjutan Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1	Sifat-Sifat Fisika <i>Paving Block</i>	16
Tabel 3.2	Batasan Bahan Merugikan dalam Agregat Halus	19
Tabel 3.3	Persyaratan Gradasi Agregat Halus	20
Tabel 3.4	Standar Daya Serap Air Untuk <i>Paving Block</i>	28
Tabel 4.1	Komposisi Campuran Lapisan Atas <i>Paving Block</i>	51
Tabel 4.2	Ukuran Sampel Pengujian	51
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Analisa Saringan Pasir	63
Tabel 5.2	Gradasi Pasir	64
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir	65
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir	66
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir	66
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Pada Pasir	67
Tabel 5.7	Kebutuhan Bahan Susun <i>Paving Block</i>	72
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Variasi 0%	72
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu	73
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu	73
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu	73
Tabel 5.12	Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i>	75
Tabel 5.13	Hasil Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Dengan Variasi 0 %	77
Tabel 5.14	Hasil Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu	78

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu	78
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu	78
Tabel 5.17 Hasil Rekapitulasi Pengujian Daya Serap Air Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i>	79
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Ketahanan Aus <i>Paving Block</i> Dengan Variasi 0 %	82
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Ketahanan <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu	82
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu	82
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus <i>Paving Block</i> Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu	83
Tabel 5.22 Hasil Rekapitulasi Pengujian Ketahanan Aus Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i>	84
Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Biaya Produksi <i>Paving Block</i>	92

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Jenis plastik dan penggunaanya	22
Gambar 3.2	Contoh plastik jenis HDPE	23
Gambar 4.1	Cetakan <i>Paving Block</i>	33
Gambar 4.2	Cetakan Kayu	33
Gambar 4.3	Ayakan	34
Gambar 4.4	Skop	34
Gambar 4.5	Mesin <i>Mixer</i>	35
Gambar 4.6	<i>Vibrator</i>	35
Gambar 4.7	Palu	36
Gambar 4.8	Pemotong	36
Gambar 4.9	Papan Triplek	37
Gambar 4.10	Bak Perendam	37
Gambar 4.11	Timbangan	38
Gambar 4.12	Oven	38
Gambar 4.13	Mesin Uji Kuat Tekan	39
Gambar 4.14	Mesin Uji Ketahanan Aus	39
Gambar 4.15	Kompor Gas dan Panci	40
Gambar 4.16	Pengaduk	40
Gambar 4.17	Silo Penyimpanan Semen Portland	41
Gambar 4.18	Pasir Merapi	41
Gambar 4.19	Air	42
Gambar 4.20	Plastik HDPE	42
Gambar 4.21	Abu Batu	43
Gambar 4.22	Kawat	43
Gambar 4.23	Pelelehan Plastik	52
Gambar 4.24	Pencetakan Lapisan Plastik	52
Gambar 4.25	Persiapan Bekisting	53
Gambar 4.26	Pencampuran Bahan Paving	53

Gambar 4.27 Penggabungan Paving dan Lapisan Plastik	54
Gambar 4.28 Paving Berlapis Plastik	54
Gambar 4.29 Perendaman <i>Paving Block</i>	55
Gambar 4.30 Pengujian Kuat Tekan Paving	56
Gambar 4.31 Pengujian Serapan Air Sampel Paving	57
Gambar 4.32 Pengujian Keausan Sampel Paving	58
Gambar 4.33 Bagan Alir Penelitian	61
Gambar 5.1 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus Daerah III	64
Gambar 5.2 Kuat Tekan Rata-Rata	75
Gambar 5.3 Daya Serap Air Rata-Rata	80
Gambar 5.4 Ketahanan Aus Rata-Rata	84

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Sampel	101
Lampiran 2 Pengujian	106

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

UII	= Universitas Islam Indonesia
TPA	= Tempat Pembuangan Akhir
SNI	= Standar Nasional Indonesia
MPa	= Megapascal
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
Pc	= <i>Porland Cement</i>
Ps	= Pasir
PET	= <i>Polyethylene Terephthalate</i>
HDPE	= <i>High-Density Polyethylene</i>
LDPE	= <i>Low Density Polyethylene</i>
PS	= <i>Polytyrene</i>
PP	= <i>Polypropylene</i>
PVC	= <i>Polyvinyl Chloride</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Materials</i>
ASCM	= <i>Association for Supply Chain Management</i>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	= <i>Natrium Sulfat</i>
Cl	= <i>Klorida</i>
SO <sub>3</sub>	= <i>Sulfat</i>
CaO.SiO <sub>2</sub>	= <i>kalsium silikat</i>
CaSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	= <i>Kalsium sulfat</i>
Fas	= Faktor Air Semen
Mm	= Milimeter
Kg	= Kilogram
Gr	= Gram
Wb	= Berat <i>Paving Block</i> Basah (gram)
Wk	= Berat <i>Paving Block</i> Kering (gram)

Bk	= Bobot kering
Bt	= Bobot basah
D	= Ketahanan Aus (mm/menit)
$\sigma$	= Kuat tekan/kuat desak <i>Paving Block</i> (kg/cm <sup>2</sup> )
P	= Beban Maksimum (N)
G	= Kehilangan Berat/Lama Penghausan (gram/menit)
A	= Luas (mm)
Ap	= Luas Penampang Benda Uji (mm <sup>2</sup> )
BA	= Berat Awal (gr)
BB	= Berat Akhir (gr)
V	= Volume air yang lolos (cm <sup>3</sup> )
$\Sigma$	= Sigma
t	= Lama Pengujian (menit)
THR	= Tunjangan Hari Raya
Qi	= Kuantitas bahan yang dibutuhkan per unit produk (kg)
Hi	= Harga per satuan bahan (kg)
Tu	= Waktu kerja langsung per unit (menit)
Rj	= Upah tenaga kerja per jam
Ki	= Konsumsi input variabel ke-i per unit (kWh, liter, gram)
Ti	= Tarif biaya per satuan input ke-i (kWh, liter, gram)
BBB	= Biaya Bahan Baku
BTKL	= Biaya Tenaga Kerja Langsung
BOP	= Biaya Overhead Pabrik

## ABSTRAK

Peningkatan volume limbah plastik akibat tingginya penggunaan plastik sekali pakai dan pengelolaan sampah yang belum optimal menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius. Salah satu alternatif penanganan limbah plastik adalah pemanfaatannya sebagai material konstruksi, khususnya pada *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan lelehan limbah plastik sebagai lapisan atas *paving block* terhadap karakteristik fisik dan mekanik, serta mengevaluasi aspek ekonominya sebagai upaya mendukung konstruksi berkelanjutan.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pembuatan *paving block* berlapis, terdiri atas lapisan bawah berupa campuran semen dan pasir dengan perbandingan 1:6 dan lapisan atas berupa lelehan limbah plastik dengan ketebalan  $\pm 0,7$  cm. Variasi komposisi lapisan plastik yang digunakan adalah 0%, 93,5%, 87%, dan 80,5%, dengan persentase sisanya berupa abu batu. Pengujian meliputi kuat tekan, ketahanan aus, dan daya serap air pada umur 28 hari sesuai dengan SNI 03-0691-1996, serta analisis ekonomi berdasarkan biaya produksi *paving block*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan lapisan limbah plastik menurunkan kuat tekan *paving block* dibandingkan *paving block* konvensional, di mana *paving block* tanpa lapisan plastik memiliki kuat tekan tertinggi sebesar 17,713 MPa dan memenuhi mutu C, sedangkan *paving block* berlapis plastik termasuk mutu D. Sebaliknya, ketahanan aus mengalami peningkatan signifikan dengan nilai keausan terendah sebesar 0,185 mm/menit pada variasi plastik 93,5%, serta daya serap air mengalami penurunan dengan nilai terendah sebesar 9,507% pada variasi plastik 87%. Namun, dari aspek ekonomi, penggunaan limbah plastik menyebabkan kenaikan biaya produksi sebesar 55,26%–59,31% dibandingkan *paving block* konvensional, sehingga diperlukan dukungan kebijakan berupa subsidi agar produk *paving block* berbasis limbah plastik dapat bersaing di pasaran.

**Kata kunci:** limbah plastik, *paving block*, kuat tekan, ketahanan aus, daya serap air, analisis ekonomi.

## ***ABSTRACT***

*The increasing volume of plastic waste resulting from the extensive use of single-use plastics and inadequate waste management poses serious environmental problems. One alternative solution is the utilization of plastic waste as a construction material, particularly in paving blocks. This study aims to analyze the effects of adding melted plastic waste as a surface layer on paving blocks on their mechanical and physical properties, as well as to evaluate the economic feasibility of this innovation in supporting sustainable construction.*

*This research employed an experimental method by producing layered paving blocks consisting of a conventional cement–sand base layer with a 1:6 mix proportion and a top layer of melted plastic waste with a thickness of approximately 0.7 cm. The plastic layer compositions were varied at 0%, 93.5%, 87%, and 80.5%, with the remaining percentage filled by stone ash. Tests on compressive strength, abrasion resistance, and water absorption were conducted at 28 days in accordance with SNI 03-0691-1996, accompanied by an economic analysis based on production costs.*

*The results indicate that the addition of a plastic waste layer reduces the compressive strength of paving blocks compared to conventional paving blocks, with the highest compressive strength of 17.713 MPa obtained from specimens without a plastic layer, meeting quality class C, while plastic-layered paving blocks fall into quality class D. Conversely, abrasion resistance significantly improved, with the lowest abrasion value of 0.185 mm/min observed at the 93.5% plastic variation, and water absorption decreased, reaching the lowest value of 9.507% at the 87% plastic variation. However, from an economic perspective, the use of plastic waste increased production costs by 55.26%–59.31% compared to conventional paving blocks, indicating the need for government subsidies to enhance market competitiveness despite the technical and environmental advantages.*

**Keywords:** *plastic waste, paving block, compressive strength, abrasion resistance, water absorption, economic analysis.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Limbah plastik adalah semua barang bekas atau tidak terpakai yang materialnya diproduksi dari bahan kimia tak terbarukan. Sebagian besar sampah plastik yang digunakan sehari-hari biasanya dipakai untuk pengemasan. Plastik masih sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat di Indonesia (Munthe, 2023). Faktor-faktor seperti tingginya penggunaan plastik sekali pakai, pengelolaan sampah yang belum optimal, dan kebiasaan membuang sampah sembarangan, merupakan beberapa faktor yang menyebabkan peningkatan limbah plastik yang ada. Data dari Making Oceans Plastic Free (2017) menyatakan rata-rata ada 182,7 miliar kantong plastik digunakan di Indonesia setiap tahunnya. Dari jumlah tersebut, total bobot sampah kantong plastik di Indonesia mencapai 1.278.900 ton per tahunnya. Jika rata-rata berat badan seseorang 60 kg, maka berat kantong sampah plastik per tahunnya di Indonesia sama dengan berat badan 21.315.000 orang. Indonesia saat ini tercatat sebagai penyumbang sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia, tepat di bawah China. Menurut Jambeck (2015) setiap tahunnya, Indonesia menghasilkan jutaan ton sampah plastik, di sebagian besar wilayah perairan laut. Setidaknya 16 persen sampah plastik di lautan berasal dari Indonesia.

Limbah plastik yang terus meningkat seiring dengan konsumsi produk berbahan plastik, menimbulkan masalah yang serius karena sulit terurai. Kehadiran sampah plastik memiliki banyak ancaman bagi lingkungan dan kesehatan. Limbah plastik memberikan dampak yang sangat merugikan bagi lingkungan dan kehidupan makhluk hidup. Di laut, sampah plastik menyebabkan pencemaran serius yang mengancam kehidupan biota laut. Mikroplastik dari limbah plastik yang terurai juga mencemari udara dan tanah, masuk ke dalam rantai makanan, dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia, yang berpotensi mempengaruhi kesehatan. Di daratan, sampah plastik meningkatkan risiko banjir, terutama di kota-kota besar.

Selain itu, proses pembuangan plastik melalui pembakaran terbuka menghasilkan gas beracun yang mencemari udara dan membahayakan kesehatan manusia. Salah satu cara inovatif untuk mengurangi limbah plastik adalah dengan memanfaatkannya menjadi material konstruksi.

Limbah plastik saat ini harganya mencapai Rp.4000,00 per kg di tingkat pengepul limbah plastik. Pemanfaatan limbah plastik menjadi produk konstruksi harus mempertimbangkan faktor harga ini agar harga jual produk baru dengan limbah plastik ini tetap dapat diterima oleh masyarakat. Salah satu material konstruksi yang dapat dibuat dari limbah plastik adalah *paving block*. Harga *paving block* pasir-semen konvensional ukuran 10x20x6 cm adalah sekitar Rp. 1200,00 per buah dengan berat sekitar 2,4 kg. Apabila *paving block* terbuat dari material plastik seluruhnya, harga material mentah *paving block* plastik menjadi sekitar Rp9.600,00 per buah. Harga *paving block* dengan bahan limbah plastik ini menjadi sangat mahal sekali.

Harga limbah plastik yang mahal dapat disebabkan oleh permintaan material plastik untuk barang-barang plastik yang beragam. Meskipun demikian, volume limbah plastik yang besar di Indonesia tetap menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah plastik yang dihasilkan oleh masyarakat. Pemerintah telah mengalokasikan anggaran yang signifikan untuk mengatasi masalah ini melalui pengelolaan tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Pengelolaan limbah plastik di TPA akan menjadi lebih ringan dan anggaran pemerintah dapat ditekan apabila terdapat upaya daur ulang limbah plastic, misalnya menjadi material konstruksi (seperti *paving block*), sehingga pemerintah dapat memberikan subsidi kepada pelaku masyarakat yang melakukan upaya daur ulang limbah plastik menjadi *paving block*. Tanpa dukungan pemerintah ini, inisiatif untuk mengurangi sampah plastik kemungkinan akan menghadapi tantangan substansial dan gagal mencapai dampak potensialnya. Namun demikian, karena harga limbah plastik mentah yang masih relatif mahal, volume pemanfaatan limbah plastik harus bisa dioptimalkan dengan tetap dikombinasikan dengan menggunakan material konvensional agar harga material konstruksi berbasis limbah bisa terjangkau oleh masyarakat umum.

Pendekatan yang lebih hemat biaya dan berkelanjutan adalah dengan melakukan penambahan lapisan limbah plastik setebal kira-kira 1 sentimeter ke permukaan *paving block* berbahan dasar semen konvensional, sehingga lapisan atas memakai plastik limbah dan bagian bawah tetap memakai material konvensional berbahan semen-pasir. Metode hibrida ini menggabungkan manfaat struktural beton tradisional dengan keunggulan kinerja lingkungan dan permukaan plastik. Limbah plastik yang dicacah dan dilelehkan pada suhu yang dikontrol dapat dicampur dengan material pasir dapat dijadikan lapisan atas pada *paving block*. Menurut Kamaliah (2019) plastik memiliki beberapa sifat keunggulan yaitu tahan korosi, tahan lama, isolator yang baik, murah, dan fabrikasi yang mudah. Lapisan plastik yang dilelehkan dapat membuat permukaan *paving block* lebih tahan terhadap kelembaban, mengurangi risiko pertumbuhan lumut dan jamur yang sering terjadi di lingkungan lembab. Selain itu, lapisan plastik ini menjadikan *paving block* lebih tahan terhadap aus dan retak akibat paparan sinar matahari langsung serta perubahan suhu. *Paving block* berlapis plastik juga diharapkan menjadi lebih tahan lama dan kokoh, sehingga lebih efisien dan ekonomis untuk digunakan di area yang sering dilalui kendaraan maupun pejalan kaki. Dengan demikian, penggunaan lelehan limbah plastik sebagai lapisan *paving block* tidak hanya mendukung upaya pengurangan limbah plastik tetapi juga memberikan solusi inovatif dalam konstruksi berkelanjutan. Berdasarkan Shirvanimoghaddam (2020) pemanfaatan limbah plastik juga sejalan dengan prinsip ekonomi berkelanjutan, ekonomi berkelanjutan adalah alternatif dari ekonomi tradisional dimana kegiatan ekonomi dilakukan dengan menjaga sumber daya selama mungkin, mempertahankan nilainya saat digunakan, dan menggunakan kembali untuk menghasilkan produk baru di akhir masa pakainya. Limbah yang awalnya menjadi masalah lingkungan diubah menjadi produk bernilai tambah dalam konstruksi industri. Dalam hal ini, pengurangan limbah plastik ini juga harus didukung oleh pihak pemerintah dalam hal adanya subsidi lingkungan dari pemerintah karena limbah dapat dikurangi dan biaya tempat pembuangan akhir (TPA) sampah menjadi berkurang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik dan ekonomi *paving block* dengan tambahan limbah plastik, serta menilai potensi inovasi ini sebagai

solusi berkelanjutan yang dapat mendukung pembangunan infrastruktur ramah lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block* terhadap kuat tekan?
2. Bagaimana daya serap air *paving block* dengan penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block*?
3. Bagaimana daya tahan *paving block* terhadap ketahanan aus dengan penggunaan lelehan limbah plastik sebagai lapisan atas?
4. Apakah penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block* mempunyai potensi ekonomis, dalam hal biaya produksi yang dikaitkan dengan adanya subsidi dari pemerintah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tujuan dari dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Menganalisis pengaruh penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block* terhadap kuat tekan.
2. Mengetahui daya serap air *paving block* dengan penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block*.
3. Menilai daya tahan *paving block* terhadap ketahanan aus akibat penggunaan lelehan limbah plastik pada lapisan atas.
4. Mengevaluasi potensi ekonomi dari penggunaan lelehan limbah plastik dalam produksi *paving block*, dari segi biaya produksi yang dikaitkan dengan adanya subsidi dari pemerintah.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penyusunan penelitian ini dapat dijelaskan, yakni sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat mendukung upaya pengurangan sampah plastik dengan menjadikan bahan tambahan dalam produksi *paving block*, sehingga membantu mengurangi dampak negatif plastik terhadap lingkungan.
2. Hasil penelitian diharapkan memberikan alternatif baru dalam bahan konstruksi yang lebih tahan lama dan ramah lingkungan, meningkatkan daya saing *paving block* dalam industri konstruksi.
3. Dengan penggunaan lelehan limbah plastik, produsen *paving block* dapat mengurangi biaya bahan baku utama, sehingga menciptakan peluang penghematan dalam produksi dengan bantuan subsidi dari pemerintah.
4. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai peningkatan kualitas fisik *paving block*, seperti ketahanan terhadap cuaca, retak, dan abrasi, yang dapat memperpanjang usia penggunaannya.
5. Hasil penelitian ini berpotensi mendorong penerapan luas *paving block* dengan lapisan limbah plastik, yang dapat menarik minat pasar terhadap konstruksi material yang berkelanjutan dan mendukung pembangunan ramah lingkungan.
6. Penelitian ini bisa menjadi dasar atau acuan bagi studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah plastik di sektor konstruksi.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan masalah pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Penelitian ini dibatasi pada jenis-jenis plastik tertentu yang mudah dilelehkan dan cocok sebagai lapisan *paving block*, seperti plastik jenis polietilen atau polipropilena.
2. Pengujian karakteristik fisik *paving block* akan dilakukan pada skala laboratorium dengan sampel terbatas, sehingga hasilnya mungkin belum sepenuhnya mencerminkan kinerja di lapangan atau dalam penggunaan jangka panjang.
3. Penelitian ini hanya akan menguji beberapa variasi kadar lelehan plastik sebagai lapisan atas, sehingga tidak akan mencakup semua komposisi yang mungkin memberikan hasil terbaik.

4. Analisis ekonomi dibatasi pada estimasi biaya produksi dan penghematan tanpa mempertimbangkan faktor biaya distribusi atau pemasaran di berbagai wilayah yang dikaitkan dengan adanya subsidi dari pemerintah.
5. Penelitian ini akan fokus pada uji daya tahan fisik, seperti ketahanan terhadap tekanan dan keausan, tetapi tidak mencakup uji terhadap faktor-faktor kimiawi seperti reaksi terhadap bahan kimia atau polutan tertentu.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Studi tinjauan pustaka memiliki peran penting dalam memastikan bahwa teknik analisis yang digunakan sesuai dengan jenis data yang dikumpulkan, serta untuk menghindari terjadinya duplikasi terhadap penelitian sebelumnya. Melalui tinjauan pustaka, peneliti memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai informasi yang relevan dengan topik penelitian, khususnya yang berkaitan dengan karakteristik fisik dan ekonomi *paving block* dengan lapisan limbah plastik. Tinjauan ini juga membantu mengidentifikasi pengaruh penambahan lelehan limbah plastik pada lapisan atas *paving block* terhadap karakteristik fisiknya. Dengan demikian, tinjauan pustaka memungkinkan peneliti mengantisipasi kemungkinan adanya perbedaan antara temuan lapangan dan teori-teori yang telah dipublikasikan sebelumnya.

Pada bab ini akan dipaparkan berbagai penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan, serta dijelaskan perbedaan-perbedaan temuan yang berkaitan dengan karakteristik fisik dan ekonomi *paving block* dengan tambahan limbah plastik.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Untuk membedakan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya maupaun sumber – sumber harus dilakukan perbandingan.

1. Pengaruh Limbah Kantong Plastik “Kantong Kresek” sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan *Paving Block*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Egyd (2021) dalam jurnal studinya yang berjudul “Pengaruh Limbah Kantong Plastik “Kantong Kresek” Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*”. *Paving block* beton dibuat dari campuran bahan dengan komposisi 1 semen: 4 pasir. Limbah plastik sebagai pengganti semen dan persentasenya

divariasikan mulai dari 80%, 70%, 60%, dan 50% dari berat total paving. Hasil penelitian menunjukkan uji kuat tekan yang terbaik pada penambahan 80% limbah plastik yaitu 69,70 kg/cm<sup>2</sup>. Daya serap paving yang paling banyak menyerap air terdapat diperbandingan P4 sebesar 1,40%, selain itu untuk pembuatan 1 buah *paving block* limbah plastik dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm dibutuhkan 2 kg bahan baku plastik yang belum dibakar.

## 2. *Paving Block* tanpa Semen dengan Menggunakan Limbah Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kusumaningtyas, Savariski, dan Wibawa (2025) dalam jurnal studinya yang berjudul “*Paving Block* tanpa Semen dengan Menggunakan Limbah Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)”. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan mengacu pada SNI 03-0691-1996. Benda uji *paving block* tipe holland ukuran 20 x 10 x 6 cm dengan variasi penambahan limbah plastik tipe HDPE 45%, 55%, dan 65% dengan jumlah 5 sampel dilakukan uji kuat tekan dan daya serap air.

Hasil penyerapan air untuk *paving block* normal dan inovasi, hasil rata-rata untuk penyerapan air *paving block* normal adalah 12,154%. sedangkan untuk daya serap air rata-rata *paving block* perinovasi 45% adalah 0,540%, 55% adalah 0,386%, dan 65% adalah -0,932%. Daya serap air *paving block* inovasi masuk untuk standar SNI 03-0691-1996 yaitu pada variasi 45% dan 55% pada kategori mutu A. Untuk *paving block* normal tidak masuk untuk kategori SNI 03-0691-1996 yaitu maksiml 10% untuk mutu D. Semakin tinggi kadar variasi maka semakin rendah hasil penyerapan air untuk kadar *paving block* inovasi.

Uji kuat tekan pada *paving block* baik itu *paving block* normal maupun inovasi didapat hasil kuat tekan rata-rata yang didapat pada *paving block* normal adalah 8,558 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan rata-rata pada *paving block* inovasi 45% adalah 5,119 MPa, 55% adalah 8,608 MPa, dan 65% adalah 11,242 MPa. Kuat tekan tertinggi *paving block* inovasi adalah 65% dengan hasil 11,242 MPa dan masuk untuk mutu D kategori taman pada SNI 03-0691- 1996 sedangkan untuk kuat tekan terendah divariasasi 45% yaitu 5,119 MPa. Semakin tinggi kadar plastik maka dapat meningkatkan hasil kuat tekan pada *paving block* inovasi.

### 3. Pemanfaatan *Paving Block* dari Sampah Plastik

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thambas (2024) dalam jurnal studinya yang berjudul Pemanfaatan “*Paving Block* dari Sampah Plastik”. Penelitian ini mengkaji pembuatan *paving block* berbahan limbah plastik dan kerikil dengan variasi perbandingan plastik:kerikil, yaitu 100%:0%; 90%:10%; 80%:20%; 70%:30%; 60%:40%; 50%:50%; 40%:60%; 30%:70%; 20%:80%; dan 10%:90%. Benda uji dibuat menggunakan cetakan berukuran  $20 \times 10 \times 8$  cm sebanyak 20 buah untuk setiap variasi, yang terdiri atas 10 sampel untuk uji kuat tekan dan 10 sampel untuk uji kuat lentur, mengacu pada SNI 03-0691-1996.

Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa variasi 70%:30%, 60%:40%, 50%:50%, dan 40%:60% masing-masing menghasilkan nilai 36,91 MPa; 49,45 MPa; 50,96 MPa; dan 39,77 MPa, yang memenuhi kriteria mutu A (kuat tekan rata-rata  $\geq 40$  MPa dan minimum  $\geq 35$  MPa). Variasi 100%:0%, 90%:10%, 80%:20%, 30%:70%, dan 20%:80% menghasilkan kuat tekan berturut-turut sebesar 31,75 MPa; 28,05 MPa; 24,38 MPa; 28,51 MPa; dan 17,30 MPa, yang termasuk mutu B (rata-rata  $\geq 20$  MPa dan minimum  $\geq 17$  MPa). Sementara itu, variasi 10%:90% memiliki kuat tekan 6,09 MPa dan tergolong mutu D.

Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada komposisi 50%:50% sebesar 50,96 MPa, yang menunjukkan bahwa penambahan agregat hingga proporsi tertentu dapat meningkatkan kekuatan tekan. Namun, peningkatan kerikil hingga 60% menyebabkan penurunan kuat tekan.

Pada pengujian kuat lentur, nilai tertinggi dicapai oleh variasi 100% plastik sebesar 7,59 MPa. Dari aspek ekonomi, biaya produksi *paving block* 100% plastik sebesar Rp25.000,00/m<sup>2</sup>, sedangkan komposisi 50%:50% sebesar Rp42.375,50/m<sup>2</sup>. Biaya produksi meningkat seiring bertambahnya proporsi kerikil.

Secara keseluruhan, campuran 50% plastik dan 50% kerikil direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan kuat tekan tinggi karena memenuhi mutu A dengan nilai 50,96 MPa, sedangkan 100% plastik unggul dalam kuat lentur dan efisiensi biaya produksi.

### 4. Pengaruh Penambahan Limbah Plastik sebagai Campuran Beton terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air pada *Paving Block*

Penelitian yang dilakukan oleh Syefringga (2020) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air pada *Paving Block*”. *Paving block* yang akan dibuat berukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Komposisi campuran ditentukan berdasarkan perbandingan berat, sehingga kebutuhan material dihitung sesuai variasi masing-masing. Perbandingan semen dan pasir yang digunakan adalah 1:4 dengan variasi substitusi limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% dari volume pasir.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui trial mix design dengan variasi perbandingan semen:pasir 1:2, 1:3, dan 1:4. Hasil uji kuat tekan berturut-turut sebesar 312,76 kg/cm<sup>2</sup>; 223,06 kg/cm<sup>2</sup>; dan 186,47 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil tersebut, dipilih perbandingan 1:4 dengan kuat tekan 186,47 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tekan minimum 170 kg/cm<sup>2</sup> yang memenuhi kriteria *paving block* mutu B menurut SNI 03-0691-1996.

Penggunaan limbah plastik PP sebagai substitusi pasir menunjukkan penurunan kuat tekan pada setiap peningkatan variasi. Nilai kuat tekan pada variasi 0% dan 10% masing-masing sebesar 186,47 kg/cm<sup>2</sup> dan 171,13 kg/cm<sup>2</sup> (mutu B). Sementara itu, variasi 20% dan 30% menghasilkan kuat tekan sebesar 138,08 kg/cm<sup>2</sup> dan 93,24 kg/cm<sup>2</sup> yang tergolong mutu C dan D.

Pada pengujian daya serap air, variasi 0%, 10%, dan 20% berturut-turut menghasilkan nilai 4,89%, 7,42%, dan 9,57% yang termasuk mutu B, C, dan D, sedangkan variasi 30% sebesar 10,77% tidak memenuhi klasifikasi mutu. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar proporsi limbah plastik PP yang digunakan, semakin tinggi nilai penyerapan air dan semakin menurun kualitas *paving block*, sehingga penggunaannya sebagai substitusi pasir dalam jumlah besar tidak direkomendasikan.

##### 5. Pengaruh Limbah Batu Alam Sebagai Bahan Subtitusi Sebagian Pasir Pada Pembuatan *Paving Block*

Penelitian yang dilakukan oleh Ilham (2023) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Limbah Batu Alam Sebagai Bahan Subtitusi Sebagian Pasir Pada Pembuatan *Paving Block*”. Penelitian ini menggunakan *paving block* tipe holland

berukuran  $200 \times 100 \times 60$  mm dengan metode eksperimental mengacu pada SNI 03-0691-1996. Komposisi campuran semen dan pasir sebesar 1:6 (1pc:6ps), dengan substitusi sebagian pasir sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Setiap variasi dibuat 10 benda uji untuk pengujian kuat tekan serta masing-masing 5 benda uji untuk pengujian daya serap air dan ketahanan aus.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan nilai rata-rata pada variasi 0% sebesar 18,920 MPa; 5% sebesar 27,141 MPa; 10% sebesar 26,051 MPa; 15% sebesar 24,314 MPa; dan 20% sebesar 21,188 MPa. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 5% dan terendah pada variasi 0%. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, variasi 0% termasuk mutu C (pejalan kaki), sedangkan variasi 5%, 10%, 15%, dan 20% termasuk mutu B (area parkir).

Pada pengujian daya serap air, nilai rata-rata masing-masing variasi adalah 9,182% (0%); 7,948% (5%); 8,100% (10%); 7,861% (15%); dan 8,244% (20%). Nilai terendah terdapat pada variasi 15% dan tertinggi pada variasi 0%. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, variasi 5% dan 15% dikategorikan sebagai mutu C (pejalan kaki), sedangkan variasi 0%, 10%, dan 20% termasuk mutu D (taman dan penggunaan sejenis).

Hasil pengujian ketahanan aus menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,139 mm/menit (0%); 0,133 mm/menit (5%); 0,161 mm/menit (10%); 0,144 mm/menit (15%); dan 0,167 mm/menit (20%). Nilai terbaik diperoleh pada variasi 5%, sedangkan nilai tertinggi pada variasi 20%. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, variasi 0%, 5%, dan 15% termasuk mutu B (area parkir), sementara variasi 10% dan 20% termasuk mutu C (pejalan kaki).

Pada Tabel 2.1 di bawah dapat dilihat persamaan dan perbedaan penelitian sebelumnya.

**Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu**

Peneliti (Tahun)	Jenis Bahan Tambah	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Egyd (2021)	Kantong Kresek	Hasil penelitian menunjukkan uji kuat tekan yang terbaik pada penambahan 80% limbah plastik yaitu 69,70 kg/cm <sup>2</sup> . Daya serap paving yang paling banyak menyerap air terdapat diperbandingan P4 sebesar 1,40%.	Menggunakan <i>paving block</i> tipe holland berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm dan menggunakan limbah plastik	Menghitung kuat tekan dan nilai penyerapan air <i>paving block</i> dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai pengganti semen, divariasikan mulai dari 80%, 70%, 60%, dan 50% dari berat total paving.
Kusumaningtyas (2025)	Limbah Plastik HDPE	Hasil untuk penyerapan air <i>paving block</i> normal adalah 12,154%. sedangkan serap air <i>paving block</i> 45% adalah 0,540%, 55% adalah 0,386%, dan 65% adalah - 0,932%. Uji pada <i>paving block</i> normal adalah 8,558 MPa. Hasil kuat tekan rata-rata pada <i>paving block</i> 45% adalah 5,119 MPa, 55% adalah 8,608 MPa, dan 65% adalah 11,242 MPa.	Menggunakan <i>paving block</i> tipe holland berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm dan menggunakan limbah plastik	Menghitung kuat tekan dan nilai penyerapan air <i>paving block</i> dengan memanfaatkan Limbah plastik sebagai pengganti semen, divariasikan penambahan limbah plastik tipe HDPE 45%, 55%, dan 65%.
Thambas (2024)	Sampah Plastik dan Kerikil	<i>Paving block</i> plastik-kerikil 70%:30%, 60%:40%, 50%:50%, 40%:60%, nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 36,91 Mpa, 49,45 MPa, 50,96 MPa, 39,77 Mpa. Perbandingan plastik-kerikil 100%, 90%:10%, 80%:20%, 30%:70%, 20%:80%, nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 31,75 MPa, 28,05 MPa, 24,38 MPa, 28,51 MPa , 17,30 MPa.	Menggunakan limbah plastik	Menghitung kuat tekan <i>paving block</i> dengan plastik kerikil 70%:30%, 60%:40%, 50%:50%, 40%:60% dan <i>paving block</i> dengan variasi perbandingan plastik-kerikil 100%, 90%:10%, 80%:20%, 30%:70%, 20%:80%.

**Tabel 2.2 Lanjutan Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu**

Peneliti (Tahun)	Jenis Bahan Tambah	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Syefringga (2020)	Limbah Plastik	Nilai kuat tekan variasi 0% dan 10% sebesar 186,47 kg/cm <sup>2</sup> dan 171,13 kg/cm <sup>2</sup> . Variasi 20% dan 30% sebesar 138,08 kg/cm <sup>2</sup> dan 93,24 kg/cm <sup>2</sup> . Hasil penyerapan air untuk variasi 0%, 10% dan 20% secara berturut- turut yaitu sebesar 4,89%, 7,42%, dan 9,57%, Variasi 30% sebesar 10,77%	Menggunakan <i>paving block</i> tipe holland berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm dan menggunakan limbah plastik	Menghitung kuat tekan dan nilai penyerapan air <i>paving block</i> komposisi semen : pasir adalah 1pc : 4ps dengan dengan variasi penggunaan plastik PP sebesar 0%, 10%, 20% dan 30% dari volume pasir.
Ilham (2023)	Limbah Batu Alam	Nilai kuat tekan <i>Paving block</i> rata-rata variasi 0% sebesar 18,920 Mpa. Variasi 5%, 10%, 15% dan 20% yaitu sebesar 27,141 MPa, 26,051 MPa, 24,314 MPa dan 21,188 MPa. Nilai daya serap air rata-rata variasi 0% sebesar 9,182%. Nilai daya serap air rata-rata variasi 5%, 10%, 15% dan 20% yaitu sebesar 7,948%, 8,100%, 7,861% dan 8,244%. Nilai ketahanan aus rata-rata pada variasi 0% sebesar 0,139 mm/menit selanjutnya nilai ketahanan aus rata-rata variasi 5%, 10%, 15% dan 20% yaitu sebesar 0,133 mm/menit, 0,161 mm/menit, 0,144 mm/menit dan 0,167 mm/menit.	Menggunakan <i>paving block</i> tipe holland berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm	Menghitung kuat tekan, nilai penyerapan air dan ketahanan aus <i>paving block</i> dengan mensubstitusi sebaaian pasir dengan limbah abu batu, dengan beberapa variasi dimulai dari 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%.

Penelitian terdahulu pada umumnya memanfaatkan limbah plastik dengan cara mencampurkannya langsung ke dalam adukan beton atau mortar *paving block*, baik sebagai bahan tambah maupun sebagai pengganti sebagian agregat halus. Pendekatan tersebut menyebabkan plastik berperan sebagai bagian dari massa beton secara keseluruhan, sehingga sering kali mengganggu ikatan antar material dan berdampak pada penurunan kuat tekan *paving block*. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada aspek mekanik tanpa memperhatikan pengendalian fungsi tiap lapisan penyusun *paving block*.

Berbeda dengan penelitian terdahulu, penelitian ini menerapkan konsep pelapisan (*layering*), yaitu menempatkan plastik sebagai lapisan permukaan setebal 0,7 cm, sedangkan badan utama *paving block* tetap menggunakan campuran konvensional pasir dan semen setebal 5,3 cm. Lapisan plastik divariasikan dengan komposisi 0%, 93,5%, 87%, dan 80,5%, di mana persentase yang tidak terisi plastik dialokasikan untuk penambahan abu batu sebagai filler, sehingga plastik tetap berfungsi dominan sebagai pengikat lapisan. Seluruh spesimen diuji setelah masa pemeliharaan selama 28 hari untuk mengevaluasi pengaruh lapisan plastik terhadap kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus, serta dilengkapi dengan analisis biaya produksi, sehingga memberikan perbedaan yang jelas dan pendekatan yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 *Paving Block***

##### **3.1.1 Pengertian *Paving Block***

Menurut Nofrianto dan Hutrio (2023) *paving block* adalah komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat sejenis, air dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu dari beton tersebut. *Paving block* biasanya memiliki tinggi/ketebalan 6 cm atau 8 cm, lebar 10 cm dan panjang 20 cm untuk *paving block* yang berbentuk balok.

Menurut (SNI 03-0691-1996), bata beton (*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 bata beton itu. Bata beton dapat berwarna seperti warna aslinya atau diberi zat warna pada komposisinya dan digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan.

##### **3.1.2 Bentuk dan Dimensi *Paving Block***

Bentuk *paving block* pada umumnya terdiri dari persegi panjang menyerupai bata, segi enam, segi delapan, model zig-zag (sering disebut bentuk cacing), serta berbagai bentuk khusus lainnya yang dirancang agar saling mengunci sehingga meningkatkan stabilitas saat dipasang. Dimensi *paving block* bervariasi, namun ukuran yang umum dijumpai adalah panjang sekitar 20 cm, lebar 10 cm, dengan ketebalan berkisar antara 6 cm hingga 10 cm, disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya. Ketebalan *paving block* dipilih berdasarkan besarnya beban yang akan diterima, misalnya ketebalan 6 cm umumnya digunakan untuk area perumahan atau jalur pejalan kaki, sedangkan ketebalan 8 cm hingga 10 cm lebih sesuai untuk

area parkir kendaraan berat maupun jalan dengan intensitas lalu lintas yang lebih tinggi.

### 3.1.3 Persyaratan Mutu *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, persyaratan mutu *paving block* ditetapkan sebagai berikut:

a. Karakteristik yang terlihat

*Paving block* harus memiliki permukaan yang rata dan tidak menunjukkan adanya retakan maupun cacat lainnya. Selain itu, bagian sudut dan rusuk tidak mudah hancur ketika ditekan menggunakan kekuatan jari tangan.

b. Dimensi

*Paving block* harus memiliki ketebalan nominal minimal 60 mm dengan toleransi ukuran sekitar 8%.

c. Sifat Fisika

Sifat fisik *paving block* mengacu pada ketentuan yang disajikan pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Sifat-Sifat Fisika *Paving Block***

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks
	Rata-Rata	Min	Rata-Rata	Maks	%
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	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)

Klasifikasi mutu *paving block* adalah sebagai berikut:

a. *Paving Block* Mutu A

Digunakan untuk perkerasan jalan. *Paving block* kategori A harus memiliki kuat tekan minimal 35 MPa, dengan nilai rata-rata mencapai 40 MPa.

b. *Paving Block* Mutu B

Diperuntukkan bagi area parkir. *Paving block* dengan mutu B wajib memenuhi kuat tekan minimum 17 MPa, dengan rata-rata sebesar 20 MPa.

c. *Paving Block* Mutu C

Dialokasikan untuk area pejalan kaki. *Paving block* mutu C harus memiliki kuat tekan minimal 12,5 MPa, dengan nilai rata-rata mencapai 15 MPa.

d. *Paving Block* Mutu D

Digunakan untuk taman dan area sejenis. *Paving block* mutu D diharuskan memiliki kuat tekan minimum 8,5 MPa, dengan nilai rata-rata sebesar 10 MPa.

### 3.2 Bahan Penyusun *Paving Block* Konvensional

*Paving block* konvensional umumnya disusun dari campuran semen Portland sebagai bahan pengikat utama yang berfungsi memberikan kekuatan serta daya tahan, dan pasir sebagai agregat halus yang berperan mengisi ruang antar partikel. Dalam beberapa kondisi, campuran tersebut juga dapat disertai agregat kasar seperti kerikil atau batu pecah. Air digunakan untuk memicu proses hidrasi semen sehingga campuran dapat mengeras secara optimal. Selain itu, bahan tambahan (admixture) terkadang ditambahkan untuk meningkatkan karakteristik tertentu, misalnya mempercepat waktu pengerasan atau meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh air.

#### 3.2.1 Semen Portland

Semen Portland merupakan bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam pembuatan beton. Berdasarkan ASTM C-150 tahun 1985, semen ini didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan melalui proses penggilingan klinker, dengan penambahan kalsium sulfat yang digiling bersama komponen utamanya. Semen berfungsi sebagai material pengikat yang esensial dan banyak diaplikasikan dalam berbagai pekerjaan konstruksi di bidang teknik sipil. Ketika dicampur dengan air, semen akan membentuk mortar, sedangkan pencampurannya dengan agregat kasar akan menghasilkan beton segar yang setelah mengalami proses pengerasan akan berubah menjadi beton yang kuat dan solid. Peranan utama semen adalah mengikat butiran agregat sehingga membentuk massa yang padat serta mengisi rongga udara di antara partikel agregat.

Berdasarkan (SNI 15-2049-2004), semen Portland diklasifikasikan ke dalam lima jenis sesuai dengan karakteristik dan penggunaannya, yaitu:

1. Jenis I merupakan semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II digunakan pada konstruksi yang membutuhkan ketahanan terhadap serangan sulfat sedang atau memerlukan pengendalian panas hidrasi selama proses pengikatan.
3. Jenis III merupakan semen Portland yang dirancang untuk menghasilkan kekuatan awal yang tinggi pada tahap awal setelah proses pengikatan.
4. Jenis IV diperuntukkan bagi struktur yang memerlukan semen dengan panas hidrasi rendah, sehingga cocok untuk pengecoran dalam volume besar.
5. Jenis V merupakan semen Portland yang memiliki ketahanan sangat tinggi terhadap serangan sulfat, sehingga digunakan pada lingkungan dengan tingkat sulfat yang tinggi.

### 3.2.2 Agregat Halus

Agregat merupakan material berbutir atau berbentuk partikel kecil yang berasal dari bahan alami seperti batu, kerikil, dan pasir, yang berfungsi sebagai komponen penyusun utama dalam campuran beton. Dalam campuran beton, agregat umumnya menempati sekitar 70–75% dari total volume. Agregat perlu memiliki gradasi yang sesuai agar mampu membentuk beton yang padat dan homogen. Pemilihan agregat yang berkualitas juga perlu diperhatikan, yaitu memiliki butiran yang tajam, keras, dan tahan terhadap pengaruh cuaca, sehingga stabilitas volume beton dapat terjaga. Secara umum, agregat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

Secara umum, agregat halus dikenal sebagai pasir, yang berasal dari sumber alami seperti endapan sungai atau material galian, maupun dari hasil pemecahan batu. Agregat dengan ukuran butir kurang dari 1,2 mm sering disebut sebagai pasir halus, sedangkan partikel dengan ukuran lebih kecil dari 0,075 mm dikategorikan sebagai lanau (*silt*), dan yang berukuran kurang dari 0,002 mm disebut lempung (*clay*). Agregat halus yang digunakan sebaiknya memiliki bentuk butiran yang baik

(membulat atau menyerupai kubus), bersih, keras, kuat, serta memiliki gradasi yang sesuai agar dapat mendukung mutu campuran beton secara optimal. Berdasarkan (SNI 03-2834-2002) agregat halus didefinisikan sebagai pasir alam hasil proses pelapukan secara alami atau material yang dihasilkan melalui industri pemecah batu, dengan ukuran butir maksimum sebesar 5 mm. Persyaratan teknis untuk agregat halus mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam (SNI 8321-2834-2016) atau ASTM C33.

- a. Untuk beton yang tidak terpapar abrasi, kadar bagian agregat halus yang lolos melalui saringan No. 200 diperbolehkan mencapai maksimum 5%. Pada agregat halus buatan, seperti abu batu atau material hasil pemecahan yang lebih halus dari saringan No. 200 dan bebas dari kandungan tanah liat shale, batas maksimum ditetapkan sebesar 5% untuk beton yang terpapar abrasi dan 7% untuk beton yang tidak mengalami abrasi.
- b. Untuk material yang lolos saringan No. 200, apabila tidak terdapat ketentuan khusus, maka batas maksimum yang diperbolehkan adalah 3%. Adapun untuk bahan-bahan ringan seperti batu bara dan lignit, batas yang diberlakukan adalah 0,5%, dan jika tidak ditetapkan secara khusus maka digunakan batas maksimum 1%. Ketentuan mengenai kandungan bahan-bahan yang dapat merugikan dalam agregat halus tercantum pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Batasan Bahan Merugikan dalam Agregat Halus**

Uraian	Persentase massa maksimum dari total sampel
Gumpalan lempung dan pertikel yang mudah pecah	3,0
Batu bara dan lignit: Bila permukaan beton yang muncul penting	0,5
Semua beton lainnya	1,0

Sumber : (SNI 8321-2016)

- c. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung bahan organik yang dapat menurunkan kualitas beton. Apabila agregat diuji menggunakan larutan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 3% dan menunjukkan perubahan warna yang lebih

gelap dibandingkan warna standar, agregat tersebut masih dapat digunakan, kecuali dalam kondisi berikut:

1. Perubahan warna disebabkan oleh keberadaan batu bara, lignit, atau material sejenisnya.
  2. Hasil uji kuat tekan yang dipengaruhi oleh kandungan bahan organik menunjukkan kekuatan relatif pada umur 7 hari kurang dari 95%, sesuai dengan ketentuan ASTM C87.
- d. Agregat halus yang digunakan pada beton yang terekspos terhadap kondisi basah atau lingkungan dengan kelembapan tinggi harus bebas dari zat-zat yang berpotensi bereaksi dengan alkali. Namun demikian, agregat tersebut masih dapat digunakan apabila semen yang dipakai memiliki kadar alkali tidak melebihi 0,6%.
- e. Gradasi agregat halus yang digunakan harus memenuhi ketentuan distribusi ukuran butir sebagaimana tercantum pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3 Persyaratan Gradasi Agregat Halus**

Saringan (mm)	Persen Lolos
9,5 (3/8 in)	100
4,75 (No. 4)	95-100
2,36 (No. 8)	80-100
1,18 mm (No. 16)	50-85
0,6 (No. 30)	25-60
0,3 (No. 50)	5-30
0,15 (No. 100)	0-10
0,075 (No. 200)	0-3,0"

Sumber : (SNI 8321-2016)

### 3.2.3 Air

Menurut Mulyono (2005), semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air, air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi pasta sehingga betonnya lecah (*workable*). Air merupakan salah satu komponen penting dalam campuran beton yang berfungsi memicu reaksi kimia pada semen. Selain itu, air juga berperan dalam membasahi agregat sehingga meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton. Oleh karena itu, jumlah

dan kualitas air yang digunakan dalam campuran beton harus diperhatikan secara cermat.

Apabila air digunakan dalam jumlah berlebih, maka setelah proses hidrasi selesai akan terbentuk banyak rongga air yang dapat menurunkan kualitas beton. Sebaliknya, apabila jumlah air terlalu sedikit, proses hidrasi tidak akan berlangsung secara optimal. Air yang digunakan dalam campuran beton dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air tawar (misalnya dari sungai, danau, kolam, telaga, air laut, maupun air limbah), selama memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Jenis air yang digunakan memiliki pengaruh besar terhadap mutu dan kekuatan beton. Oleh karena itu, air yang digunakan harus berada dalam batas kualitas yang sesuai agar proses pencampuran dan pelaksanaan pekerjaan beton dapat berlangsung dengan baik.

Dalam campuran beton, persyaratan air berdasarkan SNI 03-6861.1-2002 adalah sebagai berikut:

1. Air yang digunakan harus bebas dari pencemaran dan tidak mengandung kotoran, lumpur, minyak, maupun benda terapung yang dapat diamati secara visual.
2. Kandungan zat terlarut di dalam air tidak boleh melebihi 2 gram per liter.
3. Air tidak boleh mengandung garam terlarut yang bersifat merusak dalam jumlah lebih dari 15 gram per liter.
4. Kandungan maksimum ion klorida (Cl) yang diperbolehkan adalah 0,5 gram per liter, sedangkan kadar senyawa sulfat ( $\text{SO}_3$ ) tidak boleh melebihi 1 gram per liter.

### **3.3 Limbah Plastik**

Plastik merupakan material terbuat dari nafta yang merupakan produk turunan minyak bumi yang diperoleh melalui proses penyulingan. Karakteristik plastik yang memiliki ikatan kimia yang sangat kuat sehingga banyak material yang dipakai oleh masyarakat berasal dari plastik. Namun demikian, limbah plastik merupakan material yang tidak bisa terdekomposisi secara alami (*non biodegradable*) sehingga setelah digunakan, material yang berbahan baku plastik

akan menjadi sampah yang sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan. Menurut Masyruroh dan Rahmawati (2021) jenis-jenis plastik yaitu PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), V (*PlyvinylChloride*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polytyrene*), dan jenis yang lain. Menurut Zahra (2023) pada umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% *Polyethylene* (HDPE dan LDPE), 16% *Polypropylene* (PP), 16% *Polystyrene* (PS), 7% *Polyvinyl Chloride* (PVC), 5% *Polyethylene Trephtalate* (PET), 5% *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) dan polimer-polimer lainnya. Lebih dari 70% plastik yang dihasilkan saat ini adalah *Polyethylene* (PE), *Polpropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) sehingga sebagian besar studi yang dilakukan berhubungan dengan keempat jenis polimer tersebut. Berikut merupakan beberapa tipe plastik dan penggunaanya dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah.

Simbol Daur Ulang	Jenis Plastik	Sifat-sifat	Aplikasi kemasan
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang
	High Density Polietilen	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab,	Susu, jus buah, kantong belanja
	Polivinil Klorida (PVC)	Tangguh, kuat, mudah dicampur	Botol jus, pipa air bungkus plastik
	Low Density Polietilen (LDPE)	Mudah diproses, kuat tangguh, fleksibel, mudah disegel, tahan lembab	Kantong makanan beku, botol remas (kecap, saus, madu), bungkus plastik
	Polipropilen (PP)	Kuat, tangguh, tahan panas, minyak bahan kimia, tahan lembab	Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai
	Polistiren (PS)	Mudah dibentuk dan diproses	Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai
	Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)	Tergantung dari jenis polimernya	Botol minuman, botol susu bayi, barang-barang elektronik

**Gambar 3.1 Jenis plastik dan penggunaanya**  
Sumber : (Wikipedia Contributors, 2025)

### 3.3.1 Plastik HDPE

Plastik HDPE merupakan salah satu jenis plastik yang dapat dikenali melalui simbol daur ulang dengan angka 2 yang tercantum di bagian tengahnya. Menurut Khaq dan Damara (2024) biasanya plastik jenis ini digunakan sebagai kemasan makanan atau minuman panas, sebagai botol, atau sebagai plastik belanjaan. Adapun warna dari plastik jenis ini ialah lebih buram jika dibandingkan dengan jenis LDPE. Plastik HDPE (High Density Polyethylene) adalah jenis plastik termoplastik yang dibuat dari minyak bumi dan dikenal memiliki kepadatan molekul tinggi, sehingga strukturnya lebih rapat dan kuat dibandingkan jenis plastik polietilena lainnya. HDPE memiliki sifat yang keras, tahan benturan, serta cukup lentur, sehingga banyak digunakan untuk berbagai produk seperti botol susu, galon air, kantong belanja, hingga wadah makanan. Selain itu, HDPE juga tahan terhadap bahan kimia, kelembapan, dan suhu rendah, membuatnya cocok untuk aplikasi penyimpanan atau pengemasan produk kimia dan makanan. Plastik ini juga tergolong aman (*food grade*) dan relatif mudah didaur ulang, sehingga menjadi salah satu pilihan populer dalam industri kemasan dan manufaktur yang mengutamakan keberlanjutan lingkungan. Contoh Plastik HDPE dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah.



**Gambar 3.2 Contoh plastik jenis HDPE**

Sumber : (Patzelt, 2010)

Tanggung jawab pengelolaan sampah plastik domestik yang dihasilkan oleh masyarakat terutama berada di tangan pemerintah. Menyadari skala dan dampak sampah plastik, pemerintah telah mengalokasikan anggaran yang signifikan untuk mengatasi masalah ini. Pendanaan ini tidak hanya ditujukan untuk pengumpulan dan pembuangan, tetapi juga untuk mendukung inisiatif pengelolaan sampah berkelanjutan. Untuk memastikan implementasi yang efektif, pemerintah harus berperan aktif dalam mempromosikan dan memfasilitasi upaya daur ulang di tingkat masyarakat. Tanpa dukungan ini, inisiatif untuk mengurangi sampah plastik kemungkinan akan menghadapi tantangan substansial dan gagal mencapai dampak potensialnya.

Salah satu cara utama pemerintah dapat memperkuat daur ulang sampah plastik adalah dengan menyediakan subsidi dan akses kredit untuk kegiatan daur ulang yang dipimpin masyarakat. Insentif keuangan memainkan peran penting dalam mendorong inovasi dan partisipasi, terutama dalam proyek-proyek yang mengubah sampah plastik menjadi produk yang bermanfaat. Misalnya, bahan bangunan yang terbuat dari plastik daur ulang merupakan solusi yang menjanjikan, tetapi seringkali membutuhkan dukungan keuangan agar dapat diterapkan dalam skala yang lebih besar. Dengan mensubsidi upaya tersebut, pemerintah tidak hanya mendorong keberlanjutan lingkungan, tetapi juga membantu membangun ekonomi sirkular yang bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan.

### **3.4 Abu Batu**

Abu batu adalah material hasil sampingan dari proses pemecahan batu yang berukuran sangat halus, umumnya lebih kecil dari 4,75 mm, sehingga dapat dikategorikan sebagai agregat halus. Bahan ini memiliki warna cenderung keabu-abuan dengan tekstur yang lebih lembut dibandingkan pasir. Abu batu banyak digunakan pada campuran konstruksi seperti *paving block*, beton, dan campuran perkerasan karena kemampuannya mengisi rongga antar butiran agregat sehingga campuran menjadi lebih padat dan kuat. Selain itu, penggunaan abu batu dapat meningkatkan sifat mekanik bahan bangunan, seperti kuat tekan dan ketahanan aus, sekaligus membantu menurunkan porositas dan daya serap air dari produk yang

dihasilkan. Secara umum, abu batu berfungsi tidak hanya sebagai bahan pengisi, tetapi juga sebagai komponen yang dapat memperbaiki kinerja struktural dan durabilitas material konstruksi. Menurut SNI 03-2461-2002, abu batu dikategorikan sebagai agregat halus pengganti pasir dalam campuran beton atau *paving block*.

### 3.5 Pengujian *Paving Block*

Pengujian yang akan dilakukan di laboratorium meliputi uji kuat tekan, uji daya serap air, dan uji ketahanan aus pada *paving block*. Adapun penjelasan masing-masing jenis pengujian adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Kuat Tekan *Paving Block*

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan *paving block* mengalami kerusakan atau hancur ketika diberikan gaya tekan tertentu menggunakan mesin uji tekan (SNI 03-1968-1990). Menurut SNI 03-0691-1996, perhitungan kuat tekan atau kuat desak dilakukan menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Kuat tekan/kuat desak *paving block* (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Menurut Tjokrodinuljo (1992), erdapat beberapa faktor yang memengaruhi kuat tekan *paving block*, di antaranya sebagai berikut:

a. Faktor air semen

Faktor air semen (FAS) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses pembuatan beton serta mutu beton yang dihasilkan. Nilai FAS merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin kecil nilai FAS, beton segar akan menjadi sulit diolah tanpa menggunakan bahan tambahan, sedangkan kelebihan air dapat menurunkan kualitas beton. Untuk terjadinya

reaksi hidrasi, diperlukan air sekitar 0,30 kali berat semen. Namun, dalam praktiknya, apabila nilai FAS kurang dari 0,35, campuran mortar atau beton akan sulit dikerjakan, sehingga jumlah air yang digunakan umumnya melebihi 0,35 dari berat semen. Air berlebih berfungsi sebagai pelumas dalam campuran; jumlah air yang terlalu sedikit akan menghambat kemudahan pengerjaan campuran, sedangkan jumlah air yang berlebihan menyebabkan penurunan kekuatan beton serta meningkatkan potensi penyusutan setelah pengerasan. Pada pembuatan *paving block*, nilai FAS yang umum diterapkan berkisar antara 0,20 hingga 0,35 dari berat semen, karena campuran yang terlalu encer akan menyulitkan proses pencetakan *paving block*.

b. Umur beton

Umur beton memiliki hubungan yang sebanding dengan kuat tekan beton. Berdasarkan hasil penelitian, beton umumnya mencapai kuat tekan maksimumnya pada usia 28 hari, meskipun rentang usia ini dapat bervariasi (lebih cepat atau lebih lambat) tergantung pada jenis material atau bahan tambahan yang digunakan dalam campuran. Laju peningkatan kekuatan beton dipengaruhi oleh nilai faktor air semen serta kondisi suhu selama perawatan. Semakin besar nilai faktor air semen, maka peningkatan kekuatan beton berlangsung lebih lambat, sedangkan semakin tinggi suhu perawatan, semakin cepat peningkatan kekuatan beton tersebut.

c. Jumlah semen

Semen berperan sebagai bahan pengikat antar agregat dalam suatu campuran. Ketika dicampurkan dengan air, semen akan membentuk pasta pengikat. Apabila jumlah pasta tersebut terlalu sedikit, maka akan terbentuk lebih banyak rongga di antara butiran agregat, sehingga daya ikat campuran berkurang. Kondisi ini pada akhirnya menyebabkan kuat tekan beton menjadi lebih rendah.

d. Jenis semen

Semen Portland yang digunakan dalam pembuatan beton terdiri atas beberapa jenis, di mana setiap jenis memiliki karakteristik tersendiri, seperti tingkat

kecepatan pengerasan dan sifat fisik lainnya. Perbedaan sifat tersebut akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

e. Sifat agregat

Beton tersusun atas agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Beberapa karakteristik agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain::

1. Kekasaran permukaan, agregat dengan permukaan kasar dan tidak licin cenderung menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara permukaan agregat dan pasta semen, dibandingkan agregat dengan permukaan halus dan licin.
2. Bentuk butiran agregat, agregat yang memiliki bentuk bersudut, seperti batu pecah, mampu saling mengunci antar butiran sehingga lebih stabil dan sulit bergeser. Hal ini berbeda dengan agregat berbentuk bulat seperti kerikil. Oleh karena itu, beton yang menggunakan batu pecah umumnya memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan beton yang menggunakan kerikil.
3. Kekuatan tekan agregat, mengingat sekitar 70% volume beton terdiri dari agregat, maka kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh kuat tekan agregat yang digunakan. Apabila agregat memiliki kuat tekan rendah, maka beton yang dihasilkan juga cenderung memiliki kuat tekan yang rendah.

Kuat tekan beton merupakan salah satu aspek utama yang perlu diperhatikan dalam proses pelaksanaan pengecoran. Kekuatan beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada tahap awal, peningkatan mutu beton berlangsung cukup signifikan, namun laju peningkatan tersebut akan cenderung menurun setelah mencapai umur 28 hari. Secara umum, beton mencapai nilai kuat tekan rencana atau kuat tekan karakteristiknya pada usia 28 hari. Oleh karena itu, umur 28 hari umumnya dijadikan acuan dalam penilaian dan perencanaan kuat tekan beton.

### 3.4.2 Daya Serap Air *Paving Block*

Daya serap air pada *paving block* merupakan persentase jumlah air yang dapat diserap melalui pori-porinya. Nilai tersebut diperoleh dengan membandingkan berat *paving block* dalam kondisi kering dan kondisi basah (didapatkan melalui

proses perendaman). Berat kering *paving block* diperoleh melalui proses pengovenan benda uji pada suhu  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh berat kering dan berat basah *paving block*, sehingga nilai daya serap air dapat dihitung sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996 seperti pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

A = berat paving basah

B = berat paving kering

Menurut SNI 03-0691-1996, mutu *paving block* berdasarkan nilai daya serap air diklasifikasikan menjadi empat kategori, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.4 di bawah ini.

**Tabel 3.4 Standar Daya Serap Air Untuk *Paving Block***

Mutu	Serapan Air Maksimum (%)
A	3
B	6
C	8
D	10

Sumber : (SNI 03-0691-1996)

#### 3.4.3 Ketahanan Aus *Paving Block*

Menurut Nurul Ihsan (2022) keausan adalah hilangnya material secara progresif atau pindahnya sejumlah material dari suatu permukaan sebagai hasil dari pergerakan relative antara permukaan tersebut dengan permukaan lain. Untuk menentukan nilai ketahanan aus *paving block*, dilakukan pengujian yang mengacu pada SNI 03-0691-1996, dengan perhitungan menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$D = 1,27 G + 0,0246 \quad (3.3)$$

Keterangan :

D = ketahanan aus (mm/menit)

$G$  = kehilangan berat/lama pengausan (gram/menit)

#### 3.4.4 Harga Pokok Produksi

Menurut Melati (2022) harga pokok produksi adalah kumpulan biaya produksi yang terdiri dari bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik ditambah persediaan produk dalam proses awal dan dikurang persediaan produk dalam proses akhir.

Biaya-biaya dalam menghasilkan suatu barang harus dicatat dengan benar dan harus digolongkan sesuai dengan tingkah laku biaya. Menurut Ersyafdi (2021) biaya adalah pengorbanan sumber ekonomi yang diukur dalam satuan uang yang telah terjadi atau yang kemungkinannya akan terjadi untuk tujuan. Penggolongan biaya harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan dalam penentuan harga jual produk. Menurut Mulyadi (2020) biaya yang terjadi di dalam perusahaan manufaktur dapat digolongkan menjadi 3, yaitu:

a. Biaya Bahan Baku

Biaya bahan baku mencakup seluruh pengeluaran untuk bahan yang bisa langsung dihitung dalam estimasi biaya produk, seperti biaya untuk alat bangunan, biaya perekrutan alat, biaya pemeliharaan alat, biaya papan landasan, dan biaya bahan yang dipakai.

b. Biaya Tenaga Kerja Langsung

Tenaga kerja langsung merujuk pada pekerja yang berkontribusi langsung dalam proses produksi, baik melalui kekuatan fisik mereka maupun dengan penggunaan alat bantu. Biaya untuk tenaga kerja langsung adalah gaji yang diterima oleh karyawan untuk mengolah bahan dari bentuk mentah menjadi barang akhir. Contohnya adalah gaji yang diberikan kepada pekerja di pabrik *paving block*.

c. Biaya *Overhead* Pabrik

Biaya *overhead* pabrik disebut juga biaya produk tidak langsung, yaitu biaya yang mencakup semua biaya produksi selain biaya bahan langsung dan biaya tenaga kerja langsung. Penekanannya disini adalah pada istilah biaya

produksi seperti biaya konsumsi, biaya THR, biaya pengiriman dan margin keuntungan.

Ada 2 (dua) pendekatan yang digunakan dalam memperhitungkan unsur-unsur biaya ke dalam biaya produksi, yaitu sebagai berikut.

a. Pendekatan *Full Costing*

Menurut Mulyadi (2018) berpendapat bahwa metode *full costing* merupakan metode penentuan harga pokok produksi yang memperhitungkan semua unsur biaya produksi ke dalam harga pokok produksi, yang di dalamnya terdapat biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, biaya overhead pabrik variabel, dan biaya overhead pabrik tetap. *Full costing* merupakan metode penentuan biaya produksi yang memperhitungkan semua unsur biaya produksi ke dalam biaya produksi, yang terdiri dari biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya *overhead* pabrik, baik yang berperilaku variabel maupun tetap. Dalam penentuan harga pokok produksi berdasarkan metode *full costing* dalam Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$\text{Biaya Bahan Baku} + \text{Biaya Tenaga Kerja Langsung} + \text{Biaya Overhead Pabrik Tetap} + \text{Biaya Overhead Pabrik Variabel} = \text{Harga Pokok Produksi} \quad (3.4)$$

b. Pendekatan *Variable Costing*

Mulyadi (2018) berpendapat bahwa metode *variable costing* merupakan metode penentuan biaya produksi yang hanya memperhitungkan biaya produksi yang bersifat variabel ke dalam biaya produksi, yang hanya terdiri dari biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik variabel. *Variable costing* merupakan metode penentuan kos produksi yang hanya memperhitungkan biaya produksi yang berperilaku variabel ke dalam kos produksi, yang terdiri dari biaya bahan baku, tenaga kerja langsung, dan biaya *overhead* pabrik variabel. Unsur-unsur harga pokok produksi yang disajikan dalam Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \text{Biaya Bahan Baku} + \text{Biaya Tenaga Kerja Langsung} + \text{Biaya Overhead Pabrik} \\ \text{Variabel} &= \text{Harga Pokok Produksi} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Karena menggunakan unsur limbah plastik, biaya produksi di atas adalah biaya produksi bruto, dimana belum dikurangi bantuan subsidi dari pemerintah. Yang harus dihitung adalah biaya produksi netto dimana biaya produksi bruto dikurangi subsidi dari pemerintah. Dukungan subsidi dari pemerintah terhadap upaya ini tidak hanya memperkuat komitmen terhadap lingkungan berkelanjutan, tetapi juga mendorong terciptanya ekonomi keberlanjutan yang membawa manfaat bagi masyarakat dan lingkungan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan plastik yang dicairkan dan dipadatkan dalam cetakan setelah itu dituangkan adonan *paving block* sehingga plastik akan menempel di atas *paving block*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dampak lapisan plastik di atas *paving block* terhadap kuat tekan dan aus.

Metode penelitian merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk mengumpulkan serta menganalisis data sesuai dengan tujuan penelitian. Metode ini memuat rancangan yang meliputi tahapan dan prosedur pengujian, sumber data yang digunakan, serta teknik pengolahan dan analisis data. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Proses penelitian diawali dengan melelehkan plastik, kemudian hasil lelehan tersebut dicetak menggunakan cetakan *paving block*. Selanjutnya, campuran beton *paving block* dituangkan sehingga lapisan plastik berada pada bagian atas *paving block*. Langkah tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh keberadaan lapisan plastik terhadap kuat tekan, daya serap air dan ketahanan aus *paving block*.

#### **4.2 Alat dan Bahan yang Digunakan**

Dalam pelaksanaan penelitian ini diperlukan berbagai jenis peralatan. Penjabaran mengenai fungsi dari setiap peralatan tersebut akan dipaparkan pada uraian berikut.

##### **4.2.1 Alat yang Digunakan**

###### **1. Cetakan *Paving Block***

Cetakan terbuat dari bahan besi seperti disajikan dalam Gambar 4.1. Cetakan yang digunakan pada penelitian ini berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm. Cetakan ini dikhususkan untuk pembuatan *paving block* tanpa lapisan atas plastik



**Gambar 4.1 Cetakan *Paving Block***

## 2. Cetakan Kayu

Cetakan terbuat dari bahan kayu. Cetakan yang digunakan pada penelitian ini berukuran 200 mm x 100 mm x 60 mm. Cetakan ini dikhususkan untuk pembuatan lapisan atas *paving block* dengan lapisan plastik, seperti disajikan dalam Gambar 4.2.



**Gambar 4.2 Cetakan Kayu**

## 3. Ayakan

Ayakan berfungsi untuk memilah material disesuaikan dengan gradasinya. Peneliti menggunakan ayakan yang tertahan pada diameter 4,75 mm untuk agregat kasar dan menggunakan satu set ayakan dalam pengujian gradasi pasir, seperti disajikan dalam Gambar 4.3.



**Gambar 4.3 Ayakan**

#### 4. Skop

Skop berfungsi untuk mengambil, memasukkan, hingga meratakan bahan susun dalam pembuatan *paving block*, seperti disajikan dalam gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Skop**

#### 5. Mesin *Mixer*

Mesin *mixer* berfungsi untuk mencampur material penyusun *paving block* seperti semen, pasir dan air. Biasanya mesin mixer ini mengaduk bahan selama 5 - 10 menit hingga merata keseluruhan bagian, seperti disajikan dalam Gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Mesin Mixer**

#### 6. *Vibrator*

*vibrator* berfungsi untuk menggerakkan butiran agregat dalam mengisi celah, seperti disajikan dalam Gambar 4.6.



**Gambar 4.6 *Vibrator***

#### 7. Palu

Palu digunakan dalam proses pembuatan *paving block* untuk meratakan permukaan setelah proses pemadatan dengan vibrator, seperti disajikan dalam Gambar 4.7.



**Gambar 4.7 Palu**

8. Pemotong *Paving Block* atau Gerinda

Alat ini digunakan untuk memotong *paving block* sesuai dengan ukuran yang diinginkan, seperti disajikan dalam Gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Pemotong**

9. Papan Triplek

Papan triplek digunakan sebagai alas setelah *paving block* selesai diproduksi, seperti disajikan dalam Gambar 4.9.



**Gambar 4.9 Papan Triplek**

10. Bak Perendam

Berfungsi untuk merendam *paving block* yang telah dicetak dan membersihkan kotoran pasir atau debu, seperti disajikan dalam Gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Bak Perendam**

11. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang material sesuai dengan perhitungan dalam perencanaan, seperti disajikan dalam Gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Timbangan**

## 12. Oven

Setelah *paving block* direndam untuk diuji daya serap, *paving block* dimasukkan ke dalam oven untuk dikeringkan kembali, seperti disajikan dalam Gambar 4.12.



**Gambar 4.12 Oven**

## 13. Mesin Uji Kuat Tekan

Digunakan untuk menguji kuat tekan *paving block*, seperti disajikan dalam Gambar 4.13.



**Gambar 4.13 Mesin Uji Kuat Tekan**

14. Mesin Uji Ketahanan Aus

Mesin uji ketahanan aus digunakan untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap kekuatan permukaan *paving block*, seperti disajikan dalam Gambar 4.14.



**Gambar 4.14 Mesin Uji Ketahanan Aus**

15. Kompor Gas dan Panci

Digunakan untuk mencairkan sampah plastik, seperti disajikan dalam Gambar 4.15.



**Gambar 4.15 Kompor Gas dan Panci**

16. Pengaduk

Digunakan untuk mengaduk plastik cair supaya merata saat pemanasan, seperti disajikan dalam Gambar 4.16.



**Gambar 4.16 Pengaduk**

4.2.2 Bahan yang Digunakan

1. Semen Portland

Semen Portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air, seperti disajikan dalam Gambar 4.17.



**Gambar 4.17 Silo Penyimpanan Semen Portland**

## 2. Pasir

Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa yaitu pasir merapi yang berada di Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia, seperti disajikan dalam Gambar 4.18.



**Gambar 4.18 Pasir Merapi**

## 3. Air

Air yang digunakan pada campuran pembuatan *paving block* berasal dari saluran air yang berada di Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia, seperti disajikan dalam Gambar 4.19.



**Gambar 4.19 Air**

#### 4. Plastik

Dalam penelitian ini, bahan tambah yang digunakan adalah plastik. Plastik yang digunakan berjenis HDPE, seperti disajikan dalam Gambar 4.20.



**Gambar 4.20 Plastik HDPE**

#### 5. Abu Batu

Dalam penelitian ini, bahan tambah lain adalah abu batu yang digunakan pada campuran pembuatan *paving block* berasal dari hasil sisa dari proses pemecahan batu yang berada di Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia, seperti disajikan dalam Gambar 4.21.



**Gambar 4.21 Abu Batu**

#### 6. Kawat

Kawat yang digunakan dibeli di toko material, seperti disajikan dalam Gambar 4.22.



**Gambar 4.22 Kawat**

### **4.3 Tahapan Penelitian**

Prosedur penelitian perlu dilaksanakan secara tepat dan sistematis. Penerapan tahapan penelitian yang tersusun dengan baik akan mendukung diperolehnya hasil yang akurat. Oleh karena itu, penerapan prosedur yang benar menjadi hal yang sangat penting agar penelitian berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

#### 4.3.1 Persiapan bahan

Persiapan bahan merupakan tahap yang krusial untuk memastikan kualitas material yang digunakan memenuhi standar serta agar komposisi campuran yang

direncanakan dapat tercapai secara optimal. Oleh karena itu, proses pembersihan material dari kotoran atau zat pengganggu lainnya perlu dilakukan untuk menghindari potensi pengaruh negatif terhadap hasil penelitian.

Persiapan yang Dilakukan dalam Penelitian :

1. Persiapan Bahan Khusus

Material yang perlu disiapkan meliputi komponen penyusun *paving block*, seperti pasir, air dan semen. Pada penelitian ini, bahan khusus yang digunakan adalah Plastik HDPE dan Abu Batu.

2. Pembersihan Bahan

Pembersihan dilakukan terhadap plastik guna menghilangkan kotoran serta benda asing yang menempel. Proses ini penting untuk memastikan bahwa plastik memenuhi persyaratan kualitas yang diperlukan.

3. Pemeriksaan Agregat Halus

1. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir (gradasi) agregat halus melalui analisis saringan serta menghitung nilai Modulus Halus Butir (MHB). Tata cara pengujian analisis saringan mengacu pada SNI 03-1968-1990 sebagai berikut.

- 1) Pasir yang akan diuji dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  hingga mencapai berat konstan selama 24 jam.
- 2) Setelah pengeringan, pasir dikeluarkan dari oven, didinginkan hingga mencapai suhu ruang, lalu ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- 3) Pasir yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam satu set saringan yang disusun berurutan, mulai dari ukuran 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; hingga 0,15 mm.
- 4) Satu set saringan ditempatkan pada alat penggetar, kemudian dijalankan selama 10–15 menit.
- 5) Setelah proses penggetaran selesai, material yang tertahan pada setiap saringan ditimbang dan dicatat dalam formulir penelitian yang telah disiapkan.

- 6) Gradasi pasir dihitung berdasarkan persentase kumulatif butiran yang lolos pada setiap saringan. Nilai Modulus Halus Butir (MHB) diperoleh dengan menjumlahkan persentase kumulatif butiran tertahan pada masing-masing saringan, kemudian membaginya dengan seratus.

## 2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian berat jenis dan kondisi jenuh kering permukaan (SSD) pada pasir merupakan tahapan penting untuk memastikan bahwa agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk campuran beton. Parameter ini berpengaruh langsung terhadap perancangan campuran, kebutuhan air, serta kualitas beton yang dihasilkan. Tata cara pelaksanaan pengujian berat jenis pasir dilakukan mengacu pada (SNI 03-1970-2008) sebagai berikut.

- 1) Tabung ukur diisi dengan air hingga mencapai garis batas atas (garis kalibrasi).
- 2) Tabung ukur yang telah berisi air tersebut kemudian ditimbang, setelah itu air dikosongkan kembali dari tabung ukur.
- 3) Pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam tabung ukur dengan hati-hati agar tidak terjadi tumpahan.
- 4) Tabung ukur selanjutnya diisi kembali dengan air hingga mencapai garis batas atas.
- 5) Tabung ukur digoyang secara perlahan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di antara butiran pasir.
- 6) Setelah udara dipastikan keluar seluruhnya, air kembali ditambahkan hingga tepat mencapai garis batas atas tabung ukur.
- 7) Air dalam tabung ukur kemudian dibuang, pasir dikeluarkan, dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam.
- 8) Setelah proses pengeringan selesai, pasir dikeluarkan dari oven, didinginkan menggunakan desikator, dan kemudian ditimbang kembali.

Untuk melakukan perhitungan sebagai berikut:

- a. Berat jenis kering oven seperti diuraikan dalam Persamaan 4.1.

$$\frac{A}{S-(B-C)} \quad (4.1)$$

Keterangan:

A = Berat pasir kering oven (gr)

B = Berat keranjang + pasir jenuh permukaan SSD terendam air (gr)

C = Berat keranjang terendam air (gr)

S = Berat pasir SSD (gr)

b. Berat jenis SSD seperti diuraikan dalam Persamaan 4.2.

$$\frac{S}{S-(B-C)} \quad (4.2)$$

Keterangan:

B = Berat keranjang + pasir jenuh permukaan SSD terendam air (gr)

C = Berat keranjang terendam air (gr)

S = Berat pasir SSD (gr)

c. Berat jenis semu seperti diuraikan dalam Persamaan 4.3.

$$\frac{A}{A-(B-C)} \quad (4.3)$$

Keterangan:

A = Berat pasir kering oven (gr)

B = Berat keranjang + pasir jenuh permukaan SSD terendam air (gr)

C = Berat keranjang terendam air (gr)

d. Penyerapan air (%) seperti diuraikan dalam Persamaan 4.4.

$$\frac{S-A}{A} \times 100\% \quad (4.4)$$

Keterangan:

A = Berat pasir kering oven (gr)

S = Berat pasir SSD (gr)

### 3. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume kondisi padat dan gembur dari pasir. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus tersebut memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran

beton. Adapun tata cara pelaksanaan pengujian berat volume padat dan gembur pasir mengacu pada (SNI 03-4804-1998) sebagai berikut.

- 1) Pasir dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  hingga mencapai berat konstan.
- 2) Setelah mencapai kondisi kering, pasir dikeluarkan dari oven, didinginkan pada suhu ruang selama 1–3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- 3) Tabung silinder yang akan digunakan ditimbang dan diukur dimensinya untuk menentukan volumenya.
- 4) Untuk pengujian berat volume padat, tabung silinder ditempatkan pada permukaan yang rata. Pasir dimasukkan sebanyak sepertiga volume silinder, kemudian dipadatkan dengan penumbukan sebanyak 25 kali dan diratakan. Prosedur ini diulangi hingga silinder terisi penuh.
- 5) Untuk pengujian berat volume gembur, pasir dimasukkan ke dalam tabung silinder tanpa dilakukan penumbukan hingga penuh, kemudian diratakan permukaannya.
- 6) Setelah pengisian selesai, tabung silinder berisi pasir ditimbang, dan berat volume pasir dihitung berdasarkan massa pasir serta volume silinder.

Untuk melakukan perhitungan sebagai berikut:

- a. Berat volume gembur seperti diuraikan dalam Persamaan 4.5.

$$\frac{W_2 - W_1}{V} \quad (4.5)$$

Keterangan:

$W_1$  = Berat wadah kosong (kg)

$W_2$  = Berat wadah + pasir gembur (kg)

$V$  = Volume wadah ( $\text{m}^3$ )

- b. Berat jenis SSD seperti diuraikan dalam Persamaan 4.6.

$$\frac{W_3 - W_1}{V} \quad (4.6)$$

Keterangan:

$W_3$  = Berat wadah kosong (kg)

$W_2$  = Berat wadah + pasir padat (kg)

$V$  = Volume wadah ( $m^3$ )

#### 4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat di dalam pasir. Menurut Cozy (2019) Kandungan lumpur pada pasir tidak boleh mengandung lebih dari 5%, jika melebihi nilai tersebut maka dapat menurunkan kekuatan beton. Adapun prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis pasir mengacu pada SNI 03-4142-1996 sebagai berikut.

- 1) Pasir yang telah dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  diambil dan ditimbang massanya.
- 2) Pasir tersebut kemudian ditempatkan pada ayakan berukuran 0,075 mm, kemudian dialiri air.
- 3) Proses pengaliran air dilakukan secara berulang hingga seluruh kandungan lumpur terbilas dan air yang keluar dari ayakan tampak jernih.
- 4) Pasir yang telah dibersihkan selanjutnya dikeringkan kembali dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  hingga mencapai berat konstan selama  $\pm 24$  jam.
- 5) Setelah proses pengeringan, pasir dikeluarkan dari oven, didinginkan, dan ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.

#### 5. Pemeriksaan Semen Portland

Pemeriksaan semen dilakukan secara visual untuk memastikan bahwa semen berada dalam kondisi baik, yaitu tidak mengalami perubahan warna, tidak mengalami penggumpalan akibat paparan air, serta tidak mengandung gumpalan yang mengindikasikan penurunan mutu. Apabila ditemukan gumpalan, maka dilakukan penekanan hingga butiran semen kembali menjadi halus. Semen yang digunakan pada penelitian ini merupakan semen yang telah disediakan dalam silo di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi.

#### 6. Pemeriksaan Abu Batu

Pemeriksaan abu batu dilakukan secara visual untuk memastikan bahwa material berada dalam kondisi baik, yakni tidak terpengaruh oleh air serta bebas dari bahan asing seperti rumput atau kotoran lainnya. Abu batu yang digunakan pada penelitian ini merupakan material yang telah tersedia di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi.

#### 7. Pemeriksaan Air

Air yang digunakan dalam penelitian merupakan air bersih yang secara visual tidak menunjukkan adanya kandungan zat pengotor, seperti lumpur, minyak, garam, maupun benda-benda terapung lainnya.

#### 4.3.2 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa *paving block* tipe Holland dengan dimensi 200 mm × 100 mm × 60 mm, yang merupakan ukuran standar *paving block* perkerasan. Untuk keperluan pengujian, *paving block* yang telah dicetak dipotong sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Pada pengujian kuat tekan, benda uji dipotong menjadi bentuk kubus dengan ukuran 60 mm × 60 mm × 60 mm, sedangkan pada pengujian ketahanan aus, benda uji dipotong dengan dimensi 50 mm × 50 mm × 20 mm yang merepresentasikan kondisi lapisan permukaan *paving block*. Campuran badan paving menggunakan perbandingan semen dan pasir sebesar 1 pc : 6 ps, sehingga karakteristik mekanik badan paving tetap menyerupai *paving block* konvensional.

Penelitian ini mengkaji penerapan lapisan plastik sebagai lapisan permukaan *paving block* dengan ketebalan 0,7 cm, sedangkan ketebalan badan paving ditetapkan sebesar 5,3 cm, sehingga total ketebalan *paving block* tetap 6 cm. Pemilihan ketebalan lapisan plastik 0,7 cm didasarkan pada pertimbangan bahwa penelitian ini merupakan tahap awal dalam pengembangan *paving block* berlapis plastik, sehingga digunakan ketebalan yang relatif tipis namun masih representatif untuk mengamati pengaruh lapisan plastik terhadap karakteristik mekanik dan fungsional *paving block*. Selain itu, ketebalan tersebut dipilih untuk menjaga kestabilan ikatan antara lapisan plastik dan badan paving, meminimalkan risiko

delaminasi, serta mempertahankan peran beton sebagai elemen struktural utama. Dari sisi praktis dan ekonomis, ketebalan 0,7 cm dinilai efisien karena mampu meningkatkan ketahanan permukaan terhadap abrasi tanpa meningkatkan kebutuhan material plastik secara berlebihan.

Lapisan plastik dibuat dari plastik yang dilelehkan dan dicetak pada bagian atas *paving block* dengan variasi komposisi plastik sebesar 0%, 93,5%, 87%, dan 80,5%. Persentase yang tidak terisi oleh plastik dialokasikan untuk penambahan abu batu sebagai bahan pengisi (*filler*) guna meningkatkan kestabilan, kekompakan, dan homogenitas lapisan plastik. Variasi tersebut dirancang untuk mengkaji pengaruh penurunan kadar plastik dan peningkatan kadar abu batu secara bertahap terhadap karakteristik *paving block*, dengan variasi 0% sebagai benda uji kontrol. Komposisi campuran keseluruhan meliputi 100% pasir dan semen tanpa plastik dan abu batu, serta tiga variasi lainnya yang masing-masing terdiri atas 88,33% pasir dan semen dengan 10,91% plastik dan 0,76% abu batu; 88,33% pasir dan semen dengan 10,15% plastik dan 1,52% abu batu; serta 88,33% pasir dan semen dengan 9,39% plastik dan 2,28% abu batu. Seluruh benda uji menjalani proses pemeliharaan (*curing*) selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus, sehingga hasil pengujian mencerminkan kondisi *paving block* yang telah mencapai kekuatan dan stabilitas optimal.

Benda uji akan dibuat yaitu 5 buah untuk pengujian kuat tekan dan setiap variasinya. Pada pengujian ketahanan aus benda uji dibuat masing-masing 5 buah untuk setiap variasinya. Pada pengujian daya serap air digunakan benda uji bekas dari pengujian kuat tekan. Berarti total keseluruhan adalah 40 buah sampel. Untuk mempermudah penjelasan tentang detail jumlah benda uji yang akan dicetak dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

**Tabel 4.1 Komposisi Campuran Lapisan Atas *Paving Block***

Kode	Komposisi		Variasi Campuran	Jumlah Sampel		
	Semen	Pasir		Kuat Tekan	Daya Serap Air	Ketahanan Aus
A	1	6	100% pasir+semen dan 0% plastik+abu batu	5	5	5
B	1	6	88,33% pasir+semen dan 10,91% plastik + 0,76% abu batu	5	5	5
C	1	6	88,33% pasir+semen dan 10,15% plastik + 1,52% abu batu	5	5	5
D	1	6	88,33% pasir+semen dan 9,39% plastik + 2,28% abu batu	5	5	5

**Tabel 4.2 Ukuran Sampel Pengujian**

Sampel	Jenis Pengujian		
	Kuat Tekan	Ketahanan Aus	Daya Serap Air
Bentuk	Kubus	Balok	Utuh
Dimensi (mm)	60 x 60 x 60	50 x 50 x 20	200 x 100 x 60

Sumber: (SNI 03-0691-1996)

Langkah-langkah dalam proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Plastik ditimbang sesuai kebutuhan, kemudian dimasukkan ke dalam panci dan dipanaskan pada suhu  $\pm 150-250$  °C sambil diaduk perlahan hingga meleleh merata, seperti disajikan dalam Gambar 4.23. Penerapan SMKK dilakukan dengan memastikan area kerja memiliki ventilasi yang baik atau exhaust fan untuk mengurangi paparan asap plastik. Operator wajib menggunakan APD berupa sarung tangan tahan panas, masker, kaca mata

pelindung, dan pakaian kerja lengan panjang guna mencegah luka bakar dan gangguan pernapasan.



**Gambar 4.23 Pelelehan Plastik**

2. Siapkan cetakan *paving block*, Oles tipis oli di cetakan, tuangkan plastik cair ke cetakan. Tambahkan kawat saat plastik setengah mengeras kemudian tunggu hingga plastik mengeras lalu keluarkan plastik dari cetakan seperti disajikan dalam Gambar 4.24. Pada tahap ini, SMKK diterapkan dengan memastikan cetakan diletakkan pada permukaan yang stabil, menggunakan alat bantu yang tahan panas, serta menghindari kontak langsung antara kulit dan plastik cair.



**Gambar 4.24 Pencetakan Lapisan Plastik**

3. Siapkan bekisting atau cetakan *paving block*. Olesi permukaan bagian dalam cetakan dengan oli. Letakkan lapisan plastik yang sudah mengeras di dasar cetakan, dengan permukaan halus menghadap ke bawah (agar menjadi sisi atas paving), seperti disajikan dalam Gambar 4.25.



**Gambar 4.25 Persiapan Bekisting**

4. Siapkan pasir dan semen kemudian ditimbang setelah itu dimasukkan kedalam mesin *mixer*. Menjalankan mesin *mixer* untuk mengaduk bahan. Tuangkan air sesuai volume yang dibutuhkan kedalam mesin *mixer* secara merata, seperti disajikan dalam Gambar 4.26. Penerapan SMKK meliputi penggunaan sarung tangan kerja dan sepatu keselamatan untuk mencegah cedera akibat tumpahan material, serta menjaga postur kerja yang ergonomis selama proses pencampuran dan penuangan.



**Gambar 4.26 Pencampuran Bahan Paving**

5. Ambil adukan dari mesin *mixer*. Tuangkan campuran secara perlahan ke dalam cetakan yang sudah berisi lapisan plastik. Ratakan dan padatkan menggunakan vibrator meja. Gunakan palu untuk meratakan permukaan campuran dan memastikan kontak yang baik dengan lapisan plastik di bawahnya, seperti disajikan dalam Gambar 4.26. SMKK diterapkan dengan menata benda uji secara rapi untuk menghindari risiko terjatuh, serta memastikan area curing tidak mengganggu jalur kerja.



**Gambar 4.27 Penggabungan Paving dan Lapisan Plastik**

6. Siapkan triplek yang digunakan sebagai alas untuk *paving block* yang telah dibuat. Benda uji dibiarkan mengering di tempat teduh selama 24 jam tanpa terkena sinar matahari langsung. Setelah cukup keras, *paving block* dikeluarkan dari cetakan, seperti disajikan dalam Gambar 4.28.



**Gambar 4.28 Paving Berlapis Plastik**

#### 4.3.3 Perawatan Benda Uji

*Paving block* yang telah berumur satu hari dimasukkan ke dalam bak perendaman air dengan tujuan mempertahankan tingkat kelembapannya. Setelah mencapai umur 14 hari, *paving block* diangkat dari bak perendaman, kemudian tetap dijaga kelembapannya hingga mencapai umur 28 hari setelah proses pencetakan. Pada tahap ini, *paving block* dinyatakan telah siap untuk dilakukan pengujian, seperti disajikan dalam Gambar 4.29.



**Gambar 4.29 Perendaman *Paving Block***

#### 4.3.4 Pemotongan Benda Uji

Pada tahapan ini, *paving block* dipotong sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996. *Paving block* awalnya memiliki dimensi 200 mm × 100 mm × 60 mm kemudian dipotong menjadi bentuk kubus berukuran 60 mm × 60 mm × 60 mm untuk keperluan pengujian kuat tekan. Untuk pengujian ketahanan aus, *paving block* dipotong menjadi bentuk balok dengan dimensi 50 mm × 50 mm × 20 mm. Khusus untuk pengujian daya serap air, *paving block* tidak memerlukan pemotongan karena tidak ada persyaratan khusus yang ditentukan.

#### 4.3.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup pengujian kuat tekan, daya serap air, serta ketahanan aus pada *paving block*. Seluruh pengujian tersebut dilaksanakan pada setiap variasi sampel yang telah mencapai umur 28 hari.

#### 4.4 Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan pengujian yang tersusun secara sistematis. Setiap prosedur pengujian dijabarkan secara rinci untuk memastikan keteraturan pelaksanaannya. Adapun tahapan pengujian tersebut disajikan sebagai berikut.

##### 4.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan *paving block* dilaksanakan berdasarkan ketentuan dalam SNI 03-0691-1996. Tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan tersebut diuraikan sebagai berikut.

1. Sebanyak 10 benda uji dipersiapkan dengan memotong *paving block* hingga berbentuk kubus berukuran  $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ . Setiap rusuk kubus disesuaikan agar memenuhi ketentuan ukuran benda uji.
2. Benda uji yang telah disiapkan kemudian diberikan beban tekan menggunakan mesin penekan dengan kecepatan yang dapat dikendalikan. Penekanan dilakukan hingga benda uji hancur, dengan durasi pembebanan antara 1 hingga 2 menit. Arah pembebanan disesuaikan dengan arah kerja beban ketika *paving block* digunakan di lapangan.
3. Pengujian dilakukan berulang untuk memperoleh hasil yang lebih representatif, kemudian seluruh data hasil pengujian dicatat dengan cermat, seperti disajikan dalam Gambar 4.30.



**Gambar 4.30 Pengujian Kuat Tekan Paving**

#### 4.4.2 Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air pada *paving block* dilakukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 03-0691-1996. Langkah-langkah pelaksanaan pengujian tersebut diuraikan sebagai berikut.

1. Lima benda uji dengan ukuran 200 mm × 100 mm × 60 mm dalam kondisi utuh direndam dalam air hingga mencapai kondisi jenuh selama 24 jam, kemudian dilakukan penimbangan terhadap berat benda uji dalam keadaan basah.
2. Setelah itu, benda uji dikeringkan di dalam oven selama ±24 jam pada suhu sekitar 105°C hingga diperoleh berat konstan, yaitu ketika selisih antara dua hasil penimbangan berturut-turut tidak melebihi 0,2% dari penimbangan sebelumnya, seperti disajikan dalam Gambar 4.31.



**Gambar 4.31 Pengujian Serapan Air Sampel Paving**

#### 4.4.3 Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus pada *paving block* dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 03-0691-1996. Tahapan pelaksanaan pengujian tersebut diuraikan sebagai berikut, seperti disajikan dalam Gambar 4.32.

1. Tiga buah benda uji *paving block* dipilih kemudian dipotong menjadi ukuran 50 mm × 50 mm dengan ketebalan 20 mm.
2. Benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk memperoleh berat awal sebelum dilakukan pengujian keausan.

3. Benda uji ditempatkan pada mesin uji keausan dan dilakukan proses pengausan selama 3 menit.
4. Setelah pengujian selesai, benda uji ditimbang kembali untuk memperoleh berat akhir setelah mengalami keausan.



**Gambar 4.32 Pengujian Keausan Sampel Paving**

#### **4.5 Analisis Hasil Pengujian**

Data hasil pengujian selanjutnya diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Pengolahan data dilakukan berdasarkan teori serta standar yang relevan. *Output* dari proses pengolahan tersebut berupa parameter-parameter utama yang akan dimanfaatkan pada tahap analisis data.

#### **4.6 Analisis Data dan Pembahasan**

Data yang telah diolah dan menghasilkan parameter yang diperlukan selanjutnya dianalisis dengan merujuk pada teori serta ketentuan yang relevan. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus pada setiap variasi benda uji. Variasi benda uji tersebut berupa *paving block* berlapis plastik dengan ketebalan total 5,3 cm untuk lapisan paving dan 0,7 cm untuk lapisan plastik. Lapisan plastik dibuat dengan beberapa variasi yaitu 0%, 93,5%, 87%, dan 80,5%. Persentase yang tidak diisi oleh plastik kemudian dialokasikan untuk penambahan abu batu. Hasil analisis berupa nilai kuat tekan, daya serap air dan ketahanan aus *paving block*.

#### 4.7 Analisis Ekonomi

Dilakukannya analisis ekonomi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan harga pembuatan *paving block* menggunakan metode atau bahan standar dibandingkan dengan tambahan lapisan plastik di atasnya. Pada analisa ekonomi mengacu kepada Mulyadi (2018) dengan pendekatan full costing dan pendekatan variable costing. Data yang diperlukan pada analisa ini adalah biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, biaya *overhead* pabrik tetap dan biaya overhead variabel.

1. Biaya bahan baku seperti diuraikan dalam Persamaan 4.6.

$$\sum(Q_i \times H_i) \quad (4.6)$$

Keterangan :

$Q_i$  = Kuantitas bahan yang dibutuhkan per unit produk (kg)

$H_i$  = Harga per satuan bahan (kg)

2. Biaya tenaga kerja langsung seperti diuraikan dalam Persamaan 4.7.

$$\frac{T_u}{60} \times R_j \quad (4.7)$$

Keterangan :

$T_u$  = Waktu kerja langsung per unit (menit)

$R_j$  = Upah tenaga kerja per jam

3. Biaya *overhead* pabrik tetap seperti diuraikan dalam Persamaan 4.8.

$$\frac{\text{Total Biaya Tetap Bulanan}}{\text{Jumlah Produksi Bulanan}} \quad (4.8)$$

Keterangan :

Biaya Tetap = biaya yang tidak berubah dengan volume produksi

Produksi Bulanan = jumlah unit *paving block* yang diproduksi per bulan

4. Biaya *overhead* pabrik variabel seperti diuraikan dalam Persamaan 4.9.

$$\sum(K_i \times T_i) \quad (4.9)$$

Keterangan :

$K_i$  = Konsumsi input variabel ke-i per unit (kWh, liter, gram)

$T_i$  = Tarif biaya per satuan input ke-i (kWh, liter, gram)

5. Total biaya *paving block* per unit bruto seperti diuraikan dalam Persamaan 4.10 dan 4.11.

a. Total Biaya Produksi per Unit (Full Costing)

$$BBB + BTKL + BOP \text{ Tetap} + BOP \text{ Variabel} \quad (4.10)$$

b. Total Biaya Variabel per Unit (Variable Costing)

$$BBB + BTKL + BOP \text{ Variabel} \quad (4.11)$$

6. Total biaya *paving block* per unit netto adalah dihitung dari biaya produksi bruto dikurangi subsidi dari pemerintah. Nilai subsidi pemerintah ditentukan melalui wawancara ke Dinas Lingkungan Kabupaten Sleman dan Kotamadya Yogyakarta.

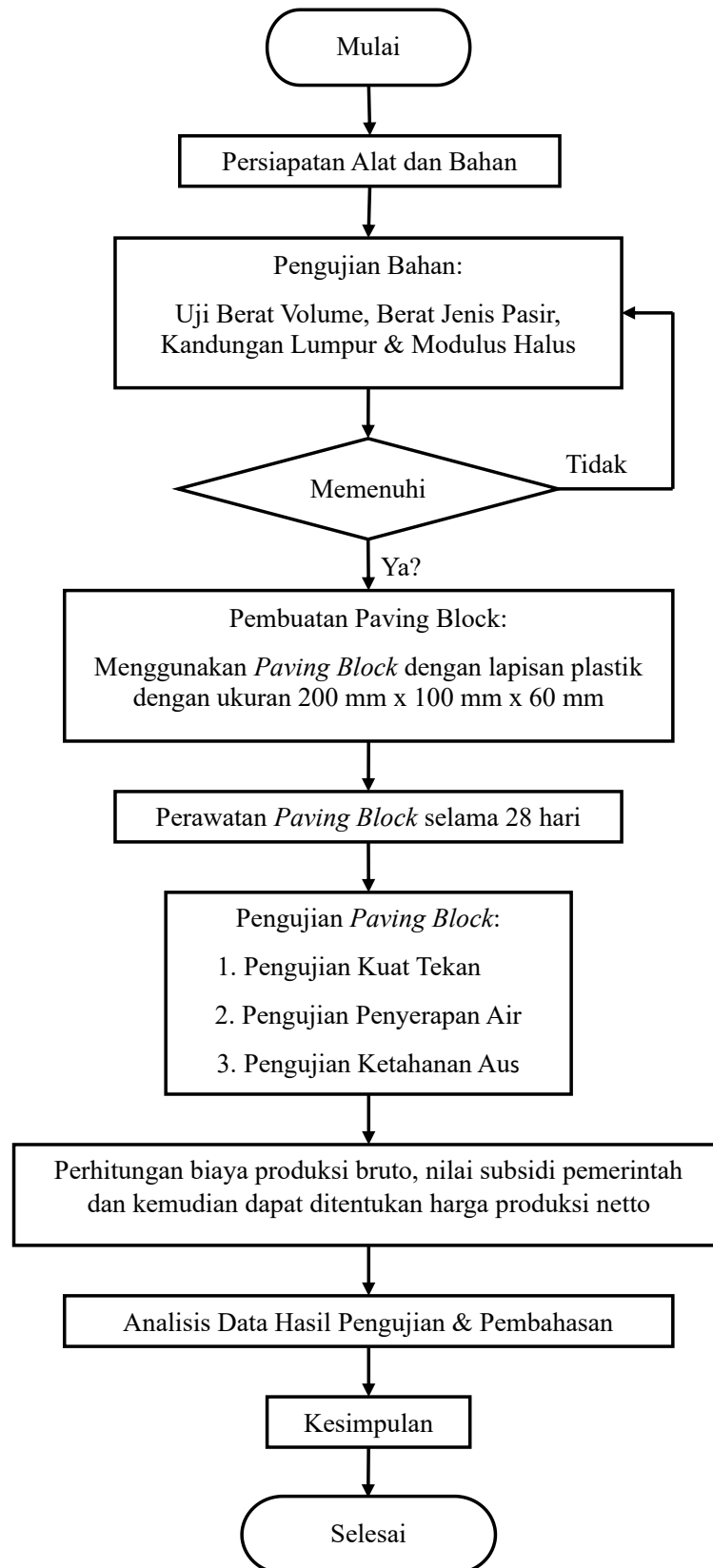
Setelah tahap analisis selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pembahasan. Pembahasan disusun berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh dan bertujuan untuk menjawab seluruh rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya.

#### 4.8 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan dirumuskan dengan merangkum hasil analisis data dan pembahasan secara ringkas, padat, dan jelas, serta mengacu pada teori dan standar yang berlaku. Kesimpulan yang diperoleh harus konsisten dengan tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini disusun pula saran yang didasarkan pada kesimpulan, sehingga dapat menjadi rekomendasi atau acuan bagi penelitian selanjutnya.

#### 4.9 Bagan Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.33 di bawah ini.



**Gambar 4.33 Bagan Alir Penelitian**

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Tinjauan Umum**

Bab ini menguraikan data serta hasil yang diperoleh dari pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi. Pengujian tersebut dimulai dengan evaluasi bahan penyusun *paving block* serta pengujian *paving block* itu sendiri, meliputi kekuatan tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap aus. Hasil-hasil pengujian tersebut selanjutnya dianalisis untuk menghasilkan pembahasan dan kesimpulan yang akan disajikan pada bab berikutnya.

#### **5.2 Hasil Pengujian Bahan Susun *Paving Block***

Pembuatan *paving block* dalam penelitian ini melibatkan tiga bahan utama, yaitu pasir, semen, dan udara, serta bahan tambahan berupa plastik dan abu batu sebagai lapisan atas. Sebelum proses mencetak *paving block*, diperlukan pengujian terhadap ketiga bahan penyusun tersebut untuk mengidentifikasi karakteristik masing-masing bahan. Pengujian bahan penyusun yang dilakukan meliputi analisis saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian berat volume padat dan gembur, serta pengujian lolos saringan nomor 200. Hasil serta pembahasan dari pengujian bahan penyusun akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

##### **5.2.1 Agregat Halus (Pasir)**

Penelitian ini memanfaatkan pasir yang bersumber dari Gunung Merapi. Beberapa pengujian yang dilakukan pada agregat halus (pasir) meliputi uji analisa saringan, uji berat jenis, uji berat volume padat dan gembur, serta uji kandungan lumpur. Penjelasan serta hasil dari uji-uji tersebut akan dibahas pada subbab berikutnya.

##### **5.2.1.1 Pengujian Analisis Saringan**

Uji analisis saringan dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 03-1968-1990. Uji ini bertujuan untuk menentukan klasifikasi agregat halus

berdasarkan ukuran butirannya serta memperoleh nilai modulus kehalusan butir. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pasir**

Lubang Ayakan		Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
(ASTM)	(mm)				
1 1/2"	40,00	0	0	0	100
3/4"	20,00	0	0	0	100
3/8"	10,00	0	0	0	100
No. 4	4,75	0	0	0	100
No. 8	2,40	124	6,21	6,21	93,79
No. 16	1,20	232	11,62	17,84	82,16
No. 30	0,60	428	21,44	39,28	60,72
No. 50	0,30	402	20,14	59,42	40,58
No. 100	0,15	412	20,64	80,06	19,94
Pan	Pan	398	19,94	100	0
Jumlah		1996	100	202,8056	-102,8056

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{202,8056}{100} \\ &= 2,03 \end{aligned}$$

Menurut Tjokrodimuljo (2007), nilai modulus halus butir agregat halus berada diantara 1,35 – 3,8. Pengujian analisis saringan menghasilkan nilai modulus halus butir sebesar 2,03. Nilai ini menunjukkan bahwa pasir yang digunakan telah memenuhi standar spesifikasi terkait modulus halus butir. Selain itu, pengujian analisis saringan juga memberikan informasi mengenai gradasi agregat halus. Berdasarkan Tabel SNI 03-2834-2000, agregat halus (pasir) yang digunakan paling sesuai dengan kriteria gradasi pada daerah III. Klasifikasi gradasi agregat halus serta grafik hasil analisis saringan untuk daerah III ditampilkan pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.2 Gradasi Pasir

Ukuran Saringan		Peresentase Berat Butir yang Lolos Saringan (%)			
(ASTM)	(mm)	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
3/8"	10,00	100	100	100	100
No. 4	4,75	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
No. 8	2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
No. 16	1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
No. 30	0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
No. 50	0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
No. 100	0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber: (SNI 03-2834-2000)

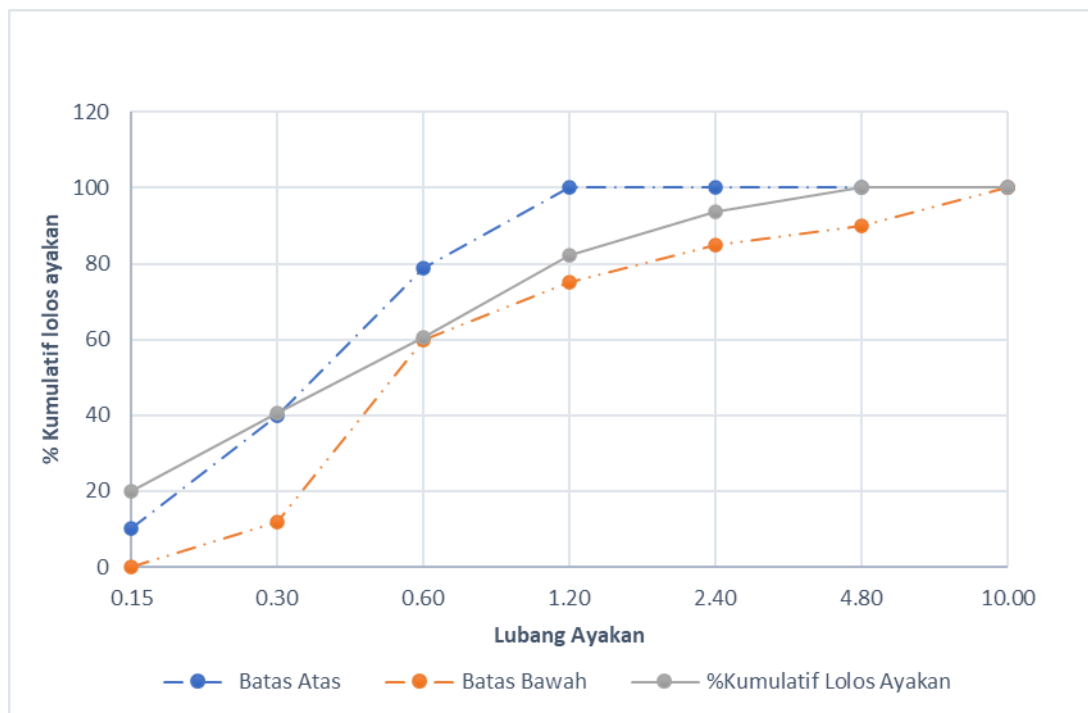
Keterangan:

Daerah I = Pasir Kasar

Daerah II = Pasir Agak Kasar

Daerah III = Pasir Agak Halus

Daerah IV = Pasir Halus



Gambar 5.1 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus Daerah III

### 5.2.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1970-2008. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering

muka (SSD), berat jenis semu, serta penyerapan air. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir**

<b>Uraian</b>	<b>Hasil Pengamatan Rata-rata</b>
Berat Pasir Kering Mutlak, Bk (gr)	490
Berat Pasir Kondisi Jenuh Kering Muka, SSD (gr)	500
Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air, Bt (gr)	977,50
Berat piknometer Berisi Air, B (gr)	661
Berat Jenis Curah, $Bk / (B + 500 - Bt)$ (1)	2,67
Berat Jenis Jenuh Kering Muka, $500 / (B + 500 - Bt)$ (2)	2,72
Berat Jenis Semu, $Bk / (B + Bk - Bt)$ (3)	2,82
Penyerapan Air, $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$ (gr)	2,04

Menurut Tjokrodimuljo (2007), nilai berat jenis agregat normal umumnya berada pada rentang 2,4–2,7 gr/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan Tabel 5.3, hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis kering permukaan jenuh agregat adalah 2,72 gr/cm<sup>3</sup>. Agregat dengan berat jenis dalam kisaran 2,4–2,7 gr/cm<sup>3</sup> umumnya menghasilkan beton dengan berat jenis sekitar 2,3 gr/cm<sup>3</sup> Tjokrodimuljo (1995). Semakin tinggi berat jenis agregat, semakin tinggi pula berat jenis beton yang dihasilkan, yang pada akhirnya berdampak pada meningkatnya kuat tekan beton.

Menurut Dessy (2005), nilai standar spesifikasi penyerapan air yaitu 2 – 7 %. Nilai penyerapan air yang diperoleh sebesar 2,04%, yang menunjukkan bahwa agregat halus (pasir) berada dalam kondisi kering. Besarnya penyerapan air pada agregat halus turut memengaruhi kualitas daya lekat antara agregat dan pasta semen dalam campuran beton.

### 5.2.1.3 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur

Pengujian berat volume padat dan gembur dilakukan dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998. Menurut Konstruksi, L. T (2017), pengujian ini bertujuan untuk menentukan klasifikasi agregat kasar berdasarkan berat volume. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan 5.5 sebagai berikut.

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir**

<b>Uraian</b>	<b>Hasil Pengamatan Rata-rata</b>
Berat Tabung, W1 (gr)	5210
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, W2 (gr)	8438
Berat Agregat, W3 = W2 – W1 (gr)	3228
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1656
Berat Volume Padat, W3 / V (gr/ cm <sup>3</sup> )	1,95

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir**

<b>Uraian</b>	<b>Hasil Pengamatan Rata-rata</b>
Berat Tabung, W1 (gr)	5210
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, W2 (gr)	7898
Berat Agregat, W3 = W2 – W1 (gr)	2688
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1656
Berat Volume Gembur, W3 / V (gr/ cm <sup>3</sup> )	1,62

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5, diperoleh berat volume agregat halus pada kondisi padat sebesar 1,95 gr/cm<sup>3</sup> dan pada kondisi gembur sebesar 1,62 gr/cm<sup>3</sup>. Selisih antara kedua nilai tersebut adalah 0,33 gr/cm<sup>3</sup>. Data berat volume ini digunakan untuk mempermudah perhitungan proporsi

campuran yang akan dijadikan acuan dalam perencanaan pembuatan *paving block*. Menurut Kusumawardhana (2018), semakin kecil perbedaan antara berat volume padat dan gembur, semakin baik kualitas gradasi agregat yang digunakan.

#### 5.2.1.4 Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir)

Pengujian lolos saringan nomor 200 dilakukan dengan berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus yang digunakan dalam campuran *paving block*. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Pada Pasir**

<b>Uraian</b>	<b>Hasil Pengamatan Rata-rata</b>
Berat Agregat Kering Oven, W1 (gr)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci, W2 (gr)	478
Berat yang Lolos Ayakan No 200, $(W1 - W2 / W1) \times 100\%$ (gr)	4,5%

Berdasarkan Tabel 5.6, diketahui bahwa pasir memiliki kadar lumpur sebesar 4,5%. Mengacu pada Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), fraksi agregat halus yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) diperbolehkan maksimum hingga 5%. Dengan demikian, pasir yang digunakan pada pengujian ini telah memenuhi ketentuan tersebut dan dapat langsung digunakan tanpa memerlukan proses pencucian tambahan.

#### 5.2.2 Semen

Dalam pengujian ini, semen yang digunakan adalah semen tipe 1 dengan merek dagang Tiga Roda, yang disimpan di silo di Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia. Hasil pemeriksaan visual terhadap semen

menunjukkan bahwa tidak terdapat gumpalan, yang mengindikasikan bahwa semen dalam kondisi baik dan layak digunakan.

### 5.2.3 Air

Dalam pengujian ini, air yang digunakan diperoleh dari saluran Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia. Hasil inspeksi visual menunjukkan bahwa air tersebut mematuhi standar yang ditetapkan, yakni bebas dari segala zat dan tidak mengandung benda terapung, sehingga dapat disimpulkan bahwa air tersebut dalam kondisi bersih.

### 5.2.4 Plastik

Dalam pengujian ini, plastik yang digunakan sebagai lapisan atas *paving block* yaitu plastik jenis HDPE. Plastik yang digunakan dapat diperoleh melalui pembelian di toko daring (online shop) maupun dari pengepul limbah plastik. Apabila plastik diperoleh melalui pembelian daring, umumnya kondisi material sudah relatif bersih dan siap digunakan setelah melalui proses penyortiran awal. Namun, jika plastik diperoleh dari pengepul, maka perlu dilakukan proses pembersihan terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran, minyak, atau sisa bahan organik yang menempel pada permukaannya. Setelah dibersihkan, plastik dikeringkan hingga benar-benar bebas dari kelembapan agar proses peleburan berlangsung optimal dan menghasilkan lapisan plastik yang homogen serta memiliki daya rekat kuat terhadap permukaan *paving block*.

### 5.2.5 Abu Batu

Dalam pengujian ini, abu batu yang digunakan adalah abu batu hasil pemecahan batu yang sudah tersedia di Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia. Hasil pemeriksaan visual terhadap abu batu menunjukkan bahwa tidak terdapat gumpalan dan bebas dari bahan organik atau kontaminan lain, yang mengindikasikan bahwa abu batu dalam kondisi baik dan layak digunakan.

### 5.3 Perhitungan Kebutuhan Campuran

Komposisi campuran dalam proses pembuatan *paving block* bertujuan untuk menentukan kebutuhan masing-masing bahan yang akan digunakan. Pada penelitian ini, rasio campuran yang diterapkan adalah 1pc : 6ps, selain itu kebutuhan plastik dan abu batu akan menjadi lapisan atas *paving block* sesuai dengan variasi yang telah dirancang. Perhitungan kebutuhan campuran *paving block* adalah sebagai berikut.

Paving X	= Paving blok utuh dengan tebal 6 cm
Paving Y	= Paving blok berlapis plastik dengan tebal 5,3 cm
Perbandingan pasir terhadap semen (A)	= 6/7 (1 pc : 6 ps)
Perbandingan semen terhadap pasir (B)	= 1/6 (1 pc : 6 ps)
Paving X	= $20 \times 10 \times 6$ = 1200 cm <sup>3</sup>
Paving Y	= $20 \times 10 \times 5,3$ = 1060 cm <sup>3</sup>
Berat volume pasir padat	= 1,95 gr/cm <sup>3</sup>
Berat volume pasir gembur	= 1,62 gr/cm <sup>3</sup>
Faktor pemadatan (P)	= $\frac{\text{Berat Volume Padat}}{\text{Berat Volume Gembur}}$ = $\frac{1,95}{1,62}$ = 1,201
Paving X	= $A \times B.V \text{ Pasir} \times V \text{ paving} \times P$ = $\frac{6}{7} \times 1,95 \times 1200 \times 1,201$ = 2409,096 gr
Paving Y	= $A \times B.V \text{ Pasir} \times V \text{ paving} \times P$ = $\frac{6}{7} \times 1,95 \times 1060 \times 1,201$ = 2128,035 gr
Kebutuhan 10 Paving X	= $10 \times 2409,096$ = 24090,096 gr

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan 10 Paving Y} &= 10 \times 2128,035 \\
&= 21280,35 \text{ gr} \\
\text{Kebutuhan semen 1 Paving X} &= \text{Kebutuhan Pasir Paving X} \times B \\
&= \text{Kebutuhan Pasir Paving X} \times \frac{1}{6} \\
&= \frac{2409,096}{6} \\
&= 401,516 \text{ gr} \\
\text{Kebutuhan semen 1 Paving Y} &= \frac{\text{Kebutuhan Pasir Paving Y}}{6} \\
&= \text{Kebutuhan Pasir Paving Y} \times B \\
&= \text{Kebutuhan Pasir Paving Y} \times \frac{1}{6} \\
&= \frac{2128,035}{6} \\
&= 354,672 \text{ gr} \\
\text{Kebutuhan semen 10 Paving X} &= 10 \times 401,516 \\
&= 4015,16 \text{ gr} \\
\text{Kebutuhan semen 10 Paving Y} &= 10 \times 354,672 \\
&= 3546,72 \text{ gr}
\end{aligned}$$

Menurut Tjokrodinuljo (1992), faktor air semen (FAS) sangat memengaruhi kuat tekan *paving block*. FAS yang terlalu kecil menyulitkan pengerjaan, sedangkan FAS yang terlalu besar menurunkan kekuatan. Pada pembuatan *paving block* umumnya digunakan FAS 0,20–0,35, sehingga dalam penelitian ini ditetapkan FAS 0,30.

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan air 10 Paving X} &= 0,3 \times \text{kebutuhan semen 1 paving X} \\
&\quad \times 10 \\
&= 0,3 \times 401,516 \times 10 \\
&= 1204,548 \text{ gr} \\
\text{Kebutuhan air 10 Paving Y} &= 0,3 \times \text{kebutuhan semen 1 paving Y} \\
&\quad \times 10 \\
&= 0,3 \times 354,672 \times 10 \\
&= 1064,016 \text{ gr}
\end{aligned}$$

Saat trial pembuatan sampel dengan volume plastik (0,7 cm) hanya membutuhkan sekitar 172,5 gram plastik.

Kebutuhan Plastik

$$\text{Berat plastik aktual (A)} = 172,5 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume plastik (0,7 cm)} &= 20 \times 10 \times 0,7 \\ &= 140 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Kerapatan massa jenis HDPE} = 0,95 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat teoritis tanpa tonjolan (B)} &= \text{Volume plastik} \times \text{Kerapatan massa} \\ &\text{jenis HDPE} \end{aligned}$$

$$= 140 \times 0,95$$

$$= 133 \text{ gr}$$

$$\text{Tonjolan Paving} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{172,5 - 133}{133} \times 100\%$$

$$= 29,7\%$$

Kebutuhan abu batu terhadap volume plastik dinyatakan dalam persentase 6,5%, 13%, dan 19,5% untuk merepresentasikan peningkatan kadar filler secara bertahap pada campuran plastik–abu batu. Kisaran ini masih berada dalam batas kerja campuran, sehingga pada kadar  $\leq 20\%$  plastik tetap berperan dominan sebagai pengikat dan proses pencetakan lapisan plastik setebal 0,7 cm dapat dilakukan dengan baik tanpa menurunkan kualitas lapisan.

$$\begin{aligned} \text{Variasi 6,5\%} &= \frac{6,5}{100} \times 172,5 \\ &= 11 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Variasi 13\%} &= \frac{13}{100} \times 172,5 \\ &= 22 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Variasi 19,5\%} &= \frac{19,5}{100} \times 172,5 \\ &= 34 \text{ gr} \end{aligned}$$

Rekapitulasi kebutuhan campuran *paving block* setiap variasi dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 5.7 Kebutuhan Bahan Susun *Paving Block***

Variasi	Semen (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Plastik (kg)	Abu Batu (kg)	Jumlah
100% pasir+semen dan 0% plastik+abu batu	4,0152	24,0910	1,2045	0	0	10
88,33% pasir+semen dan 10,91% plastik + 0,76% abu batu	3,5467	21,2803	1,0640	0,1613	0,0112	10
88,33% pasir+semen dan 10,15% plastik + 1,52% abu batu	3,5467	21,2803	1,0640	0,1501	0,0224	10
88,33% pasir+semen dan 9,39% plastik + 2,28% abu batu	3,5467	21,2803	1,0640	0,1389	0,0336	10
<b>Total</b>	<b>14,6553</b>	<b>87,9320</b>	<b>4,3966</b>	<b>0,4711</b>	<b>0,0464</b>	<b>40</b>

#### 5.4 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan setelah *paving block* mencapai umur 28 hari, dengan menggunakan lima spesimen untuk setiap variasi. *Paving block* dipotong menjadi bentuk kubus sesuai persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996, yaitu berukuran 60 mm × 60 mm × 60 mm. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Data hasil uji kekuatan tekan *paving block* dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai 5.11 sebagai berikut.

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi 0%**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kgf)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata
KTA1	62	60	63	0,509	5200	50994,580	13,708	17,713
KTA2	60	61	62	0,503	7375	72324,044	19,761	
KTA3	61	61	60	0,479	4750	46581,588	12,519	
KTA4	62	63	61	0,528	8150	79924,198	20,462	
KTA5	62	59	61	0,500	8250	80904,463	22,117	

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kgf)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata
KTB1	60	59	59	59	5325	52220,411	14,752	13,532
KTB2	59	60	60	60	4800	47071,920	13,297	
KTB3	60	58	59	59	3025	29665,116	8,524	
KTB4	60	59	59	59	5100	50013,915	14,128	
KTB5	60	60	60	63	6225	61046,396	16,957	

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kgf)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata
KTC1	62	61	57	0,442	4775	46826,754	12,381	13,265
KTC2	62	60	61	0,470	4800	47071,920	12,654	
KTC3	60	61	59	0,438	5125	50259,081	13,732	
KTC4	61	62	59	0,459	5250	51484,913	13,613	
KTC5	59	59	62	0,456	4950	48542,918	13,945	

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kgf)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata
KTD1	60	61	59	0,446	4650	45600,923	12,459	11,837
KTD2	58	61	59	0,449	3975	38981,434	11,018	
KTD3	63	62	61	0,473	4475	43884,759	11,235	
KTD4	63	61	60	0,464	4700	46091,225	11,994	
KTD5	61	61	58	0,446	4925	48297,751	12,980	

Sebagai contoh dalam analisis perhitungan kuat tekan *paving block*, digunakan data hasil pengujian pada variasi campuran 80,5% dengan kode sampel KTD5. Rincian tahapan dan hasil perhitungannya disajikan pada uraian berikut.

Panjang (p) = 61

Lebar (l) = 61

Tinggi (h) = 58

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} \quad (A) &= p \times l \\
 &= 61 \times 61 \\
 &= 3721 \text{ mm}^2 \\
 \text{Beban maksimum} \quad (P) &= 4925 \text{ kgf} \\
 &= 4925 \times 9,80665 \\
 &= 48297,751 \text{ N} \\
 \text{Kuat tekan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{48297,751}{3721} \\
 &= 12,980 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang telah disajikan di atas diterapkan pada seluruh hasil pengujian kuat tekan *paving block*. Untuk memperoleh nilai kuat tekan rata-rata, dilakukan dengan menjumlahkan nilai kuat tekan dari setiap sampel, kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah keseluruhan sampel yang diuji. Prosedur perhitungan kuat tekan rata-rata tersebut dapat disajikan sebagai berikut.

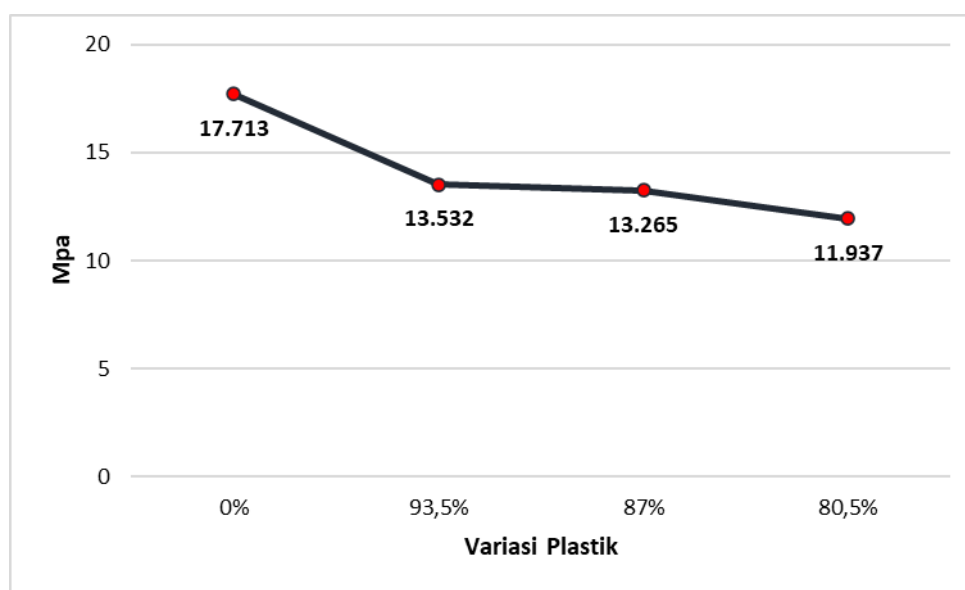
$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan rata-rata} &= \frac{\sum \text{Kuat tekan variasi } 80,5\%}{n} \\
 &= \frac{12,459+11,018+11,235+11,994+12,980}{5} \\
 &= 11,837 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kuat tekan *paving block* dari seluruh variasi yang telah dianalisis, selanjutnya dilakukan klasifikasi mutu *paving block* mengacu pada ketentuan SNI 03-0691-1996. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beserta klasifikasi mutu masing-masing variasi disajikan pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu *Paving Block***

No	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Mutu Paving Blok	Fungsi
1	0%	17,713	C	Pejalan Kaki
2	93,5%	13,532	D	Taman
3	87%	13,265	D	Taman
4	80,5%	11,937	D	Taman

Berdasarkan hasil rekapitulasi nilai kuat tekan yang telah diperoleh, dilakukan perbandingan antar variasi melalui penyajian dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan analisis data. Grafik yang menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata *paving block* disajikan pada Gambar 5.2 berikut.



**Gambar 5.2 Kuat Tekan Rata-Rata**

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji menjalani proses curing selama 28 hari, dalam kondisi kering, serta telah dipotong dan dibentuk sesuai ketentuan SNI 03-069-1996, yaitu berbentuk kubus dengan ukuran 60 mm × 60 mm × 60 mm. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan beban maksimum yang mampu ditahan oleh *paving block*. Proses pengujian dilakukan menggunakan mesin

UTM (Universal Testing Machine) dengan memberikan tekanan pada benda uji hingga mengalami retak dan akhirnya mengalami keruntuhan.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, *paving block* dengan variasi 0% atau *paving block* normal menunjukkan nilai rata-rata sebesar 17,713 MPa. Sementara itu, *paving block* yang diberikan lapisan plastik 93,5% dan penambahan abu batu mengalami penurunan kuat tekan menjadi 13,532 MPa. Pada variasi lapisan plastik sebesar 87% dan 80,5%, kuat tekan turut mengalami penurunan masing-masing menjadi 13,265 MPa dan 11,937 MPa.

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa hasil pengujian kuat tekan memperlihatkan tren yang kurang menguntungkan. Penurunan kuat tekan pada *paving block* dengan penambahan lapisan plastik dan variasi abu batu disebabkan oleh berkurangnya ketebalan beton struktural yang berperan sebagai elemen utama penahan beban. Lapisan plastik yang ditempatkan pada bagian atas tidak memiliki kapasitas tekan yang memadai dan memiliki sifat mekanis yang jauh lebih rendah dibandingkan beton, sehingga distribusi beban selama pengujian tidak tersalurkan secara merata ke seluruh bagian paving. Selain itu, ikatan antara lapisan plastik dan beton tidak terbentuk secara optimal, sehingga muncul zona lemah pada batas antarmaterial yang mempercepat terbentuknya retak awal.

*Paving block* dengan lapisan plastik dengan variasi 93,5%, 87%, dan 80,5%. Persentase yang tidak diisi oleh plastik kemudian dialokasikan untuk penambahan abu batu juga menunjukkan penurunan kekuatan, karena abu batu yang tercampur dalam matriks plastik tidak mampu berfungsi seperti agregat dalam beton. Material tersebut hanya terdispersi dalam media yang bersifat lunak, sehingga tidak memberikan kontribusi struktural yang signifikan. Akibatnya, semakin tinggi persentase abu batu yang ditambahkan, struktur paving menjadi kurang homogen dan kehilangan sifat monolitiknya, yang pada akhirnya menyebabkan nilai kuat tekan terus mengalami penurunan.

Berdasarkan hasil analisis data, penambahan lapisan plastik pada bagian atas *paving block* yang dikombinasikan dengan variasi abu batu pada lapisan tersebut menunjukkan peningkatan kinerja yang kurang optimal dari segi kuat tekan. Modifikasi ini belum mampu menyamai performa *paving block* normal yang

beredar di pasaran, karena seluruh variasinya menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan *paving block* konvensional. Meskipun demikian, penggunaan lapisan plastik pada *paving block* tetap memberikan manfaat dari sisi lingkungan, khususnya dalam upaya mengurangi jumlah limbah plastik. Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* dengan variasi plastik 0%, 93,5%, 87%, dan 80,5%. Persentase yang tidak diisi oleh plastik kemudian dialokasikan untuk penambahan abu batu termasuk dalam kategori mutu D yang diperuntukkan bagi area taman. Sementara itu, *paving block* tanpa lapisan plastik atau pada variasi 0% diklasifikasikan dalam mutu C yang diperbolehkan untuk digunakan pada jalur pejalan kaki.

### 5.5 Pengujian Daya Serap Air *Paving Block*

Pengujian daya serap air *paving block* dilakukan setelah *paving block* mencapai umur 28 hari. Pada pengujian ini benda uji yang digunakan adalah bekas dari pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Data hasil uji daya serap air *paving block* dapat dilihat pada Tabel 5.13 sampai 5.16 sebagai berikut.

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block* Dengan Variasi 0%**

No	Kode Sampel	Berat Basah	Berat Kering	Penyerapan Air
		(gr)	(gr)	%
1	PA1	1290	1158	11,399
2	PA2	1230	1085	13,364
3	PA3	1306	1183	10,397
4	PA4	1288	1157	11,322
5	PA5	1269	1132	12,102
<b>Rata-Rata</b>				11,717

**Tabel 5.14 Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Basah	Berat Kering	Penyerapan Air
		(gr)	(gr)	%
1	PB1	1044	942	10,828
2	PB2	1041	935	11,337
3	PB3	947	864	9,606
4	PB4	1023	924	10,714
5	PB5	1023	938	9,062
<b>Rata-Rata</b>				10,310

**Tabel 5.15 Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Basah	Berat Kering	Penyerapan Air
		(gr)	(gr)	%
1	PC1	989	902	9,645
2	PC2	942	854	10,304
3	PC3	1030	939	9,691
4	PC4	1048	963	8,827
5	PC5	938	860	9,070
<b>Rata-Rata</b>				9,507

**Tabel 5.16 Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Basah	Berat Kering	Penyerapan Air
		(gr)	(gr)	%
1	PD1	998	903	10,520
2	PD2	1026	914	12,254
3	PD3	980	874	12,128
4	PD4	1014	925	9,622
5	PD5	955	847	12,751
<b>Rata-Rata</b>				11,455

Sebagai contoh dalam analisis perhitungan daya serap air *paving block*, digunakan data hasil pengujian pada variasi campuran 80,5% dengan kode sampel PD1. Rincian tahapan dan hasil perhitungannya disajikan pada uraian berikut.

Berat basah (Wb) = 998

Berat kering (Wk) = 903

$$\begin{aligned}
 \text{Daya serap air} \quad (\%) &= \frac{Wb-wk}{Wk} \times 100\% \\
 &= \frac{998-903}{903} \times 100\% \\
 &= 10,520\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang telah disajikan di atas diterapkan pada seluruh hasil pengujian daya serap air *paving block*. Untuk memperoleh nilai daya serap air rata-rata, dilakukan dengan menjumlahkan nilai daya serap air dari setiap sampel, kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah keseluruhan sampel yang diuji. Prosedur perhitungan daya serap air rata-rata tersebut dapat disajikan sebagai berikut.

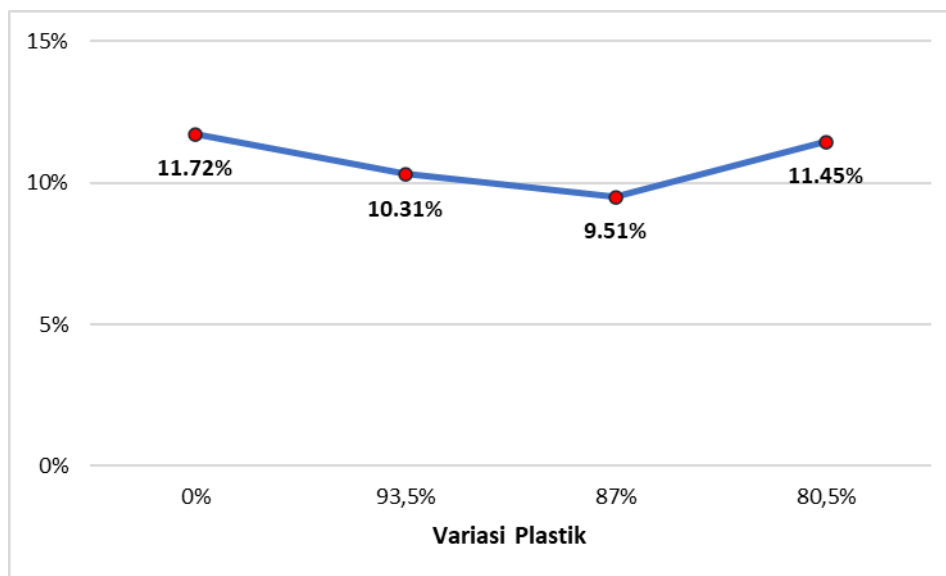
$$\begin{aligned}
 \text{Daya serap air rata-rata} (\%) &= \frac{\sum \text{Daya serap air variasi } 93,5\%}{n} \\
 &= \frac{10,828\%+11,337\%+9,606\%+10,714\%+9,062\%}{5} \\
 &= 10,310\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya serap air *paving block* dari seluruh variasi yang telah dianalisis, selanjutnya dilakukan klasifikasi mutu *paving block* mengacu pada ketentuan SNI 03-0691-1996. Rekapitulasi hasil pengujian daya serap air beserta klasifikasi mutu masing-masing variasi disajikan pada Tabel 5.17 berikut.

**Tabel 5.17 Hasil Rekapitulasi Pengujian Daya Serap Air Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu *Paving Block***

No	Variasi	Penyerapan Air Rata-rata (%)	Mutu Paving Blok	Fungsi
1	0%	11,717	-	-
2	93,5%	10,310	-	-
3	87%	9,507	D	Taman
4	80,5%	11,454	-	-

Berdasarkan hasil rekapitulasi nilai daya serap air yang telah diperoleh, dilakukan perbandingan antar variasi melalui penyajian dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan analisis data. Grafik yang menunjukkan nilai daya serap air rata-rata *paving block* disajikan pada Gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5.3 Daya Serap Air Rata-Rata**

Pengujian daya serap air dilakukan setelah benda uji menjalani proses curing selama 28 hari, Selanjutnya dilakukan kembali proses perendaman selama 24 jam. Tahap berikutnya adalah menempatkan *paving block* ke dalam oven pengering selama 24 jam, kemudian dilakukan penimbangan untuk menentukan nilai daya serap air. Pada pengujian daya serap air, benda uji *paving block* yang digunakan merupakan sisa pemotongan dari uji keausan dan uji kuat tekan. Bagian sampel yang masih memiliki lapisan plastik dipotong atau dibuang terlebih dahulu untuk mencegah terjadinya pelelehan plastik selama proses pengeringan di dalam oven. Selain itu, keberadaan plastik tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengujian karena material tersebut tidak memiliki kemampuan menyerap air. Dengan demikian, seluruh sampel yang digunakan pada pengujian daya serap air memiliki komposisi yang sama, yakni hanya terdiri atas campuran pasir dan semen.

Berdasarkan hasil pengujian daya serap air yang telah dilakukan, *paving block* dengan variasi 0% atau *paving block* normal menunjukkan nilai rata-rata sebesar 11,717%. Sementara itu, *paving block* yang diberikan lapisan plastik 93,5% dan penambahan abu batu mengalami penurunan penyerapan air menjadi 10,310%. Pada variasi plastik sebesar 87% dan 80,5%, ketahanan aus mengalami turun naik

masing-masing menjadi 9,507% dan 11,454%. Berdasarkan grafik, tampak bahwa hasil pengujian daya serap air menunjukkan kecenderungan yang cukup positif. Pada variasi 93,5% terjadi penurunan daya serap air, sedangkan pada variasi 87% dan 80,5% nilai daya serap air mengalami turun naik yang lebih rendah dibandingkan penyerapan air paving utuh.

Hasil pengujian menunjukkan adanya variasi nilai daya serap air pada *paving block*, meskipun seluruh sampel memiliki komposisi yang sama, yakni hanya terdiri atas campuran pasir dan semen. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan proses produksi manual. Pada proses pencampuran, kemungkinan terdapat ketidakhomogenan distribusi material antara pasir dan semen sehingga kerap menyebabkan variasi kepadatan dan porositas pada setiap sampel. Selain itu, tingkat pemadatan yang dilakukan secara manual berpotensi tidak seragam, sehingga beberapa *paving block* memiliki rongga internal yang lebih besar dan meningkatkan kemampuan menyerap air. Faktor lain yang dapat berkontribusi adalah ketidakkonsistenan dalam proses pencetakan. Variabilitas tersebut menyebabkan beberapa sampel menunjukkan nilai daya serap air yang lebih tinggi atau lebih rendah, meskipun seluruhnya disusun dengan proporsi material yang sama.

Berdasarkan hasil analisis data, dapat disimpulkan bahwa penambahan lapisan plastik dengan variasi abu batu pada *paving block* tidak menimbulkan perubahan signifikan, karena lapisan plastik telah dibuang dan material plastik tidak memiliki kemampuan menyerap air. Meskipun demikian, *paving block* dengan variasi 87% tetap memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 dan diklasifikasikan dalam mutu D, yang direkomendasikan untuk area pejalan kaki. Sementara itu, *paving block* dengan variasi 93,5%, 80,5%, serta paving utuh tidak memenuhi kriteria mutu yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996.

## **5.6 Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block***

Pengujian ketahanan aus *paving block* dilakukan setelah *paving block* mencapai umur 28 hari, dengan menggunakan lima spesimen untuk setiap variasi. *Paving block* dipotong menjadi bentuk balok sesuai persyaratan Standar Nasional

Indonesia (SNI) 03-0691-1996, yaitu berukuran 50 mm x 50 mm x 20 mm. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Data hasil uji ketahanan aus *paving block* dapat dilihat pada Tabel 5.18 sampai 5.21 sebagai berikut.

**Tabel 5.18 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Dengan Variasi 0%**

No	Kode Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	G	Ketahanan Aus
		(gr)	(gr)	(gr/menit)	(mm/menit)
1	KAA1	107	95	4,000	5,105
2	KAA2	108	92	5,333	6,798
3	KAA3	96	81	5,000	6,375
4	KAA4	122	103	6,333	8,068
5	KAA5	116	110	2,000	2,565
<b>Rata-Rata</b>					5,782

**Tabel 5.19 Hasil Pengujian Ketahanan *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 93,5% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	G	Ketahanan Aus
		(gr)	(gr)	(gr/menit)	(mm/menit)
1	KAB1	88,64	88,46	0,060	0,101
2	KAB2	92,42	91,98	0,147	0,211
3	KAB3	88,96	88,71	0,083	0,130
4	KAB4	88,57	88,30	0,090	0,139
5	KAB5	84,38	83,63	0,250	0,342
<b>Rata-Rata</b>					0,185

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 87% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	G	Ketahanan Aus
		(gr)	(gr)	(gr/menit)	(mm/menit)
1	KAC1	85,87	85,60	0,090	0,139
2	KAC2	92,01	91,66	0,117	0,173
3	KAC3	85,73	85,46	0,090	0,139
4	KAC4	87,45	86,64	0,270	0,368
5	KAC5	77,16	76,73	0,143	0,207
<b>Rata-Rata</b>					0,205

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Berlapis Plastik Setebal 0,7 cm dengan Campuran 80,5% Plastik dan Abu Batu**

No	Kode Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	G	Ketahanan Aus
		(gr)	(gr)	(gr/menit)	(mm/menit)
1	KAD1	94,47	93,87	0,200	0,279
2	KAD2	93,87	93,16	0,237	0,325
3	KAD3	94,93	94,59	0,113	0,169
4	KAD4	96,31	95,73	0,193	0,270
5	KAD5	96,19	95,47	0,240	0,329
<b>Rata-Rata</b>					0,274

Sebagai contoh dalam analisis perhitungan ketahanan aus *paving block*, digunakan data hasil pengujian pada variasi campuran 93,5% dengan kode sampel KAB3. Rincian tahapan dan hasil perhitungannya disajikan pada uraian berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat awal} & \quad (A) = 88,96 \\
 \text{Berat akhir} & \quad (B) = 88,71 \\
 \text{Lama Pengujian} & \quad (t) = 3 \text{ menit} \\
 \text{Kehilangan berat} & \quad (G) = \frac{A-B}{t} \\
 & = \frac{88,96-88,71}{3} \\
 & = 0,083 \text{ gr / menit} \\
 \text{Ketahanan aus} & \quad (D) = 1,26 G + 0,0246 \\
 & = 1,26 (0,083) + 0,0246 \\
 & = 0,130 \text{ mm / menit}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang telah disajikan di atas diterapkan pada seluruh hasil pengujian ketahanan aus *paving block*. Untuk memperoleh nilai ketahanan aus rata-rata, dilakukan dengan menjumlahkan nilai ketahanan aus dari setiap sampel, kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah keseluruhan sampel yang diuji. Prosedur perhitungan ketahanan aus rata-rata tersebut dapat disajikan sebagai berikut.

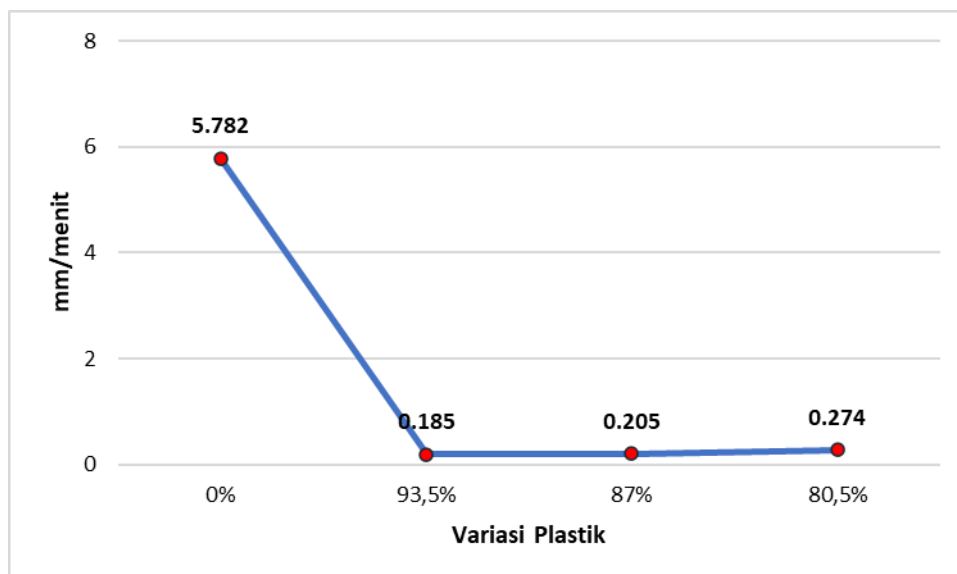
$$\begin{aligned}
 \text{Ketahanan aus rata rata (d)} & = \frac{\sum \text{Ketahanan aus variasi 93,5\%}}{n} \\
 & = \frac{0,101+0,211+0,130+0,139+0,342}{5} \\
 & = 0,185 \text{ mm / menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan ketahanan aus *paving block* dari seluruh variasi yang telah dianalisis, selanjutnya dilakukan klasifikasi mutu *paving block* mengacu pada ketentuan SNI 03-0691-1996. Rekapitulasi hasil pengujian ketahanan aus beserta klasifikasi mutu masing-masing variasi disajikan pada Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5.22 Hasil Rekapitulasi Pengujian Ketahanan Aus Rata-Rata dan Klasifikasi Mutu *Paving Block***

No	Variasi	Ketahanan Aus Rata-rata (mm/menit)	Mutu Paving Blok	Fungsi
1	0%	5,782	-	-
2	93,5%	0,185	C	Pejalan Kaki
3	87%	0,205	D	Taman
4	80,5%	0,274	D	Taman

Berdasarkan hasil rekapitulasi nilai ketahanan aus yang telah diperoleh, dilakukan perbandingan antar variasi melalui penyajian dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan analisis data. Grafik yang menunjukkan nilai ketahanan aus rata-rata *paving block* disajikan pada gambar berikut.



**Gambar 5.4 Ketahanan Aus Rata-Rata**

Pengujian ketahanan aus dilakukan setelah benda uji menjalani proses curing selama 28 hari, dalam kondisi kering, serta telah dipotong dan dibentuk sesuai ketentuan SNI 03-069-1996, yaitu berbentuk balok dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 20 mm. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur berkurangnya lapisan permukaan material akibat gesekan yang terjadi antara permukaan paving dan benda penggosok. Proses pengujian ketahanan aus berlangsung selama 3 menit dan dilaksanakan pada lima sampel untuk setiap variasi yang diuji.

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan aus yang telah dilakukan, *paving block* dengan variasi 0% atau *paving block* normal menunjukkan nilai rata-rata sebesar 5,782 mm/menit. Sementara itu, *paving block* yang diberikan lapisan plastik 93,5% dan penambahan abu batu mengalami peningkatan ketahanan aus menjadi 0,185 mm/menit MPa. Pada variasi plastik sebesar 87% dan 80,5%, ketahanan aus mengalami penurunan masing-masing menjadi 0,205 mm/menit dan 0,274 mm/menit.

Berdasarkan grafik, tampak bahwa hasil pengujian ketahanan aus menunjukkan kecenderungan yang cukup positif. Pada variasi plastik 93,5% terjadi peningkatan ketahanan aus, sedangkan pada variasi 87% dan 80,5% nilai ketahanan aus mengalami penurunan. Penurunan ini terjadi karena penambahan abu batu ke dalam lapisan plastik berpotensi melemahkan sifat mekanik lapisan tersebut. Abu batu memiliki karakteristik yang lebih rapuh dibandingkan material plastik maupun agregat beton, sehingga ketika dicampurkan ke dalam matriks plastik, partikel-partikelnya dapat menyebabkan struktur menjadi kurang homogen dan membentuk zona lemah akibat distribusi yang tidak seragam. Selain itu, abu batu tidak memiliki kemampuan deformasi seperti plastik, sehingga lebih mudah terlepas saat permukaan paving mengalami gesekan, yang pada akhirnya mempercepat proses keausan. Penambahan abu batu dalam jumlah yang lebih besar juga dapat mengganggu ikatan dan kekompakan antar komponen pada lapisan plastik, sehingga semakin tinggi persentasenya, semakin rendah ketahanan aus yang dihasilkan oleh *paving block*.

*Paving block* utuh menunjukkan penurunan ketahanan aus yang cukup signifikan, dengan nilai rata-rata mencapai 5,782 mm/menit. Kondisi ini disebabkan oleh berbagai faktor yang menurunkan kualitas permukaan terhadap abrasi. Keberadaan lapisan laitance yang mudah terkikis, komposisi campuran beton yang tidak optimal seperti rasio air-semen yang terlalu tinggi, kadar semen yang rendah, serta dominasi agregat halus menjadikan permukaan beton lebih rentan terhadap kerusakan. Selain itu, penggunaan agregat dengan kualitas kurang baik serta proses pemadatan dan curing yang tidak dilakukan secara optimal turut meningkatkan porositas dan melemahkan ikatan antarpartikel. Ketiadaan lapisan pelindung pada *paving block* menyebabkan gesekan terjadi langsung pada permukaan beton, sehingga mempercepat proses pengikisan. Proses produksi yang dilakukan secara manual juga berkontribusi terhadap rendahnya ketahanan aus, karena variabilitas dalam pencampuran material, pemadatan, dan pengendalian kadar air dapat menghasilkan struktur beton yang tidak homogen dan kurang kuat. Secara keseluruhan, kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan tingginya nilai keausan pada *paving block* utuh.

Ketahanan aus yang lebih baik pada *paving block* berlapis plastik disebabkan oleh sifat material plastik yang bersifat ulet, elastis, dan relatif kedap air, sehingga mampu berfungsi sebagai lapisan pelindung permukaan terhadap gesekan dan abrasi. Lapisan plastik dapat menyerap dan mendistribusikan energi gesekan secara lebih merata dibandingkan beton, sehingga mengurangi pengikisan langsung pada permukaan *paving block*. Selain itu, permukaan plastik yang lebih halus dan tidak berpori mengurangi terjadinya pelepasan partikel material saat terjadi gesekan, yang secara langsung menurunkan laju keausan. Keberadaan lapisan plastik juga menutup pori-pori permukaan beton, sehingga menghambat penetrasi air dan partikel abrasif yang dapat mempercepat degradasi permukaan.

Berdasarkan hasil analisis data, dapat disimpulkan bahwa penambahan lapisan variasinplastik dengan abu batu pada *paving block* memberikan peningkatan ketahanan aus pada variasi 93,5%, sedangkan pada variasi 87% dan 80,5% terjadi penurunan kinerja. Meskipun demikian, seluruh variasi tersebut tetap menunjukkan ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan *paving block* utuh yang tidak

dilengkapi lapisan tambahan. Mengacu pada SNI 03-0691-1996, variasi 93,5% diklasifikasikan dalam mutu C yang direkomendasikan untuk area pejalan kaki, sedangkan variasi 87% dan 80,5% termasuk dalam mutu D yang sesuai untuk penggunaan pada area taman. Adapun *paving block* utuh tidak memenuhi persyaratan mutu pada SNI 03-0691-1996.

## 5.7 Harga Pokok Produksi

Perhitungan harga pokok produksi untuk *paving block* berlapis plastik dengan variasi abu batu dilakukan guna memperoleh estimasi total biaya produksi secara menyeluruh. Proses perhitungan dimulai dengan identifikasi seluruh komponen biaya, meliputi bahan baku seperti semen, pasir, abu batu, dan plastik pelapis, serta biaya tenaga kerja langsung yang terlibat dalam proses produksi. Selain itu, biaya overhead pabrik, termasuk listrik, air, dan pemeliharaan mesin, juga diperhitungkan. Dengan demikian, harga pokok produksi menjadi acuan dalam penentuan harga jual yang tepat serta berperan dalam pengendalian efisiensi biaya produksi. Perhitungan harga pokok produksi *paving block* adalah sebagai berikut.

### 1. Harga Bahan Baku (BBB)

Berdasarkan hasil survei dan wawancara yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai beberapa komponen biaya bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *paving block*.

Pasir/m<sup>3</sup>(A) = Rp160.000,00

Semen/Zak (B) = Rp63.070,00

Plastik/Kg (C) = Rp4.000,00

Abu Batu/Karung (D) = Rp10.000,00

Pasir 1 m<sup>3</sup> = 1500 kg

$$\begin{aligned} \text{Pasir 1 Kg} &= \frac{B}{\text{Pasir 1 m}^3} \\ &= \frac{160.000}{1500} \\ &= \text{Rp}106,67 \end{aligned}$$

1 Zak	$= 40 \text{ Kg}$ $= \frac{A}{1 \text{ Zak}}$
Semen 1 kg	$= \frac{63.070}{40}$ $= \text{Rp}1.576,75$
Plastik 1 kg	$= \text{Rp}4.000,00$
Abu batu 1 karung	$= 25 \text{ kg}$
Abu batu 1 kg	$= \frac{D}{\text{Abu batu 1 karung}}$ $= \frac{10.000}{25}$ $= \text{Rp}400$
Harga paving utuh	$= (\text{Berat pasir} \times \text{Harga pasir 1 kg}) + (\text{Berat semen} \times \text{Harga semen 1 kg})$ $= (2,409 \times 213,33) + (0,402 \times 1.576,75)$ $= \text{Rp}1.147,03$
Harga paving plastik 93,5%	$= (\text{Berat pasir} \times \text{Harga pasir 1 kg}) + (\text{Berat semen} \times \text{Harga semen 1 kg}) + (\text{Berat plastik} \times \text{Harga plastik 1 kg}) + (\text{Berat abu batu} \times \text{Harga abu batu 1 kg})$ $= (0,355 \times 213,33) + (2,128 \times 1.576,75) + (0,1613 \times 4.000,00) + (0,0112 \times 400,00)$ $= \text{Rp}1.662,85$
Harga paving plastik 87%	$= (\text{Berat pasir} \times \text{Harga pasir 1 kg}) + (\text{Berat semen} \times \text{Harga semen 1 kg}) + (\text{Berat plastik} \times \text{Harga plastik 1 kg}) + (\text{Berat abu batu} \times \text{Harga abu batu 1 kg})$ $= (0,355 \times 213,33) + (2,128 \times 1.576,75) + (0,1501 \times 4.000,00) + (0,0224 \times 400,00)$ $= \text{Rp}1.622,48$
Harga paving plastik 80,5%	$= (\text{Berat pasir} \times \text{Harga pasir 1 kg}) + (\text{Berat semen} \times \text{Harga semen 1 kg}) + (\text{Berat plastik}$

$$\begin{aligned}
& \times \text{Harga plastik 1 kg} + (\text{Berat abu batu} \times \\
& \text{Harga abu batu 1 kg}) \\
& = (0,355 \times 213,33) + (2,128 \times 1.576,75) + \\
& (0,1389 \times 4.000,00) + (0,0336 \times 400,00) \\
& = \text{Rp}1.582,12
\end{aligned}$$

## 2. Biaya Tenaga Kerja Langsung (BTKL)

Berdasarkan hasil produksi *paving block* yang dikerjakan secara manual serta wawancara yang dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, diperoleh data sebagai berikut.

Waktu kerja paving utuh (U) = 4 menit

Waktu kerja paving plastik (P) = 8 menit

Upah tenaga kerja (Z) = Rp10.000,00/jam

$$\begin{aligned}
\text{BTKL paving utuh} &= \frac{U}{1 \text{ jam}} \times Z \\
&= \frac{4}{60} \times 10.000 \\
&= \text{Rp}666,67
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{BTKL paving plastik} &= \frac{P}{1 \text{ jam}} \times Z \\
&= \frac{8}{60} \times 10.000 \\
&= \text{Rp}1.333,33
\end{aligned}$$

## 3. Biaya Overhead Pabrik Tetap (BOP Tetap)

Berdasarkan wawancara yang dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, diperoleh data sebagai berikut.

Total biaya tetap bulanan (X) = Rp2.000.000,00

Produksi bulanan (Y) = 20000 buah

$$\begin{aligned}
\text{BOP Tetap paving utuh} &= \frac{X}{Y} \\
&= \frac{2.000.000}{20.000}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp}100,00 \\
 \text{BOP Tetap paving plastik} &= \frac{X}{Y} \\
 &= \frac{2.000.000}{20.000} \\
 &= \text{Rp}100,00
 \end{aligned}$$

#### 4. Biaya Overhead Pabrik Variabel

Berdasarkan hasil produksi *paving block* yang dikerjakan secara manual serta wawancara yang dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, diperoleh data sebagai berikut.

$$\text{Listrik (L)} = \text{Rp}80,00$$

$$\text{Gas (G)} = \text{Rp}80,00$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOP Variabel paving utuh} &= L + G \\
 &= 80 + 80 \\
 &= \text{Rp}160,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOP Variabel paving plastik} &= L + G \\
 &= 80 + 80 \\
 &= \text{Rp}160,00
 \end{aligned}$$

#### 5. Total Biaya Per Buah (Full Costing (Bruto) dan Variable Costing)

Biaya Per Buah Full Costing (Bruto)

$$\begin{aligned}
 \text{Paving utuh} &= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Tetap} + \text{BOP Variabel} \\
 &= 1.147,03 + 666,67 + 100 + 80 \\
 &= \text{Rp}1993,70
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Paving plastik 93,5\%} &= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Tetap} + \text{BOP Variabel} \\
 &= 1.662,85 + 1.3333,33 + 100 + 80 \\
 &= \text{Rp}3176,18
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Paving plastik 87\%} &= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Tetap} + \text{BOP Variabel} \\
 &= 1.622,48 + 1.3333,33 + 100 + 80 \\
 &= \text{Rp}3135,81
 \end{aligned}$$

Paving plastik 80,5%	$= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Tetap} + \text{BOP Variabel}$ $= 1.582,17 + 1.3333,33 + 100 + 80$ $= \text{Rp}3095,45$
<b>Biaya Per Buah Variable Costing</b>	
Paving utuh	$= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Variabel}$ $= 1.147,03 + 666,67 + 80$ $= \text{Rp}1803,70$
Paving plastik 93,5%	$= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Variabel}$ $= 1.662,85 + 1.3333,33 + 80$ $= \text{Rp}3076,18$
Paving plastik 87%	$= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Variabel}$ $= 1.622,48 + 1.3333,33 + 80$ $= \text{Rp}3035,81$
Paving plastik 80,5%	$= \text{BBB} + \text{BTKL} + \text{BOP Variabel}$ $= 1.582,17 + 1.3333,33 + 80$ $= \text{Rp}2995,45$

Adanya tambahan limbah plastik menjadikan harga *paving block* naik signifikan, seperti disajikan dalam Tabel 5.23. Kenaikan harga yang signifikan ini tentu saja menjadikan masyarakat menjadi enggan untuk membeli produk berbasis limbah plastik ini. Masyarakat akan tertarik untuk membeli produk baru ini jika harganya kompetitif terhadap harga produk *paving block* konvensional tanpa adanya limbah plastik. Harga *paving block* berlapis plastik ini akan bisa turun apabila pemerintah memberikan subsidi terhadap produk baru ini. Hasil survei tentang besaran subsidi yang disediakan oleh pemerintah disajikan dalam subbab berikutnya.

**Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Biaya Produksi *Paving Block***

<b>Jenis <i>Paving Block</i></b>	<b>Harga per buah</b>	<b>Kenaikan harga karena penggunaan limbah plastik</b>
100% pasir+semen dan 0% plastik+abu batu	Rp 1993,70	0%
88,33% pasir+semen dan 10,91% plastik + 0,76% abu batu	Rp 3176,18	59.31%
88,33% pasir+semen dan 10,15% plastik + 1,52% abu batu	Rp 3035,81	57.29%
88,33% pasir+semen dan 9,39% plastik + 2,28% abu batu	Rp 2995,45	55.26%

### 5.8 Survey Biaya Subsidi Pemerintah

Survey dilakukan melalui wawancara dalam rangka untuk mengetahui nilai besaran subsidi pemerintah dengan adanya aktivitas pengurangan limbah plastik untuk produksi *paving block* ini. Wawancara dilakukan kepada Staf Pengurangan Limbah. Dinas Lingkungan Hidup di Kabupaten Sleman dan Dinas Lingkungan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Subsidi pengurangan limbah oleh Kabupaten Sleman dilakukan dilaksanakan melalui mekanisme pengisian Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Terpadu (SIPST) oleh Kelompok Pengelola Sampah Mandiri (KPSM). Penilaian dilakukan berdasarkan kelengkapan dan kecepatan pengisian, dengan rentang skor 1–50. KPSM yang memperoleh skor 1–30 diberikan insentif berupa rumah pilah sampah, sedangkan yang memperoleh skor 31–50 menerima kotak pilah sampah dan lodong sisa dapur sebagai bentuk penghargaan.

Selain itu, Pemerintah Kabupaten Sleman juga menyelenggarakan penilaian pengelolaan sampah melalui lomba, yang terdiri atas tiga kategori, yaitu bank sampah, sedekah sampah, dan TPS3R. Untuk kategori bank sampah dan sedekah sampah, tahap seleksi administrasi dilakukan melalui SIPST untuk menentukan peringkat 1–5, yang selanjutnya diverifikasi melalui kunjungan lapangan sebelum penetapan juara. Pemenang memperoleh hadiah berupa uang, piala, dan sertifikat.

Sementara itu, untuk kategori TPS3R, seleksi administrasi dilakukan melalui penilaian mandiri menggunakan Google Form, kemudian ditetapkan peringkat 1–5 untuk diverifikasi lebih lanjut di lapangan. Hasil wawancara ini tidak menemukan adanya insentif yang akan diberikan oleh Kabupaten Sleman kepada para pengusaha *paving block* yang menggunakan bahan limbah plastik.

Skema insentif yang diterapkan di wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada umumnya serupa dengan Kabupaten Sleman, yaitu menggunakan pendekatan berbasis perlombaan dalam pemberian penghargaan kepada pengelola sampah. Berdasarkan keseluruhan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat subsidi biaya langsung dalam kegiatan pengelolaan sampah. Insentif yang diberikan bersifat non-finansial atau berupa hadiah lomba, sehingga nilai subsidi biaya (*net cost subsidy*) adalah 0, karena tidak ada mekanisme bantuan yang secara langsung mengurangi beban pengeluaran kelompok atau unit pengelola sampah.

Berdasarkan hasil dari wawancara tersebut di atas, harga *paving block* yang menggunakan limbah plastik adalah seperti hitungan di atas karena pemerintah tidak memiliki skema subsidi untuk produksi *paving block* berlapis plastik ini. Dengan harga yang lebih tinggi secara signifikan, produk *paving block* berlapis limbah plastik menjadi tidak menarik untuk dibeli oleh masyarakat.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan serta analisis yang dilakukan mengenai pemanfaatan limbah plastik sebagai lapisan atas pada *paving block*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan lapisan limbah plastik cenderung menurunkan nilai kuat tekan dibandingkan *paving block* normal. *Paving block* tanpa lapisan plastik (0%) memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 17,713 MPa dan memenuhi mutu C untuk fungsi pejalan kaki. Sementara itu, *paving block* dengan lapisan plastik 93,5%, 87%, dan 80,5% memiliki kuat tekan berturut-turut sebesar 13,532 MPa; 13,265 MPa; dan 11,937 MPa, yang seluruhnya diklasifikasikan dalam mutu D dan direkomendasikan untuk area taman. Penurunan kuat tekan ini dipengaruhi oleh karakteristik plastik yang kurang mampu berikatan secara struktural dengan matriks beton.
2. Penambahan lapisan plastik memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap ketahanan aus *paving block*. *Paving block* normal menunjukkan nilai keausan tertinggi sebesar 5,782 mm/menit, menandakan ketahanan aus yang rendah. Sebaliknya, *paving block* dengan variasi plastik 93,5% menunjukkan ketahanan aus terbaik dengan nilai 0,185 mm/menit dan memenuhi mutu C untuk fungsi pejalan kaki. Pada variasi 87% dan 80,5%, nilai ketahanan aus mengalami penurunan menjadi 0,205 mm/menit dan 0,274 mm/menit, namun masih lebih baik dibandingkan *paving block* tanpa lapisan plastik dan termasuk dalam mutu D untuk area taman.
3. Hasil pengujian daya serap air menunjukkan adanya variasi nilai penyerapan pada *paving block*, meskipun seluruh benda uji yang digunakan memiliki komposisi material yang sama, yaitu campuran pasir dan semen, karena lapisan plastik telah dibuang sebelum pengujian. Variasi nilai daya serap air

tersebut dipengaruhi oleh faktor proses produksi manual, seperti ketidakhomogenan pencampuran, perbedaan tingkat pemadatan, dan ketidakkonsistenan proses pencetakan yang memengaruhi kepadatan serta porositas *paving block*. Berdasarkan hasil pengujian, *paving block* dengan variasi 87% memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 dan diklasifikasikan dalam mutu D, sedangkan variasi lainnya belum memenuhi kriteria mutu yang ditetapkan.

4. Penggunaan limbah plastik pada *paving block* menyebabkan kenaikan biaya produksi yang signifikan, yaitu sebesar 55,26% hingga 59,31% dibandingkan *paving block* konvensional. Berdasarkan hasil wawancara dengan Dinas Lingkungan Hidup di Kabupaten Sleman dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tidak ditemukan adanya skema subsidi biaya langsung bagi produsen *paving block* berbasis limbah plastik. Kondisi ini menyebabkan harga produk menjadi kurang kompetitif di pasar, sehingga berpotensi menurunkan minat masyarakat terhadap pemanfaatan *paving block* berlapis limbah plastik meskipun memiliki keunggulan teknis pada ketahanan aus.

## 6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pengujian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran-saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji metode peningkatan kuat tekan, seperti modifikasi ketebalan lapisan plastik, penggunaan bahan pengikat tambahan, atau penerapan perlakuan permukaan agar ikatan antara lapisan plastik dan beton menjadi lebih baik.
2. Diperlukan kajian lanjutan terhadap variasi persentase plastik dan abu batu yang lebih rinci untuk memperoleh komposisi optimum yang mampu meningkatkan ketahanan aus tanpa menurunkan kuat tekan.
3. Disarankan agar proses produksi *paving block* dilakukan menggunakan alat pemadat mekanis atau semi-mekanis guna meningkatkan homogenitas

material, mengurangi porositas, serta menghasilkan kualitas produk yang lebih konsisten.

4. Pemerintah diharapkan dapat mempertimbangkan pemberian insentif atau subsidi biaya produksi bagi industri *paving block* berbasis limbah plastik sebagai upaya pengurangan limbah plastik dan peningkatan ekonomi sirkular, sehingga produk yang dihasilkan dapat bersaing dengan *paving block* konvensional di pasaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *Bata Beton (Paving Block) (SNI 03-0691-1996)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). *Pengujian Berat Isi Gembur Agregat (SNI 03-4804-1998)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2002)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 03-1970-2008)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Spesifikasi Agregat Beton (SNI 8321-2834-2016)*.
- Cozy. (2019). *Tinjauan Ulang Mengenai Kadar Maksimum Lumpur Pasir dalam Campuran Beton Cara SNI*. ITB.
- Dessy Wulan Sari, F. A. (2005). *Kinerja Beton Beserat Karet Pasca Kebakaran*. Universtias Riau.
- Egyd, A. (2021). *Pengaruh Limbah Kantok Plastik “Kantong Kresek” Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Paving Block*.
- Fauziyyah, N., Irwansyah, R., Ersyafdi, I. R., Manurung, S., Sholihat, W., Corrina, F., Suharmiyati, Nainggolan, C. D., Listya, K., Ahmadi, L. P., Bairizki, A., Hidayadi, T., Prabowo, M. A., Pattiapon, M. L., & Utami, F. (2021). *Akuntansi biaya*. Widina Bhakti Persada Bandung.
- Indonesia, U. I., Romadhoni, M., & Nurjannah, S. (2023). *Pengaruh Limbah Batu Alam Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Pasir Pada Pembuatan Paving Block*.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. (2015). Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science (New York, N.Y.)*, 347, 768–771.

- Kamaliah. (2019). *Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Menjadi Bata Beton*.
- Khaq, N. A., & Damara, B. (2024). Analisa Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Paving Block. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(3), 2548.
- Konstruksi, L. T. (2017). *Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia.
- Kusumaningtyas, E., Savariski, H. A., & Wibawa, S. A. (2025). *Paving Block Tanpa Semen Dengan Menggunakan Limbah Plastik HDPE*. 9(1), 17–29.
- Kusumawardhana, I. (2018). *Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Beton Normal*. Universitas Islam Indonesia.
- Masyuroh, A., & Rahmawati, I. (2021). Pembuatan Recycle Plastik Hdpe Sederhana Menjadi Asbak. *ABDIKARYA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 3(1), 53–63.
- Melati, L. S. A., Saputra, G., Najiyah, F., & Asas, F. (2022). Perhitungan harga pokok produksi berdasarkan metode Full Costing untuk penetapan harga jual produk pada CV. Silvi MN Paradilla Penganan. *Owner*, 6(1), 632–647.
- Mulyadi. (2018). *Akutansi Biaya* (5 ed.). UPP STIM YKPN.
- Mulyadi. (2020). *Akutansi Biaya*. UPP STIM YKPN.
- Mulyono. (2005). *Kamus Kimia*. Bumi Aksara.
- Munthe, R. N. (2023). Penanganan Limbah Sampah Plastik Berbasis Kearifan Lokal di Kelurahan Sirandorong Kabupaten Labuhanbatu. *Inspiratif Pendidikan*, 11(2), 424–436.
- Nofrianto, H., & Hutrio, H. (2023). Analisis Mutu Paving Block Dengan Variasi Agregat Halus. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, 1(1), 54–62.
- Nurul Ihsan, M., Wicaksono, D., & Sehonu, S. (2022). Uji Keausan Kampas Rem Berbahan Limbah Organik Menggunakan Metode Ogoshi. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(1), 92–96.
- Patzelt, D. (2010). *Apa arti simbol-simbol pada kemasan plastik?* Wordpress. <https://eureciclezasta.wordpress.com/2010/05/28/ce-reprezinta-simbolurile-de-pe-ambalajele-de-plastic/>

- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S., & Naebe, M. (2020). Death by waste: Fashion and textile circular economy case. *Science of the Total Environment*, 718(February 2020).
- Syefringga, F. (2020). *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Sebagai Campuran Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Pada Paving Block*. 12–14.
- Thambas, A. H., Riogilang, H., Sumajouw, M. D. J., & Onibala, M. (2024). Pemanfaatan Paving Blok Dari Sampah Plastik. *Tekno*, 22(88), 985–994.
- Tjokrodimujo, K. (1995). *Teknologi Beton*. Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimujo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimujo. (1992). *Teknologi Beton*. Fakultas Teknik UGM.
- Wikipedia Contributors. (2025). *Daur Ulang Plastik*. Wikipedia. [https://id.wikipedia.org/wiki/Daur\\_ulang\\_plastik](https://id.wikipedia.org/wiki/Daur_ulang_plastik)
- Zahra, A., Lestari, A., Mufida, R. F., Dujana, L. M. A., & Suraida, L. (2023). Analisis perilaku masyarakat terhadap pengelolaan sampah plastik impor. *Journal of Character and Environment*, 1(1), 31–46.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Pembuatan Sampel



**Persiapan Bahan Baku**



**Penimbangan Plastik**



**Penimbangan Abu Batu**



**Penimbangan Semen**



**Penimbangan Pasir**



**Pelelehan Plastik**



**Pencetakan Lapisan Atas Paving**



**Persiapan Bekisting**



**Pencampuran Pasir Semen**



**Pencetakan Paving Belapis Plastik**



**Pencetakan Paving Utuh**



**Proses Curing**



**Perendaman Paving**

## Lampiran 2 Pengujian



**Pengujian Kuat Tekan Sampel TC2**



**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel TC2**



**Hasil Seluruh Sampel Uji Kuat Tekan**



**Penimbangan Berat Awal Uji Aus Sampel B2**



**Pengujian Uji Aus Sampel B2**



**Penimbangan Kembali Kehilangan Aus Sampel B2**



**Hasil Seluruh Sampel Uji Aus**



**Perendaman Sampel Untuk Uji Penyerapan Air**



**Sampel Setelah Direndam Selama 24 Jam**



**Penimbangan Penyerapan Air Sampel PD1**



**Proses Pengeringan Sampel Menggunakan Oven**



**Penimbangan Kembali Sampel PD1 Setelah Dikeringkan Menggunakan Oven**



**Hasil Seluruh Sampel Uji Penyerapan Air**