

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK MULTILAYER
SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI AGREGAT
HALUS PADA *PAVING BLOCK* DENGAN METODE
SOLIDIFIKASI

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



Dieska Shafira Cahyadhy
20513159

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK MULTILAYER
SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI AGREGAT
HALUS PADA *PAVING BLOCK* DENGAN METODE
SOLIDIFIKASI

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



Dieska Shafira Cahyadhy
20513159

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

Tanggal: 24/10 '2024

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

Tanggal: 24/10 '2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII
FAKULTAS TEKNIK S I L
DAN PERENCANAAN

Anv. Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D.
Tanggal: 24/10 '2024

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK MULTILAYER SEBAGAI ALTERNATIF PENGANTI AGREGAT HALUS PADA *PAVING BLOCK* DENGAN METODE SOLIDIFIKASI

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal: 24 Oktober 2024

Disusun Oleh :

Dieska Shafira Cahyadhy
20513159

Tim Penguji:

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

Ir. Niesa Hanum Mistoro., S.T., M.T., IPP

()
()
()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*).
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 26 September 2024

Yang membuat pernyataan,



Dieska Shafira Cahyadhy
NIM: 20513159

PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini menjadi salah satu syarat untuk mendapatkan gelas Sarjana di Program Studi S-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini penulis mengalami berbagai macam cobaan, namun di saat yang bersamaan penulis berada di lingkungan dengan orang-orang yang sangat baik. Dengan segala hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng., selaku pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berharga dalam penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng., selaku pembimbing 2 yang telah memberikan saran dan kritik konstruktif yang membantu dalam perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini.
3. Ibu Ir. Niesa Hanum Mistoro., S.T., M.T., IPP., selaku penguji Tugas Akhir yang telah memberikan masukan serta pertanyaan yang membangun Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
4. Seluruh Dosen, Pengajar, dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis, sehingga penulis dapat berkembang selama menjalani pendidikan di Program Studi S-1 Teknik Lingkungan.
5. Alm. Bunda dan Papah dan Nenek yang selama ini menjadi alasan utama penulis untuk terus maju dan berusaha untuk menyelesaikan studi. Serta Papah Pujo dan Nadya yang senantiasa memberikan doa dan restu dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
6. Seluruh keluarga besar yang selama ini selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis dalam proses studi hingga masa akhir studi.

7. Teman-teman grup *Sleepcall* yang selama ini bersabar mendengarkan curahan hati penulis dan selalu memberikan berbagai afirmasi positif dalam hidup penulis.
8. Teman-teman kuliah yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang selalu meluangkan waktunya dalam memberikan bantuan dalam bentuk diskusi bertukar pikiran serta bantuan tenaga selama masa perkuliahan.
9. *세븐틴*, OOR dan *소녀시대* yang menghasilkan karya yang selalu penulis dengarkan untuk menemani penulis dalam proses perkuliahan dan memberikan rasa semangat serta motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Pihak-pihak lainnya yang telah membantu dalam proses penyusunan hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari Tugas Akhir yang telah disusun ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dan menyempurnakan Tugas Akhir. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang Persampahan.

Yogyakarta, 26 September 2024

Dieska Shafira Cahyadhy
NIM: 20513159

ABSTRACT

The accumulation of plastic waste continues to increase in Indonesia. Multilayer plastics have become one of the dominant types. These plastics are difficult to utilize due to their complex nature resulting from the presence of multiple layers of different types of plastics. Therefore, research is needed to utilize multilayer plastic waste, such as using it as a substitute for fine aggregate in paving blocks. Through this research, the potential strength, utilization contribution, and economic value will be determined. The method used in this research is solidification. The results show that samples with percentages of 0%, 6%, 8%, 10%, and 12% do not meet SNI 03-0691-1996 standards. However, the sample with a 6% percentage has the closest average compressive strength, wear resistance, and water absorption to the standard values, which are 8,62 MPa, 0,457 mm/min, and 7,88%, respectively. The same percentage samples can contribute to utilizing plastic waste by 0,0003% ton/m²/day or approximately 0,0834% ton/m²/year. From this percentage, it can be determined that the usable multilayer plastic waste is approximately 0,0078 ton/m²/day or approximately 21,791 ton/m²/year. Additionally, it has a good economic value when calculated using the TEA method, with an NPV > 0 of IDR 76.282.678 or IDR 161 per paving block. The obtained IRR value is 64% or IDR 24% per paving block. The PB value obtained is 0.63 years or 0.83 years per paving block. The results from these three economic indicators show that the endeavor to produce paving blocks is viable.

Keywords: *paving block, multilayer plastic waste, compressive strength, wear resistance, water absorption, waste utilization, TEA*

ABSTRAK

Timbulan sampah plastik terus bertambah di Indonesia. Plastik multilayer menjadi salah satu jenis yang mendominasi. Plastik ini sulit dimanfaatkan disebabkan oleh sifatnya yang kompleks akibat terdiri dari lapisan-lapisan berbagai jenis plastik. Dengan itu perlu dilakukan penelitian untuk memanfaatkan sampah plastik multilayer, seperti dengan menggunakannya sebagai bahan pengganti agregat halus paving block. Melalui penelitian ini akan diketahui potensi kekuatan, kontribusi pemanfaatan dan nilai ekonominya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah solidifikasi. Hasilnya menunjukkan sampel dengan persentase 0%, 6%, 8%, 10% dan 12% tidak memenuhi SNI 03-0691-1996. Namun, sampel 6% memiliki rata-rata kuat tekan, ketahanan aus dan penyerapan air paling mendekati standar yaitu 8,62 MPa, 0,457 mm/menit dan 7,88%. Sampel dengan persentase yang sama mampu berkontribusi memanfaatkan sampah plastik sebesar 0,0003% ton/m²/hari atau setara dengan 0,0834% ton/m²/tahun. Dari persentase ini dapat diketahui bahwa sampah plastik multilayer yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 0,0078 ton/m²/hari atau sebesar 21,791 ton/m²/tahun. Serta memiliki nilai ekonomi yang baik jika dihitung dengan metode TEA yaitu NPV > 0 yaitu Rp. 76.282.678 atau untuk paving block per buahnya sebesar Rp. 161. Nilai IRR yang didapatkan 64% atau untuk paving block per buahnya sebesar 24%. Nilai PB didapatkan sebesar 0,63 tahun atau untuk paving block per buahnya sebesar 0,83 tahun. Hasil dari ketiga indikator ekonomi ini menampilkan bahwa usaha untuk produksi paving block layak untuk dilakukan.

Kata kunci: *paving block, sampah plastik multilayer, kuat tekan, ketahanan aus, penyerapan air, pemanfaatan sampah, TEA*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sampah Plastik	5
2.2 Jenis Plastik	5
2.2.1 Plastik Multilayer	6
2.3 Metode Pemanfaatan Sampah Plastik	7
2.3.1 Metode Solidifikasi	7
2.4 Paving Block	7
2.4.1 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	9
2.4.2 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	10
2.4.3 Metode Pembuatan <i>Paving Block</i>	13
2.4.4 Uji Kualitas <i>Paving Block</i>	14
2.5 Pengurangan Sampah	15
2.6 Analisis Ekonomi dengan Metode TEA.....	15

2.7	Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2	Waktu dan Lokasi	24
3.3	Alat dan Bahan	25
3.2.1	Alat.....	25
3.2.2	Bahan.....	26
3.3	Prosedur Analisis Data	26
3.3.1	Pembuatan Sampel	26
3.3.2	Pengujian Sifat Fisika <i>Paving Block</i>	29
3.3.3	Perhitungan Kontribusi Pemanfaatan Sampah.....	31
3.3.4	Analisis Nilai Ekonomi dengan Metode TEA	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Potensi Sampah Plastik Multilayer sebagai Pengganti Agregat Halus pada <i>Paving Block</i>	35
4.1.1	Hasil Percobaan Sampel <i>Paving Block</i>	35
4.2	Hasil Pengujian Sampel.....	36
4.2.1	Pengujian Kuat Tekan	36
4.2.2	Pengujian Kuat Aus.....	40
4.2.3	Pengujian Penyerapan Air	43
4.2.4	Pembahasan Mutu <i>Paving Block</i>	46
4.3	Hasil Perhitungan Kontribusi Pemanfaatan Sampah.....	49
4.4	Hasil Analisis Nilai Ekonomi dengan Metode TEA.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan.....	54

5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Unsur dalam Plastik Multilayer berlapis Aluminium Foil...	6
Tabel 2. 2 Sifat-sifat Fisika Paving Block.....	10
Tabel 2. 3 Hasil Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3. 1 Kebutuhan Campuran Bahan Paving Block.....	28
Tabel 3. 2 Nilai NPV dan Penjelasannya	32
Tabel 4. 1 Data Nilai Kuat Tekan Sampel Paving Block	37
Tabel 4. 2 Data Nilai Ketahanan Aus Sampel Paving Block	41
Tabel 4. 3 Data Nilai Penyerapan Air Sampel Paving Block.....	44
Tabel 4. 4 Hasil Uji Sifat Fisika Sampel Paving Block	46
Tabel 4. 5 Timbulan Sampah DIY.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nomor Kode Plastik	6
Gambar 2. 2 Tipe Paving Block Berdasarkan Modelnya	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3. 2 Lokasi Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII	24
Gambar 3. 3 Lokasi Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik	24
Gambar 3. 4 Alat Penelitian	25
Gambar 3. 5 Bahan Penelitian	26
Gambar 4. 1 Percobaan Cetak Sampel Paving Block Variasi 10%	36
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Sampel Paving Block	38
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kuat Tekan Minimal Sampel Paving Block	38
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Ketahanan Aus Rata-Rata Sampel Paving Block	41
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Ketahanan Aus Minimal Sampel Paving Block	42
Gambar 4. 6 Grafik Nilai Penyerapan Air Rata-Rata Sampel Paving Block	45
Gambar 4. 7 Grafik Mutu Sampel Paving Block Berdasarkan Nilai Rata-Rata Kualitas Sifat Fisika	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Pengecekan Ukuran dan Berat Paving Block	61
Lampiran 2 Form Pengujian Kuat Tekan Paving Block	63
Lampiran 3 Form Pengujian Ketahanan Aus Paving Block.....	64
Lampiran 4 Form Pengujian Penyerapan Air Paving Block	65
Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan Penelitian Tugas Akhir.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Timbulan sampah di Indonesia telah menjadi masalah di kota-kota besar di Indonesia, termasuk di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Berdasarkan data timbulan sampah dari SIPSN pada tahun 2023, DIY menghasilkan sampah sebesar 1.506,77 ton/hari dan sebesar 549.972 ton/tahun. Berdasarkan komposisinya, sampah yang dihasilkan di DIY terdiri dari 50,56% sampah sisa makanan dan 27,94% sampah plastik. Berdasarkan data tersebut sampah plastik menjadi jenis sampah yang paling banyak dihasilkan di DIY setelah sisa makanan. Jenis sampah plastik yang dihasilkan oleh masyarakat pun cukup beragam seperti *polyethylene terephthalate* (PETE), *polyethylene* (HDPE/LDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), *polistirena* (PS) dan *other* yang meliputi jenis plastik lainnya yang tidak dapat didaur ulang seperti *nylon*, *styrene acrylonitrile* (SAN) dan *polycarbonate* (PC) (Arwini, 2022).

Jenis plastik seperti PETE, HDPE, PVC, LDPE, PP dan PS sudah banyak didaur ulang melalui proses mekanik atau kimiawi karena jenis-jenis plastik ini memiliki potensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar atau menjadi material mentah pembuatan produk baru. Sedangkan plastik jenis *other* yang salah satu contohnya adalah plastik multilayer masih jarang digunakan sebagai bahan daur ulang (Hahladakis & Iacovidou, 2018). Sampah plastik multilayer sulit diolah dengan cara dipanaskan, hal ini mengakibatkan jenis plastik ini tidak berpotensi untuk didaur ulang menjadi bijih plastik atau bahan bakar. Penyebab sulitnya sampah plastik multilayer diolah dengan cara dipanaskan adalah karena perbedaan jenis plastik pada lapisannya yang memiliki titik leleh yang berbeda, serta terdapat lapisan aluminium foil yang juga memiliki titik leleh berbeda (Kadir, 2012). Sampah plastik multilayer hingga saat ini hanya dapat didaur ulang dengan menjadikannya sebagai bahan untuk kerajinan seperti tas, keranjang atau dompet.

Cara alternatif lain untuk mendaur ulang sampah plastik multilayer yang sedang berkembang saat ini adalah dengan menjadikannya sebagai bahan campuran atau pengganti pada pembuatan bahan konstruksi seperti *paving block*. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* atau bisa disebut juga sebagai bata beton merupakan komposisi dari bahan bangunan yang terbuat dari campuran bahan perekat hidrolis seperti semen *portland* dan sejenisnya, air serta agregat yang ditambah dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mempengaruhi mutu *paving block*. Dalam kehidupan sehari-hari *paving block* biasa digunakan sebagai lapisan untuk menutup dan mengeraskan tanah (Sari & Nusa, 2019). Permintaan kebutuhan *paving block* sebagai bahan konstruksi pun sampai ini terus meningkat seiring dengan banyaknya pembangunan di Indonesia. Namun, di samping besarnya permintaan untuk memenuhi kebutuhan *paving block*, kondisi ini juga semakin meningkatkan ketergantungan penggunaan pasir sebagai agregat halus dalam proses produksinya. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif pengganti dari pasir sebagai agregat halus yang lebih ramah lingkungan (Laila & Risdianto, 2018).

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan di atas terkait dengan tidak termanfaatkannya sampah plastik multilayer yang dihasilkan di Indonesia dan ketergantungan penggunaan pasir pada produksi *paving block* untuk memenuhi kebutuhan pasar, maka direncanakan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Sampah Plastik Multilayer sebagai Alternatif Pengganti Agregat Halus pada *Paving Block* dengan Metode Solidifikasi”. Penelitian ini bertujuan untuk dapat menganalisis potensi sampah plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus pada pembuatan *paving block*. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kontribusi terhadap pemanfaatan sampah plastik multilayer dan menganalisis nilai ekonomi dari produksi *paving block* sampah plastik multilayer dengan metode *Techno-Economic Analysis* (TEA). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran jelas terkait dengan potensi dari sampah plastik multilayer dalam bidang bahan konstruksi dan dapat menjadikannya menjadi alternatif cara daur ulang serta mampu secara ekonomi dapat diterapkan oleh masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana potensi sampah plastik multilayer sebagai bahan pengganti agregat halus pada pembuatan *paving block* serta kekuatannya?
- 2) Bagaimana kontribusi pengurangan sampah plastik multilayer melalui pemanfaatannya sebagai bahan pengganti agregat halus pada pembuatan *paving block*?
- 3) Bagaimana analisis nilai ekonomi dengan metode *Techno-Economic Analysis* (TEA) dalam pembuatan *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi potensi sampah plastik multilayer sebagai bahan pengganti agregat halus pada pembuatan *paving block* serta kekuatannya.
- 2) Menganalisis kontribusi pengurangan sampah plastik multilayer melalui pemanfaatannya sebagai bahan pengganti agregat halus pada pembuatan *paving block*.
- 3) Melakukan analisis nilai ekonomi dengan metode *Techno-Economic Analysis* (TEA) dalam pembuatan *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Dapat menjadi alternatif pemanfaatan sampah plastik multilayer.
- 2) Sebagai upaya pengurangan sampah plastik yang masuk ke laut dan *landfill*.
- 3) Dapat menjadi ide usaha bagi masyarakat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Jenis sampah plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah plastik multilayer foil.
- 2) Plastik dicacah hingga ukuran lolos saringan No.4.
- 3) Cacahan plastik digunakan sebagai pengganti agregat halus pada *paving block*.
- 4) Waktu *curing* sampel *paving block* dilakukan selama 21 hari.
- 5) Sifat fisika yang diuji pada penelitian ini adalah kuat tekan, ketahanan aus dan penyerapan air *paving block*.
- 6) Perhitungan kontribusi sampah untuk produksi *paving block* plastik dilakukan untuk *paving block* dengan persentase campuran plastik tertinggi yang memenuhi atau yang paling mendekati standar.
- 7) Analisis nilai ekonomi dilakukan untuk produksi *paving block* standar dan campuran plastik meliputi perhitungan *CapEx*, *OpEx*, NPV, IRR dan PB.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah Plastik

Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah plastik termasuk dalam jenis sampah anorganik. Hal ini ditinjau dari plastik yang berasal dari bahan olahan sintetis dan tidak bersifat *biodegradable*. Sifat yang dimiliki plastik ini membuatnya sulit untuk terurai secara alami di alam dan mengakibatkannya akan terus berada di lingkungan dalam waktu yang lama. Hal ini dapat menimbulkan banyak permasalahan seperti masalah estetika lingkungan hingga masalah pada kualitas lingkungan.

2.2 Jenis Plastik

Plastik dapat dikategorikan menjadi dua kategori berdasarkan reaksinya terhadap panas, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. Plastik yang masuk dalam kategori *thermoplastic* adalah plastik yang memiliki kemampuan untuk mencair saat dipanaskan pada suhu tertentu dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Plastik pada kategori ini adalah jenis plastik yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan daur ulang untuk dijadikan bijih plastik kembali atau produk baru. Contoh jenis plastik yang masuk *polyethylene* (HDPE/LDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP) dan *polistirena* (PS). Kemudian untuk plastik yang masuk dalam kategori *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibentuk menjadi sebuah produk padat, tidak dapat dicairkan kembali. Contoh plastik yang masuk dalam kategori *thermosetting* adalah *polyethylene terephthalate* (PETE) dan *other* (United Nation Environment Programme, 2009).



Gambar 2. 1 Nomor Kode Plastik

Sumber: UNEP (2009)

2.2.1 Plastik Multilayer

Plastik multilayer merupakan plastik yang terdiri dari beberapa lapisan dengan jenis plastik yang berbeda-beda dan terdapat lapisan aluminium foil. Umumnya plastik jenis multilayer ini sering digunakan sebagai bungkus kemasan produk karena dinilai memiliki daya tahan yang baik, mampu mempertahankan oksigen, rasa, aroma dan tahan sinar matahari (Selpiana & dkk., 2019). Plastik multilayer terdiri dari lapisan plastik yang beragam seperti jenis LDPE, HDPE, PP, p-PVC, nylon dan PET yang kemudian direkatkan dengan lapisan aluminium foil (Yuriandala & dkk., 2016). Jenis plastik multilayer masih jarang diolah karena terdiri dari berbagai macam jenis plastik, sehingga sulit untuk diolah. Selain itu, plastik multilayer juga sulit untuk diolah dengan cara dipanaskan dan menyebabkannya tidak berpotensi untuk didaur ulang menjadi bijih plastik. Penyebab sulitnya plastik multilayer diolah dengan cara dipanaskan adalah karena perbedaan jenis plastik pada lapisannya yang memiliki titik leleh yang berbeda, serta terdapat aluminium foil yang juga memiliki titik leleh yang berbeda (Kadir, 2012). Maka, plastik multilayer biasanya cenderung hanya diolah untuk menjadi bahan produk kerajinan tanpa dipanaskan.

Tabel 2. 1 Komposisi Unsur dalam Plastik Multilayer berlapis Aluminium Foil

No.	Komponen	Kandungan (%)
1	Silikon	0,6
2	Besi	0,7
3	Tembaga	0,05-0,2

No.	Komponen	Kandungan (%)
4	Mangan	1-1,5
5	Magnesium	0,8-1,3
6	Seng	0,1
7	Aluminium	96,7-97,4

Sumber: Yuriandala dkk, 2016

2.3 Metode Pemanfaatan Sampah Plastik

2.3.1 Metode Solidifikasi

Paving block pada penelitian ini dibuat dengan metode solidifikasi dengan memanfaatkan sampah plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus. Metode solidifikasi merupakan metode untuk dapat mengolah sampah dengan tambahan bahan aditif seperti semen untuk dapat mengubah sifat fisik sampah. Penambahan bahan aditif ini juga bertujuan agar sampah yang diolah dapat diukur kekuatan (Purnawa, 2014). Contoh bahan aditif yang biasa digunakan adalah semen *portland* untuk mengikat plastik dalam proses pembuatan *paving block*. Prinsip metode ini adalah untuk memanfaatkan sampah dalam penelitian ini adalah sampah plastik multilayer sebanyak mungkin menjadi produk bahan konstruksi seperti *paving block*. Maka, pemanfaatan sampah dengan metode solidifikasi ini akan menghasilkan *paving block* dengan persentase campuran sampah plastik multilayer yang memenuhi atau mendekati standar SNI 03-0691-1996 untuk direkomendasikan.

2.4 Paving Block

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* atau bisa disebut juga sebagai bata beton merupakan komposisi dari bahan bangunan yang terbuat dari campuran bahan perekat hidrolis seperti semen portland dan sejenisnya, air serta agregat yang

ditambah dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mempengaruhi mutu *paving block*. Dalam kehidupan sehari-hari *paving block* biasa digunakan sebagai lapisan untuk menutup dan mengeraskan tanah (Sari & Nusa, 2019). Pengaplikasian *paving block* dapat disesuaikan baik untuk kebutuhan sederhana seperti untuk kebutuhan estetika di area trotoar, area taman atau area halaman. Selain itu juga dapat diaplikasikan untuk kebutuhan dengan spesifikasi tertentu seperti untuk jalan dengan kendaraan dan area parkir (Sudarno dkk., 2021).

Paving block memiliki jenis dan tipe ukuran yang berbeda-beda berdasarkan modelnya, seperti berikut:

- 1) Tipe bata, tipe ini memiliki ukuran dimensi panjang 21 cm, lebar 10,5 cm dan ketebalan 6 cm, 8 cm atau 10 cm.
- 2) Tipe heksagon, tipe ini memiliki ukuran dimensi setiap rusuk 20 cm dan ketebalan 6 cm, 8 cm atau 10 cm.
- 3) Tipe cacing, tipe ini memiliki ukuran dimensi panjang 22,5 cm, lebar 11,5 dan ketebalan 6 cm, 8 cm atau 10 cm.
- 4) Tipe trihex, tipe ini memiliki ukuran dimensi panjang 19,7 cm, lebar 9,6 cm dan ketebalan 6 cm, 8 cm atau 10 cm.
- 5) Tipe uskup, tipe ini memiliki ukuran dimensi panjang 30 cm, lebar 6 cm dan ketebalan 6 cm, 8 cm atau 10 cm.



Tru Pave





Gambar 2. 2 Tipe *Paving Block* Berdasarkan Modelnya

Sumber: MASTERBLOCK (masterblockindonesia.com)

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* diklasifikasikan dalam empat jenis berdasarkan dengan peruntukannya, sebagai berikut:

- 1) *Paving block* mutu A, biasanya digunakan untuk jalan.
- 2) *Paving block* mutu B, digunakan untuk peralatan parkir.
- 3) *Paving block* mutu C, digunakan untuk pejalan kaki.
- 4) *Paving block* mutu D, digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

2.4.1 Syarat Mutu *Paving Block*

Pada sebuah produk *paving block* terdapat syarat mutu yang harus dipenuhi yang tertera dalam SNI 03-0691-1996, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sifat tampak, *paving block* harus memiliki permukaan yang rata, tidak mengalami keretakan atau kerusakan, bagian ujung dan rusuknya tidak mudah rapuh hanya dengan tekanan dari jari tangan.
2. Ukuran, *paving block* terdiri dari ketebalan minimal 60 mm dengan tingkat toleransinya adalah +8%.
3. Sifat fisika, *paving block* harus memenuhi beberapa sifat fisik melalui hasil pengujian seperti yang tertulis dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Sifat-sifat Fisika *Paving Block*

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

Sumber: SNI 03-0691-1996

4. Ketahanan terhadap natrium sulfat (NaSO_4), *paving block* tidak boleh mengalami perubahan dari segi tampak bentuk dan hanya boleh mengalami pengurangan massa maksimal sebesar 1% dari massa awal.

2.4.2 Bahan Penyusun *Paving Block*

Adapun bahan yang digunakan untuk menjadi campuran dalam pembuatan *paving block* adalah sebagai berikut:

1. Semen *portland* (PC)

Semen merupakan bahan yang bersifat adhesif dan kohesif, dimana sifat ini menyebabkan pecahan-pecahan mineral saling melekat dan membentuk suatu massa padat (Hepiyanto & Arif, 2019). Salah satu jenis semen yang biasa digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah semen *portland* (PC). Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen *portland* (PC) merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dari proses penggilingan dari terak semen *portland* yang mengandung kalsium silikat yang digiling secara bersamaan dengan bahan aditif seperti satu atau lebih senyawa kalsium sulfat dan aditif lainnya. Berdasarkan tujuan penggunaannya PC dikelompokkan menjadi 5 tipe dalam SII. 0013-81, yaitu:

- a. Tipe I, biasanya digunakan untuk konstruksi umum dan tidak terdapat persyaratan khusus dalam penggunaannya.
- b. Tipe II, biasanya digunakan untuk bahan konstruksi umum yang

memerlukan ketahanan terdapat sulfat dan panas hidrasi sedang.

- c. Tipe III, biasanya digunakan untuk bahan konstruksi yang mengharuskan persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- d. Tipe IV, biasanya digunakan untuk bahan konstruksi yang mengharuskan persyaratan panas hidrasi rendah.
- e. Tipe V, biasanya digunakan untuk bahan konstruksi yang mengharuskan persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2. Agregat halus

Dalam pembuatan *paving block* salah satu bahan yang dibutuhkan adalah agregat halus. Agregat halus atau pasir berdasarkan SNI 03-2834-2000 adalah pasir alam yang dihasilkan dari disintegrasi alami dari batu atau pasir yang dihasilkan dari proses pemecahan batu dari industri dan memiliki ukuran 0,075-5 mm. Agregat halus biasanya digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran *paving block* dengan tujuan untuk menambah kekuatan serta mengurangi terjadinya penyusutan dan mengurangi konsumsi bahan pengikat seperti semen. Kualitas agregat halus yang digunakan dalam campuran *paving block* akan mempengaruhi kualitas *paving block* yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Semakin halus ukuran agregat halus yang digunakan pada campuran *paving block*, maka akan semakin baik kualitas produk yang dihasilkan. Ukuran yang baik untuk digunakan dalam campuran *paving block* adalah kurang dari 0,42 mm (Iftikhar dkk., 2023). Berdasarkan SII 0404/80 persyaratan agregat halus yang digunakan dalam campuran *paving block*, sebagai berikut:

- a. Pasir beton harus bersih. Jika dilakukan pengujian dengan larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang terlihat dibandingkan dengan tinggi semua endapan tidak kurang dari 70%.
- b. Kadar bagian yang lolos ayakan 0,063 mm tidak lebih dari 5% berat (kadar lumpur).
- c. Angka modulus halus berada pada rentang 2,2-3,2 jika diuji menggunakan rangkaian ayakan fraksi yang lewat ayakan 0,3 mm minimal 15% berat.
- d. Pasir tidak boleh mengandung zat-zat organik yang mampu mengurangi

- kualitas beton. Jika direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dibandingkan warna larutan pembanding.
- e. Ketahanan terhadap larutan Na_2SO_4 fraksi yang hancur tidak boleh lebih dari 12% berat, sedangkan untuk larutan MgSO_4 fraksi yang hancur tidak boleh lebih dari 10% berat.
 - f. Untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.

3. Air

Air adalah salah satu bahan pembuat *paving block* yang perlu untuk diperhatikan. Fungsi air dalam pembuatan *paving block* adalah untuk mengaktifkan reaksi kimia agar dapat terjadi pengikatan dan pengerasan oleh semen. Jumlah air yang digunakan dalam campuran *paving block* akan mempengaruhi kualitas produk. Pada saat campuran diberikan jumlah air yang banyak akan mengurangi kekuatan *paving block*, sehingga jumlah air yang digunakan dalam campuran *paving block* harus dalam jumlah yang optimum yaitu 0,30-0,6 kali dari berat semen. Jumlah air harus cukup untuk dapat terserap ke permukaan partikel dan mengisi ruang antar partikel serta (Sari dkk., 2015). Berdasarkan PUBLI persyaratan air yang digunakan dalam campuran *paving block*, sebagai berikut:

- a. Air harus bersih
- b. Tidak memiliki kandungan lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. Tidak mengandung material tersuspensi lebih dari 2 g/liter.
- d. Tidak mengandung garam yang larut dan mampu merusak beton (asam-asam, zat organik) lebih dari 15 g/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO_3 .
- e. Jika dibandingkan dengan kuat tekan adukan dan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%
- f. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan

dievaluasi mutunya menurut penggunaannya.

- g. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut di atas, air tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 50 ppm.

2.4.3 Metode Pembuatan *Paving Block*

Berikut ini merupakan metode pembuatan *paving block* yang biasa digunakan di lapangan, yaitu:

1. Metode Konvensional

Metode konvensional dilakukan dengan menggunakan cetakan (gablokan) yang kemudian akan dimasukkan campuran *paving block* dan dipadatkan dengan cara dipukul. Campuran *paving block* dimasukkan ke cetakan hingga melebihi tinggi cetakan. Lalu campuran dipadatkan dengan cara dipukul-pukul hingga campuran memiliki tinggi yang sama dengan cetakan dan dalam kondisi yang padat. Metode konvensional sangat bergantung pada kekuatan tenaga dari pekerja untuk mendapatkan *paving block* yang benar-benar padat (Suwato, dkk.,2020). Metode ini biasa digunakan pada produksi skala rumahan karena metode yang sederhana dan mudah untuk dilakukan.

2. Metode Mekanis

Metode mekanis dilakukan dengan menggunakan mesin cetak *paving block* yang memiliki kapasitas kemampuan cetak beragam yang kemudian akan dimasukkan campuran *paving block* sesuai kebutuhan dan dipadatkan dengan menggunakan bantuan mesin tekan serta penggetar. Campuran *paving block* dimasukkan pada cetakan hingga setinggi cetakan yang telah dipasangkan pada mesin. Kemudian campuran pada cetakan dipadatkan dengan menekan dan menggetarkan campuran pada cetakan dengan menggunakan mesin. Metode ini sangat cenderung memiliki bentuk dan kekuatan yang seragam karena dalam sekali cetak dapat langsung menghasilkan beberapa buah *paving block* (Suwato, dkk.,2020). Namun, metode ini biasanya hanya digunakan pada produksi *paving block* dengan

skala menengah atau skala besar karena memerlukan keahlian khusus dalam operasional mesin dan memerlukan biaya yang lebih besar.

2.4.4 Uji Kualitas *Paving Block*

Pengujian kualitas fisika *paving block* yang dilakukan meliputi kuat tekan, ketahanan aus dan penyerapan air sesuai pada SNI 03-0691-1996.

1. Kuat tekan

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, uji kuat tekan adalah pengujian yang dilakukan pada *paving block* untuk dapat mengukur besar beban per satuan luas yang dapat ditanggung oleh *paving block*. Sampel *paving block* akan hancur jika mendapatkan beban dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

2. Ketahanan aus

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, uji ketahanan aus dilakukan untuk mengukur ketahanan abrasi permukaan beton dengan metode berputar. Kemudian, ketahanan aus dihitung berdasarkan pada berat yang hilang pada sampel tiap menit.

3. Penyerapan air

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, uji penyerapan air dilakukan untuk mengukur kemampuan air diserap oleh *paving block*. Penyerapan air dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

4. Pengurangan berat

Berat *paving block* perlu untuk diukur untuk dapat mengetahui jumlah bahan yang dibutuhkan untuk dalam sebuah *paving block*. Perubahan pada penggunaan agregat halus menjadi menggunakan sampah plastik multilayer akan mempengaruhi berat produk menjadi lebih ringan. Hal ini karena pasir memiliki berat jenis yang lebih besar jika dibandingkan dengan berat jenis plastik (Zainuri, 2021). Maka, semakin banyak sampah multilayer plastik yang digunakan dalam campuran untuk mengganti agregat halus akan membuat produk semakin ringan. Berat *paving block* standar biasanya berada pada kisaran 3 kg (Sandjaya dkk., 2023).

2.5 Pengurangan Sampah

Pengurangan sampah merupakan salah satu aktivitas pengelolaan sampah di dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Penerapan pengurangan sampah khususnya sampah plastik multilayer dalam penelitian ini dapat dilakukan melalui pemanfaatan sampah. Kegiatan pemanfaatan sampah plastik multilayer dapat diupayakan dengan memanfaatkannya sebagai bahan dalam campuran material bangunan seperti *paving block* (Zainuri, 2021). Sampah plastik multilayer dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus (pasir) dalam campuran *paving block*. Hal ini bertujuan untuk memberikan opsi alternatif agregat halus selain pasir. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengurangi kuantitas pasir yang digunakan dalam campuran dan meningkatkan kuantitas plastik yang berhasil dimanfaatkan.

2.6 Analisis Ekonomi dengan Metode TEA

Techno-Economic Analysis (TEA) merupakan metode yang digunakan untuk dapat mengevaluasi kinerja dari sebuah teknologi yang digunakan pada suatu proses produksi terhadap biaya yang dikeluarkan (US DOE, 2022). Melalui metode TEA analisis ekonomi tidak hanya dilakukan dengan model perhitungan akuntansi, tapi juga dilakukan dengan pertimbangan aspek teknis yang berhubungan dengan penggunaan bahan, alat, energi, skenario pembuatan dan teknologi yang digunakan. Untuk dapat menganalisis ekonomi dengan menggunakan metode TEA memerlukan data terkait dengan biaya *Capital Expenses* (CapEx) dan *Operating Expenses* (OpEx) dari kegiatan produksi *paving block* standar dan dari kegiatan produksi *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer. Melalui data CapEx dan OpEx yang terkumpul, metode TEA dapat menganalisis kelayakan ekonomi dari kegiatan produksi *paving block* standar dan produksi *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer dengan indikator berupa *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Payback Period* (PB) (Kanchanapiya dkk., 2018).

2.7 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan membuat sampel *paving block* dengan ukuran 20×10×6 cm, sampel dibuat menggunakan perbandingan campuran semen dan pasir yaitu 1:6 dan persentase cacahan sampah plastik multilayer yang dimasukkan sebesar 0%, 25%, 30%, 35% dan 40% sebagai pengganti pasir. Hal ini sama dengan penelitian sebelumnya, sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Hasil Penelitian Terdahulu

Judul	Peneliti	Hasil
<i>Exploiting Recycled Plastic Waste as an Alternative Binder for Paving Blocks Production</i>	(Agyeman dkk., 2019)	<p>-Hasil uji kuat tekan Mengalami peningkatan kekuatan pada seluruh variasi selama waktu <i>curing</i>. Secara garis besar penggunaan plastik sebagai pengganti semen meningkatkan kekuatan tekan pada <i>paving block</i> karena kemampuan kuat lekat permukaan sampah plastik dan agregat lebih tinggi.</p> <p>-Hasil uji absorpsi air, kepadatan dan porositas <i>Paving block</i> plastik cenderung memiliki sifat <i>hydrophobic</i> yang menyebabkan air teradsorpsi dan memiliki nilai yang lebih kecil. Pada kepadatan <i>paving block</i> campuran plastik mengalami peningkatan. Sedangkan untuk porositas pada <i>paving block</i> dengan campuran plastik mengalami penurunan.</p>

Judul	Peneliti	Hasil
<p><i>An Experimental Study and Sustainability Assessment of Plastic Waste as a Binding Material for Producing Economical Cement-Less Paver Block</i></p>	<p>(Tempa dkk., 2022)</p>	<p>-Hasil uji kuat tekan Pada berbagai variasi tidak memenuhi baku mutu, kecuali varian P60 dan P70 HDPE dengan nilai 32,6 dan 33,24 N/mm². Maka, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh jenis plastik dan banyaknya penggunaan plastik.</p> <p>-Hasil uji absorpsi air Pada berbagai variasi mengalami penurunan tingkat adsorpsi air seiring dengan peningkatan kadar plastik, hal ini karena adanya kecenderungan ikatan antara PW dan agregat yang lebih padat.</p> <p>-Abrasi Pada varian PP dan lainnya mengalami kehilangan massa dan persentase keausan yang cukup tinggi, berbanding terbalik dengan varian HDPE. Hal ini karena dipengaruhi oleh jenis plastik, konsentrasi plastik dan kuat tekan pada jenis sampel.</p> <p>-Bulk density Pada varian dengan kadar PW lebih tinggi nilai <i>bulk density</i> lebih rendah, hingga <50% <i>paving block</i> biasa. Hal ini karena nilai air pada <i>paving block</i> lebih rendah dan akan menguntungkan karena akan lebih ringan untuk dipindahkan.</p> <p>-Settling time dan kekerasan <i>Settling time</i> yang didapatkan adalah 19-25 menit dengan kenaikan kekuatan penuh pada 3</p>

Judul	Peneliti	Hasil
		<p>jam tanpa perlu waktu <i>curing</i>. <i>Setting time</i> akan mempengaruhi kekerasan <i>paving block</i>, dimana <i>paving block</i> dengan kadar PW tinggi akan lebih lunak.</p> <p>-Efek temperatur Hasil dari varian P60 lainnya PW dengan percobaan pada suhu uji -15°C sampai 60°C untuk kuat tekan menghasilkan penurunan kuat tekan sebesar 0,73 dan 6,24 kN. Maka, <i>paving block</i> mengalami pengurangan kekuatan tekan pada suhu ekstrim terkhusus pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan karena rendahnya modulus elastisitas PW.</p>
<p><i>Experimental Study on The Eco-Friendly Plastic-Sand Paver Blocks by Utilizing Plastic Waste and Basalt Fibers</i></p>	<p>(Iftikhar dkk., 2023)</p>	<p>-Partikel pasir <0,42 mm menunjukkan hasil kuat tekan paling tinggi sebesar 16 MPa dan tingkat adsorpsi air lebih rendah sebesar 1,22% untuk rasio sampel 75(P):25(PS).</p> <p>-PS dengan kadar rendah memberikan kuat tekan yang lebih besar dan adsorpsi air yang lebih besar. Sedangkan kadar plastik yang tinggi memberikan kuat tekan yang rendah dan adsorpsi air yang lebih rendah. Nilai tekan maksimum ditampilkan pada rasio 70(P):30(PS) dengan kuat tekan 17 MPa dan adsorpsi air 1,15%.</p> <p>-Penambahan serat <i>basalt</i> memberikan peningkatan kuat tekan dan penurunan adsorpsi air yang signifikan dengan menggunakan serat ukuran 4 mm pada penambahan 0,5% pada sampel. Hasilnya adalah 21,5 MPa dan 0,92%.</p>

Judul	Peneliti	Hasil
		<p>-Hasil uji sampel pada suhu 0°C-60°C menampilkan PSPB tidak mengalami efek apapun hingga temperatur lebih dari 40°C. Penurunan kekuatan sebesar 20% terjadi pada suhu 60°C.</p>
<p><i>Effect of Coconut Fiber on Low-Density Polyethylene Plastic-Sand Paver Blocks</i></p>	<p>(Ahmad dkk., 2023)</p>	<p>Hasil uji menunjukkan sampel dengan rasio LDPE:Pasir yang menampilkan kuat tekan, absorpsi air dan kepadatan paling maksimal adalah 30:70. Kemudian dilakukan penambahan serat kelapa paling optimal adalah sebesar 3%. Lalu ukuran agregat paling optimal yang digunakan adalah d<0,42 mm untuk campuran <i>paving block</i>. Hasil dari campuran <i>paving block</i> tanpa serat kelapa menunjukkan bahwa kuat tekan sampel mencapai 19,62 MPa, absorpsi air 2,16% dan kepadatan 1,45 g/cm³. Sedangkan dengan penambahan serat kelapa sebesar 3% kualitas <i>paving block</i> mengalami kenaikan yaitu kuat tekan sebesar 18,4% menjadi 23,23 MPa, absorpsi air berkurang sebesar 54,1% menjadi 0,99%, dan kepadatan mengalami peningkatan sebesar 6,5% menjadi 1,54 g/cm³.</p> <p>Hal ini disebabkan karena kenaikan konsentrasi LDPE yang digunakan pada campuran akan berakibat pada penurunan kuat tekan, peningkatan kemampuan absorpsi air dan penurunan kepadatan <i>paving block</i>. Hal ini juga berlaku untuk penambahan serat kelapa dan ukuran agregat yang digunakan.</p>

Judul	Peneliti	Hasil
<p><i>Preparation of environmental friendly plastic brick from high-density polyethylene waste</i></p>	<p>(Sarwar dkk., 2023)</p>	<p>-Uji kepadatan Dilakukan setelah produk dikeluarkan dari cetakan dengan cara mengukur massa (g) dan volume (cm³). Hasilnya menunjukkan pengurangan kepadatan produk seiring dengan peningkatan persentase HDPE pada campuran. Hal ini disebabkan karena jenis plastik, jenis agregat yang digunakan, atau karena rendahnya berat satuan HDPE yang lebih rendah dibandingkan semen. Hal ini pun menyebabkan volume produk meningkat dibandingkan massa dan menyebabkan penurunan kekuatan produk.</p> <p>-Uji absorpsi air Hasil penelitian menunjukkan peningkatan persentase HDPE meningkatkan persen adsorpsi. Hal ini disebabkan karena jenis plastik yang digunakan yang memiliki porositas yang tinggi dan perubahan struktur agregat. Absorpsi air dapat dikurangi dengan melakukan kompaksi saat proses produksi.</p> <p>-Uji kuat tekan Produk direndam di air selama 3 hari dan akan dikur kekuatan tekannya pada hari ke 7 dan 28. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan persentase HDPE dapat menurunkan kuat tekan produk. Hal ini disebabkan karena berat unit HDPE yang rendah. Persentase optimal yang memenuhi standar adalah 0%, 25%, 30% dan 35%.</p>

Perbedaan yang terdapat pada penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah jenis plastik yang digunakan. Pada pembuatan sampel, metode yang digunakan adalah metode solidifikasi. Metode ini dilakukan hanya dengan menggunakan semen sebagai bahan pengikat tanpa melelehkan sampah plastik yang akan dimasukkan dalam sampel. Sedangkan jenis sampah plastik yang digunakan adalah jenis sampah plastik multilayer yang merupakan jenis plastik yang terdiri dari beberapa lapisan dan memiliki lapisan aluminium foil. Penggunaan sampah plastik multilayer pada penelitian ini bertujuan untuk mengganti agregat halus (pasir).

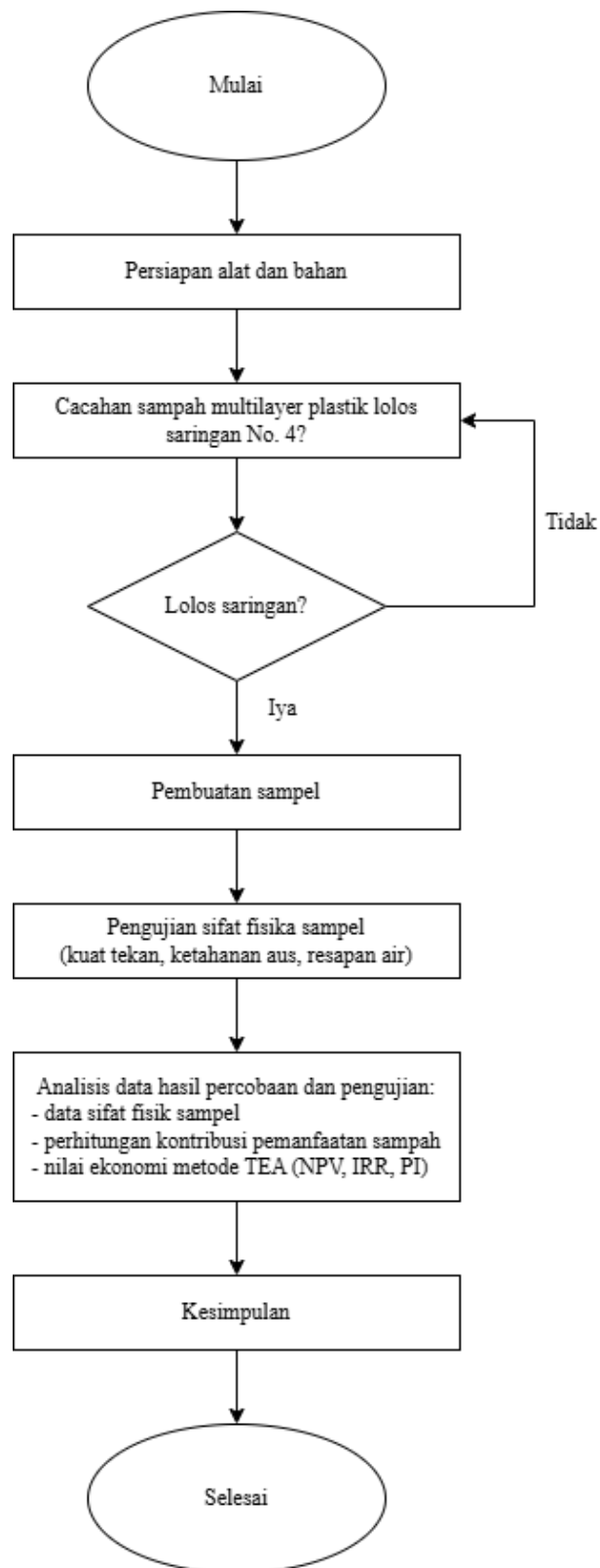
Penelitian ini juga dilengkapi dengan perhitungan kontribusi pemanfaatan sampah dari produksi *paving block* yang dilakukan. Kemudian, dilakukan pula analisis ekonomi dengan menggunakan metode TEA untuk dapat mengevaluasi produksi *paving block* standar dan *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer. Sedangkan pada penelitian terdahulu, pembuatan sampel dilakukan dengan melelehkan plastik sebagai pengganti semen, selain itu juga dilakukan dengan menggiling plastik hingga berbentuk bubuk untuk menjadi campuran semen dan jenis plastik yang digunakan adalah seperti PP, LDPE dan HDPE. Pada penelitian terdahulu tidak dilakukan perhitungan kontribusi pemanfaatan sampah dan analisis ekonominya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

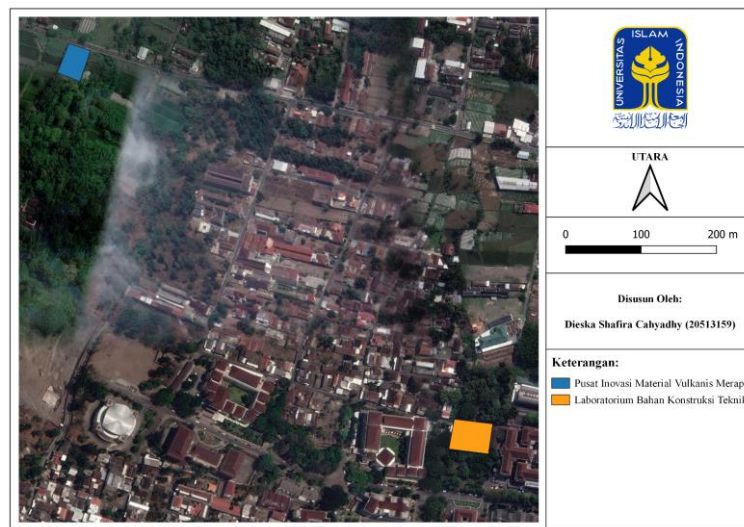
Penelitian dimulai dengan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan pada saat pembuatan sampel. Bahan yang digunakan sebagai pengganti agregat halus pada penelitian ini adalah cacahan sampah plastik multilayer. Pembuatan sampel dilakukan dengan menggunakan mesin *press paving block* dengan cetakan berukuran 20 cm × 10 cm × 6 cm di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII. Sampel kemudian, dikeringkan selama 21 hari. Setelah sampel mencapai usia 21 hari, sampel akan diuji sifat fisiknya di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Pengujian sifat fisik yang dilakukan mencakup kuat tekan, ketahanan aus dan resapan air. Setelah hasil pengujian didapatkan, maka akan dilakukan analisis data berupa olah data sifat fisika sampel, perhitungan kontribusi pemanfaatan sampah dan nilai ekonomi dengan menggunakan metode TEA (NPV, IRR dan PI). Rangkaian terakhir akan dilakukan adalah menarik kesimpulan dari hasil analisis data yang dilakukan pada penelitian, sehingga penelitian dapat dikatakan selesai. Alur metode penelitian ini dapat dilihat lebih jelas pada diagram alir pada Gambar 3. 1, berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi

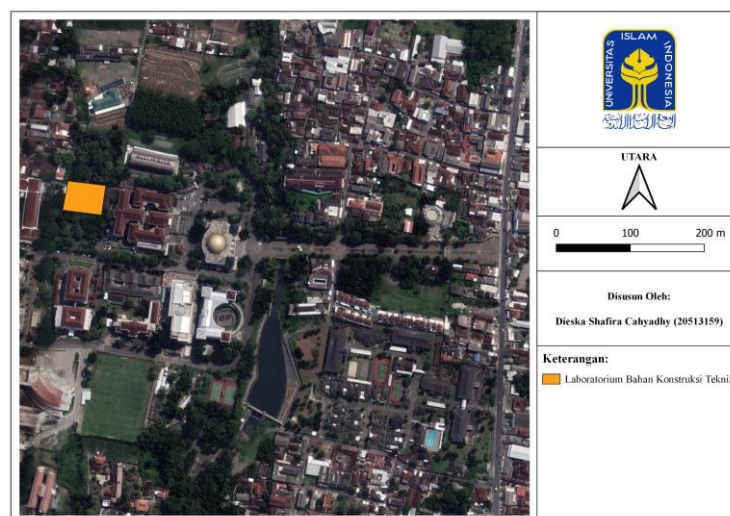
Pelaksanaan kegiatan penelitian untuk Tugas Akhir akan dilakukan selama kurang lebih 4 bulan yang akan dimulai pada Maret 2024. Lokasi pembuatan sampel Tugas Akhir akan dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII.



Gambar 3. 2 Lokasi Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII

Sumber: Google Earth

Kemudian untuk pengujian sampel akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.



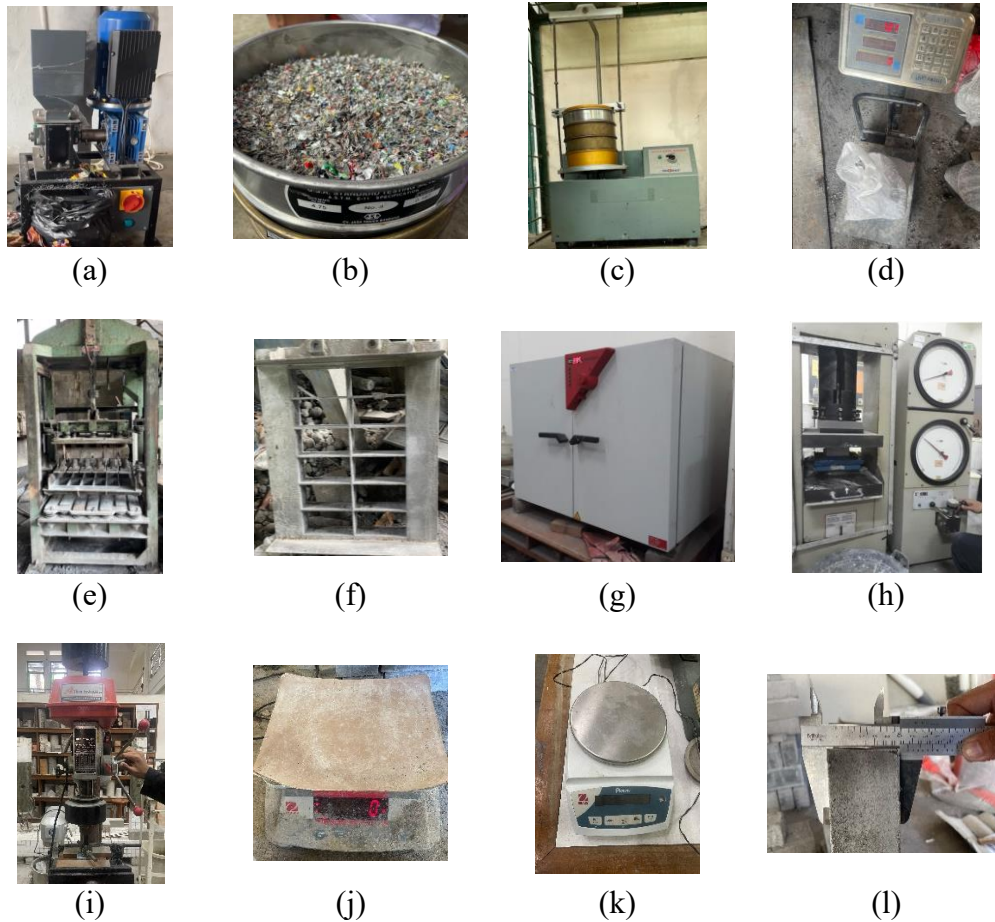
Gambar 3. 3 Lokasi Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik

Sumber: Google Earth

3.3 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut:

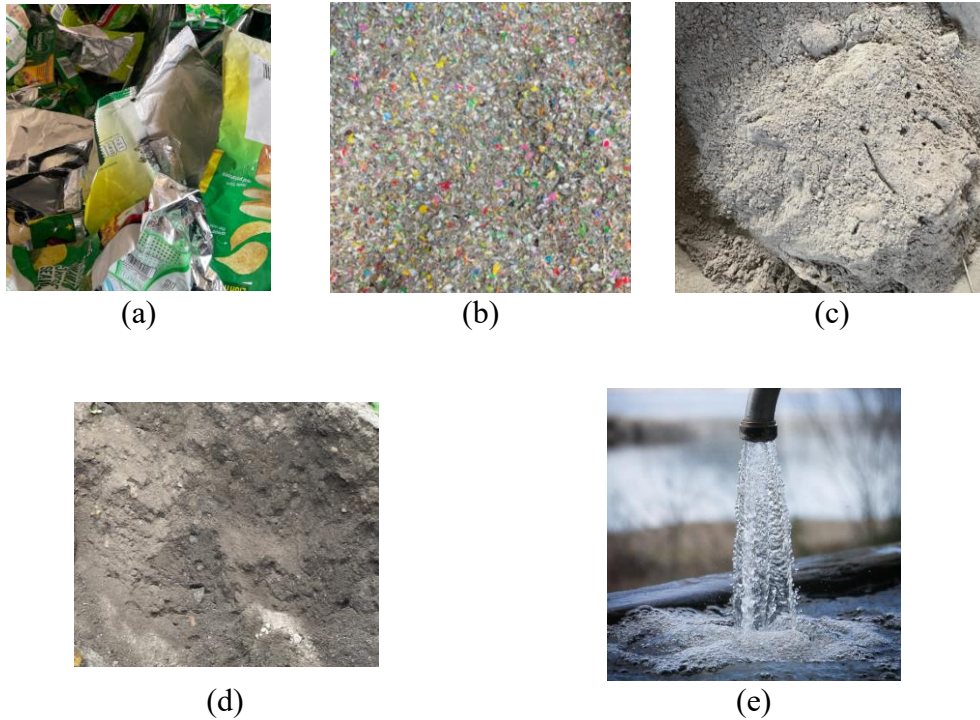


Gambar 3. 4 Alat Penelitian

(a) Mesin pencacah plastik, (b) Saringan No. 4, (c) Mesin ayakan, (d) Timbangan, (e) Mesin *press paving block*, (f) Cetakan ukuran 10 x 20 x 6 cm, (g) Oven, (h) Mesin uji kuat tekan, (i) Mesin uji ketahanan aus, (j) Timbangan OHAUS 20.000 gram, (k) Timbangan analitik, (l) Jangka sorong.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Bahan Penelitian

(a) Sampah plastik multilayer, (b) Cacahan sampah plastik multilayer, (c) Semen *portland* tiga roda, (d) Pasir, (e) Air.

3.3 Prosedur Analisis Data

3.3.1 Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, dengan langkah sebagai berikut:

1. Persiapan sampel sampah plastik multilayer
 - a. Sampah plastik multilayer dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran yang melekat di permukaan sampah.
 - b. Sampah plastik multilayer dikeringkan dengan cara dijemur dengan sinar matahari hingga kering.

- c. Sampah yang sudah kering dicacah dengan menggunakan mesin pencacah sampah hingga berbentuk partikel kecil.
 - d. Cacahan sampah plastik multilayer kemudian disaring dengan menggunakan saringan No. 4 hingga menghasilkan cacahan dengan ukuran $<4,75$ mm yang akan digunakan sebagai pengganti pasir.
2. Persiapan sampel *paving block*
- a. Rasio campuran yang semen dan pasir yang digunakan adalah 1:6.
 - b. Sampel sampah plastik multilayer ditakar untuk variasi 0%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan menggunakan besaran berat pasir yang digunakan.

3. Perhitungan kebutuhan campuran bahan *paving block*

Perhitungan kebutuhan campuran bahan *paving block* dilakukan untuk variasi 0%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan bahan pengganti pasir berupa sampah plastik multilayer. Perbandingan semen dan pasir yang digunakan adalah 1:6, perhitungan kebutuhan bahan ini akan menghasilkan 6 buah *paving block* untuk masing-masing variasi. Berikut adalah perhitungan untuk kebutuhan campuran bahan *paving block*:

$$\text{Volume 1 buah sampel} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tebal}$$

$$\text{Volume 1 buah sampel} = 20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$$

$$\text{Volume 1 buah sampel} = 1200 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat volume pasir } (\gamma_p) = 1,62 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Faktor pemadatan hidrolis } (a) = 1,3$$

$$\text{Jumlah sampel/variasi} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Kebutuhan bahan 1 sampel} = (\gamma_p) \times V_{\text{sampel}} \times a$$

$$\text{Kebutuhan bahan 1 sampel} = 1,62 \text{ gram/cm}^3 \times 1200 \text{ cm}^3 \times 1,3$$

$$\text{Kebutuhan bahan 1 sampel} = 2527 \text{ gram atau } 2,5 \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan bahan 6 sampel} = (\gamma_p) \times V_{\text{sampel}} \times a \times 6$$

$$\text{Kebutuhan bahan 6 sampel} = 1,62 \text{ gram/cm}^3 \times 1200 \text{ cm}^3 \times 1,3 \times 6$$

$$\text{Kebutuhan bahan 6 sampel} = 15.163 \text{ gram atau } 15,2 \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan pasir} = \frac{6}{7} \times \text{Kebutuhan bahan 6 sampel}$$

$$\text{Kebutuhan pasir} = \frac{6}{7} \times 15163 \text{ gram}$$

$$\text{Kebutuhan pasir} = 12.997 \text{ gram atau } 13 \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan Semen} = \frac{1}{7} \times \text{Kebutuhan bahan 6 sampel}$$

$$\text{Kebutuhan Semen} = \frac{1}{7} \times 15163 \text{ gram}$$

$$\text{Kebutuhan Semen} = 2166 \text{ gram atau } 2,2 \text{ kg}$$

Perhitungan kebutuhan plastik terhadap berat pasir, sebagai berikut.

$$0\% \text{ SPM} = \frac{0}{100} \times 12997 \text{ gram} = 0 \text{ gram}$$

$$6\% \text{ SPM} = \frac{6}{100} \times 12997 \text{ gram} = 780 \text{ gram atau } 0,78 \text{ kg}$$

$$8\% \text{ SPM} = \frac{8}{100} \times 12997 \text{ gram} = 1040 \text{ gram atau } 1,04 \text{ kg}$$

$$10\% \text{ SPM} = \frac{10}{100} \times 12997 \text{ gram} = 1300 \text{ gram atau } 1,30 \text{ kg}$$

$$12\% \text{ SPM} = \frac{12}{100} \times 12997 \text{ gram} = 1560 \text{ gram atau } 1,56 \text{ kg}$$

Perhitungan kebutuhan pasir untuk masing-masing variasi sampel, sebagai berikut:

$$100\% \text{ pasir} = 12997 \text{ gram} - 0 \text{ gram} = 12997 \text{ gram atau } 13 \text{ kg}$$

$$94\% \text{ pasir} = 12997 \text{ gram} - 780 \text{ gram} = 12.217 \text{ gram atau } 12,2 \text{ kg}$$

$$92\% \text{ pasir} = 12997 \text{ gram} - 1040 \text{ gram} = 11957 \text{ gram atau } 12 \text{ kg}$$

$$90\% \text{ pasir} = 12997 \text{ gram} - 1300 \text{ gram} = 11697 \text{ gram atau } 11,7 \text{ kg}$$

$$88\% \text{ pasir} = 12997 \text{ gram} - 1560 \text{ gram} = 11437 \text{ gram atau } 11,4 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, berikut merupakan rekapitulasi dari perhitungan kebutuhan bahan untuk pembuatan sampel *paving block*:

Tabel 3. 1 Kebutuhan Campuran Bahan Paving Block

Variasi SPM:S:P	Bahan Penyusun Sampel (kg)			Jumlah Sampel
	SPM	S	P	
0:100:100	0	2.2	13	6
6:100:94	0.78	2.2	12.2	6
8:100:92	1.04	2.2	12.0	6
10:100:90	1.30	2.2	11.7	6
12:100:88	1.56	2.2	11.4	6

4. Pembuatan sampel *paving block*

- a. Setelah seluruh bahan diukur beratnya, bahan kemudian diaduk dalam keadaan kering hingga homogen.
- b. Air dituangkan ke dalam bak aduk dan kemudian pengadukan dilakukan dengan menggunakan cetok selama 10-15 menit hingga campuran homogen.
- c. Mempersiapkan mesin *press paving block* dalam keadaan terbuka dan cetakan telah berada di atas meja mesin.
- d. Campuran dituangkan ke dalam cetakan secara merata.
- e. Mesin dinyalakan dan biarkan bergetar sekitar 10 detik agar campuran mengisi penuh setiap bagian cetakan.
- f. Tekan tuas pada mesin *press* untuk memadatkan dan menyalakan sistem getar untuk menghasilkan *paving block*.

3.3.2 Pengujian Sifat Fisika *Paving Block*

Pengujian sifat fisika *paving block* dilakukan sesuai dengan pedoman dari SNI 03-0691-1996, sebagai berikut:

1. Pengukuran berat dan dimensi sampel

Pengukuran berat sampel dilakukan dengan menggunakan timbangan OHAUS dengan kapasitas 20.000 gram dengan ketelitian 1 gram. Sedangkan untuk pengukuran dimensi sampel dilakukan menggunakan jangka sorong.

2. Pengujian kuat tekan

- a. Sampel diukur dimensinya meliputi panjang, lebar dan tinggi menggunakan jangka sorong.
- b. Sampel *paving block* diambil dan dipotong berbentuk kubus dengan ukuran yang telah ditentukan.
- c. Sampel diletakkan di mesin penguji kuat tekan dan ditekan hingga hancur.
- d. Kecepatan mesin penekan yang diatur selama 1-2 menit.

- e. Kemudian dilakukan pencatatan beban maksimal yang terjadi selama pengujian.
- f. Beban maksimal kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan berikut untuk mendapatkan nilai kuat tekan.
- g. Kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas bidang permukaan (mm^2)

3. Pengujian ketahanan aus

- a. Sampel diukur beratnya dengan timbangan.
- b. Sampel *paving block* kemudian dipotong berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 50 mm × 50 mm × 20 mm, timbang kembali sampel.
- c. Sampel diletakkan di mesin uji ketahanan aus dan proses pengausan dilakukan pada permukaan sampel selama 5 menit.
- d. Timbang sampel yang telah diauskan dan catat beratnya.
- e. Ketahanan aus dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Ketahanan aus} = 1,26\left(\frac{\text{mm}}{\text{gram}}\right) \times G + 0,0246$$

Keterangan:

G = Selisih berat dibagi waktu (gram/menit)

4. Pengujian penyerapan air

- a. Sampel *paving block* direndam dalam air selama 24 jam, kemudian beratnya ditimbang sebagai berat basah.
- b. Sampel lalu dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105° C selama 24 jam hingga berat sampel pada dua kali penimbangan selisihnya tidak lebih dari 0,2% dari berat basah.
- c. Kemudian sampel dalam keadaan kering ditimbang sebagai berat kering.
- d. Penyerapan air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A= berat basah *paving block*

B = berat kering *paving block*

3.3.3 Perhitungan Kontribusi Pemanfaatan Sampah

Perhitungan kontribusi pengurangan sampah plastik multilayer yang dimanfaatkan menjadi *paving block* menggunakan metode solidifikasi, dihitung dengan langkah dan persamaan dari penelitian yang dilakukan oleh Zainuri pada tahun 2021, sebagai berikut:

1. Kebutuhan sampah plastik per hari

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan sampah plastik yang dibutuhkan setiap hari untuk produksi adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan sampah plastik/hari} = \% \text{ variasi} \times \text{Berat PB} \times \text{Kapasitas produksi}$$

Keterangan:

Kebutuhan sampah plastik/hari = Jumlah sampah plastik yang digunakan untuk produksi *paving block* setiap hari (kg/m²)

% variasi = Variasi sampel yang direkomendasikan (%)

Berat PB = Berat *paving block* setiap 1 m² (kg/m²)

Kapasitas produksi = 600 buah/hari

2. Kebutuhan sampah plastik per tahun

$$\text{Kebutuhan sampah plastik/tahun} = 228 \text{ hari/tahun} \times \text{Kebutuhan sampah per hari}$$

Keterangan:

228 hari efektif kerja (asumsi)

Kebutuhan sampah plastik/tahun = Jumlah sampah plastik yang digunakan untuk produksi *paving block* setiap hari (ton/tahun)

3. Persentase pengurangan

$$\text{Persentase pengurangan} = \frac{\left(\frac{\% \text{ variasi} \times \text{Berat PB}}{1000 \text{ kg/ton}} \right)}{\text{Timbulan SPM DIY 2023}} \times 100\%$$

Keterangan:

Persentase pengurangan = Persentase sampah yang berkurang sebagai bahan

produksi ($\%/m^2/hari$)

% variasi = Variasi sampel yang direkomendasikan (%)

Berat PB = Berat *paving block* setiap $1 m^2$ (kg/m^2)

Timbulan sampah plastik = Berat sampah plastik yang terdata selama tahun 2023 ($\%/ton/m^2$)

3.3.4 Analisis Nilai Ekonomi dengan Metode TEA

Analisis nilai ekonomi *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer dilakukan dengan menggunakan metode TEA, sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan data untuk *Capital Expenses* (CapEx) dan *Operating Expenses* (OpEx).
 - a. Mengumpulkan data melalui studi pustaka untuk mencari tentang penelitian terkait dengan analisis nilai ekonomi dengan metode TEA.
 - b. Melakukan wawancara dengan produsen *paving block* terkait dengan harga pokok produksi dan biaya operasional.
2. Melakukan perhitungan estimasi biaya untuk *Capital Expenses* (CapEx) dan *Operating Expenses* (OpEx) berdasarkan data yang telah dikumpulkan.
3. Menghitung analisis kelayakan ekonomi produksi *paving block* standar dan *paving block* campuran sampah plastik multilayer dengan indikator berupa NPV, IRR dan IP.
4. *Net Present Value* (NPV)

NPV merupakan indikator perhitungan yang digunakan untuk menganalisis keuntungan dari sebuah biaya investasi dan biaya itu sendiri (Ross dkk., 2010). Perhitungan NPV dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

Tabel 3. 2 Nilai NPV dan Penjelasannya

Nilai NPV	Keterangan
<0	Tidak direkomendasikan untuk dilakukan
0	Tidak ada perbedaan jika dilakukan dan tidak dilakukan

Nilai NPV	Keterangan
>0	Direkomendasikan untuk dilakukan

$$NPV = -S + \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}$$

Keterangan:

i = *Discount rate = Interest rate + Inflation rate*

n = Masa kerja modul PV (tahun)

t = Tahun yang akan dihitung (tahun)

S = Investasi awal

NCF = Pendapatan bersih hingga tahun ke-n

5. *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR merupakan indikator yang digunakan untuk menghitung tingkat pengembalian investasi dan merangkum manfaat dari suatu proyek (Ross dkk., 2010). Nilai IRR dari sebuah proyek dapat dikatakan baik saat nilai tersebut melebihi nilai *cost of capital* proyek. Jika nilai IRR lebih tinggi dari nilai *cost of capital* proyek, maka suatu proyek layak untuk dilaksanakan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih rendah dari nilai *cost of capital* proyek, maka suatu proyek tidak layak untuk dilaksanakan. jika Perhitungan IRR dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1)$$

atau

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

Keterangan:

NPV1 = NPV ketika i1

NPV2 = NPV ketika i2

i1 = *Discount rate* rendah

i2 = *Discount rate* tinggi

6. *Payback Period* (PB)

PB merupakan indikator yang digunakan untuk menghitung dari investasi yang telah dikeluarkan bisa kembali ke investor (Ross dkk., 2010). PB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$PB = \frac{S}{Inflow}$$

Keterangan:

S = Investasi awal

$Inflow$ = Pemasukan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi Sampah Plastik Multilayer sebagai Pengganti Agregat Halus pada *Paving Block*

4.1.1 Hasil Percobaan Sampel *Paving Block*

Variasi sampel *paving block* pada penelitian ini dipilih mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Tempa dkk. pada tahun 2022. Persentase plastik yang digunakan pada penelitian tersebut adalah 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat pasir yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil dengan kuat tekan tertinggi didapatkan pada variasi 60% dan 70% plastik. Hasil ini disebabkan karena plastik yang digunakan pada campuran *paving block* berupa lelehan. Bentuk plastik berupa lelehan ini dapat berfungsi untuk merekatkan agregat halus meskipun tanpa adanya penggunaan semen. Sedangkan, pada penelitian ini, plastik yang digunakan dalam campuran *paving block* tidak berupa lelehan, melainkan berupa cacahan yang kemungkinan akan menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dan masih memerlukan semen sebagai perekat. Maka, berdasarkan referensi tersebut digunakanlah variasi dengan persentase terkecilnya yaitu 40% plastik. Kemudian, pada penelitian ini persentase tersebut digunakan sebagai persentase terbesar dan diturunkan setiap 5% menjadi 25%, 30%, 35% dan 40%. Variasi sampel dengan persentase 0% digunakan sebagai acuan standar atau kontrol dari *paving block*.

Sampel dengan variasi persentase yang diajukan yaitu 25%, 30%, 35% dan 40% tidak dapat mempertahankan bentuknya saat dicetak, yang mengakibatkan dilakukan perubahan pada persentase variasi sampel. Percobaan dengan persentase plastik sebesar 10% dilakukan dan hasilnya, sampel dapat mempertahankan bentuknya. Maka, variasi sampel diajukan dengan persentase sebesar 0%, 6%, 8%, 10% dan 12%. Pemilihan persentase

ini juga dilakukan dengan mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sandjaya dkk. pada tahun 2023 yang menunjukkan hasil penggunaan plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus dalam persentase 5%-15% menunjukkan hasil penurunan kuat tekan paling rendah yaitu 10%.



Gambar 4. 1 Percobaan Cetak Sampel *Paving Block* Variasi 10%

4.2 Hasil Pengujian Sampel

4.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Sampel *paving block* diuji setelah berusia 21 hari dengan metode yang mengacu kepada SNI 03-0691-1996. Sampel *paving block* dipotong berbentuk kubus, kemudian ditekan dengan beban pada *Universal Testing Machine* hingga sampel retak dan beban maksimal dicatat. Berikut adalah contoh perhitungan hasil dari pengujian kuat tekan untuk sampel *paving block* 0% I:

$$\text{Panjang sampel (p)} = 6,08 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar sampel (l)} = 6,06 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal sampel (t)} = 5,6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan (A)} &= p \times l \\ &= 6,08 \text{ cm} \times 6,06 \text{ cm} \\ &= 36,845 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban maksimum (P)} = 4490 \text{ kgf}$$

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{9,81}{100} \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan (f'c)} = \frac{P}{A}$$

$$\text{Kuat tekan (f'c)} = \frac{4490 \text{ kgf}}{36,845 \text{ cm}^2} \times \frac{9,81}{100}$$

$$\text{Kuat tekan (f'c)} = 11,95 \text{ MPa}$$

Berdasarkan perhitungan kuat tekan di atas dengan sampel dengan variasi 0% I, didapatkan bahwa sampel memiliki kuat tekan sebesar 11,95 MPa. Perhitungan yang sama kemudian dilakukan untuk seluruh variasi sampel agar dapat mengetahui nilai kuat tekan setiap sampel. Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung rata-rata kuat tekan yang dimiliki masing-masing variasi sampel. Berikut merupakan contoh perhitungan rata-rata nilai kuat tekan sampel dengan variasi 0%:

$$\text{Rata - rata kuat tekan } (f'c_r) = \frac{\sum f'c}{\text{Jumlah sampel tiap variasi}}$$

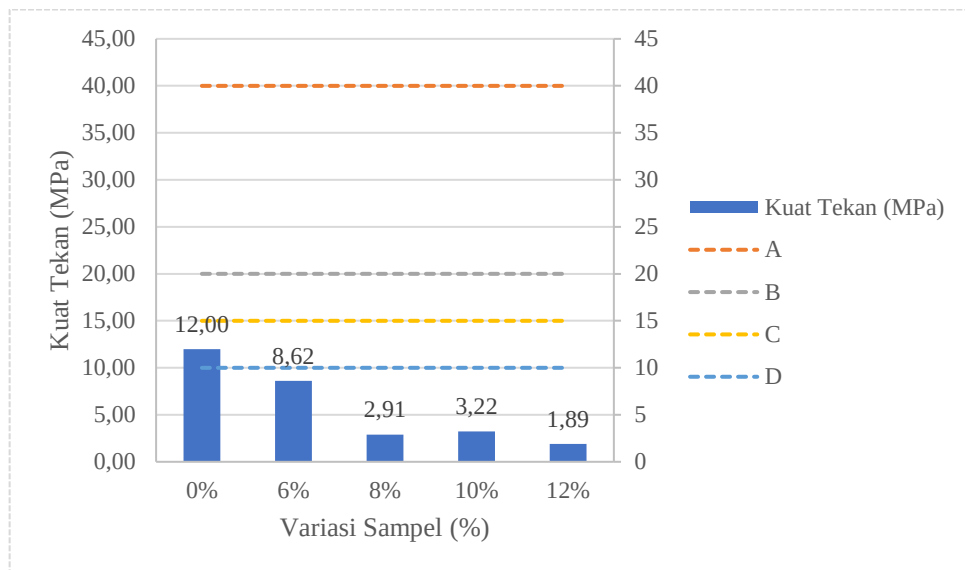
$$\text{Rata - rata kuat tekan } (f'c_r) = \frac{(11,95+12,04)\text{MPa}}{2}$$

$$\text{Rata - rata kuat tekan } (f'c_r) = 12 \text{ MPa}$$

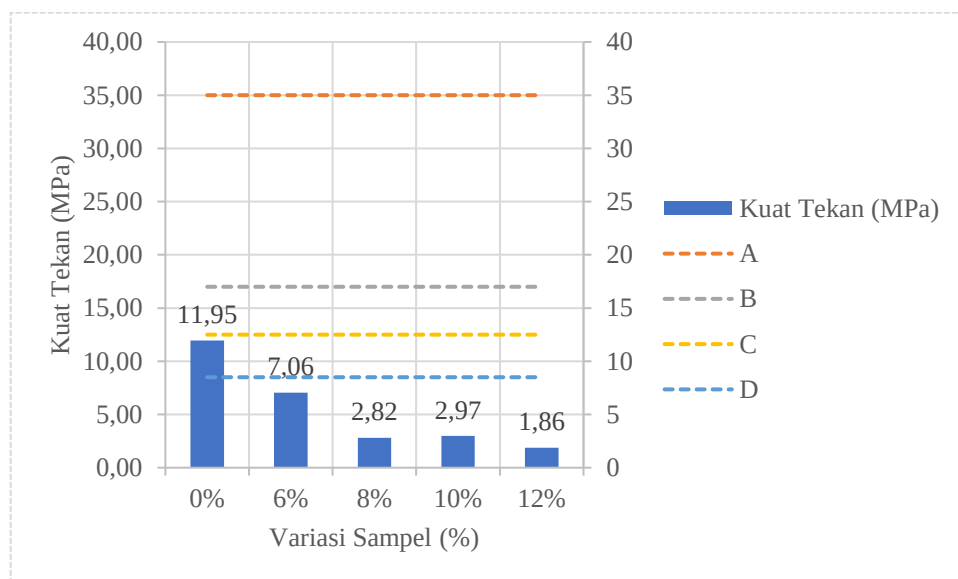
Dapat diketahui bahwa nilai rata-rata kuat tekan sampel dengan variasi 0% adalah sebesar 12 MPa, seperti perhitungan yang telah dilakukan di atas. Berdasarkan pengujian dan perhitungan kuat tekan yang telah dilakukan pada sampel *paving block*, rekapitulasi hasil dalam bentuk data kuat tekan dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini:

Tabel 4. 1 Data Nilai Kuat Tekan Sampel *Paving Block*

No.	Kode Sampel	Beban Maksimal (kgf)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
1	KT 0% I	4490	11.95	12.00
2	KT 0% II	4470	12.04	
3	KT 6% I	2590	7.06	8.62
4	KT 6% II	3640	10.18	
5	KT 8% I	1060	2.82	2.91
6	KT 8% II	1130	2.99	
7	KT 10% I	1300	3.47	3.22
8	KT 10% II	1090	2.97	
9	KT 12% I	690	1.86	1.89
10	KT 12% II	720	1.92	



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Sampel *Paving Block*



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kuat Tekan Minimal Sampel *Paving Block*

Dari data nilai kuat tekan yang ditampilkan pada grafik dapat diketahui bahwa sampel *paving block* yang memenuhi standar kuat tekan yang telah ditetapkan di SNI 03-0691-1996 adalah variasi sampel 0% tanpa campuran sampah plastik multilayer dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 12 MPa dan nilai minimal 11,95 MPa, dengan nilai ini *paving block* dikategorikan dalam mutu kelas D dengan peruntukan taman dan penggunaan lainnya. Sedangkan untuk variasi sampel dengan campuran sampah plastik

multilayer tidak ada yang memenuhi standar kuat tekan yang telah ditetapkan. Kuat tekan pada variasi sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 6% memiliki nilai rata-rata sebesar 8,62 MPa dan nilai minimal 7,06 MPa. Sampel *paving block* dengan campuran plastik 8% memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 2,91 MPa dan nilai minimal 2,82 MPa. Pada sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 10% memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 3,22 MPa dan nilai minimal 2,97 MPa. Sampel dengan variasi campuran sampah plastik multilayer 12% memiliki nilai kuat tekan sebesar 1,89 MPa dengan nilai minimal 1,86 MPa.

Dari data yang didapatkan ini bisa diketahui bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan pada sampel yang menggunakan bahan campuran sampah plastik multilayer, pada sampel 6% nilai rata-rata kuat tekan menurun sebesar 28%, sampel 8% nilai rata-rata kuat tekan menurun sebesar 76%, sampel 10% nilai rata-rata kuat tekan menurun sebesar 73% dan sampel 12% nilai rata-rata kuat tekan menurun sebesar 84% dari sampel kontrol. Kondisi terjadinya penurunan nilai kuat tekan pada sampel berkaitan dengan bertambahnya persentase jumlah plastik yang digunakan pada campuran (Sarwar dkk., 2023). Hal ini terjadi pada sampel dengan persentase 6%, 8% dan 12% yang secara konstan pada grafik menampilkan penurunan nilai kuat tekan. Sedangkan sampel dengan persentase 10% terjadi kenaikan nilai kuat tekan, di mana pola ini memang kerap terjadi pada hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan persentase tertentu (Islam & Shahjalal, 2021). Kemudian kenaikan nilai kuat tekan ini akan kembali mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya plastik (Mane dkk., 2019). Penurunan kaulitas kuat tekan pada sampel *paving block* dengan campuran sampel plastik multilayer dapat disebabkan karena reaksi pengikatan antara semen dan agregat halus (cacahan sampah plastik multilayer) tidak terjadi secara optimal karena karakteristik permukaan plastik yang cenderung memiliki sifat hidrofobik menyebabkannya impermeabel selama proses pengeringan (Hossain dkk., 2016). Penyebab lainnya adalah besarnya volume plastik dalam sampel yang mengakibatkan berkurangnya kepadatan sampel, sehingga mempengaruhi

kemampuan kuat tekan sampel (Assaad dkk., 2022; Farhana dkk., 2015; Sarwar dkk., 2023).

4.2.2 Pengujian Kuat Aus

Sampel *paving block* diuji setelah berusia 21 hari dengan metode yang mengacu kepada SNI 03-028-1987. Sampel *paving block* dipotong berbentuk kubus, kemudian dicatat berat awal sebelum diauskan. Sampel diauskan dengan menggunakan alat *Concrete Abrasion Resistance* selama 5 menit dan dicatat berat sampel setelah diauskan. Berikut adalah contoh perhitungan hasil dari pengujian ketahanan aus untuk sampel *paving block* 0% I:

Panjang sampel (p) = 5,85 cm

Lebar sampel (l) = 5,02 cm

Tebal sampel (t) = 2,52 cm

Berat awal = 104,43 gram

Berat akhir = 98,49 gram

Lama pengausan = 5 menit

$$\text{Ketahanan aus} = 1,26 \left(\frac{\text{mm}}{\text{gram}} \right) \times G + 0,0246$$

$$\text{Ketahanan aus} = 1,26 \left(\frac{\text{mm}}{\text{gram}} \right) \times \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Lama pengausan}} + 0,0246$$

$$\text{Ketahanan aus} = 1,26 \left(\frac{\text{mm}}{\text{gram}} \right) \times \frac{104,43 \text{ gram} - 98,49 \text{ gram}}{5 \text{ menit}} + 0,0246$$

$$\text{Ketahanan aus} = 1,521 \text{ mm/menit}$$

Berdasarkan perhitungan ketahanan aus di atas untuk sampel dengan variasi 0% I, didapatkan bahwa sampel memiliki nilai ketahanan aus sebesar 1,521 mm/menit. Perhitungan yang sama kemudian dilakukan untuk seluruh sampel agar dapat mengetahui nilai ketahanan aus setiap sampel. Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung rata-rata nilai ketahanan aus yang dimiliki masing-masing variasi sampel. Berikut merupakan contoh perhitungan rata-rata nilai ketahanan aus sampel dengan variasi 0%:

$$\text{Rata - rata ketahanan aus} = \frac{\sum \text{Ketahanan aus}}{\text{Jumlah sampel tiap variasi}}$$

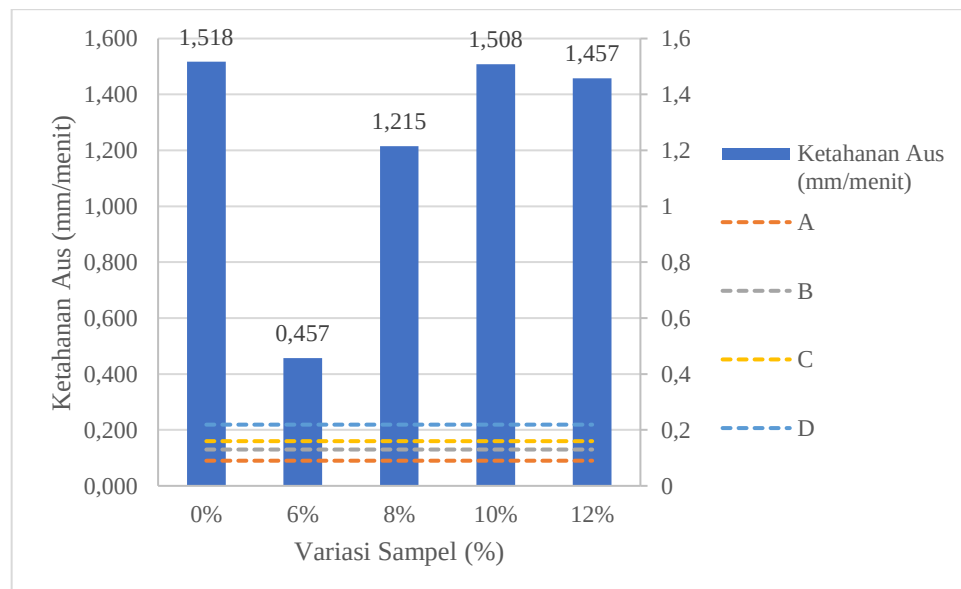
$$\text{Rata - rata ketahanan aus} = \frac{(1,521 + 1,514) \text{ mm/menit}}{2}$$

Rata – rata ketahanan aus = 1,518 mm/menit

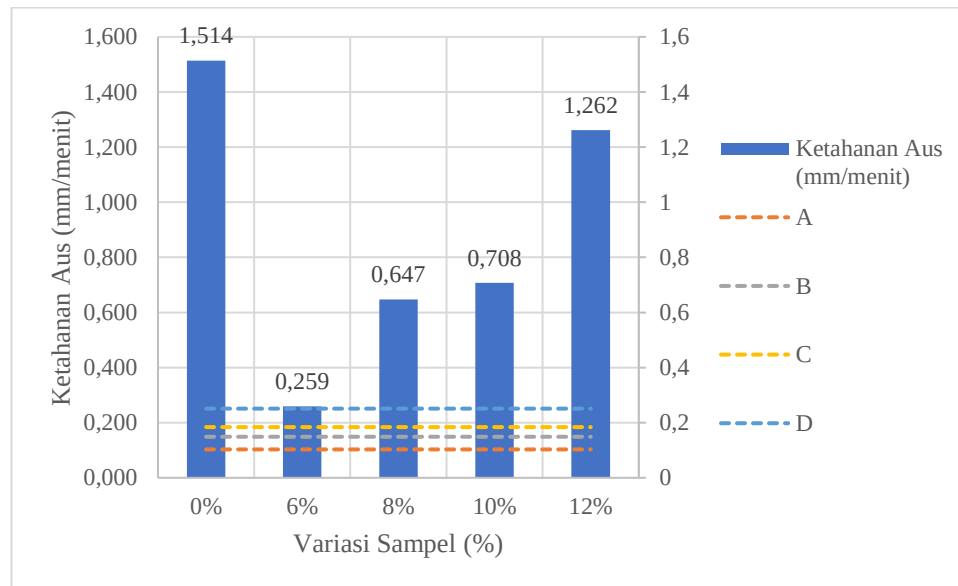
Dapat diketahui bahwa nilai rata-rata ketahanan aus sampel dengan variasi 0% adalah sebesar 1,518 mm/menit, seperti perhitungan yang telah dilakukan di atas. Berdasarkan pengujian dan perhitungan ketahanan aus yang telah dilakukan pada sampel *paving block*, rekapitulasi hasil dalam bentuk data ketahanan aus dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 2 Data Nilai Ketahanan Aus Sampel Paving Block

No.	Kode Sampel	Berat (g)		Berat Hilang (g)	Ketahanan Aus (mm/menit)	Rata-Rata (mm/menit)
		Awal	Akhir			
1	0%	104.43	98.49	1.18	1.521	1.518
2	0%	83.15	77.24	5.91	1.514	
3	6%	92.39	89.89	2.5	0.655	0.457
4	6%	103.72	102.79	0.93	0.259	
5	8%	89.44	86.97	2.47	0.647	1.215
6	8%	76.95	69.97	6.98	1.784	
7	10%	88.61	79.55	9.06	2.308	1.508
8	10%	76.39	73.68	2.71	0.708	
9	12%	59.97	55.06	4.91	1.262	1.457
10	12%	78.43	71.97	6.46	1.653	



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Ketahanan Aus Rata-Rata Sampel *Paving Block*



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Ketahanan Aus Minimal Sampel *Paving Block*

Dari data nilai ketahanan aus yang ditampilkan pada grafik dapat diketahui bahwa sampel *paving block* tidak ada yang memenuhi standar ketahanan aus yang telah ditetapkan di SNI 03-0691-1996. Adapun nilai ketahanan aus yang dimiliki oleh sampel dengan variasi 0% tanpa campuran sampah plastik multilayer sebesar 1,518 mm/menit untuk nilai rata-rata dan 1,514 mm/menit untuk nilai minimalnya. Sedangkan untuk variasi sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 6% memiliki nilai ketahanan aus rata-rata sebesar 0,457 mm/menit dan nilai minimal 0,259 mm/menit. Sampel *paving block* dengan campuran plastik 8% memiliki nilai ketahanan asu rata-rata sebesar 1,215 mm/menit dan nilai minimal 0,647 mm/menit. Pada sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 10% memiliki nilai ketahanan aus rata-rata sebesar 1,508 mm/menit dan nilai minimal 0,708 mm/menit. Sampel dengan variasi campuran sampah plastik multilayer 12% memiliki nilai ketahanan aus sebesar 1,457 mm/menit dengan nilai minimal 1,262 mm/menit.

Dari data yang didapatkan ini bisa diketahui bahwa terjadi penurunan nilai ketahanan aus pada sampel yang menggunakan bahan campuran sampah plastik multilayer, pada sampel 6% nilai rata-rata ketahanan aus menurun sebesar 70%, sampel 8% nilai rata-rata ketahanan aus menurun sebesar 20%,

sampel 10% nilai rata-rata ketahanan aus menurun sebesar 1% dan sampel 12% nilai rata-rata ketahanan aus menurun sebesar 4% dari sampel kontrol. Terjadinya penurunan nilai ketahanan aus yang sangat signifikan terjadi pada sampel dengan variasi 6%, sedangkan untuk variasi sampel lain seperti 8%, 10% dan 12% tetap mengalami penurunan jika dibandingkan dengan sampel 0%. Penurunan nilai ketahanan aus yang sangat signifikan pada sampel 6% dapat terjadi karena adanya penggunaan plastik pada persentase tertentu di dalam campuran yang mengakibatkan terjadinya peningkatan ketahanan *paving block* terhadap abrasi. Hal ini bisa disebabkan karena adanya penggabungan plastik dalam campuran *paving block* yang mana plastik memiliki ketahanan yang baik untuk menahan abrasi (Hopewell dkk., 2009; Saikia & De Brito, 2014).

4.2.3 Pengujian Penyerapan Air

Sampel *paving block* diuji setelah berusia 21 hari dengan metode yang mengacu kepada SNI 03-0691-1996. Sampel *paving block* direndam selama 24 jam di dalam bak berisi air, kemudian ditiriskan dan ditimbang beratnya sebagai berat basah. Kemudian sampel dikeringkan dengan menggunakan oven selama 24 jam dan dicatat berat sampel setelah dikeringkan sebagai berat kering. Berikut adalah contoh perhitungan hasil dari pengujian penyerapan air untuk sampel *paving block* 0% I:

Berat basah (A) = 2,318 kg

Berat kering (B) = 2,065 kg

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(2,318-2,065)\text{kg}}{2,065 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\text{Penyerapan air} = 12,91\%$$

Berdasarkan perhitungan penyerapan air di atas untuk sampel dengan variasi 0% I, didapatkan bahwa sampel memiliki nilai penyerapan air sebesar 12,91%. Perhitungan yang sama kemudian dilakukan untuk seluruh sampel agar dapat mengetahui nilai penyerapan air setiap sampel. Perhitungan

dilanjutkan dengan menghitung rata-rata nilai penyerapan air yang dimiliki masing-masing variasi sampel. Berikut merupakan contoh perhitungan rata-rata nilai penyerapan air sampel dengan variasi 0%.

$$\text{Rata – rata penyerapan air} = \frac{\sum \text{Penyerapan air}}{\text{Jumlah sampel tiap variasi}}$$

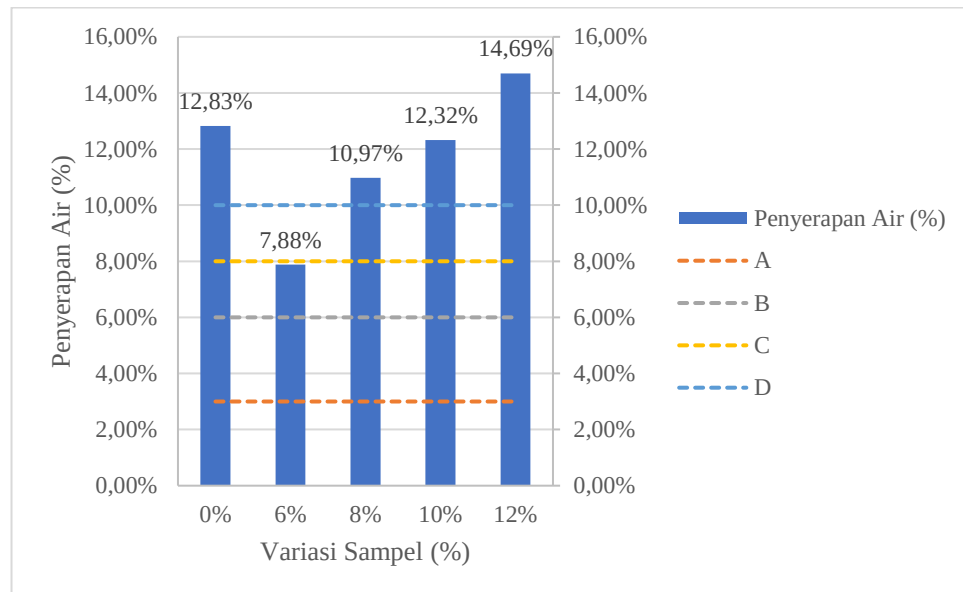
$$\text{Rata – rata penyerapan air} = \frac{(12,91+12,75)\%}{2}$$

$$\text{Rata – rata penyerapan air} = 12,83\%$$

Dapat diketahui bahwa nilai rata-rata penyerapan air dari sampel dengan variasi 0% adalah sebesar 12,83%, seperti perhitungan yang telah dilakukan di atas. Berdasarkan pengujian dan perhitungan penyerapan air yang telah dilakukan pada sampel *paving block*, rekapitulasi hasil dalam bentuk data penyerapan air dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 3 Data Nilai Penyerapan Air Sampel *Paving Block*

No.	Kode Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Berat Selisih (kg)	Penyerapan Air (%)	Rata-Rata (%)
1	0%	2.318	2.053	0.265	12.91%	12.83%
2	0%	2.211	1.961	0.25	12.75%	
3	6%	2.205	2.043	0.162	7.93%	7.88%
4	6%	2.274	2.109	0.165	7.82%	
5	8%	1.94	1.732	0.208	12.01%	10.97%
6	8%	2.103	1.913	0.19	9.93%	
7	10%	1.909	1.723	0.186	10.80%	12.32%
8	10%	1.957	1.719	0.238	13.85%	
9	12%	2.014	1.775	0.239	13.46%	14.69%
10	12%	1.871	1.614	0.257	15.92%	



Gambar 4. 6 Grafik Nilai Penyerapan Air Rata-Rata Sampel *Paving Block*

Dari data nilai penyerapan air yang ditampilkan pada grafik dapat diketahui bahwa sampel *paving block* dengan variasi sampel 0% tanpa campuran sampah plastik multilayer memiliki nilai penyerapan air rata-rata sebesar 12,91%, dengan nilai ini *paving block* tidak memenuhi standar SNI. Sedangkan untuk penyerapan air pada sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 6% memiliki nilai rata-rata sebesar 7,88%, yang mana nilai ini memenuhi standar penyerapan air untuk kelas dengan mutu C dengan peruntukan untuk pejalan kaki. Sampel *paving block* dengan campuran plastik 8% memiliki nilai penyerapan air rata-rata sebesar 10,97%. Pada sampel dengan campuran sampah plastik multilayer 10% memiliki penyerapan air tekan rata-rata sebesar 12,32%. Sampel dengan variasi campuran sampah plastik multilayer 12% memiliki nilai penyerapan air sebesar 14,69%. Variasi sampel dengan campuran sampah plastik multilayer sebesar 8%, 10% dan 12% tidak memiliki nilai penyerapan air yang memenuhi standar.

Dari data yang didapatkan ini bisa diketahui bahwa terjadi peningkatan nilai penyerapan air pada sampel *paving block* yang menggunakan bahan campuran sampah plastik multilayer dengan persentase tertentu. Pada sampel 6% nilai rata-rata penyerapan air menurun sebesar 39%, sampel 8% nilai rata-

rata penyerapan air menurun sebesar 14%, sampel 10% nilai rata-rata penyerapan air menurun sebesar 4%. Sedangkan pada sampel 12% nilai rata-rata penyerapan air meningkat sebesar 15% dari sampel kontrol. Hasil pengujian penyerapan air akan menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan persentase plastik pada campuran (Sarwar dkk., 2023). Pengujian penyerapan air yang dilakukan biasanya dapat menampilkan kondisi porositas yang dimiliki oleh *paving block*, sehingga semakin tinggi penyerapan air yang terjadi akan menghasilkan kinerja struktur yang buruk karena adanya air atau kelembaban yang terperangkap dalam pori-pori *paving block* menyebabkan penurunan kekuatan ikatan (Farhana dkk., 2015; Tempa dkk., 2022). Maka dari itu pada persentase 6% sampel mengalami penurunan penyerapan air yang signifikan dikarenakan sampel kemungkinan memiliki kepadatan yang cukup untuk mempertahankan ikatan antara agregat halus, sehingga tidak banyak rongga pori yang tercipta untuk menyerap air. Sedangkan sampel dengan variasi 8%, 10% dan 12% mengalami kenaikan karena diduga *paving block* memiliki kepadatan yang lebih rendah yang mengakibatkan tidak dapat mempertahankan ikatan antara agregat halus/pengganti dengan semen, sehingga banyak rongga pori yang tercipta yang mengakibatkan air terperangkap di dalamnya.

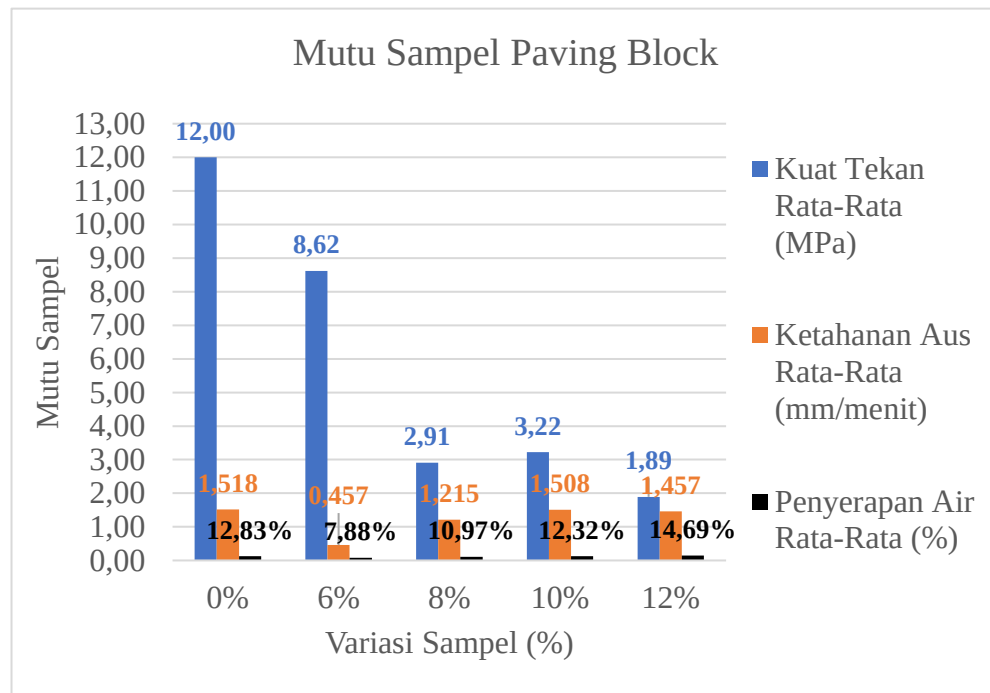
4.2.4 Pembahasan Mutu *Paving Block*

Dari data kualitas fisika *paving block* yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa mutu dari sampel *paving block* tidak ada yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*).

Tabel 4. 4 Hasil Uji Sifat Fisika Sampel *Paving Block*

Variasi Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Ketahanan Aus (mm/menit)	Penyerapan Air (%)	Mutu
0%	12.00	1.518	12.83%	Tidak memenuhi
6%	8.62	0.457	7.88%	Tidak memenuhi
8%	2.91	1.215	10.97%	Tidak memenuhi

Variasi Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Ketahanan Aus (mm/menit)	Penyerapan Air (%)	Mutu
10%	3.22	1.508	12.32%	Tidak memenuhi
12%	1.89	1.457	14.69%	Tidak memenuhi



Gambar 4. 7 Grafik Mutu Sampel *Paving Block* Berdasarkan Nilai Rata-Rata Kualitas Sifat Fisika

Penyebab lain yang berkontribusi mempengaruhi kualitas fisik dari sampel *paving block* terdapat pada ukuran cacahan plastik dan proses pembuatan sampel *paving block*. Penurunan kualitas dari sampel bisa terjadi karena adanya kemungkinan dipengaruhi oleh ukuran cacahan plastik yang digunakan. Plastik yang digunakan sebagai campuran adalah plastik yang lolos saringan No.4 atau memiliki ukuran <4,75 mm. Dengan menggunakan cacahan plastik sebagai pengganti agregat halus natural dengan ukuran yang lebih kecil hingga bentuknya menyerupai serbuk, didapatkan bahwa sampel memiliki kuat tekan mencapai 20 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 0,26% (Sarwar dkk., 2023). Maka dapat dikatakan bahwa ada kemungkinan ukuran plastik yang digunakan dalam penelitian ini masih kurang optimal untuk melekat dengan semen.

Berdasarkan data yang didapatkan kualitas fisika yang tidak konsisten juga dapat dipengaruhi dari proses saat melakukan perencanaan campuran dengan menggunakan metode *trial and error*. Di mana metode ini dilakukan di lapangan dengan menggunakan rasio campuran 1:6 kemudian baru akan disesuaikan untuk mengejar mutu yang diinginkan. Kemudian penambahan air ke dalam campuran dilakukan dengan menggunakan intuisi kurang lebih 3L dan bertambah dengan seiring dengan bertambahnya persentase plastik yang digunakan dalam campuran. Karena dalam pembuatan sampel saat penelitian menggunakan metode ini untuk perencanaan campurannya, maka besar kemungkinan akan terdapat inkonsistensi pada kualitas *paving block*. Meskipun pencetakan dengan variasi yang sama dilakukan secara bersamaan, masih bisa terdapat sampel yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi sebagai akibat dari perencanaan campuran yang tidak presisi ini (Mampearachchi, 2019).

Proses pencetakan dilakukan dengan metode mekanis menggunakan mesin *press* dengan kapasitas 12 *pcs paving block*. *Paving block* yang dihasilkan dengan menggunakan metode cetak mekanis memiliki kualitas kuat tekan yang lebih konsisten dan lebih kuat dibandingkan dengan sampel yang dicetak dengan menggunakan metode konvensional. Akan tetapi, meskipun pencetakan *paving block* dilakukan dengan menggunakan metode mekanis, sampel masih memiliki kemungkinan untuk memiliki tingkat kuat tekan yang tidak konsisten (Suwanto dkk., 2020). Hal ini disebabkan karena kekuatan tekanan mesin yang digunakan tidak diketahui, padahal semakin besar berat tekanan yang digunakan pada saat pencetakan *paving block* maka kuat tekan *paving block* akan meningkat (Nurzal, 2016).

Proses *curing* juga dapat mempengaruhi kualitas *paving block*, pada penelitian ini proses *curing* dilakukan dengan merendam sampel *paving block* bertumpuk di dalam bak berisi air selama 14 hari. Metode yang digunakan ini bisa mempengaruhi kualitas fisika dari *paving block*. Hal ini disebabkan karena metode ini *paving block* yang ditumpuk bagian tengahnya akan mengalami proses *curing* yang tidak berjalan secara optimal. Air dibutuhkan

untuk dapat mengaktifkan reaksi pengikatan oleh semen terhadap agregat halus, sehingga seluruh permukaan sampel seharusnya mendapatkan kontak air secara merata. Kesalahan lainnya yang terjadi adalah adanya kemungkinan paparan mata hari langsung pada saat sampel setelah dicetak yang mengakibatkan sampel mengalami penguapan air yang masih diperlukan untuk proses pengikatan, oleh karena itu sampel yang memiliki bagian yang tidak terhidrasi karena penguapan dan menyebabkan kemerosotan kualitas fisika (Mampearachchi, 2019).

Penyebab lainnya adalah proses *curing* yang dilakukan hanya berlangsung selama 21 hari yang mengakibatkan kualitas fisika dari sampel belum mencapai maksimal. Proses *curing* dilakukan sebaiknya selama 28 hari untuk mendapatkan kekuatan maksimal dari *paving block*. Hal ini disebabkan karena pada hari ke 28 *paving block* akan mencapai kualitas maksimal. Sedangkan apabila *curing* dilakukan melebihi 28 hari, kualitasnya hanya tidak akan bertambah secara optimal (Rahmadyanti, 2003).

4.3 Hasil Perhitungan Kontribusi Pemanfaatan Sampah

Paving block yang dibuat dengan memanfaatkan cacahan sampah plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus yang memiliki mutu mendekati standar SNI 03-0691-1996 adalah *paving block* dengan persentase cacahan sampah plastik multilayer sebesar 6%. Perhitungan kontribusi pemanfaatan sampah plastik multilayer dilakukan dari timbulan sampah DIY yang sebesar 27,94% merupakan timbulan sampah plastik. Kemudian dari timbulan sampah plastik DIY ini berdasarkan Lahtela dkk. pada tahun 2020 dapat diestimasikan sampah plastik multilayer adalah sebesar 17%. Data timbulan sampah tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 Timbulan Sampah DIY

Lokasi	Berat (ton)	Timbulan Plastik (ton)	Timbulan Sampah Plastik Multilayer (ton)
Gunung Kidul	140.580	37.071	6.302

Lokasi	Berat (ton)	Timbunan Plastik (ton)	Timbunan Sampah Plastik Multilayer (ton)
Sleman	219.654	57.923	9.847
Kulon Progo	80.034	21.105	3.588
Kota Yogyakarta	109.704	28.929	4.918
Total	549.972	153.662	26.123

Berikut ini adalah hasil perhitungan kontribusi pemanfaatan sampah plastik multilayer pada *paving block* dengan variasi 6%:

Variasi *paving block* = 6%

Berat 1 *paving block* = 2.164 g

Luas *paving block* = 0,0012 m²

Jumlah *paving block* untuk 1 m² = $\frac{1}{\text{Luas paving block}}$

Jumlah *paving block* untuk 1 m² = $\frac{1}{0,0012 \text{ m}^2}$

Jumlah *paving block* untuk 1 m² = 49 buah/m²

Berat *paving block*/m² = 49 buah $\times \frac{2.164 \text{ g}}{1000} = 105,1 \text{ kg/m}^2$

Kebutuhan sampah plastik/hari = % variasi $\times$ Berat PB $\times$ Kapasitas produksi

Kebutuhan sampah plastik/hari = 6% $\times$ 105,1 kg/m² $\times$ 12 m²/hari

Kebutuhan sampah plastik/hari = 77,90 kg/hari

Kebutuhan sampah plastik/tahun = 288 hari/tahun $\times$

Kebutuhan sampah per hari

Kebutuhan sampah plastik/tahun = $\frac{288 \text{ hari/tahun} \times 77,90 \text{ kg/hari}}{1000}$

Kebutuhan sampah plastik/tahun = 22,43 ton/tahun

Persentase pengurangan = $\frac{\left(\frac{\% \text{ variasi} \times \text{Berat PB}}{1000 \text{ kg/ton}}\right)}{\text{Timbunan SPM DIY 2023}} \times 100\%$

Persentase pengurangan = $\frac{\left(\frac{6\% \times (105,1 \text{ kg/m}^2 \times 12)}{1000 \text{ kg/ton}}\right)}{26.123 \text{ ton}} \times 100\%$

Persentase pengurangan = 0,0003% ton/m²/hari

Persentase pengurangan = 0,0834% ton/m²/tahun

Berdasarkan persentase kontribusi pemanfaatan sampah yang didapatkan sebesar 0,0003% ton/m²/hari atau setara dengan 0,0834% ton/m²/tahun. Dari

persentase ini dapat diketahui bahwa sampah plastik multilayer yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 0,0078 kg/m²/hari atau sebesar 21,791 kg/m²/tahun.

4.4 Hasil Analisis Nilai Ekonomi dengan Metode TEA

Analisis nilai ekonomi akan dilakukan untuk sampel dengan variasi 6% karena memiliki kualitas yang paling mendekati SNI-03-0691-1996. Kuantitas pencetakan dilakukan sebanyak 600 buah *paving block* setiap harinya, dengan hari kerja selama 288 hari. Perhitungan dilakukan dengan menetapkan *CapEx* dan *OpEx* yang digunakan dalam produksi *paving block*.

$$CapEx = \text{Rp. } 147.200.000$$

$$OpEx = \text{Rp. } 177.865.389/\text{tahun}$$

Adapun harga pokok produksi dari sebuah *paving block* yang didapatkan adalah sebesar Rp. 1.132/buah, dengan harga jual dari *paving block* yang didapatkan adalah sebesar Rp. 1.400/buah untuk margin 20%. Maka, dapat diketahui *inflow dan outflow* dalam periode satu tahun sebagai berikut:

$$Inflow = \text{Rp. } 241.920.000/\text{tahun}$$

$$Outflow = \text{Rp. } 177.865.389/\text{tahun}$$

Kemudian dengan data tersebut dilakukan perhitungan untuk NPV, IRR dan PI, sebagai berikut:

1. NPV

Diketahui:

$$\begin{aligned} i &= \text{Interest rate} + \text{Inflation rate} \\ &= 6,25\% + 2\% = 8,25\% \end{aligned}$$

$$n = 1 \text{ tahun}$$

$$t = 1 \text{ tahun}$$

$$S = \text{Rp. } 147.200.000$$

$$\begin{aligned} NCF &= \text{Rp. } 241.920.000/\text{tahun} - \text{Rp. } 177.865.389/\text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 64.054.610/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$NPV = -S + \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}$$

$$NPV = -\text{Rp. } 147.200.000 + \sum_{t=1}^1 \frac{\text{Rp. } 64.054.610_1}{(1 + 8,25\%)^1}$$

$$NPV = \text{Rp. } 76.282.678$$

Jika dilakukan perhitungan NPV untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai NPV adalah sebesar Rp. 161. Berdasarkan hasil perhitungan NPV yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai NPV untuk usaha produksi *paving block* baik untuk tahunan dan per produk dengan campuran plastik multilayer memiliki nilai >0 . Nilai NPV >0 menunjukkan bahwa usaha tersebut direkomendasikan untuk dilakukan.

2. IRR

Diketahui:

$$n = 1 \text{ tahun}$$

$$t = 1 \text{ tahun}$$

$$CF_0 = \text{Rp. } 147.200.000$$

$$CF_1 = \text{Rp. } 241.920.000/\text{tahun}$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

$$0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1 + IRR)^1}$$

$$0 = \text{Rp. } 147.200.000 + \frac{\text{Rp. } 241.920.000}{(1 + IRR)^1}$$

$$IRR = \frac{\text{Rp. } 241.920.000 - \text{Rp. } 147.200.000}{\text{Rp. } 147.200.000} = 64\%$$

Jika dilakukan perhitungan IRR untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai IRR adalah sebesar 24%. Berdasarkan hasil perhitungan IRR yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai IRR untuk usaha produksi *paving block* dengan campuran plastik multilayer memiliki nilai melebihi *discount rate* yang artinya usaha ini layak untuk dilakukan.

3. PB

Diketahui:

$$S = \text{Rp. } 147.200.000$$

$$\text{Inflow} = \text{Rp. } 241.920.000$$

$$PB = \frac{S}{\text{Inflow}}$$

$$PB = \frac{\text{Rp. } 147.200.000}{\text{Rp. } 241.920.000}$$

$$PB = 0,63 \text{ tahun}$$

Jika dilakukan perhitungan PB untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai PB adalah sebesar 0,83 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan PB yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai PB dari usaha ini masih sangat mungkin untuk dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan sampah plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus pada *paving block* dengan variasi sampel 0%, 6%, 8%, 10% dan 12%, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sampah plastik multilayer berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus pada *paving block*. Meskipun sampel *paving block* yang digunakan dalam penelitian ini tidak ada yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah dari perencanaan bahan campuran yang dilakukan dengan metode *trial error*, penambahan air dalam campuran yang dilakukan tanpa takaran pasti, proses pencetakan dengan menggunakan mesin *press* yang bebannya tidak diatur, serta metode *curing* yang digunakan bisa saja sampel tidak memiliki air yang cukup, terpapar sinar matahari langsung atau waktu *curing* yang tidak optimal.
2. Sampah plastik multilayer dapat digunakan untuk memanfaatkan sampah di DIY. Variasi *paving block* yang digunakan pada perhitungan kontribusi pemanfaatan dilakukan untuk sampel dengan variasi 6%. Timbulan sampah plastik multilayer DIY sebesar 26.123 ton dapat dimanfaatkan sebesar 0,0003% ton/m²/hari atau setara dengan 0,0834% ton/m²/tahun. Dari persentase ini dapat diketahui bahwa sampah plastik multilayer yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 0,0078 ton/m²/hari atau sebesar 21,791 ton/m²/tahun.
3. Usaha produksi *paving block* dengan campuran sampah plastik multilayer secara nilai ekonomi dapat sangat menguntungkan. Hal ini dapat dilihat dari nilai NPV yang >0, yaitu Rp. Rp.76.282.678 atau jika dilakukan perhitungan NPV untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai NPV adalah sebesar Rp. 161. Berdasarkan nilai NPV usaha ini direkomendasikan untuk dilakukan. Kemudian nilai IRR yang didapatkan untuk usaha ini adalah sebesar

64% atau jika dilakukan perhitungan IRR untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai IRR adalah sebesar 24%. Berdasarkan hasil tersebut nilai IRR melebihi *discount rate*, yang berarti usaha layak untuk dilakukan. Serta untuk nilai PB didapatkan sebesar 0,63 tahun atau jika dilakukan perhitungan PB untuk *paving block* per buahnya maka didapatkan nilai PB adalah sebesar 0,83 tahun, di mana nilai ini masih layak sebuah usaha.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Mengidentifikasi *unit weight* sampah plastik multilayer agar berat dalam pembuatan campuran bisa diketahui lebih presisi.
2. Memasukkan perhitungan faktor pemadatan yang digunakan dalam membuat sampel.
3. Membahas atau menganalisis terkait dengan permukaan plastik yang halus, sehingga mengakibatkan sulitnya semen terikat.
4. Melakukan pengadukan campuran lebih lama agar campuran dapat dipastikan lebih homogen.
5. Memasukkan pola rusak sampel untuk dapat menganalisis kesalahan yang terjadi saat pembuatan sampel.
6. Dimensi cacahan dapat diselaraskan apabila memiliki teknologi yang memungkinkan agar ukuran cacahan merata dalam sampel.
7. Menyempurnakan perlakuan dalam pembuatan sampel dengan menerapkan waktu *mixing* yang sama dan waktu *pressing* mesin cetak untuk memastikan setiap sampel mendapatkan perlakuan yang sama.
8. Mengamati pola persebaran plastik pada sampel agar mengetahui kemungkinan kesalahan yang terjadi pada proses pembuatan sampel.
9. Mengamati pola kehilangan dari pengujian ketahanan aus agar mendapatkan estimasi kehilangan plastik dari sampel.

10. Melakukan kajian terkait dengan risiko pencemaran lingkungan yang disebabkan dari penggunaan sampel dan penanggulangannya.
11. Melakukan pengujian dengan sampel berusia 28 hari agar mendapatkan kekuatan maksimal dari sampel.
12. Melakukan percobaan metode cetak dengan menggunakan metode *two layers* untuk mendapatkan variasi model sampel dan dapat membandingkannya dengan sampel konvensional.
13. Melakukan penelitian dengan menggunakan sampah plastik multilayer sebagai bahan tambahan pada sampel.
14. Melakukan penelitian dengan menggunakan sampah plastik multilayer dalam bentuk lelehan agar dapat membandingkan kekuatannya dengan sampel yang menggunakan sampah plastik multilayer dalam bentuk cacahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., & Twumasi, G. (2019). *Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production*. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>
- Ahmad, S., Dawood, O., Lashin, M. M. A., Khattak, S. U., Javed, M. F., Aslam, F., Khan, M. I., Elkotb, M. A., & Alaboud, T. M. (2023). *Effect of coconut fiber on low-density polyethylene plastic-sand paver blocks*. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(8). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101982>
- Arwini, N. P. D. (2022). *Sampah Plastik dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik*. *Vastuwidya*, 5(1), 72–82.
- Assaad, J. J., Khalil, M., & Khatib, J. (2022). *Alternatives to Enhance the Structural Performance of PET-Modified Reinforced Concrete Beams*. *Environments - MDPI*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/environments9030037>
- Farhana, Z. F., Kamarudin, H., Rahmat, A., & Al Bakri, A. M. M. (2015). *The Relationship Between Water Absorption and Porosity for Geopolymer Paste*. *Materials Science Forum*, 803(August), 166–172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.166>
- Hahladakis, J. N., & Iacovidou, E. (2018). *Closing the Loop on Plastic Packaging Materials: What is Quality and How Does It Affect Their Circularity?*. *Science of the Total Environment*, 630, 1394–1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.330>
- Hepiyanto, R., & Arif, S. (2019). *Pengaruh Variasi Penambahan Abu Serbuk Gergaji Kayu pada Pasta Semen Terhadap Uji Bahan Semen*. *Rang Teknik Journal*, 2(1), 117–122.
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). *Plastics Recycling: Challenges and Opportunities*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>

- Hossain, M., Bhowmik, P., & Shaad, K. (2016). *Use of Waste Plastic Aggregation in Concrete As A Constituent Material*. *Progressive Agriculture*, 27(3), 383–391. <https://doi.org/10.3329/pa.v27i3.30835>
- Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Ali, M., Javed, M. F., Asif, U., Ismail, M., Umer, M., Gamil, Y., & Amran, M. (2023). *Experimental Study On The Eco-Friendly Plastic-Sand Paver Blocks By Utilising Plastic Waste And Basalt Fibers*. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17107>
- Islam, M. J., & Shahjalal, M. (2021). *Effect Of Polypropylene Plastic On Concrete Properties As A Partial Replacement Of Stone And Brick Aggregate*. *Case Studies in Construction Materials*, 15(June), e00627. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00627>
- Kanchanapiya, P., Methacanon, P., & Tantisattayakul, T. (2018). *Techno-Economic Analysis Of Light Weight Concrete Block Development From Polyisocyanurate Foam Waste*. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.027>
- Lahtela, V., Silwal, S., Karki, T. (2020). *Re-Processing of Multilayer Plastic Materials as a Part of the Recycling Process: The Features of Processed Multilayer Materials*. *Polymers*. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12112517>
- Laila, F., & Risdianto, Y. (2018). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Substitusi Sebagian Pasir Pada Paving Block. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 118–122.
- Mampearachchi, W. (2019). *Handbook on Concrete Block Paving*. In *Handbook on Concrete Block Paving*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8417-2>
- Mane, R., Rayewar, S., Katageri, S., & Patil, N. K. (2019). *Use Of Plastic Waste As Partial Replacement Of Aggregate In Paver Block*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 102–105.
- Nurzal, E. dan K. (2016). *Pengaruh Variasi Tekanan pada Saat Pencetakan Paving Block dengan Penambahan 5 % Berat Fly Ash terhadap Uji Kuat Tekan*. *Teknik Mesin*, ISSN 2089-4880, 6(2), 103–110. <https://ejournal.itp.ac.id/>
- Rahmadyanti, E. (2003). *Uji Kelayakan Pembuatan Paving Block dari Timbunan Sampah TPA Keputih*. *Jurnal Purifikasi*, 4(4), 163–168.

- Ross, S., Jordan, B. D., & Westerfield, R. W. (2010). *Fundamentals of Corporate Finance*. In *Fundamentals of Corporate Finance*. https://doi.org/10.12737/textbook_5b742ef92eda62.57813862
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). *Mechanical Properties And Abrasion Behaviour Of Concrete Containing Shredded PET Bottle Waste As A Partial Substitution Of Natural Aggregate*. *Construction and Building Materials*, 52, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049>
- Sandjaya, A., Sabrina, O., & Novita, T. (2023). *Strength Of Paving Block By Replacing Up To 40% Of Fine Aggregate By Weight With Plastic Waste*. *E3S Web of Conferences*, 429, 3–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905027>
- Sari, & Nusa. (2019). *Pemanfaatan Limbah Plastik Hdpe (High Density Polythylene) Sebagai Bahan Pembuatan Paving Block*. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 29–33.
- Sari, R. A. I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). *Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 68–76.
- Sarwar, S., Shaibur, M. R., Hossain, M. S., Hossain, M. R., Ahmmed, I., Ahmed, F. F., Sarker, M. A. H., & Shamim, A. H. M. (2023). *Preparation Of Environmental Friendly Plastic Brick From High-Density Polyethylene Waste*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100291>
- Sudarno, Nicolaas, S., & Assa, V. (2021). *Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan Paving Block*. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 3(2), 101–110.
- Suwarto, F., Fauziyah, S., Setiabudi, B., & ... (2020). *Peningkatan Kuat Tekan Paving Block Dengan Alat Cetak Mekanis*. *Jurnal Pengabdian ...*, 01(03), 172–176. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/6705>
- Tempa, K., Chettri, N., Thapa, G., Phurba, Gyeltshen, C., Norbu, D., Gurung, D., & Wangchuk, U. (2022). *An Experimental Study And Sustainability Assessment Of Plastic Waste As A Binding Material For Producing Economical Cement-Less Paver Blocks*. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.05.012>

United Nation Environment Programme. (2009). *Converting waste plastics into a resources*. In *Assessment Guidelines*.

Zainuri. (2021). *Penanganan Sampah Plastik pada Produksi*. Jurnal Teknologi Lingkungan, 22(2), 170–177.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Pengecekan Ukuran dan Berat *Paving Block*

No.	Variasi Sampel	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengecekan	Dimensi Sampel (cm)			Berat (kg)
				Panjang	Lebar	Tebal	
1	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.38	10.015	5.66	2.089
2	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.34	9.93	5.58	2.176
3	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.29	9.96	5.685	2.143
4	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.345	10.005	5.66	2.199
5	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.35	10.09	5.65	2.171
6	0%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.37	9.97	5.415	2.071
7	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.47	10.1	5.7	2.036
8	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.415	10.05	5.9	2.2
9	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.5	10.12	5.95	2.238
10	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.33	10.055	5.81	2.123
11	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.41	10.02	5.83	2.157
12	6%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.5	10.11	6	2.23
13	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.725	10.24	6.2	1.864
14	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.365	10.055	5.705	1.857
15	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.35	10.08	5.42	1.806
16	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.66	10.235	6	2.113
17	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.52	10.07	5.455	1.859
18	8%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20	10.1	5.58	1.877

No.	Variasi Sampel	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengecekan	Dimensi Sampel (cm)			Berat (kg)
				Panjang	Lebar	Tebal	
19	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.7	10.22	5.96	1.924
20	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.72	10.24	5.985	1.973
21	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.45	10.145	5.915	1.852
22	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.465	10.155	5.8	1.811
23	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.6	10.27	5.9	1.857
24	10%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.6	10.22	5.8	1.848
25	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.56	10.2	5.96	1.72
26	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.6	10.2	6.1	1.793
27	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.7	10.245	6.27	1.919
28	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.7	10.245	6.35	1.837
29	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.73	10.36	6.33	1.9
30	12%	2 Juni 2024	5 Juli 2024	20.56	10.2	5.96	1.745

Lampiran 2 Form Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

No.	Kode Sampel	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Dimensi saat Uji (cm)			Berat (kg)	Beban Maksimal (kgf)
				Panjang	Lebar	Tebal		
1	KT 0% I	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.08	6.06	5.63	0.483	4490
2	KT 0% II	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.04	6.03	5.47	0.412	4470
3	KT 6% I	2 Juni 2024	9 Juli 2024	5.97	6.03	5.58	0.386	2590
4	KT 6% II	2 Juni 2024	9 Juli 2024	5.8	6.05	5.89	0.479	3640
5	KT 8% I	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.05	6.1	6.02	0.349	1060
6	KT 8% II	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.1	6.07	5.53	0.319	1130
7	KT 10% I	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.02	6.1	5.91	0.334	1300
8	KT 10% II	2 Juni 2024	9 Juli 2024	5.8	6.2	5.96	0.332	1090
9	KT 12% I	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.04	6.01	5.94	0.319	690
10	KT 12% II	2 Juni 2024	9 Juli 2024	6.03	6.1	6.01	0.307	720

Lampiran 3 Form Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block*

No.	Kode Sampel	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Dimensi saat Uji (cm)			Berat (g)		Berat Hilang (g)	Ketahanan Aus (mm/menit)
				Panjang	Lebar	Tebal	Awal	Akhir		
1	KT 0% I	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.85	5.02	2.52	104.43	98.49	5.94	1.521
2	KT 0% II	2 Juni 2024	11 Juli 2024	4.655	4.655	2.1	83.15	77.24	5.91	1.514
3	KT 6% I	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.02	4.7	2.23	92.39	89.89	2.5	0.655
4	KT 6% II	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.14	5.22	2.165	103.72	102.79	0.93	0.259
5	KT 8% I	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.12	5.015	2.26	89.44	86.97	2.47	0.647
6	KT 8% II	2 Juni 2024	11 Juli 2024	4.61	4.99	2.17	76.95	69.97	6.98	1.784
7	KT 10% I	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.31	5.11	2.226	88.61	79.55	9.06	2.308
8	KT 10% II	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.08	5.135	2.22	76.39	73.68	2.71	0.708
9	KT 12% I	2 Juni 2024	11 Juli 2024	4.53	4.96	2.08	59.97	55.06	4.91	1.262
10	KT 12% II	2 Juni 2024	11 Juli 2024	5.3	4.795	2.31	78.43	71.97	6.46	1.653

Lampiran 4 Form Pengujian Penyerapan Air Paving Block

No.	Kode Sampel	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Umur (hari)	Berat Selisih (kg)	Penyerapan Air (%)
1	0%	2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.318	2.053	0.265	0.265	12.91%
2		2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.211	1.961	0.25	0.25	12.75%
3	6%	2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.205	2.043	0.162	0.162	7.93%
4		2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.274	2.109	0.165	0.165	7.82%
5	8%	2 Juni 2024	10 Juli 2024	1.94	1.732	0.208	0.208	12.01%
6		2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.103	1.913	0.19	0.19	9.93%
7	10%	2 Juni 2024	10 Juli 2024	1.909	1.723	0.186	0.186	10.80%
8		2 Juni 2024	10 Juli 2024	1.957	1.719	0.767	0.238	13.85%
9	12%	2 Juni 2024	10 Juli 2024	2.014	1.775	0.239	0.239	13.46%
10		2 Juni 2024	10 Juli 2024	1.871	1.614	0.257	0.257	15.92%

Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan Penelitian Tugas Akhir

