

## **TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK KACA DAUR  
ULANG SEBAGAI SUBSTITUTOR PARSIAL SEMEN  
TERHADAP KUAT TEKAN, PENYERAPAN AIR, DAN  
KETAHANAN AUS *PAVING BLOCK*  
(*IMPACT OF RECYCLED GLASS POWDER IN  
PARTIAL CEMENT SUBSTITUTION ON THE  
COMPRESSIVE STRENGTH, WATER ABSORPTION,  
AND ABRASION RESISTENCE OF PAVING BLOCKS*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mahendra Surya Atmaja**

**21511125**

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

**2026**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK KACA DAUR  
ULANG SEBAGAI SUBSTITUTOR PARSIAL SEMEN  
TERHADAP KUAT TEKAN, PENYERAPAN AIR, DAN  
KETAHANAN AUS *PAVING BLOCK*  
(*IMPACT OF RECYCLED GLASS POWDER IN  
PARTIAL CEMENT SUBSTITUTION ON THE  
COMPRESSIVE STRENGTH, WATER ABSORPTION,  
AND ABRASION RESISTENCE OF PAVING BLOCKS*)**

Disusun Oleh



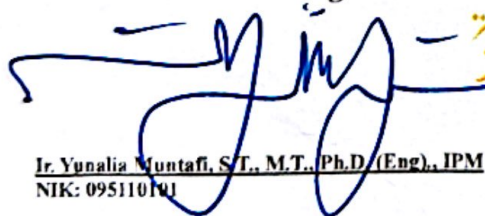
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

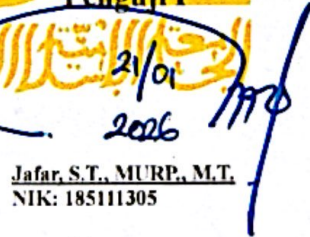
Diuji pada tanggal 20 Januari 2026  
Oleh Dewan Penguji

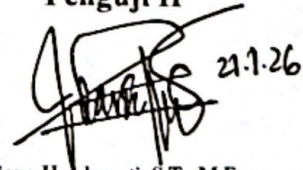
Pembimbing I

Penguji I

Penguji II

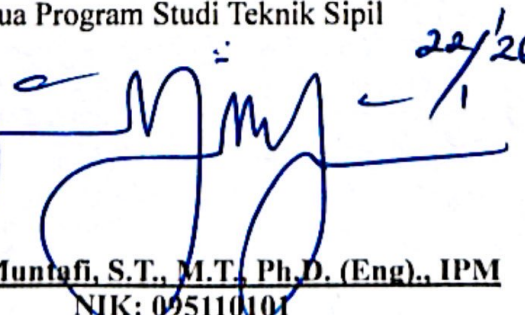
  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM  
NIK: 095110101

  
Jafar, S.T., MURP., M.T.  
NIK: 185111305

  
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.  
NIK: 165111301

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan sungguh-sungguh menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya secara mandiri. Setiap bagian tertentu dalam laporan ini yang mengutip atau merujuk pada karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi laporan Tugas Akhir ini bukan merupakan karya saya sendiri atau mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik.

Yogyakarta, 9 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Mahendra Surya Atmaja  
(21511125)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang *Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Kaca Daur Ulang Sebagai Subtitutor Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air, dan Ketahanan Aus Paving Block*. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan pendidikan strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

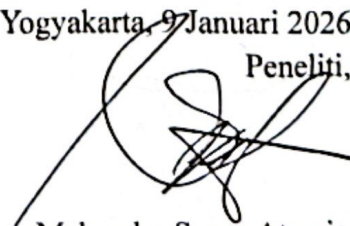
Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, peneliti menghadapi berbagai kendala. Namun, berkat bimbingan, saran, kritik, serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberi arahan atau masukan terhadap penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Jafar, S.T., MURP., M.T. selaku Dosen Penguji I,
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II,
4. *Thanks to my Parents and thanks to all my Friend for their constant support and for always being by my side throughout the completion of this Final Project.*

Akhir kata, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi para pembaca serta pihak-pihak terkait.

Yogyakarta, 9 Januari 2026

Peneliti,



Mahendra Surya Atmaja

21511125

## DAFTAR ISI

HALAMAN AWAL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu	5
2.2 Keaslian Penelitian	7
2.3 Perbandingan Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 <i>Paving Block</i>	12
3.2 Kelebihan dan Kelemahan <i>Paving Block</i>	14
3.3 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	15
3.3.1 Semen Portland	15
3.3.2 Agregat Halus	16
3.3.3 Air	17
3.3.4 Serbuk Kaca	17

3.4	Klasifikasi <i>Paving Block</i>	18
3.5	Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	20
3.6	Perawatan <i>Paving Block</i>	20
3.7	Pengujian <i>Paving Block</i>	21
3.7.1	Uji Kuat Tekan	21
3.7.2	Uji Penyerapan Air	22
3.7.3	Uji Ketahanan Aus	22
BAB IV METODE PENELITIAN		24
4.1	Tinjauan Umum	24
4.2	Data Material <i>Paving Block</i>	24
4.3	Bagan Alir Penelitian	25
4.4	Studi Literatur	26
4.5	Persiapan Alat dan Bahan	26
4.4.1	Alat	26
4.4.2	Bahan	32
4.4.3	Pengujian Bahan	34
4.4.4	Pencampuran Bahan	36
4.4.5	Pembuatan Benda Uji	37
4.4.6	Perawatan Benda Uji	37
4.4.7	Pemotongan Benda Uji	38
4.4.8	Prosedur dan Pengujian Benda Uji	39
4.4.9	Analisis Data dan Pembahasan	41
4.4.10	Kesimpulan	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		42
5.1	Deskripsi	42
5.2	Hasil Pengujian Bahan	42
5.2.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	42
5.2.2	Hasil Pengujian Serbuk Kaca	46
5.3	Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	47
5.3.1	Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus	48
5.3.2	Perhitungan Kebutuhan Semen	48
5.3.3	Perhitungan Kebutuhan Serbuk Kaca	48

5.3.4	Perhitungan Kebutuhan Air	49
5.4	Hasil Pengujian <i>Paving Block</i>	50
5.4.1	Pengujian Kuat Tekan	50
5.4.2	Pengujian Penyerapan Air	55
5.4.3	Pengujian Ketahanan Aus	59
5.5	Hasil Keseluruhan Pembahasan	64
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		64
6.1	Kesimpulan	66
6.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		72

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rincian Benda Uji	4
Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang dilakukan	9
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Semen	15
Tabel 3. 2 Kandungan Serbuk Kaca	18
Tabel 3. 3 Syarat Fisika Paving block	20
Tabel 4. 1 Data Material Paving Block	24
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus	43
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	45
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	45
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur	46
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Serbuk Kaca	46
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kaca	47
Tabel 5. 7 Komposisi Kebutuhan Campuran Paving Block	49
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0%	50
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 2,5%	51
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 5%	51
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 7,5%	51
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%	52
Tabel 5. 13 Penggolongan Mutu Kuat Tekan Paving Block	53
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0%	55
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 2,5%	56
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 5%	56
Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 7,5%	56
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%	57
Tabel 5. 19 Penggolongan Mutu Penyerapan Air Paving Block	58
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0%	59
Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 2,5%	60

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 5%	60
Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 7,5%	60
Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%	61
Tabel 5. 25 Penggolongan Mutu Ketahanan Aus Paving Block	62

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 3. 1 Macam Bentuk Paving Block	12
Gambar 3. 2 Sketsa Benda Uji Kuat Tekan	21
Gambar 3. 3 Sketsa Benda Uji Penyerapan Air	22
Gambar 3. 4 Sketsa Benda Uji Ketahanan Aus	23
Gambar 4. 1 Timbangan	27
Gambar 4. 2 Sendok Semen (cetok)	27
Gambar 4. 3 Mesin Pemotong	28
Gambar 4. 4 Tongkat Penumbuk	28
Gambar 4. 5 Oven	29
Gambar 4. 6 Ayakan	29
Gambar 4. 7 Mixer	30
Gambar 4. 8 Mesin Kuat Tekan	30
Gambar 4. 9 Mesin Press Paving Block	31
Gambar 4. 10 Mesin Ketahanan Aus	31
Gambar 4. 11 Pan	32
Gambar 4. 12 Semen Portland Tiga Roda	32
Gambar 4. 13 Air	33
Gambar 4. 14 Agregat Halus	33
Gambar 4. 15 Serbuk Kaca	34
Gambar 4. 16 Pembuatan Benda Uji	37
Gambar 4. 17 Perawatan Benda Uji	38
Gambar 4. 18 Pemotongan Benda Uji	38
Gambar 4. 19 Uji Kuat Tekan	39
Gambar 4. 20 Uji Penyerapan Air	40
Gambar 4. 21 Uji Ketahanan Aus	40
Gambar 5. 1 Grafik Hasil Analisa Saringan Halus	44
Gambar 5. 2 Grafik Pengujian Kuat Tekan Paving Block	53
Gambar 5. 3 Grafik Pengujian Penyerapan Air Paving Block	58

Gambar 5. 4 Grafik Pengujian Ketahanan Aus	62
Gambar 5. 5 Grafik Plot Pengujian Kuat Tekan, Penyerapan Air, dan Ketahanan Aus Paving Block	65

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Surat Keterangan Bebas Plagiasi	73
Lampiran 2 Surat Permohonan Penggunaan Laboratorium	74
Lampiran 3 Hasil Pengujian Laboratorium	75

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A$	= Berat <i>paving block</i> dalam kondisi basah (gram)
$Al_2O_3$	= Alumunia
$ASR$	= Alkali silika reaksi
$B$	= Berat <i>paving block</i> dalam kondisi kering (gram)
$CaO$	= Kapur
$CTM$	= <i>Compression Testing Machine</i>
$D$	= Keausan (mm/menit)
$Fas$	= Faktor Air Semen
$f'c$	= Mutu beton (MPa)
$Fe_2O_3$	= Besi
$G$	= Kehilangan berat/lama keausan (gram/menit)
$KA$	= Ketahanan Aus
$Kgf$	= Kilogram-force
$KT$	= Kuat Tekan
$MgO$	= Magnesia
$MHB$	= Modulus Halus Butir
$MPa$	= Megapascal
$Na_2O + K_2O$	= Soda/potash
$N$	= Newton
$P$	= Beban Maksimum (N)
$PA$	= Penyerapan Air
$Pc$	= Koefisien situs periode pendek
$Ps$	= Koefisien situs periode 1 detik
$SNI$	= Standar Nasional Indonesia
$SO_3$	= Sulfur
$SiO_2$	= Silika
$SSD$	= Saturated Surface Dry (Berat Jenis Kering Permukaan)

$t$	= Lama pengujian (menit)
$UII$	= Universitas Islam Indonesia
$V$	= Volume ( $\text{cm}^3$ )
$W$	= Berat (gram)
$\Sigma$	= Sigma

## ABSTRAK

*Paving block* adalah material konstruksi yang umum diaplikasikan pada jalan, trotoar, dan area parkir karena proses pemasangannya yang mudah serta memiliki daya dukung yang baik. Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* merupakan bata beton yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan pengikat hidrolis sejenis, agregat, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang tidak menurunkan kualitas. Peningkatan pembangunan infrastruktur mendorong perlunya inovasi material, salah satunya melalui pemanfaatan serbuk kaca, dimana serbuk kaca bersifat pozzolan dan berfungsi sebagai filler untuk meningkatkan kepadatan *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 dengan substitusi parsial semen menggunakan serbuk kaca.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pembuatan benda uji berupa *paving block* yang disusun menggunakan perbandingan campuran 1 pc : 6 ps. Variasi serbuk kaca sebagai substitutor parsial semen diterapkan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Setelah proses pencetakan, *paving block* menjalani perawatan selama 28 hari, kemudian dikeringkan selama 2 minggu pada suhu ruang. Selanjutnya, benda uji diuji berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 03-1691-1996.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *paving block* tanpa substitusi memiliki kuat tekan 11,018 MPa dan penyerapan air 9,685% yang tergolong mutu D untuk taman. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi substitusi 7,5% sebesar 17,103 MPa yang termasuk mutu C untuk pejalan kaki, sedangkan penyerapan air terbaik terdapat pada variasi 10% sebesar 6,267% dan masuk mutu C untuk. Ketahanan aus terbaik dihasilkan pada variasi substitusi 5% dengan nilai 0,314 mm/menit.

**Kata kunci :** Serbuk Kaca, *Paving block*, Kuat Tekan, Penyerapan Air, Ketahanan Aus.

## **ABSTRACT**

*Paving blocks are widely used in roads, sidewalks, and parking areas due to their ease of installation and sufficient load-bearing capacity. According to SNI 03-0691-1996, paving blocks are concrete units made from a mixture of Portland cement or similar hydraulic binders, aggregates, and water, with or without additives that do not reduce quality. Increasing infrastructure development encourages material innovation, including the use of glass powder, which has pozzolanic properties and functions as a filler to improve paving block density. This study aims to evaluate the compressive strength, water absorption, and abrasion resistance of paving blocks based on SNI 03-0691-1996 through partial substitution of cement with glass powder.*

*An experimental method was employed by producing paving block specimens with a mix proportion of 1 pc : 6 ps. Glass powder substitution levels of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% were applied. After molding, the specimens were cured for 28 days, dried for two weeks at room temperature, and then tested in accordance with SNI 03-1691-1996.*

*The results show that paving blocks without substitution had a compressive strength of 11.018 MPa and water absorption of 9.685%, classified as grade D. The highest compressive strength, 17.103 MPa, was achieved at 7.5% substitution and classified as grade C, while the lowest water absorption, 6.267%, occurred at 10% substitution, also classified as grade C. The best abrasion resistance was obtained at 5% substitution with a value of 0.314 mm/min.*

**Keywords :** *Glass Powder, Paving Block, Compressive Strength, Water Absorption, Abrasion Resistance.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Paving block* atau disebut bata beton yaitu salah satu material yang banyak digunakan dalam pembangunan jalan, trotoar, dan area parkir karena kemudahan pemasangan dan daya tahannya terhadap beban berat. Menurut SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

*Paving block* memiliki beberapa keunggulan, seperti kemudahan dalam pemasangan, perawatan, proses pengerjaan, biaya yang relatif terjangkau, serta nilai estetika yang tinggi. Seiring dengan perkembangan infrastruktur, permintaan akan bahan konstruksi yang kuat dan berkualitas semakin meningkat, salah satunya adalah *paving block*. Oleh karena itu, inovasi dan kreativitas diperlukan untuk meningkatkan kualitas *paving block* dengan mutu yang lebih baik. Inovasi ini bertujuan untuk menciptakan *paving block* yang mampu menahan beban lebih besar, memiliki daya tahan yang tinggi, dan tidak mudah retak. Salah satu inovasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan serbuk kaca sebagai bahan untuk mensubstitusi sebagian parsial semen *portland*. Abdurrahman dan Larasati (2013) menjelaskan bahwa kaca untuk kembali terurai membutuhkan waktu yang lama hingga 1.000.000 tahun lamanya sehingga diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah kaca dengan pemanfaatan kembali limbah kaca, dan dapat meningkatkan kualitas, terutama dalam hal kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus *paving block*. Hal ini didasarkan pada sifat kaca yang merupakan material amorf berbahan dasar silika kering dengan oksida dasar utama, bersifat tidak berpori, serta memiliki karakteristik *pozzolanic* (Refandri, 2023). Selain itu, serbuk kaca mengandung beberapa unsur kimia yang komposisinya hampir menyerupai unsur-unsur yang terdapat pada semen. Purnomo dan Hisyam (2014), menjelaskan serbuk kaca

memiliki unsur  $\text{SiO}_2$  (61,72%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (3,45%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,18%), dan  $\text{CaO}$  (2,59%) sedangkan unsur yang terkandung pada semen yaitu  $\text{CaO}$  (60-67%),  $\text{SiO}_2$  (17-25%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (3-8%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,5-0,6),  $\text{MgO}$  (0,5-0,4%) dan  $\text{SO}_3$  (1-2%), dan  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  (0,5-1) sehingga serbuk kaca bisa digunakan menjadi bahan sebagian pengganti semen dan ditambahkan ke dalam campuran *paving block*.

Dalam penelitian ini, jenis serbuk kaca yang digunakan yaitu dari bekas botol kaca, bisa dari minuman, makanan, dan sebagainya dimana nantinya akan diolah menggunakan mesin penggiling dan diproses yang menghasilkan serbuk kaca. Penelitian yang dilakukan oleh Refandri (2023) meneliti tentang pengaruh penambahan serbuk kaca pada *paving block* dengan variasi kadar bahan tambah yang digunakan meliputi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum diperoleh pada variasi 10%, dengan kuat tekan sebesar 18,467 MPa dan nilai ketahanan aus sebesar 0,240% mm/menit.

Dari beberapa uraian di atas, maka dilakukan penelitian pengujian laboratorium terhadap kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus pada *paving block* dengan substitusi bahan serbuk kaca halus dari daur ulang botol kaca. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, tujuan penelitian yang akan dilakukan yaitu merubah variasi substitusi serbuk kaca terhadap semen dengan melakukan eksperimen dari penelitian sebelumnya yang menyarankan penelitian dengan perbandingan campuran 1 pc dan 6 ps dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dan pertimbangan tidak terlalu banyak substitusi serbuk kaca terhadap semen karena akan berdampak pada hasil kuat tekan dan penyerapan air nantinya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi serbuk kaca daur ulang terhadap kuat tekan *paving block*?
2. Bagaimana pengaruh substitusi serbuk kaca daur ulang terhadap penyerapan air *paving block*?

3. Bagaimana pengaruh substitusi serbuk kaca daur ulang terhadap ketahanan aus *paving block*?
4. Berapa kadar substitusi serbuk kaca daur ulang yang paling efektif dari pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus dalam meningkatkan mutu *paving block*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi serbuk kaca daur ulang terhadap kuat tekan *paving block*.
2. Untuk menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi parsial semen terhadap penyerapan air *paving block*.
3. Untuk menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi parsial semen terhadap ketahanan aus *paving block*.
4. Untuk mengetahui persentase terbaik dari substitusi serbuk kaca daur ulang pada pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan *paving block*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Sebagai salah satu upaya dalam menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang lebih baik.
2. Sebagai salah satu upaya inovasi dan substitusi serbuk kaca daur ulang sebagai bahan substitusi sebagian parsial semen *portland*.
3. Diharapkan dapat mengurangi limbah kaca dan pencemaran lingkungan dengan pemanfaatan serbuk kaca daur ulang.
4. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penggunaan bahan tambah sebagai substitusi.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Supaya penelitian ini tidak menyimpang dari tujuan yang telah diterapkan, maka penelitian ini dibatasi oleh beberapa batasan sebagai berikut:

1. Pengujian dan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia dan Merapi Volcanic Materials Innovation (UII).
2. Bahan substitusi yang digunakan berupa serbuk kaca daur ulang botol kaca ukuran 1-6 mm.
3. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen OPC produksi PT. Semen Tiga Roda.
4. Bahan agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir asal Gunung Merapi yang memenuhi persyaratan lolos ayakan 10 mm.
5. Air yang digunakan dengan nilai fas 0,35 dan berasal dari sumber air Laboratorium Merapi Volcanic Materials Innovation (UII).
6. Komposisi campuran yang digunakan yaitu 1 pc : 6 ps.
7. Pengujian pada penelitian ini setelah *paving block* mencapai umur 28 hari.
8. Benda uji yang digunakan berjumlah sebanyak 55 buah, dengan rincian yang disajikan pada Tabel 1.1 berikut.

**Tabel 1. 1 Rincian Benda Uji**

Persentase serbuk kaca (%)	Jumlah sampel		
	Kuat Tekan (buah)	Penyerapan Air (buah)	Ketahanan Aus (buah)
0%	5	3	3
2,5%	5	3	3
5%	5	3	3
7,25%	5	3	3
10%	5	3	3
Total	25	15	15
	55		

9. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm untuk penyerapan air, kuat tekan dengan ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm, dan ketahanan aus 5 cm x 5 cm x 2 cm.
10. Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam *paving block* selama 28 hari, kemudian diperlakukan khusus dengan proses pengeringan selama 14 hari.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Seiring dengan pesatnya perkembangan infrastruktur, permintaan terhadap bahan konstruksi yang memiliki kekuatan dan kualitas tinggi semakin meningkat, salah satunya adalah paving block. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk meningkatkan mutu *paving block* agar lebih kuat, tahan lama, dan memiliki ketahanan terhadap retakan. Salah satu pendekatan inovatif yang dilakukan adalah dengan menambahkan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen *portland*.

Pada pengerjaan tugas akhir ini, yang terlampir tentang penelitian sebelumnya sebagai acuan, referensi, dan informasi pada penelitian ini. Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian ini.

1. Hamid dkk. (2019) memperkenalkan tentang inovasi *paving block* ringan yang lebih terjangkau karena menggunakan bahan limbah seperti kaleng, plastik, dan debu tambang yang digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan *paving block* beton yang disebut sebagai *Paving Block Ramah Lingkungan*. *Paving block* ramah lingkungan ini akan dibandingkan dengan *paving block* kontrol dalam hal daya tahan dan kekuatan tekan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kaleng dan plastik digunakan sebagai agregat kasar, sedangkan debu tambang berfungsi sebagai agregat halus. Metode dan pengujian yang dilakukan yaitu uji slump, uji densitas, dan uji kekuatan tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Paving Block Ramah Lingkungan* dapat digunakan di area non-lalu lintas berdasarkan kekuatan tekan dengan nilai 13,3275 N/mm<sup>2</sup> dibandingkan dengan paving block kontrol yang memiliki nilai 72,3845 N/mm<sup>2</sup>. Penggunaan bahan limbah ini juga dapat mengurangi jumlah polutan lingkungan, seperti polusi air dan tanah.
2. Aji (2022) meneliti tentang pengaruh penggunaan abu batu sebagian pengganti pasir terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kuat tekan, ketahanan aus, daya serap air, dan pembaruan pada *paving block*. Pengujian ini dilakukan dengan variasi abu batu dengan perbandingan 0%, 10%, 20%, 25%, dan 30% berat pasir. Setelah melalui proses perendaman selama 28 hari untuk mencapai umur beton optimum, dilakukan pengujian terhadap benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi 10% menghasilkan kinerja terbaik dengan kuat tekan sebesar 31,268 MPa, ketahanan aus sebesar 0,189 mm/menit, dan nilai penyerapan air sebesar 6,405%.

3. Refandri (2023) penelitiannya yaitu tentang pengaruh penambahan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, ketahanan aus, dan daya penyerapan air. Penelitian ini menggunakan variasi persentase serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Setelah proses pembuatan, *paving block* menjalani perawatan selama 28 hari dan dikeringkan pada suhu ruang selama 1 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mutu tertinggi dari sisi kuat tekan dan ketahanan aus diperoleh pada variasi 10%, dengan kuat tekan sebesar 18,467 MPa dan ketahanan aus sebesar 0,240 mm/menit. Sedangkan mutu tertinggi untuk penyerapan air diperoleh pada variasi 20%, yaitu sebesar 4,615%.
4. Adani dkk. (2024) meneliti tentang pengaruh penambahan limbah serbuk kaca dan limbah serbuk keramik terhadap kuat tekan dan daya serap *paving block*. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai optimum kuat tekan dan daya serap *paving block* melalui variasi substitusi limbah serbuk kaca sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%, dengan penambahan limbah serbuk keramik sebesar 30%. Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi dan daya serap terendah diperoleh pada variasi 12,5% limbah serbuk kaca dan 30% limbah serbuk keramik, masing-masing sebesar 11,17 MPa dan 6,67%.
5. Sudarno dkk. (2021) meneliti tentang pemanfaatan limbah plastik untuk pembuatan *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi polusi

limbah plastik yang mencemari lingkungan hidup dan mendapatkan campuran terbaik pada limbah plastik untuk pembuatan *paving block*, mengetahui besarnya nilai kuat tekan dan lentur *paving block* plastik dan agregat kasar, dengan membandingkan biaya per antara paving dari limbah plastik dan paving normal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah experimental dengan simulasi pembebanan sebagai uji kuat tekan dan kuat lentur. Model *paving block* yang diteliti berupa paving block dengan bentuk persegi panjang berdimensi benda uji lebar = 10cm, tebal = 8cm, dan panjang = 20cm. Hasil menunjukkan bahwa paving normal mempunyai nilai mutu yang lebih kecil dari *paving block* dari limbah plastik yang diteliti, juga dari segi biaya *paving block* dari limbah plastik lebih murah dari pada paving block normal.

## 2.2 Keaslian Penelitian

Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil sebenarnya dan bukan hasil dari plagiasi dari penelitian terdahulu. Namun, penelitian sejenis yang sebelumnya sudah pernah dilakukan dan memiliki beberapa hal yang membedakan dengan penelitian sebelumnya yang terletak pada variabel variasi campuran. Penelitian ini menggunakan penambahan serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi semen *portland* dengan pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus. Segala eferensi dan pemikiran dari peneliti terdahulu telah disertai dengan sumber sesuai dengan aturan yang berlaku, dan seluruhnya tercantum dalam daftar pustaka.

Perbedaan utama yang terdapat pada penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu yaitu dengan mengembangkan penelitian terdahulu dengan eksperimen serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi dengan variasi campuran sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Oleh karena itu, beberapa tinjauan pustaka yang diperoleh dapat disimpulkan pada Tabel 2.1 di halaman selanjutnya.

### **2.3 Perbandingan Penelitian**

Setelah beberapa tinjauan pustaka yang diperoleh, berikut merupakan perbandingan dari penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan dan disimpulkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian Yang Dilakukan**

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Andani, dkk.	Refandri.	Aji.	Sudarno, dkk.	Hamid, dkk.	
Tahun	(2024)	(2023)	(2022)	(2021)	(2019)	
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca dan Limbah Serbuk Keramik Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap <i>Paving Block</i>	Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus, dan Penyerapan Air Pada <i>Paving Block</i>	Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagian Pengganti Pasir Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus, dan Penyerapan Air.	Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan <i>Paving Block</i>	<i>Development of Paving Blocks using Waste Materials</i>	Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Kaca Daur Ulang Ssebagai Substitutor Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air, Dan Ketahanan Aus <i>Paving Block</i>
Tujuan Penelitian	Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kuat tekan dan daya serap optimum paving block melalui variasi substitusi limbah serbuk kaca sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dengan penambahan limbah serbuk keramik sebesar 30%.	1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk kaca halus bahan botol kaca terhadap kuat tekan <i>paving block</i> .	1. Menganalisis peningkatan kuat tekan <i>paving block</i> melalui pemanfaatan material pengganti abu batu. 2. Mengembangkan <i>paving block</i> agar mencapai mutu A sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996.	Mengurangi polusi limbah plastik yang mencemari lingkungan hidup dan mendapatkan campuran terbaik pada limbah plastik untuk pembuatan <i>paving block</i> ,	Mengurangi polusi limbah plastik yang mencemari lingkungan hidup dan mendapatkan campuran terbaik pada limbah plastik untuk pembuatan <i>paving block</i> ,	1. Mengetahui pengaruh substitusi serbuk kaca daur ulang terhadap kuat tekan <i>paving block</i> . 2. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi parsial semen terhadap penyerapan air <i>paving block</i> .

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian Yang Dilakukan**

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Andani, dkk.	Refandri.	Aji.	Sudarno, dkk.	Hamid, dkk.	
Tahun	(2024)	(2023)	(2022)	(2021)	(2019)	
<b>Tujuan Penelitian</b>		<p>2. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca halus hasil daur ulang botol kaca terhadap tingkat keausan <i>paving block</i>.</p> <p>3. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca halus hasil daur ulang botol kaca terhadap tingkat penyerapan air <i>paving block</i>.</p> <p>4. Mengetahui persentase optimum campuran serbuk kaca halus dari botol kaca pada <i>paving block</i>.</p>	<p>3. Menganalisis ketahanan aus pada <i>paving block</i> dengan pemanfaatan bahan pengganti abu batu.</p> <p>4. Menganalisis penyerapan air <i>paving block</i> dengan penggunaan bahan pengganti abu batu.</p>	<p>mengetahui besarnya nilai kuat tekan dan lentur <i>paving block</i> plastik dan agregat kasar, dengan membandingkan biaya per antara paving dari limbah plastik dan paving normal.</p>	<p>membanfingkan <i>paving block</i> ramah lingkungan dengan <i>paving block</i> kontrol dengan pengujian slump, uji densitas, dan uji kekuatan beton.</p>	<p>3. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk kaca daur ulang sebagai substitusi parsial semen terhadap ketahanan aus <i>paving block</i>.</p> <p>4. Mengetahui persentase terbaik dari substitusi serbuk kaca daur ulang pada pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus <i>paving block</i>.</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Andani, dkk.	Refandri.	Aji.	Sudarno, dkk.	Hamid, dkk.	
Tahun	(2024)	(2023)	(2022)	(2021)	(2019)	
<b>Hasil Penelitian</b>	Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan maksimum diperoleh pada variasi 12,5% limbah kaca dan 30% limbah keramik dengan nilai sebesar 11,17 MPa, sedangkan daya serap terendah juga terjadi pada variasi yang sama, yaitu sebesar 6,67%.	Hasil pengujian menunjukkan bahwa mutu tertinggi pada parameter kuat tekan dan ketahanan aus diperoleh pada variasi 10%, dengan nilai kuat tekan sebesar 18,467 MPa dan ketahanan aus sebesar 0,240 mm/menit. Sementara itu, mutu terbaik pada parameter penyerapan air diperoleh pada variasi 20% dengan nilai sebesar 4,615%.	Berdasarkan hasil penelitian, variasi 10% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 31,268 MPa dengan klasifikasi mutu B yang sesuai untuk area parkir. Pada variasi yang sama, nilai penyerapan air terendah sebesar 6,405% juga memenuhi kriteria mutu B untuk peruntukan parkir. Adapun ketahanan aus terendah diperoleh pada variasi 10% dengan nilai 0,1808%, yang termasuk dalam kategori mutu C sebagai peralatan parkir.	Campuran paving block 50% plastik dan 50% kerikil memiliki kuat tekan tertinggi (50,97 MPa), memenuhi SNI kelas A, dan direkomendasikan untuk struktur jalan. Hanya variasi kelas A dan B yang memenuhi standar dengan kekuatan tekan bervariasi antara 24,38 MPa hingga 49,45 MPa. Campuran 50:50 juga paling ekonomis dengan standar mutu A dan harga Rp139.031,83/m <sup>2</sup> .	Hasil yang didapatkan yaitu 13,3275 N/mm <sup>2</sup> dibandingkan dengan paving block kontrol yang memiliki nilai 72,3845 N/mm <sup>2</sup> . Penggunaan bahan limbah ini juga dapat mengurangi jumlah polutan lingkungan, seperti polusi air dan tanah.	Variasi substitusi yang optimal dari pengujian kuat tekan yaitu berada pada variasi 7,5% dengan nilai kuat tekan 17,103 MPa dengan mutu C untuk pejalan kaki. Untuk variasi pada pengujian penyerapan air yaitu terdapat pada variasi 10% dengan nilai 6,267% dengan mutu C. Kemudian, nilai ketahanan aus yang baik dihasilkan pada substitusi campuran dengan variasi 5% yang mendapatkan nilai sebesar 0,314 mm/menit.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 *Paving Block*

*Paving block*, atau yang dikenal juga sebagai bata beton, merupakan salah satu material konstruksi yang umum digunakan sebagai penutup permukaan jalan, trotoar, dan area parkir. Material ini dipilih karena kemudahan dalam pemasangan, perawatan, serta variasi bentuk dan warna yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan estetika dan fungsional. Dalam beberapa tahun terakhir, inovasi dalam pembuatan *paving block* semakin berkembang, termasuk upaya memanfaatkan limbah industri sebagai bahan tambahan atau substitusi untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi dampak lingkungan. Hasballah (2023) mengklasifikasikan *paving block* dalam beberapa macam, yaitu pada Gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3. 1** Macam Bentuk Paving Block

(Sumber: Hasballah, 2023)

Salah satu limbah yang potensial untuk dimanfaatkan adalah limbah kaca. Kaca merupakan material yang tidak mudah terurai secara alami dan seringkali menjadi masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving block* tidak hanya membantu mengurangi akumulasi limbah tetapi juga berpotensi meningkatkan sifat mekanik *paving block* itu sendiri. Penelitian oleh Jamaaluddin dan Jafar (2023) menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca dalam campuran beton dapat meningkatkan kualitas material beton tersebut. Selain itu, penggunaan limbah kaca sebagai substitusi parsial agregat halus dalam *paving block* dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material. Penelitian oleh Randiestha dan Mahardi (2022) mengkaji desain campuran *paving block* dengan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus dan serat ijuk sebagai bahan tambah. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi limbah kaca sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat pasir, serta variasi serat ijuk sebesar 5% dan 10% terhadap berat komposisi limbah kaca, mempengaruhi kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus *paving block*.

Pemanfaatan limbah kaca dalam pembuatan *paving block* juga sejalan dengan upaya pembangunan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan baku, industri konstruksi dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, inovasi ini dapat membuka peluang ekonomi baru, seperti industri daur ulang dan pengolahan limbah menjadi produk bernilai tambah. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan limbah kaca dalam *paving block* harus melalui proses pengolahan dan pengujian yang tepat untuk memastikan kualitas dan keamanan material. Faktor-faktor seperti ukuran partikel kaca, proporsi dalam campuran, dan interaksi dengan bahan lain harus dipertimbangkan untuk mencapai hasil yang optimal. Penelitian dari Refandri (2023) menunjukkan bahwa substitusi serbuk kaca sebesar 10% memberikan kuat tekan maksimal pada *paving block*, namun peningkatan lebih lanjut dalam proporsi serbuk kaca dapat menurunkan kuat tekan.

### 3.2 Kelebihan dan Kelemahan *Paving Block*

*Paving block* memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya pilihan populer dalam konstruksi perkerasan. Salah satu kelebihannya adalah kemudahan pemasangan dan perawatan. *Paving block* dapat dipasang tanpa memerlukan peralatan berat dan dapat dilepas serta dipasang kembali jika diperlukan, misalnya untuk perbaikan utilitas di bawahnya. Selain itu, variasi bentuk, warna, dan pola pemasangan memungkinkan fleksibilitas desain yang dapat disesuaikan dengan estetika lingkungan sekitarnya.

Dari segi teknis, *paving block* memiliki kemampuan drainase yang baik. Rongga antar blok memungkinkan air meresap ke dalam tanah, sehingga mengurangi genangan air dan membantu pengisian ulang air tanah. Selain itu, permukaan *paving block* yang kasar memberikan daya cengkeram yang baik, sehingga aman bagi pejalan kaki dan kendaraan, terutama saat kondisi basah. Namun, *paving block* juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah kemungkinan terjadinya pergeseran atau penurunan permukaan jika fondasi atau lapisan dasar tidak dipersiapkan dengan baik. Kualitas *paving block* sangat bergantung pada bahan baku dan proses pembuatannya. Penggunaan bahan berkualitas rendah atau proses produksi yang tidak standar dapat menghasilkan produk dengan kuat tekan rendah dan daya tahan yang buruk. Penelitian oleh Indriani (2025) menunjukkan bahwa variasi penambahan serbuk kaca pada *paving block* mempengaruhi kuat tekan material tersebut. Selain itu, *paving block* rentan terhadap pertumbuhan lumut atau jamur pada area yang teduh dan lembab, yang dapat membuat permukaan menjadi licin dan kurang estetis. Untuk mengatasi hal ini, perawatan rutin seperti pembersihan dan aplikasi bahan anti-jamur diperlukan. Kelemahan lainnya adalah biaya awal yang mungkin lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan lain, seperti aspal atau beton cor di tempat. Namun, jika mempertimbangkan umur layanan dan biaya perawatan yang lebih rendah, *paving block* dapat menjadi pilihan yang ekonomis dalam jangka panjang.

Dalam konteks keberlanjutan, penggunaan limbah kaca sebagai bahan tambahan atau substitusi dalam pembuatan *paving block* dapat mengurangi kelemahan terkait kualitas material. Penelitian oleh Hasballah (2023),

menunjukkan bahwa penambahan limbah batu alam dapat mencapai kuat tekan optimal pada varian tertentu. Namun, perlu diperhatikan bahwa proporsi dan pengolahan limbah batu alam harus tepat untuk menghindari efek negatif seperti menyebabkan banyak rongga pada *paving block* yang menyebabkan campuran antara bahan-bahan campuran menjadi tidak rapat.

### 3.3 Bahan Penyusun *Paving Block*

*Paving block*, atau bata beton, adalah material konstruksi yang terbuat dari campuran beberapa bahan utama yang menentukan kualitas dan daya tahannya. Berikut adalah bahan-bahan penyusun *paving block*:

#### 3.3.1 Semen Portland

Semen Portland berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengikat agregat menjadi satu kesatuan yang solid. Kualitas semen sangat mempengaruhi kuat tekan dan daya tahan *paving block* terhadap beban dan cuaca. Berikut merupakan Tabel

3.1 Komposisi Kimia Semen..

**Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Semen**

Oksida	Persen (%)
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO <sub>2</sub>	17-25
Alumunia, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-8
Magnesia, MgO	05-4
Sulfur, SO <sub>3</sub>	1-2
Soda/potash, Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,5-1

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

*American Society for Testing and Material* (ASTM) C-150 (2022) menjelaskan bahwa semen portland dibagi menjadi 5 (lima) jenis berdasarkan sifat dan kegunaannya, yaitu:

1. Tipe I, merupakan jenis semen yang digunakan secara umum pada pekerjaan konstruksi yang tidak memerlukan persyaratan khusus terkait panas hidrasi maupun kekuatan tekan awal, seperti pada pembuatan paving block, bangunan perumahan, gudang, dan konstruksi sejenis lainnya.
2. Tipe II, yaitu semen yang digunakan untuk konstruksi dengan ketahanan terhadap sulfat sedang dan hidrasi rendah hingga sedang, seperti saluran irigasi, tanah atau bangunan bekas rawa, bendungan, dan bangunan yang berada di pesisir laut.
3. Tipe III, yaitu semen yang digunakan untuk konstruksi dengan kekuatan awal yang tinggi dimana semen cepat mengeras. Semen ini umumnya digunakan untuk bangunan yang berada di dalam air dengan kadar sulfat rendah, konstruksi bertingkat tinggi, serta pembangunan jalan beton.
4. Tipe IV, yaitu semen yang digunakan untuk konstruksi yang memerlukan panas hidrasi rendah, umumnya diterapkan pada pengecoran dengan volume yang cukup besar.
5. Tipe V, yaitu semen yang digunakan untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat tinggi, sehingga cocok diterapkan pada bangunan seperti instalasi limbah pabrik dan pembangkit listrik tenaga nuklir.

### 3.3.2 Agregat Halus

Agregat halus bisa disebut agregat yang terbuat dari penghancuran/serpihan dari agregat kasar yang murni dari alam. Agregat ini berfungsi untuk mengisi celah antar agregat kasar, menciptakan campuran yang lebih padat dan homogen. Kebersihan dan gradasi pasir sangat penting untuk mencapai kualitas paving block yang optimal. Untuk mencapai kualitas yang optimal maka syarat-syaratnya sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tajam.
2. Agregat harus dilakukan pemeriksaan analisis saringan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) untuk menghasilkan agregat halus menurut SNI 03-1968-1990.

3. Agregat tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5%. Yang nantinya akan diuji dengan kandungan lumpur. Sesuai dengan SNI 03-4142-1996.
4. Pasir laut tidak diperkenankan sebagai agregat halus untuk proses pembuatan beton kecuali dengan arahan dari lembaga pemeriksaan yang diakui (Pasaribu, 2022).
5. Agregat tidak boleh tercampur dengan bahan organik dan harus bersifat kekal dimana agregat tidak hancur ketika terkena cuaca panas ataupun hujan (Pasaribu, 2022).

### 3.3.3 Air

Air digunakan untuk menghidrasi semen, memulai proses pengikatan dan pengerasan. Fungsi air dalam campuran beton yaitu sebagai pelumas bagi agregat halus, selain itu air juga bereaksi dengan semen yang berguna untuk membentuk pasta, air juga untuk mencairkan bahan/material semen ke seluruh permukaan agregat, kemudian air berfungsi untuk membasahi agregat dimana bisa melindungi agregat dari penyerapan air yang akan bereaksi nantinya, dan memungkinkan untuk mengalir ke dalam cetakan beton. Kualitas dan jumlah air yang tepat penting untuk mencapai workability yang baik tanpa mengorbankan kekuatan akhir *paving block*.

### 3.3.4 Serbuk Kaca

Bahan tambahan, seperti pengeras atau pewarna, dapat ditambahkan untuk memberikan sifat khusus pada *paving block*, seperti peningkatan kekerasan atau estetika tertentu, contohnya yaitu dengan menambahkan serbuk kaca. Penggunaan bahan ini memiliki kelebihan yaitu tidak menyerap air, tahan terhadap abrasi, dan mempunyai sifat *pozzoland* yaitu sebagai bahan pengganti semen dan filler.

Selain keunggulan yang dimiliki, serbuk kaca secara garis besar juga dibagi menjadi 3 (tiga) macam, yaitu:

1. Bening (tidak berwarna), biasanya digunakan untuk peralatan rumah tangga.
2. Hijau, digunakan untuk botol minuman, dan
3. Coklat, diperuntukkan untuk botol minuman ringan.

Serbuk kaca juga memiliki beberapa unsur/komponen penyusunnya, yang disajikan pada Tabel 3.2 Kandungan Serbuk Kaca.

**Tabel 3. 2 Kandungan Serbuk Kaca**

Unsur	Serbuk Kaca
SiO <sub>2</sub>	61,72%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18%
CaO	2,59%

Sumber : Purnomo dan Hisyam (2014)

### 3.4 Klasifikasi *Paving Block*

*Paving block* diklasifikasikan berdasarkan kuat tekan dan penggunaannya, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996). Klasifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap jenis *paving block* digunakan sesuai dengan beban yang akan diterima di lapangan, sehingga daya tahannya tetap optimal. Faktor utama dalam klasifikasi ini adalah kuat tekan yang diukur dalam Megapascal (MPa) atau kg/cm<sup>2</sup>. Secara umum, *paving block* dibagi menjadi empat mutu, yaitu Mutu A, Mutu B, Mutu C, dan Mutu D, dengan spesifikasi sebagai berikut:

#### 1. Mutu A

*Paving block* mutu A memiliki kuat tekan minimal 35 MPa (350 kg/cm<sup>2</sup>), dengan rata-rata mencapai 40 MPa (400 kg/cm<sup>2</sup>). Jenis ini memiliki kualitas tertinggi dan mampu menahan beban lalu lintas berat, seperti kendaraan besar, truk, dan bus. Oleh karena itu, *paving block* mutu A sering digunakan untuk jalan raya, terminal angkutan umum, pelabuhan, dan kawasan industri yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap tekanan dan abrasi.

Agar mencapai mutu A, *paving block* harus dibuat dengan komposisi material yang berkualitas tinggi, seperti semen dengan kadar tinggi, pasir dengan gradasi baik, serta proses pemadatan yang optimal. Selain itu, *paving block* mutu A biasanya diproduksi menggunakan teknologi vibrasi dan tekanan tinggi untuk memastikan kepadatan yang maksimal.

## 2. Mutu B

*Paving block* mutu B memiliki kuat tekan minimal 17 MPa (170 kg/cm<sup>2</sup>) dan rata-rata mencapai 20 MPa (200 kg/cm<sup>2</sup>). Mutu ini lebih rendah dibandingkan mutu A tetapi tetap memiliki ketahanan yang cukup baik untuk beban lalu lintas sedang. Oleh karena itu, paving block mutu B umumnya digunakan di jalan perumahan, area parkir, dan jalur kendaraan kecil.

*Paving block* mutu B dibuat dengan campuran semen, pasir, dan agregat yang masih cukup padat, namun tidak sekuat mutu A. Proses produksinya bisa menggunakan metode pencetakan manual atau mesin tekan, dengan kontrol kualitas yang tetap diperhatikan agar mencapai standar yang diinginkan.

## 3. Mutu C

*Paving block* mutu C memiliki kuat tekan minimal 12,5 MPa (125 kg/cm<sup>2</sup>) dan rata-rata mencapai 15 MPa (150 kg/cm<sup>2</sup>). Jenis ini biasanya digunakan untuk area dengan beban lalu lintas ringan, seperti trotoar, jalur pedestrian, dan taman.

Dikarenakan beban yang ditanggung lebih ringan, *paving block* mutu C seringkali memiliki desain yang lebih dekoratif, dengan variasi warna dan tekstur yang lebih menarik. Pembuatan *paving block* mutu C tidak memerlukan tekanan tinggi, tetapi tetap menggunakan bahan berkualitas agar tidak mudah mengalami kerusakan akibat cuaca atau tekanan dari pejalan kaki.

## 4. Mutu D

*Paving block* mutu D memiliki kuat tekan minimal 8,5 MPa (85 kg/cm<sup>2</sup>) dan rata-rata mencapai 10 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>). Ini merupakan jenis *paving block* dengan kualitas terendah yang hanya digunakan untuk area yang tidak menerima tekanan berat, seperti taman, halaman rumah, atau area hiasan di lanskap.

*Paving block* mutu D lebih fleksibel dalam segi desain dan biasanya lebih murah dibandingkan mutu lainnya. Namun, daya tahannya juga lebih rendah, sehingga tidak disarankan untuk digunakan di area yang sering dilalui kendaraan atau pejalan kaki dalam jumlah besar.

### 3.5 Syarat Mutu *Paving Block*

Sesuai dengan SNI 03-0691-1996, syarat mutu paving block meliputi:

1. Sifat Tampak

Permukaan *paving block* harus rata, bebas dari retak, cacat, dan bagian sudut serta rusuknya tidak mudah terkelupas.

2. Ukuran

Batas ketebalan minimum *paving block* adalah 60 mm dengan toleransi penyimpangan ukuran  $\pm 8\%$ .

3. Sifat Fisika

*Paving block* harus memenuhi syarat sifat fisika seperti pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3. 3 Syarat Fisika *Paving block***

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-Rata Maks
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12.5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber : SNI 03-0691-1996

### 3.6 Perawatan *Paving Block*

Perawatan *paving block* diperlukan untuk menjaga kelembapan permukaan benda uji, agar proses hidrasi semen dapat berjalan dengan optimal. Proses perawatan ini dilakukan dengan memastikan permukaan benda uji tetap lembap, yang akan mendukung hidrasi semen berlangsung dengan baik. Pada benda uji yang baru berumur satu hari, *paving block* dikeluarkan dari cetakan dan kemudian direndam untuk menjaga kelembapannya.

Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan pada usia satu hari, proses perendaman dilanjutkan hingga mencapai umur yang direncanakan yaitu selama 28 hari. Dengan demikian, proses hidrasi semen akan tetap terjaga, dan *paving block* akan mencapai kualitas yang diinginkan sesuai dengan umur rencana.

### 3.7 Pengujian *Paving Block*

Untuk memastikan kualitas *paving block*, beberapa pengujian standar dilakukan, antara lain:

#### 3.7.1 Uji Kuat Tekan

Uji ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *paving block* menahan beban tekan. Prosedur pengujian biasanya mengikuti standar tertentu, seperti SNI 03-0691-1996. Pengujian dilakukan pada *paving block* yang telah mencapai umur tertentu, biasanya 28 hari, dalam kondisi basah setelah direndam dalam air selama 24 jam.

Rumus untuk menghitung kuat tekan adalah:

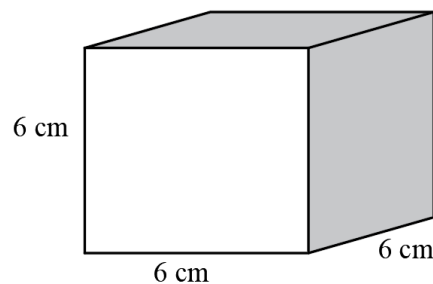
$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \quad (3.1)$$

Dimana:

P = Beban tekan (N)

L = Luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

Uji kuat tekan dilakukan menggunakan benda uji dengan dimensi 6 x 6 x 6 cm. Berikut merupakan Gambar 3.2 Sketsa benda uji kuat tekan.



**Gambar 3. 2 Sketsa Benda Uji Kuat Tekan**

### 3.7.2 Uji Penyerapan Air

Uji penyerapan air dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air, yang berpengaruh terhadap ketahanan cuaca dan masa pakainya. Pelaksanaan pengujian biasanya mengacu pada standar yang berlaku, salah satunya SNI 03-0691-1996. Metode pengujian dilakukan dengan merendam *paving block* dalam air dalam periode tertentu dan menentukan kenaikan berat benda uji.

Rumus untuk menghitung penyerapan air adalah:

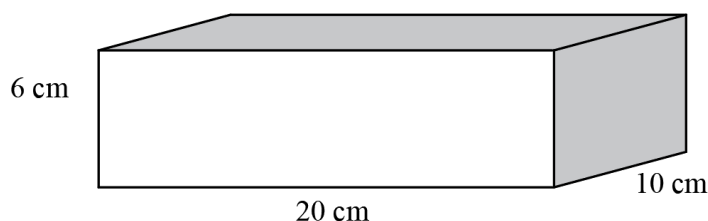
$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana:

A = Berat *paving block* dalam kondisi basah (gram)

B = Berat *paving block* dalam kondisi kering (gram)

Benda uji yang digunakan dalam pengujian penyerapan air memiliki dimensi  $20 \times 10 \times 6$  cm. Sketsa benda uji tersebut disajikan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3 Sketsa Benda Uji Penyerapan Air**

### 3.7.3 Uji Ketahanan Aus

Uji ketahanan aus merupakan kerusakan yang terjadi pada permukaan padat atau perpindahan material yang disebabkan oleh gaya mekanik dari sebuah hubungan padat (*solid*), cair (*liquid*), atau gas (Pranata dan Imaduddin, 2008).

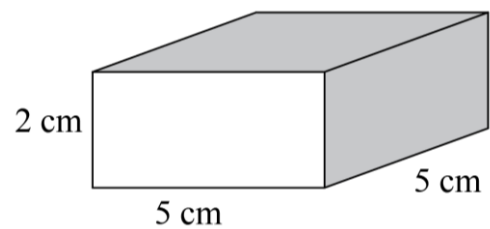
Penelitian yang dilakukan oleh Aji dkk. (2019) menjelaskan bahwa pengujian ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$D = 1,2 \times G + 0,00246 \quad (3.3)$$

Dimana:

G = Kehilangan berat/lama keausan (gram/menit)

D = Keausan (mm/menit)



**Gambar 3. 4 Sketsa Benda Uji Ketahanan Aus**

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Tinjauan Umum

Metode eksperimen di laboratorium digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari persentase substitusi serbuk kaca. Bab ini membahas secara sistematis proses dan tahapan pelaksanaan studi eksperimen yang berkaitan dengan penggunaan serbuk kaca sebagai bahan substitusi dalam pembuatan *paving block*.

#### 4.2 Data Material *Paving Block*

Material penyusun *paving block* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus. Oleh karena itu, rincian data material yang digunakan dalam studi eksperimen disajikan pada Tabel 4.1 berikut:

**Tabel 4. 1 Data Material Paving Block**

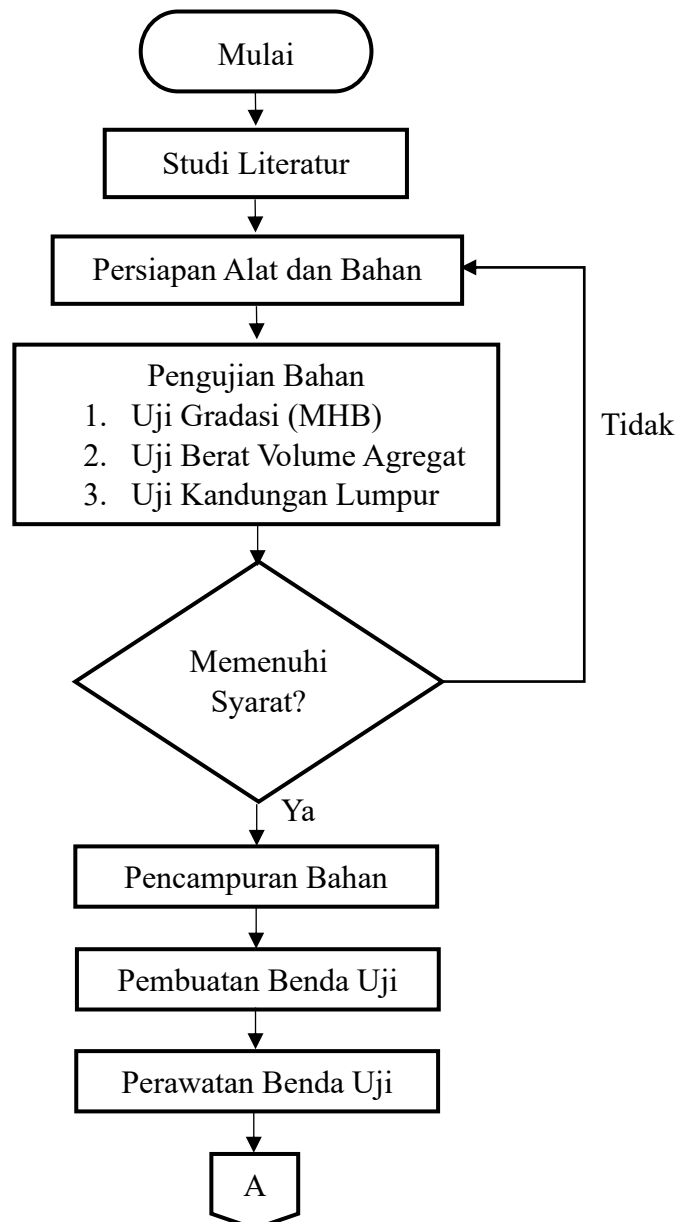
Material	Keterangan
Jenis Bahan Tambah	Limbah Serbuk Kaca
Variasi Tambahan Bahan (%)	0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%
Banyak Sampel	Kuat Tekan 5 buah tiap variasi, Daya Serap Air 3 buah tiap variasi, Ketahanan Aus 3 buah tiap variasi dan jumlah 55 buah.
Umur Pengujian	28 Hari
Semen <i>Portland</i>	PCC PT. Semen Tiga Roda
Dimensi <i>Paving Block</i>	Kuat Tekan ( 6 x 6 x 6 cm) Daya Serap Air (20 x 10 x 6 cm)

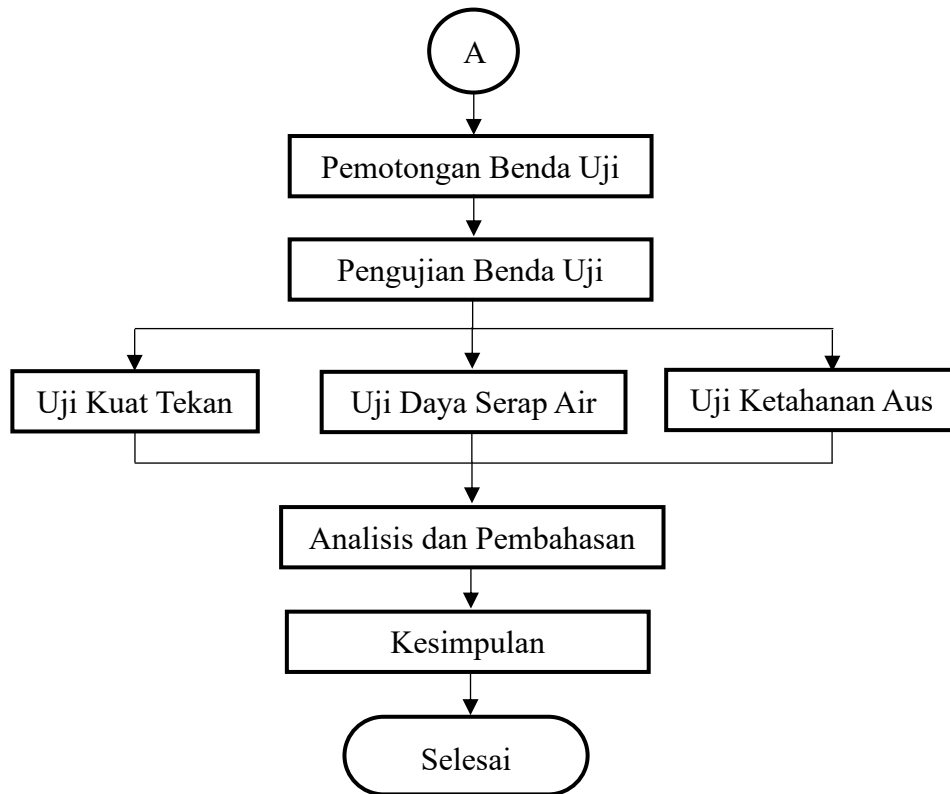
Lanjutan Tabel 4.1 Data Material Paving Block

Material	Keterangan
Dimensi <i>Paving Block</i>	Ketahanan Aus (5 x 5 x 2 cm)
Agregat Halus	Gunung Merapi dengan kriteria lolos saringan 10 mm
Air	Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

### 4.3 Bagan Alir Penelitian

Berikut merupakan Gambar 4.1 bagan alir penelitian.





**Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian**

#### 4.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebelum mulainya seluruh proses penelitian ini. Studi literatur juga untuk mengumpulkan, memahami, dan menganalisis pengetahuan yang telah ada sebelumnya dan memastikan bahwa dapat memberikan kontribusi yang baru bagi bidang ilmu yang diteliti.

#### 4.5 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan yang pertama dilakukan yaitu dengan menyiapkan alat dan bahan sebelum dilakukannya studi eksperimen pembuatan dan pengujian benda uji *paving block* yaitu sebagai berikut:

##### 4.4.1 Alat

Alat yang perlu dipersiapkan yaitu sebagai berikut:

1. Timbangan

Berfungsi untuk menimbang berat bahan dan benda uji sehingga bahan ataupun benda uji yang sudah dipersiapkan serta diperhitungkan tidak salah ukur.



**Gambar 4. 1 Timbangan**

2. Sendok Semen (cetok)

Alat ini berguna untuk mengambil, memindahkan, serta menggabungkan bahan pembuat *paving block*. Selain itu juga berfungsi untuk memasukkan dan meratakan bahan yang ada di dalam cetakan.



**Gambar 4. 2 Sendok Semen (cetok)**

3. Mesin Pemotong

Mesin pemotong digunakan untuk memotong paving block. Contohnya yaitu dimana ukuran awal yaitu 20 x 10 x 6 cm diubah menjadi 6 x 6 x 6 untuk proses pengujian kuat tekan *paving block*.



**Gambar 4. 3 Mesin Pemotong**

4. Tongkat Besi (penumbuk)

Berguna sebagai alat penumbuk pasir guna memperhitungkan berat isi pasir. Diameter tongkat penumbuk adalah 16 mm dengan panjang mencapai 600 mm.



**Gambar 4. 4 Tongkat Penumbuk**

5. Oven

Oven berfungsi untuk menghilangkan kadar air yang berada pada benda uji *paving block*.



**Gambar 4. 5 Oven**

6. Ayakan

Ayakan berfungsi untuk menyaring material berdasarkan gradasi yang ditentukan, dengan kriteria lolos saringan 10 mm.



**Gambar 4. 6 Ayakan**

7. Mesin Mixer

Mesin mixer digunakan untuk mengaduk komponen utama untuk pembuatan *paving block*.



**Gambar 4. 7 Mixer**

8. Mesin Uji Kuat Tekan

Peralatan ini berfungsi untuk menguji kuat tekan *paving block* sehingga diperoleh nilai beban maksimum yang dapat ditahan.



**Gambar 4. 8 Mesin Kuat Tekan**

9. *Mesin Press Paving Block*

Mesin press berfungsi dalam proses pencetakan *paving block* dengan bentuk persegi panjang dan ukuran  $20 \times 10 \times 6$  cm.



**Gambar 4. 9 Mesin Press Paving Block**

10. *Mesin Ketahanan Aus*

Peralatan uji ketahanan aus berfungsi untuk mengetahui ketahanan aus benda uji *paving block*.



**Gambar 4. 10 Mesin Ketahanan Aus**

## 11. Pan

Pan digunakan untuk tempat menyimpan bahan agregat halus.



**Gambar 4. 11 Pan**

## 4.4.2 Bahan

1. Semen *portland* merk PT. Tiga Roda.



**Gambar 4. 12 Semen Portland Tiga Roda**

2. Air yang berasal dari Laboratorium Merapi Volcanic Materials Innovation dan Teknologi Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.



**Gambar 4. 13 Air**

3. Agregat halus yang digunakan bersumber dari Gunung Merapi dan memiliki ukuran butir yang lolos saringan 10 mm.



**Gambar 4. 14 Agregat Halus**

4. Serbuk kaca halus bahan botol diproses dengan mesin penggilingan dan disesuaikan dengan ukuran yang ditetapkan sebesar 1-6 mm.



**Gambar 4. 15 Serbuk Kaca**

#### 4.4.3 Pengujian Bahan

Pengujian bahan bertujuan untuk mengetahui apakah bahan yang akan digunakan nantinya memenuhi persyaratan atau tidak dan memastikan apakah material yang digunakan merupakan material yang baik sebelum dilakukan eksperimen studi pembuatan paving block. Pengujian bahan yang akan dilakukan yaitu:

1. Pengujian Gradasi Agregat (Modulus Halus)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus halus butir pasir yang akan digunakan pada studi eksperimen penelitian ini. Sesuai dengan SNI 03-1968-1990 prosedur pelaksanaannya yaitu yang pertama, siapkan benda uji (pasir) yang sebelumnya telah disiapkan pada pan yang tersedia, setelah itu masukkan benda uji pada oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  yang berfungsi untuk mengeringkan benda uji sampai berat tetap, kemudian dinginkan disuhu ruangan dan timbang beratnya. Susun ayakan agregat (halus) dan masukkan agregat kering yang sudah dioven tersebut ke dalam ayakan dan diayak dengan bantuan mesin selama 10-15 menit. Timbang dan catat agregat tersebut yang tertahan pada masing-masing ayakan. Modulus halus butir

didapat dari perhitungan kumulatif presentase butir yang tertahan pada masing-masing saringan yang kemudian dibagi seratus.

## 2. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur

Pengujian berat volume bertujuan utama untuk menentukan berat volume padat dan gembur dari pasir. Berdasar SNI 03-4804-1998, tata cara pelaksanaan pengujian berat volume padat dan gembur dijelaskan sebagai berikut:

- a. Siapkan silinder atau wadah dan agregat untuk pengujian berat volume.
- b. Timbang wadah (W1) dan diukur dimensinya.
- c. Hitung volume (V) wadah yang sudah disiapkan.
- d. Untuk berat volume padat masukkan agregat halus ke dalam silinder dengan 1/3 dari volume penuh dan tusuk lapisan agregat sebanyak 25x. Ulangi sampai volume silinder terisi penuh.
- e. Untuk pengujian berat volume gembur, isi tabung silinder secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat dan ratakan permukaannya tanpa ditumbuk.
- f. Timbang berat wadah yang sudah diisi dengan agregat halus (W2)
- g. Hitung berat agregat (W3) dengan cara,  $W3 = W2 - W1$
- h. Hitung volumenya dengan persamaan

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W_3}{W_1} \quad (4.1)$$

Keterangan:

W1 = Berat wadah agregat (gr)

W2 = Berat wadah dan agregat halus (gr)

W3 = Berat agregat (gr)

V = Volume wadah (cm<sup>3</sup>)

## 3. Uji Kandungan Lumpur

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan lumpur yang ada dalam pasir. Pengujian dilakukan dengan cara mengambil agregat halus yang sudah dioven dengan berat 500 gram dan masukkan ke dalam gelas ukur. Gelas ukur

kemudian diisi air setinggi 12 cm di atas permukaan agregat halus, lalu kocok gelas ukur tersebut selama 1 menit dan diamkan agar agregat mengendap selama 1 menit. Proses ini dilakukan berulang kali hingga air menjadi jernih. Selanjutnya, agregat halus dimasukkan ke dalam wadah dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  selama 1 hari. Kemudian agregat yang sudah dioven ditimbang dan dihitung untuk mendapatkan kadar kandungan lumpurnya sesuai dengan SNI 03-4142-1996 yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut.

- a. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (4.2)$$

- b. Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \quad (4.3)$$

- c. Bahan lolos saringan nomor 200 (0,0075)

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (4.4)$$

Keterangan:

$W_1$  = Berat kering benda uji + wadah (gram)

$W_2$  = Berat wadah (gram)

$W_3$  = Berat kering benda uji awal (gram)

$W_4$  = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

$W_5$  = Berat kering sesudah benda pencucian (gram)

#### 4.4.4 Pencampuran Bahan

Tahap awal pembuatan *paving block* dimulai dengan menyiapkan semen *portland*, agregat halus, air, dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Proses pencampuran dilakukan menggunakan mixer selama kurang lebih 10 menit hingga campuran homogen. Setelah itu, adukan siap dicetak sesuai dengan dimensi yang ditentukan.

#### 4.4.5 Pembuatan Benda Uji

Pada pembuatan benda uji ini menggunakan mesin press hidrolik yang dilengkapi dengan vibrator untuk memadatkan benda uji dan mengantisipasi rongga udara yang terdapat di dalam benda uji. Benda uji dibuat sesuai dengan variasi pengganti sebagian semen sebesar 0%, 2,5, 5%, 7,5%, dan 10%. Benda uji dibuat berdasarkan jumlah yang telah ditentukan sebelumnya. Tahap pertama dimulai dengan menempatkan alas pada meja mesin press hidrolik, selanjutnya adukan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam cetakan mesin press sampai penuh. Selanjutnya, nyalakan vibrator untuk memadatkan campuran, dan tambahkan kembali bahan yang mengalami penurunan akibat tekanan vibrator. Nyalakan kembali tuas pemadat sambil memastikan vibrator tetap menyala. Setelah campuran cukup padat, lepaskan tuas pemadat untuk mengeluarkan cetakan *paving block*.



**Gambar 4. 16 Pembuatan Benda Uji**

#### 4.4.6 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dari satu hari setelah pencetakan *paving blocok*. Setelah *paving block* berumur satu hari atau sudah keras kemudian dilakukan perendaman untuk menjaga kelembapan selama 28 hari.



**Gambar 4. 17 Perawatan Benda Uji**

#### 4.4.7 Pemotongan Benda Uji

Dimensi benda uji awal yaitu berukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm kemudian disesuaikan ukurannya dengan jenis pengujian yang dilakukan. Benda uji untuk pengujian kuat tekan dipotong berukuran 6 cm × 6 cm × 6 cm, sementara untuk pengujian ketahanan aus digunakan benda uji dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 2 cm. Pemotongan tersebut dilakukan agar sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996 dengan batas toleransi sebesar 8% dari ukuran benda uji pada setiap pengujian.



**Gambar 4. 18 Pemotongan Benda Uji**

#### 4.4.8 Prosedur dan Pengujian Benda Uji

Dalam penelitian ini, akan dilakukan 3 (tiga) jenis pengujian sesuai dengan SNI 03-0691-1996 yaitu uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik material yang akan diuji dalam hal daya tahan terhadap tekanan, kemampuan dalam menyerap air, dan ketahanan terhadap keausan. Prosedur yang akan dilaksanakan dalam kedua pengujian ini setelah umur beton berumur 28 hari setelah masa perawatan *paving block*.

##### 1. Uji Kuat Tekan

Siapkan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran  $6 \times 6 \times 6$  cm yang telah dipotong sesuai ketentuan. Benda uji dibersihkan terlebih dahulu, kemudian ditimbang. Selanjutnya, benda uji ditempatkan pada mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Mesin dioperasikan dengan mengatur kecepatan pembebanan selama 1–2 menit sehingga beban diberikan secara bertahap dan terus meningkat. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan yang ditunjukkan oleh mesin CTM. Nilai beban maksimum yang tercapai pada setiap variasi *paving block* kemudian dicatat.



**Gambar 4. 19 Uji Kuat Tekan**

## 2. Uji Penyerapan Air

Pengujian ini *paving block* direndam air selama 24 jam dalam keadaan utuh, kemudian ditimbang dalam keadaan basah. Selanjutnya, benda uji dimasukkan ke dalam oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Setelah kering, benda uji ditimbang dan hasilnya dicatat dengan teliti.



**Gambar 4. 20 Uji Penyerapan Air**

## 3. Uji Ketahanan Aus

Tahap awal pengujian dilakukan dengan menimbang benda uji yang telah disesuaikan ukurannya, kemudian menempatkannya pada mesin pengaus. Selanjutnya, mesin pengaus diberi beban dan pengujian dilaksanakan selama  $5 \times 1$  menit dengan posisi benda uji diputar sebesar  $90^{\circ}$  pada setiap interval. Hasil pengujian diamati dan dicatat.



**Gambar 4. 21 Uji Ketahanan Aus**

#### 4.4.9 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data akan dilakukan setelah keseluruhan pengujian dilakukan. Penggunaan *software microsoft excel* dapat membantu pengolahan data dan perhitungan yang akan dilakukan nantinya.

#### 4.4.10 Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan dari analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya.

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Deskripsi**

Bagian hasil dan pembahasan ini menyajikan data serta analisis dari pengujian yang telah dilaksanakan sebelumnya oleh penguji. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk memperoleh hasil yang direncanakan dan ditargetkan. Pengujian yang dimaksud meliputi pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block* sesuai dengan perencanaan yang ada.

#### **5.2 Hasil Pengujian Bahan**

Pengujian material penyusun *paving block* yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Universitas Islam Indonesia memberikan data berupa nilai modulus kehalusan butir, hasil pengukuran berat volume pada kondisi padat dan gembur, serta hasil uji kadar lumpur. Uji modulus halus butir dilakukan untuk mengukur ukuran dan distribusi butiran material, sementara uji berat volume padat dan gembur digunakan untuk menentukan kepadatan dan kestabilan volume material dalam kondisi padat maupun gembur. Selain itu, pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur dalam agregat, yang selanjutnya dapat memengaruhi mutu *paving block* yang dihasilkan. Setelah data tersebut diperoleh, langkah selanjutnya adalah menganalisisnya untuk memastikan bahwa bahan yang digunakan memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Dengan demikian, *paving block* yang dihasilkan dapat diproduksi dengan kualitas yang sesuai dengan standar yang telah direncanakan.

##### **5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan yaitu berasal dari Gunung Merapi. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian modulus halus butir, pengujian volume padat dan

gembur, dan pengujian kandungan lumpur. Di bawah ini merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan.

1. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Berdasar pada metode SNI 03-1968-1990 tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai modulus kehalusan butir sebagai indikator distribusi gradasi material. Hasil pengujian modulus kehalusan butir ditampilkan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus**

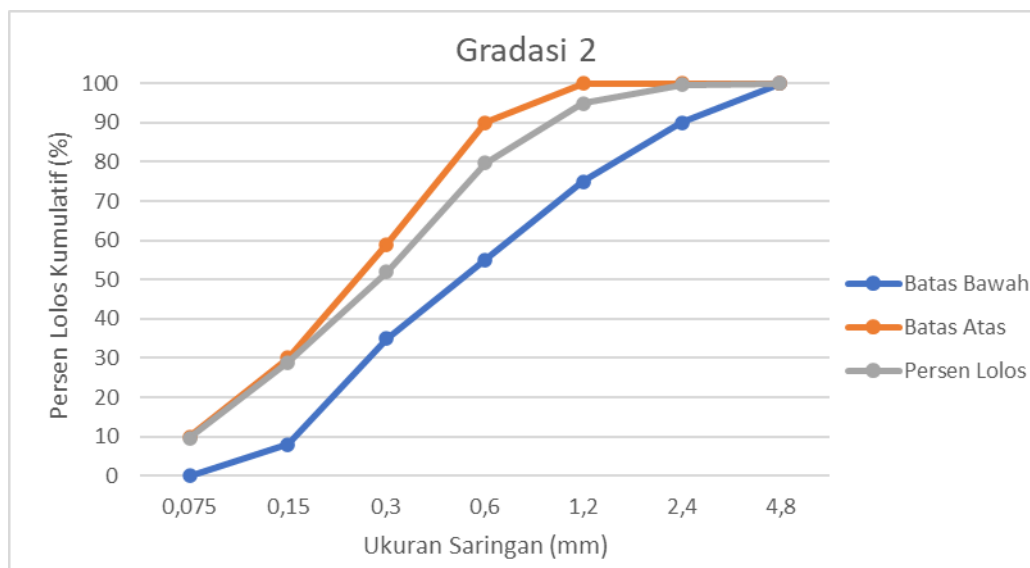
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	6	0,301	0,301	99,699
2,40	94	4,714	5,015	94,985
1,20	304	15,246	20,261	79,739
0,60	555	27,834	48,094	51,906
0,30	457	22,919	71,013	28,987
0,15	386	19,358	90,371	9,629
Sisa	192	9,629	0,301	0
Jumlah	1994	100	335,055	

Berdasarkan tabel tersebut, nilai modulus kehalusan butir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{335,055}{100}
 \end{aligned}$$

$$= 3,3505$$

Berdasarkan SNI 03-1750-1990 untuk modulus kehalusan agregat halus harus diantara 1,5 – 3,8 yang menunjukkan variasi ukuran butiran yang baik untuk mencegah dan mengurangi banyaknya rongga udara dalam campuran beton. Data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan yaitu sebesar 3,3505 dan masuk ke dalam kategori pasir agak halus dengan kriteria lubang 4,8 mm (90-100%), 2,40 mm (75-100%), 1,20 mm (55-90%), 0,60 mm (35-59%), 0,30 mm (8-30%), dan 0,15 mm (0-10%). Grafik hasil pengujian modulus kehalusan butir disajikan pada Gambar 5.1.



**Gambar 5. 1 Grafik Hasil Analisa Saringan Modulus Halus Butir**

## 2. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uji berat volume agregat halus pada kondisi padat dilakukan untuk menentukan nilai berat volume material tersebut. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, W1 (gr)	5245	5171	5208
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	8132	8015	8073,5
Berat Agregat W3 = W2 – W1 (gr)	2887	2844	2865,5
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1713,615	1665,613	1689,614
Berat Volume Padat, W3 / V (gr/cm <sup>3</sup> )	1,684	1,707	1,696

Dari Tabel 5.2, diperoleh nilai rata-rata berat volume padat agregat halus berjumlah 1,696 gram/cm<sup>3</sup>.

3. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus pada kondisi gembur dilaksanakan guna memperoleh nilai berat volume agregat halus dalam keadaan tidak padat. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.3.

**Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, W1 (gr)	5245	5171	5208
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	7782	7602	7692
Berat Agregat W3 = W2 – W1 (gr)	2537	2431	2484
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1713,615	1665,613	1689,614
Berat Volume Padat, W3 / V (gr/cm <sup>3</sup> )	1,480	1,459	1,470

Berdasarkan Tabel 5.3, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus sebesar 1,470 gram/cm<sup>3</sup>.

4. Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian kandungan lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur pada agregat halus dengan menggunakan saringan no 200.

Prosedur pengujian ini dilaksanakan dengan mengacu pada standar SNI 03-4142-1996. Hasil pengujian kadar lumpur disajikan pada Tabel 5.4.

**Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Agregat Kering Oven	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci	490	493	500
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2,00%	1,40%	1,70%

Berdasarkan PUBI (1982) SKNI S-04-1989-f kadar lumpur maksimum untuk agregat halus (pasir) adalah 5% dari berat kering agregat. Hasil yang diperoleh yaitu sebesar 1,70% dan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

#### 5.2.2 Hasil Pengujian Serbuk Kaca

Adapun hasil pengujian serbuk kaca disajikan sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Berat Volume Padat Serbuk Kaca

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan berat volume serbuk kaca dalam kondisi padat, dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

**Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Serbuk Kaca**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, W1 (gr)	5245	5171	5208
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	7637	7809	8073,5
Berat Agregat $W3 = W2 - W1$ (gr)	2392	2638	2865,5
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1713,615	1665,613	1689,614
Berat Volume Padat, $W3 / V$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,395	1,583	1,489

Hasil Tabel 5.5, diperoleh nilai rata-rata berat volume padat serbuk kaca sebesar 1,489 gram/cm<sup>3</sup>.

## 2. Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kaca

Pengujian berat volume serbuk kaca pada kondisi gembur dilaksanakan guna memperoleh nilai berat volume serbuk kaca dalam keadaan tidak padat. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.6.

**Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kaca**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, W1 (gr)	5245	5171	5208
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	7500	7345	7422,5
Berat Agregat W3 = W2 – W1 (gr)	2255	2174	2214,5
Volume Tabung, V (cm <sup>3</sup> )	1713,615	1665,613	1689,614
Berat Volume Padat, W3 / V (gr/cm <sup>3</sup> )	1,315	1,305	1,310

Dari Tabel 5.6, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur serbuk kaca sebesar 1,310 gram/cm<sup>3</sup>.

### 5.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun *Paving Block*

Untuk pengujian ini, jumlah bahan yang diperlukan untuk *membuat paving block* dihitung dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Sebelum membuat benda uji, jumlah bahan yang diperlukan harus dihitung sesuai dengan rencana. Perhitungan ini menggunakan rasio campuran 1 pc : 6 ps dengan fas 0,35 dari berat semen. Perbandingan dilakukan untuk menentukan kebutuhan jumlah serbuk kaca yang diperlukan terhadap semen. Hasil dari penghitungan bahan yang diperlukan untuk paving block adalah berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume paving block} &= p \times l \times t \\
 &= 20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \\
 &= 1200 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat pasir} &= 1,696 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Faktor pemadatan mesin hidrolis = 1,3

### 5.3.1 Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus

Uraian berikut menjelaskan jumlah kebutuhan agregat halus yang digunakan sebagai bahan penyusun *paving block*.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir 1 buah} &= \frac{6}{7} \times V. \text{ pasir} \times V. \text{ paving} \times \text{Faktor pemadatan mesin} \\ &= \frac{6}{7} \times 1,696 \times 1200 \times 1,3 \\ &= 2267,794 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir untuk 12 buah} &= 12 \times 2267,794 \\ &= 27213,531 \text{ gr} \end{aligned}$$

### 5.3.2 Perhitungan Kebutuhan Semen

Berikut disajikan kebutuhan semen sebagai bahan penyusun *paving block*.

$$\begin{aligned} \text{Semen yang dibutuhkan} &= \frac{\text{Kebutuhan Pasir}}{\text{Kebutuhan Semen}} \\ &= \frac{2267,794}{6} \\ &= 377,966 \text{ gr} \\ \text{Semen yang dibutuhkan untuk 12 buah} &= 377,966 \times 12 \text{ buah} \\ &= 4535,589 \text{ gr} \end{aligned}$$

### 5.3.3 Perhitungan Kebutuhan Serbuk Kaca

Berikut dijelaskan kebutuhan serbuk kaca untuk penyusunan *paving block* pada masing-masing variasi yang digunakan 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sebagai pengganti semen.

$$\begin{aligned} 0\% &= \frac{0}{100} \times 4535,589 = 0 \text{ gr} \\ 2,5\% &= \frac{2,5}{100} \times 4535,589 = 113,390 \text{ gr} \\ 5\% &= \frac{5}{100} \times 4535,589 = 226,779 \text{ gr} \\ 7,5\% &= \frac{7,5}{100} \times 4535,589 = 340,169 \text{ gr} \\ 10\% &= \frac{10}{100} \times 4535,589 = 453,559 \text{ gr} \end{aligned}$$

Maka kebutuhan semen sebagai bahan penyusun *paving block* yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 0\% &= 4535,589 - 0 = 4535,589 \text{ gr} \\
 2,5\% &= 4535,589 - 113,390 = 4422,199 \text{ gr} \\
 5\% &= 4535,589 - 226,779 = 4308,809 \text{ gr} \\
 7,5\% &= 4535,589 - 340,169 = 4195,419 \text{ gr} \\
 10\% &= 4535,589 - 453,559 = 4082,030 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

#### 5.3.4 Perhitungan Kebutuhan Air

Berikut dijelaskan kebutuhan air untuk penyusunan *paving block* pada masing-masing variasi yang digunakan 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.

$$\begin{aligned}
 0\% &= 0,35 \times 4535,589 = 1587,456 \text{ gr} \\
 2,5\% &= 0,35 \times 4422,199 = 1547,769 \text{ gr} \\
 5\% &= 0,35 \times 4308,809 = 1508,083 \text{ gr} \\
 7,5\% &= 0,35 \times 4195,419 = 1468,396 \text{ gr} \\
 10\% &= 0,35 \times 4082,030 = 1428,710 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Berikut disajikan kebutuhan bahan penyusun *paving block*, yang meliputi semen, agregat halus (pasir), dan serbuk kaca, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.7.

**Tabel 5. 7 Komposisi Kebutuhan Campuran *Paving Block***

Variasi (%)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)	Serbuk Kaca (gr)	Jumlah Benda Uji
0	4535,589	27213,531	1587,456	0	12
2,5	4422,199	27213,531	1547,769	113,390	12
5	4308,809	27213,531	1508,083	226,779	12
7,5	4195,419	27213,531	1468,396	340,169	12
10	4082,030	27213,531	1428,710	453,559	12
<b>Total</b>	<b>21544,046</b>	<b>136067,657</b>	<b>7540,414</b>	<b>1133,897</b>	<b>60</b>

Kusdarini dkk. (2022) menyebutkan komposisi umum yang sering digunakan yaitu semen : pasir 1 : 5 sampai 1 : 12, dengan fas berada antara 0,35 – 0,40. Namun, perlu dicatat bahwa nilai fas 0,35 memerlukan penyesuaian lebih lanjut dengan keadaan agregat yang digunakan, mengingat setiap agregat memiliki kelembapan atau kadar air yang bervariasi. Oleh karena itu, diperlukan sedikit penyesuaian pada setiap campuran untuk menghasilkan komposisi campuran yang optimum, dan berpengaruh pada hasil kekuatan dan penyerapan air nantinya.

#### 5.4 Hasil Pengujian *Paving Block*

Pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus pada *paving block* setiap variasi dilakukan pengujian dengan benda uji 5 buah untuk uji kuat tekan, 3 benda uji untuk penyerapan air, dan 3 benda uji ketahanan aus. Pengujian dilaksanakan setelah masa perendaman selama 28 hari untuk mencapai kapasitas maksimal kekuatan benda uji. Total sampel yang dibuat yaitu sebanyak 60 buah diletakkan sebanyak 5 buah untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan saat pengujian.

##### 5.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan *paving block* disajikan pada Tabel 5.8 hingga Tabel 5.12 yang terdapat pada halaman berikutnya.

**Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0%**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 1	60	58	58	3755	10,582
KT 2	63	58	58	4085	10,963
KT 3	60	59	59	3875	10,735
KT 4	61	56	60	4125	11,842
KT 5	58	60	60	3950	11,131
<b>Rerata</b>					<b>11,018</b>

**Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 2,5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Panjang (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Beban Maksimum (N)</b>	<b>Kuat Tekan (MPa)</b>
KT 6	58	60	59	4875	13,738
KT 7	61	58	58	4750	13,166
KT 8	60	58	60	4425	12,470
KT 9	60	58	60	3550	10,004
KT 10	61	57	60	3800	10,718
<b>Rerata</b>					<b>12,019</b>

**Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Panjang (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Beban Maksimum (N)</b>	<b>Kuat Tekan (MPa)</b>
KT 11	62	58	57	5750	15,681
KT 12	61	57	60	5875	16,570
KT 13	62	58	59	4725	12,886
KT 14	62	58	60	5825	15,885
KT 15	61	58	60	5450	15,106
<b>Rerata</b>					<b>15,226</b>

**Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 7,5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Panjang (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Beban Maksimum (N)</b>	<b>Kuat Tekan (MPa)</b>
KT 16	61	58	58	6950	19,264
KT 17	62	57	59	5875	16,303
KT 18	62	58	59	6150	16,772
KT 19	61	57	60	6400	18,051
KT 20	62	57	58	5450	15,123
<b>Rerata</b>					<b>17,103</b>

**Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%**

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT 21	61	58	59	4225	11,711
KT 22	62	58	58	5825	15,885
KT 23	60	57	59	5325	15,269
KT 24	62	58	60	5775	15,749
KT 25	63	58	60	4475	12,010
<b>Rerata</b>					<b>14,125</b>

Analisis perhitungan :

Perhitungan ini diambil dari salah satu sampel dengan kode KT 23 yaitu sebagai berikut:

$$\text{Panjang (p)} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (l)} = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (h)} = 59 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas (A)} &= p \times l \\ &= 3.420 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Maksimum, (P)} = 5.325 \text{ kgf (konvesi ke Newton)}$$

$$= 5.325 \times 9,80665$$

$$= 52220,411 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Tekan (F'c)} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{52220,411}{3.420}$$

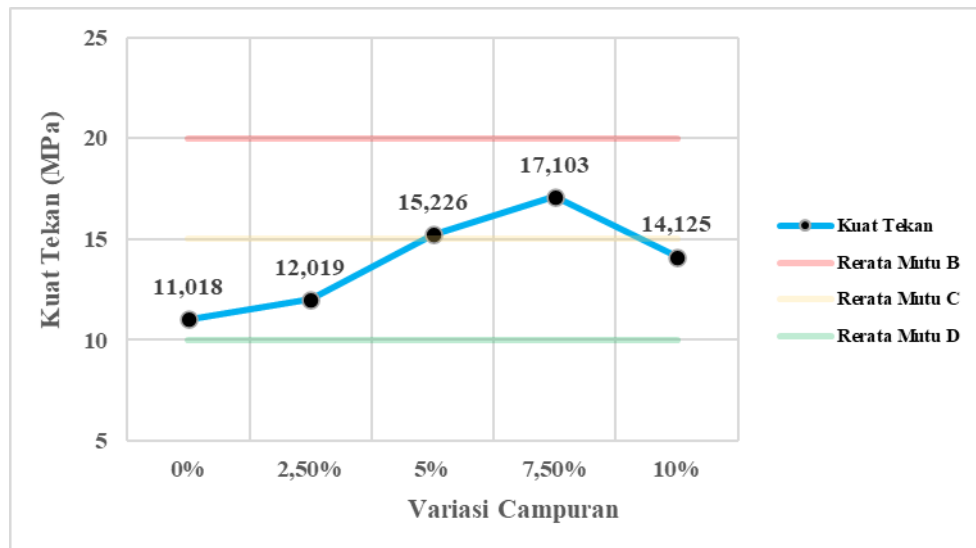
$$= 15,269 \text{ MPa}$$

Perhitungan untuk sampel lainnya dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan sebelumnya, sehingga untuk memperoleh kuat tekan rerata yaitu jumlah hasil benda uji kemudian dibagi dengan jumlahnya sampel. Maka didapatkan hasil perhitungan rerata kuat tekan sebagai berikut.

$$\text{Kuat Tekan (F'c) rerata} = \frac{11,711 + 15,885 + 15,269 + 15,749 + 12,010}{5}$$

$$= 14,125 \text{ MPa}$$

Setelah nilai rerata diperoleh, grafik pengujian kuat tekan *paving block* dibuat untuk mempermudah interpretasi hasil, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2.



**Gambar 5. 2 Grafik Pengujian Kuat Tekan *Paving Block***

Hasil analisis *paving block* kemudian diklasifikasikan berdasarkan mutu masing-masing variasi sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Hasil penggolongan mutu paving block tersebut disajikan pada Tabel 5.13.

**Tabel 5. 13 Penggolongan Mutu Kuat Tekan *Paving Block***

No	Variasi	Hasil Pengujian (MPa)		Syarat SNI Kuat Tekan (MPa)		Mutu	Fungsi
		Rerata	Min	Rerata	Min		
1.	0%	11,018	10,582	10	8,5	D	Taman
2.	2,5%	12,019	10,004	10	8,5	D	Taman
3.	5%	15,226	12,886	15	12,5	C	Pejalan Kaki
4.	7,5%	17,103	15,123	15	12,5	C	Pejalan Kaki
5.	10%	14,125	11,711	10	8,5	D	Taman

Benda uji direndam selama 28 hari dan dikeringkan, kemudian ditekan menggunakan alat uji kuat tekan hingga mengalami retak atau hancur untuk mendapat nilai beban maksimum yang dapat diterima oleh *paving block*. Sebelum pengujian, benda uji dipotong dengan ukuran sekitar  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  agar proses pengujian lebih mudah dilakukan.

Hasil yang diperoleh pada pengujian kuat tekan didapatkan rerata dengan campuran 0% yaitu 11,018 MPa. Untuk variasi 2,5%, 5%, dan 7,5% mengalami kenaikan yaitu sebesar 12,019 MPa, 15,226 MPa, dan 17,103 MPa. Sedangkan untuk variasi 10% mengalami penurunan dari ke-3 variasi yaitu sebesar 14,125%.

Peningkatan kuat tekan yang signifikan terjadi pada *paving block* dengan variasi 2,5%, 5%, dan 7,5%. Hal ini disebabkan oleh substitusi serbuk kaca yang dapat memadat dengan baik sehingga memperkuat ketahanan beton. Selain itu, faktor pendukung lainnya yaitu dengan adanya senyawa silika yang terkandung dalam serbuk kaca dan kalsium hidroksida yang terdapat pada semen. Perpaduan antara silika dari serbuk kaca dan kalsium hidroksida menghasilkan senyawa tambahan yang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan material *paving block*. Penggunaan campuran serbuk kaca sebagai substitusi semen dapat memperkuat ikatan antar partikel, yang menyebabkan meningkatnya nilai kuat tekan *paving block*. Sehingga, *paving block* dengan substitusi serbuk kaca menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *paving block* normal tanpa substitusi serbuk kaca. Namun, kuat tekan pada *paving block* dengan variasi 10% mengalami penurunan yang disebabkan oleh proses pengikatan senyawa menjadi lebih lambat dikarenakan pengurangan fungsi semen sebagai pengikat, karena di dalamnya terdapat kandungan senyawa *Alite* (trikalsium silikat) yang berfungsi utama dalam meningkatkan kekuatan beton berkurang karena tersubstitusi oleh serbuk kaca (Kusuma dkk. 2020). Sehingga proses pembentukan senyawa pengikat tidak terjadi secara optimal dan menyebabkan pepadatan struktur yang kurang sempurna. Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya dan Rasyid (2023) mengatakan bahwa semakin besar penambahan serbuk kaca maka dapat mengurangi nilai itu sendiri. Dampak yang terjadi pada *paving block* yaitu menurunnya daya tahan *paving block*

terhadap beban tekan, sehingga material menjadi rapuh dan mudah mengalami kerusakan saat mendapat tekanan.

Setelah pengujian kuat tekan dilakukan, serbuk kaca bisa dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam pembuatan *paving block* dikarenakan hasil yang didapatkan bahwa penggunaan serbuk kaca memberikan naiknya kualitas yang optimal pada variasi 7,5% dengan hasil nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *paving block* tanpa adanya campuran serbuk kaca. Oleh karena itu, pada variasi *paving block* dengan adanya tambahan serbuk kaca berpotensi untuk diaplikasikan secara luas dan memiliki daya saing terhadap produk *paving block* lain di pasaran.

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian semen berdampak pada meningkatnya kuat tekan yang paling optimal pada variasi 7,5%. Mengacu pada SNI 03-0691-1996, klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan hasil kuat tekan yaitu Mutu A dengan rata-rata 40 MPa, mutu B rata-rata 20 MPa, mutu C dengan rata-rata 15 MPa, dan mutu D yaitu rata-ratanya 10 MPa. Sehingga dapat dikategorikan bahwa variasi 0%, 2,5%, dan 10% masuk ke dalam mutu D yang berfungsi untuk Taman. Sedangkan 5% dan 7,5% masuk ke dalam mutu C yang fungsinya untuk Pejalan Kaki.

#### 5.4.2 Pengujian Penyerapan Air

Adapun hasil pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada Tabel 5.14 sampai Tabel 5.18 pada halaman selanjutnya.

**Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Basah (gr)</b>	<b>Berat Kering (gr)</b>	<b>Penyerapan Air (%)</b>
PA 1	2375	2175	9,195
PA 2	2352	2151	9,344
PA 3	2407	2178	10,514
<b>Rerata</b>			<b>9,685</b>

**Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 2,5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Basah (gr)</b>	<b>Berat Kering (gr)</b>	<b>Penyerapan Air (%)</b>
PA 4	2390	2165	10,393
PA 5	2376	2194	8,295
PA 6	2353	2176	8,134
<b>Rerata</b>			<b>8,941</b>

**Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Basah (gr)</b>	<b>Berat Kering (gr)</b>	<b>Penyerapan Air (%)</b>
PA 7	2391	2213	8,043
PA 8	2411	2249	7,203
PA 9	2318	2142	8,217
<b>Rerata</b>			<b>7,821</b>

**Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 7,5%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Basah (gr)</b>	<b>Berat Kering (gr)</b>	<b>Penyerapan Air (%)</b>
PA 10	2419	2241	7,943
PA 11	2336	2179	7,205
PA 12	2381	2237	6,437
<b>Rerata</b>			<b>7,195</b>

**Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Basah (gr)</b>	<b>Berat Kering (gr)</b>	<b>Penyerapan Air (%)</b>
PA 13	2384	2260	5,487
PA 14	2381	2219	7,301
PA 15	2362	2228	6,014
<b>Rerata</b>			<b>6,267</b>

Analisis perhitungan :

Perhitungan ini diambil dari salah satu sampel dengan kode PA 13 yaitu sebagai berikut:

Berat basah = 2384 gr

Berat kering = 2260 gr

Penyerapan air =  $\frac{\text{Berat basah} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\%$

$$= \frac{2384}{2260} \times 100\%$$

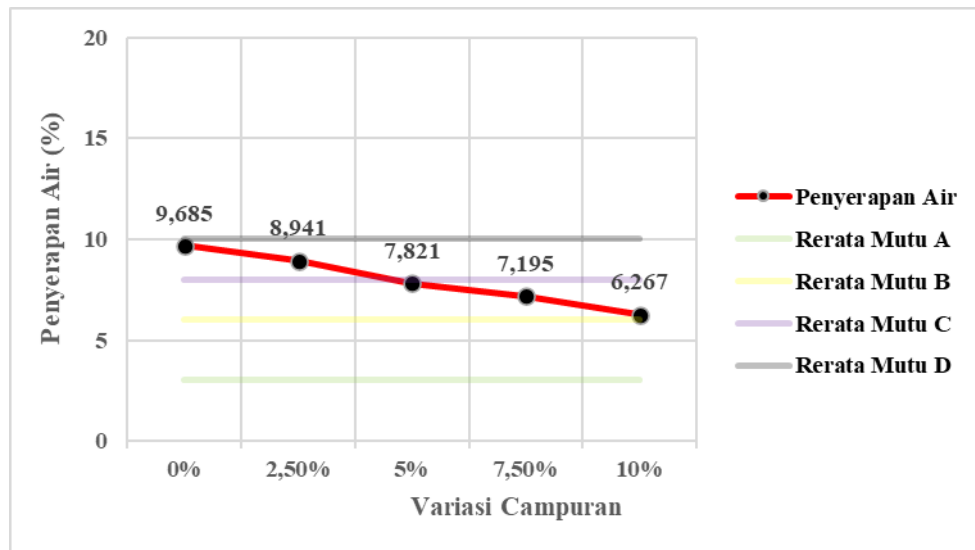
$$= 5,487 \%$$

Perhitungan untuk mengetahui rerata pada pengujian ini dilakukan dengan cara menjumlahkan hasil dari setiap benda uji *paving block* kemudian dibagi dengan jumlah benda uji penyerapan air tersebut. Di bawah ini merupakan perhitungan hasil dari uji penyerapan air.

$$\text{Penyerapan air rata-rata} = \frac{5,487 + 7,301 + 6,014}{3}$$

$$= 6,267 \%$$

Data hasil perhitungan di atas dapat dilihat dalam bentuk grafik untuk menggambarkan pengujian penyerapan air pada *paving block*. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 5.3.



**Gambar 5. 3 Grafik Pengujian Penyerapan Air *Paving Block***

Berdasarkan hasil analisis, *paving block* dikategorikan menurut mutu untuk setiap variasi mengacu pada SNI 03-0691-1996, dengan hasil penggolongan mutu ditunjukkan pada Tabel 5.19.

**Tabel 5. 19 Penggolongan Mutu Penyerapan Air *Paving Block***

No	Variasi	Hasil Rerata Penyerapan Air (%)	Syarat SNI Penyerapan Air Rerata Maks (%)	Mutu	Fungsi
1.	0%	9,685	10	D	Taman
2.	2,5%	8,941	10	D	Taman
3.	5%	7,821	8	C	Pejalan Kaki
4.	7,5%	7,195	8	C	Pejalan Kaki
5.	10%	6,267	8	C	Pejalan Kaki

Pengujian penyerapan air dilakukan dengan benda uji *paving block* direndam selama 24 jam. Setelah proses perendaman, benda uji kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam. Setelah benda uji melalui proses ini, selanjutnya ditimbang untuk mendapatkan data yang diperlukan yaitu pengujian penyerapan air.

Prosedur ini dilakukan mengacu pada ketentuan yang berlaku dan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Nilai rata-rata penyerapan air pada benda uji *paving block* normal diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan, yaitu sebesar 9,685%, dan mengalami penurunan bertahap pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sebesar 8,941%, 7,821%, 7,195%, dan 6,267%. Pada setiap variasi mengalami penurunan nilai penyerapan air pada *paving block* yang menggunakan serbuk kaca sebagai bahan substitusi sebagian semen. Hal ini disebabkan oleh sifat dari serbuk kaca yang cenderung tidak menyerap air. Wijaya dkk. (2020) menjelaskan selain dari sifat tersebut, serbuk kaca juga dapat mengisi pori-pori atau rongga yang terdapat pada beton secara efektif sehingga berpengaruh pada tingkat penyerapan air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai penyerapan air terendah diperoleh pada variasi 10%, yakni sebesar 6,267%.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa serbuk kaca sebagai substitusi sebagian semen memiliki kemampuan penyerapan air yang rendah, hal ini disebabkan oleh sifat kaca yang tidak menyerap air. Sesuai dengan SNI-03-0691-1996, *paving block* dengan variasi 0% dan 2,5% termasuk pada kategori mutu D yang berfungsi sebagai Taman. Untuk variasi 5%, 7,5%, dan 10% masuk ke dalam kategori mutu C yang berfungsi untuk pejalan kaki.

#### 5.4.3 Pengujian Ketahanan Aus

Adapun hasil pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada Tabel 5.20 sampai Tabel 5.24.

**Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0%**

<b>Kode Sampel</b>	<b>Berat Awal (mm)</b>	<b>Berat Akhir (mm)</b>	<b>G (gram/menit)</b>	<b>Ketahanan Aus (mm/menit)</b>
KA 1	126,34	124,28	0,412	0,544
KA 2	117,52	116,75	0,154	0,219
KA 3	120,98	119,68	0,260	0,352
<b>Rerata</b>				<b>0,372</b>

Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 2,5%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 4	113,87	112,59	0,256	0,347
KA 5	112,24	110,87	0,274	0,370
KA 6	115,85	114,61	0,248	0,337
<b>Rerata</b>				<b>0,351</b>

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 5%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 7	121,14	120,04	0,220	0,302
KA 8	112,51	111,52	0,198	0,274
KA 9	121,32	119,97	0,270	0,365
<b>Rerata</b>				<b>0,314</b>

Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 7,5%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 10	121,31	120,19	0,224	0,307
KA 11	122,67	121,41	0,252	0,342
KA 12	131,85	130,59	0,252	0,342
<b>Rerata</b>				<b>0,330</b>

Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 13	122,83	121,49	0,268	0,362
KA 14	118,41	117,23	0,236	0,322
KA 15	121,72	120,15	0,314	0,420
<b>Rerata</b>				<b>0,368</b>

Analisis perhitungan :

Perhitungan ini diambil dari salah satu sampel dengan kode KA 14 yaitu sebagai berikut:

Berat awal (sebelum uji), A = 118,41 gr

Berat akhir (setelah uji), B = 117,23 gr

Waktu pengujian, t = 5 menit

Kehilangan, G =  $\frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Waktu pengujian}}$

$$= \frac{118,41 - 117,23}{5}$$

$$= 0,236 \text{ gr/menit}$$

Ketahanan aus, D =  $1,26 \times G + 0,0246$

$$= 1,26 \times 0,236 + 0,0246$$

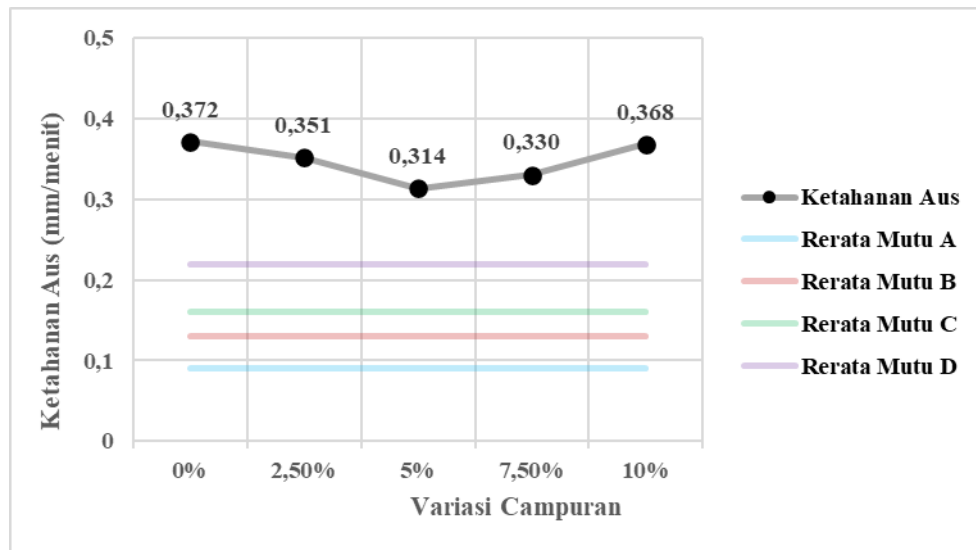
$$= 0,322 \text{ mm/menit}$$

Untuk perhitungan sampel yang lain sama seperti dengan perhitungan diatas, sehingga untuk memperoleh ketahanan aus rerata yaitu jumlah hasil benda uji kemudian dibagi dengan jumlahnya sampel. Maka didapatkan hasil perhitungan rerata ketahanan aus sebagai berikut.

$$\text{Ketahanan aus (D) rata - rata} = \frac{0,362 + 0,322 + 0,420}{3}$$

$$= 0,368 \text{ mm/menit}$$

Setelah diperoleh nilai rerata, dibuat grafik untuk pengujian ketahanan aus pada *paving block*. Grafik hasil pengujian tersebut disajikan pada Gambar 5.4.



**Gambar 5. 4 Grafik Pengujian Ketahanan Aus**

Berdasarkan hasil analisis, *paving block* diklasifikasikan menurut mutu masing-masing variasi dengan mengacu pada standar SNI 03-0691-1996. Hasil klasifikasi mutu tersebut disajikan pada Tabel 5.25 untuk memudahkan perbandingan kualitas antar variasi.

**Tabel 5. 25 Penggolongan Mutu Ketahanan Aus *Paving Block***

No	Variasi	Hasil Pengujian (mm/menit)		Syarat SNI Ketahanan Aus (mm/menit)		Mutu	Fungsi
		Rerata	Maks	Rerata	Min		
1.	0%	0,372	0,544	-	-	-	-
2.	2,5%	0,351	0,370	-	-	-	-
3.	5%	0,314	0,365	-	-	-	-
4.	7,5%	0,330	0,342	-	-	-	-
5.	10%	0,368	0,420	-	-	-	-

Pada pengujian ketahanan aus, *paving block* terlebih dahulu melalui tahap perendaman selama 28 hari untuk memastikan benda uji mencapai kondisi jenuh

air, kemudian dikeringkan selama kurang lebih 14 hari agar berada pada kondisi kering sebelum pengujian. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipotong dengan ukuran  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  sesuai ketentuan SNI 03-0691-1996, agar sesuai dengan spesifikasi alat pengujian dan memudahkan proses pengujian. Pengujian ketahanan aus kemudian dilakukan dengan menggunakan mesin ketahanan aus dan durasi kurang lebih 5 menit. Tingkat ketahanan aus benda uji ditentukan dengan membandingkan perbedaan massa atau kondisi benda uji sebelum dan sesudah pengujian, sehingga dapat diketahui sejauh mana permukaan *paving block* tahan terhadap gesekan.

Hasil yang diperoleh pada pengujian ketahanan aus didapatkan rerata dengan campuran 0% yaitu 0,372%. Untuk variasi 2,5% dan 5% mengalami penurunan sedangkan pada variasi 7,5% dan 10% mengalami kenaikan. Sudjati dkk. (2014) menyebutkan karena berat jenis serbuk kaca lebih rendah dibandingkan dengan semen sehingga menyebabkan berat isi atau berat volume beton cenderung lebih rendah dari beton normal. Faktor lain yang mempengaruhi yaitu saat proses pencampuran pada agregat yang tersimpan kurang baik sehingga menyebabkan kandungan fas yang berbeda antara permukaan dan yang ada di dalam agregat. Selain itu, pencetakan benda uji dimana serbuk kaca mengalami pengendapan saat pencampuran sehingga permukaan benda uji pada pengujian ketahanan aus ini tidak memenuhi syarat lulus uji sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Jointina (2023) menjelaskan bahwa pengujian yang dilakukan dengan ukuran gradasi dari butiran agregat dan limbah kaca yang terlalu halus dan apabila gradasi didominasi oleh butiran halus maka nilai kausan akan semakin tinggi karena dapat mempengaruhi permukaan benda uji yang menjadi mudah terkikis karena bahan penyusun yang digunakan adalah agregat dan limbah dengan butiran yang halus. Selain itu, senyawa  $\text{SiO}_2$  yang terkandung pada serbuk kaca menyebabkan terbentuknya ASR (alkali silika reaksi), dimana kandungan ini membuat terbentuknya gel alkali yang menyebabkan retak dan pecahnya pasta semen, sehingga benda uji menjadi lebih rapuh, berpori, dan ikatan antar partikel berkurang yang menyebabkan permukaan benda uji lebih mudah aus. Refandri (2023) menuturkan jika berkurangnya kadar kalsium hidroksida yang tergantikan serbuk kaca terhadap semen mengakibatkan

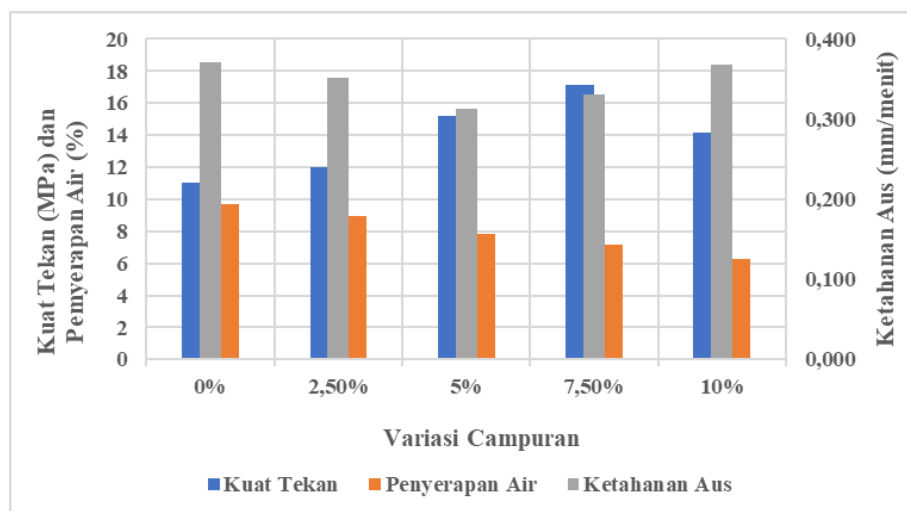
serbuk kaca kurang bereaksi terhadap ikatan antara partikel-partikelnya dan berpengaruh mengurangi ikatan antar butiran agregat sehingga *paving block* pada permukaannya mudah terkikis karena terdapat rongga-rongga pada saat penggesekan pengujian ketahanan aus.

Kesimpulan yang dapat diambil bahwa serbuk kaca sebagai substitusi semen tidak terlalu signifikan memberikan dampak pada *paving block* di pengujian ketahanan aus. Syarat lulus uji sesuai dengan SNI 03-0691-1996 yaitu rata-rata maksimum untuk kelas A sebesar 0,090 mm/menit, rata-rata untuk kelas B sebesar 0,130 mm/menit, rata-rata untuk kelas C sebesar 0,160, dan rata-rata maksimum untuk kelas D yaitu 0,219 mm/menit. Hasil pengujian ketahanan aus pada variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% masing-masing menunjukkan nilai sebesar 0,372 mm/menit, 0,351 mm/menit, 0,314 mm/menit, 0,330 mm/menit, dan 0,368 mm/menit, yang semuanya berada di atas batas maksimum yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996, sehingga tidak memenuhi persyaratan standar.

## 5.5 Hasil Keseluruhan Pembahasan

Secara keseluruhan, berdasarkan pembahasan hasil pengujian, nilai maksimum kuat tekan *paving block* tercatat pada variasi 7,5%. untuk penyerapan air pada variasi 10%, dan untuk ketahanan aus berada pada variasi 5%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa serbuk kaca memiliki beberapa pengaruh untuk peningkatan kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus *paving block*. Namun, ketika substitusi serbuk kaca sebagai pengganti semen yang terlalu tinggi menyebabkan tingginya kadar kalsium hidroksida dan ASR pada serbuk kaca dan berdampak pada menurunnya kekuatan dan ketahanan aus *paving block*. Dimana proses pemadatan kurang terjadi secara optimum dan ikatan antar partikel kurang baik karena kandungan semen yang berkurang pada setiap variasi penelitian. Semakin berkurangnya semen, semakin berkurang juga kandungan kalsium hidroksida dan semakin tingginya kandungan ASR, sehingga *paving block* lebih rentan terhadap tekanan dan gesekan yang terjadi. Meskipun demikian, serbuk kaca memiliki kontribusi terhadap penyerapan air yang lebih baik, mengingat salah satu sifat yang

dimiliki serbuk kaca adalah ketahanannya terhadap penyerapan air. Grafik hasil pengujian keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5.5 di bawah ini.



**Gambar 5. 5 Grafik Plot Pengujian Kuat Tekan, Penyerapan Air, dan Ketahanan Aus *Paving Block***

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dari pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus menunjukkan nilai maksimum pada masing-masing variasi campuran yang berbeda. Pada hasil penelitian ini merekomendasikan *paving block* dengan variasi substitusi 7,5% sebagai pilihan yang sesuai karena memberikan keseimbangan paling efektif di antara ke-3 parameter yang diuji. Pada variasi ini, diperoleh kuat tekan tertinggi yang masih memenuhi persyaratan mutu *paving block*, sementara nilai penyerapan air dan ketahanan aus juga berada dalam batas standar SNI. Mengingat aplikasi *paving block* lebih menekankan pada kemampuan menahan beban tekan, maka variasi 7,5% dinilai paling efektif untuk diterapkan dan diaplikasikan untuk pejalan kaki.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada *paving block* yang menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian semen, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Nilai rata-rata kuat tekan benda uji *paving block* pada variasi 0% atau dalam keadaan normal yaitu sebesar 11,018 MPa, kemudian kuat tekan *paving block* pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% secara berturut-turut sebesar 12,019 MPa, 15,226 MPa, 17,103 MPa, dan 14,125 MPa. Pengaruh substitusi serbuk kaca terhadap semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada *paving block* pada variasi 7,5% dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 17,103 MPa karena terjadi keseimbangan antara reaksi pozzolanik serbuk kaca dan ketersediaan semen aktif. Namun, semakin tinggi variasi, nilai kuat tekan *paving block* mengalami penurunan yaitu pada variasi 10% sebesar 14,125 MPa yang disebabkan oleh kandungan semen aktif mulai berkurang karena kenaikan variasi, sehingga kalsium hidroksida yang ada tidak seimbang dengan jumlah kadar silika, selain itu menyebabkan terjadinya pengenceran semen (*dilation effect*) yang membentuk senyawa C-S-H tidak optimal dan ikatan antar partikel menjadi lemah.
2. Nilai rata-rata penyerapan air benda uji *paving block* pada variasi 0% atau dalam keadaan normal yaitu sebesar 9,685%, kemudian penyerapan air *paving block* pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% secara berturut-turut sebesar 8,941%, 7,821%, 7,195%, dan 6,267%. Berdasarkan hasil diatas, pengaruh substitusi serbuk kaca terhadap semen mempengaruhi nilai penyerapan air dimana sifat kaca yang tidak menyerap air dan berperan efektif sebagai filler yang mengisi pori-pori terbuka pada *paving block* dimana mikrostruktur *paving block* menjadi lebih rapat sehingga air sulit

masuk. Hasil akhir yang didapat yaitu mengalami penurunan dari *paving block* tanpa substitusi serbuk kaca.

3. Nilai rata-rata ketahanan aus benda uji *paving block* pada variasi 0% atau dalam keadaan normal yaitu sebesar 0,372 mm/menit. Selanjutnya, ketahanan aus *paving block* pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% masing-masing tercatat sebesar 0,351 mm/menit, 0,314 mm/menit, 0,330 mm/menit, dan 0,368 mm/menit. Dapat diketahui bahwa substitusi serbuk kaca dapat mempengaruhi ketahanan aus pada variasi campuran 2,5% dan 5% dimana hasil yang diperoleh mengalami penurunan namun tidak berdampak signifikan. Pada variasi campuran 7,5% dan 10% nilai ketahanan aus mengalami kenaikan dari variasi sebelumnya. Oleh karena itu, perlu diketahui bahwa substitusi serbuk kaca pada pengujian ini kurang berdampak baik pada hasil yang belum memenuhi persyaratan dikarenakan berat jenis kaca yang lebih kecil dari berat jenis semen yang berdampak pada berat isi beton lebih ringan dari berat beton normal, hal ini dikarenakan serbuk kaca mengalami pengendapan. Selain itu, faktor yang mempengaruhi yaitu bahan serbuk kaca yang digunakan tergolong halus sehingga permukaan *paving block* mudah terkikis. Kandungan kalsium hiroksida yang berkurang karena tersubstitusi serbuk kaca juga mempengaruhi tingkat kepadatan dan kandungan ASR yang ada dalam serbuk kaca dapat berdampak pada retak atau pecahnya pasta semen karena terlalu signifikan tergantikan dengan serbuk kaca itu sendiri.
4. Berdasarkan data dan hasil yang telah diuji, variasi substitusi yang tertinggi dari pengujian kuat tekan yaitu berada pada variasi 7,5% dengan nilai kuat tekan 17,103 MPa tergolong pada kategori Mutu C yang digunakan untuk Taman. Untuk variasi substitusi yang terbaik pada pengujian penyerapan air yaitu terdapat pada variasi 10% dengan nilai 6,267% termasuk ke dalam Mutu D yang difungsikan untuk pejalan kaki. Kemudian, nilai ketahanan aus yang baik dihasilkan pada substitusi campuran dengan variasi 5% yang mendapatkan nilai sebesar 0,314 mm/menit walaupun belum memenuhi syarat fisika yang ditentukan. Namun, masing-masing memiliki nilai

maksimum yang terdapat pada uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus dari variasi campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini yang perlu menjadi perhatian lebih lanjut. Hal ini menjadi dasar bagi peneliti untuk memberikan saran bagi penelitian berikutnya. Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mencoba menggunakan serbuk kaca dengan ukuran lebih besar sekitar 5 – 10 mm dan serbuk kaca digunakan sebagai bahan tambah atau campuran untuk mendapatkan *paving block* dengan mutu yang lebih tinggi.
2. Untuk penelitian selanjutnya dipastikan keadaan agregat halus disimpan dalam tempat yang aman dan keadaan yang sama karena dapat mempengaruhi gangguan kadar fas yang ada di dalamnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya proporsi perbandingan disarankan menggunakan 1 pc : 5 ps untuk mendapatkan mutu yang lebih baik.
4. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan substitusi lainnya yang pasti berpotensi dapat meningkatkan kualitas mutu *paving block* dari segi uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, S. Dan Larasatai, D.D. 2013. “Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Bahan Baku Pengembangan Produk,” *Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa Dan Desain*, Hlm. 6.
- Adani, T., Handayani, D. Dan Ilonka, W.A. 2024. “Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Dan Limbah Serbuk Keramik Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Paving Block,” *Enviro: Journal Of Tropical Environmental Research*, 25(2), Hlm. 20. Tersedia Pada: <https://doi.org/10.20961/Enviro.V25i2.85074>.
- Aji, A.R. 2022. Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus, Dan Penyerapan Air Pada *Paving Block (The Effect Of The Use Of Stone Ash As A Part Of Sand Replacement On Compressive Strength, Wear Resistance, And Water Absorption In Paving Block)*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Aji, W.S., Rakhmawati, A. Dan Arnandha, Y. 2019. “Pemanfaatan Limbah Pp (Poly Propylene) Dan Gerusan Batu Bata Dalam Pembuatan *Paving Block*,” *Jurnal Universitas Tidar*, Hlm. 4.
- American Society For Testing And Material 2022. “Astm C150/C150m-22 Standard Specification For Portland Cement.”
- Badan Standardisasi Nasional 1990. “SNI 03-1750-1990 Metode Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Lapangan.”
- Badan Standardisasi Nasional 1990. “SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar.”
- Badan Standardisasi Nasional 1996. “SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*).”
- Badan Standardisasi Nasional 1996. “SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 Mm).”
- Badan Standardisasi Nasional 1998. “SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat.”
- Hamid, N.B. dkk. 2019. “Development Of Paving Blocks Using Waste Materials,” *International Journal Of Innovative Technology And Exploring Engineering*, 8(9s3), Hlm. 1329–1335. Tersedia Pada: <https://doi.org/10.35940/Ijitee.I3288.0789s319>.

- Hasballah, M.H. 2023. Pengaruh Limbah Batu Alam Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Pasir Pada Pembuatan *Paving Block (The Effect Of Natural Stone Waste As A Substance Material On Paving Block Manufacturing)*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Jamaaluddin, K.H. Dan Jafar, J. 2023. “Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Dan Silica Fume Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Propertis Mekanik Beton,” *Jurnal Sipil Politeknik*, 25 No. 2.
- Jointina, D. 2023. Pengaruh Substitusi Limbah Las Karbit Dan Limbah Kaca Sebagai Bahan Penyusun Terhadap Kualitas *Paving Block (The Effect Of Substitution Carbide Waste And Glass Waste As Substance Material On The Quality Of Paving Block)*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Kusdarini, E., Ulviandri, F.I. Dan Sari, A.S. 2022. “Penentuan Komposisi Bahan Baku Pada Pemanfaatan Fly Ash Pada Proses Produksi Paving Block,” *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(2), Hlm. 103–112. Tersedia Pada: <https://doi.org/10.26760/Rekalingkungan.V10i2.103-112>.
- Lilis Indriani 2025. “Pengaruh Bahan Tambahan Limbah Botol Kaca Pada Kuat Tekan Paving Block,” *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 13, Hlm. 42–50.
- Pasaribu, N.B. 2022. *Pengaruh Limbah Serbuk Kaca (Glass Powder) Terhadap Karakteristik Paving Block*. Tugas Akhir. Medan: Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Pranata, A.A. Dan Imaduddin, M. 2008. “Pengaruh Kuat Tekan, Penyerapan Air, Dan Ketahanan Aus Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Paving Block Dengan 50% Copper Slag Terhadap Pasir,” *Jurnal Teknik Sipil*, Hlm. 9.
- PUB I 1982. “Syarat Mutu Agregat Untuk Beton Sk Sni S – 04 04 – 1989 – F.”
- Purnomo, H. Dan Hisyam, E.S. 2014. “Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan Dan Kekuatan Tarik Belah Beton,” 2.
- Randiestha E. Dan Mahardi P. 2022. “Desain Campuran Paving Block Dengan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Serat Ijuk Sebagai Bahan Tambah,” *SI Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya*, Hlm. 5.
- Refandri, M.I. 2023. Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus, Dan Penyerapan Air Pada *Paving Block (The Effect Of Adding A Glass Powder As A Partial Cement*

*Substitute To Compressive Strength, Wear Resistance, And Water Absorption Of Paving Block*). Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Rikardus, J.J.S.T.Y. 2014. "Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton," *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1). Tersedia Pada: <https://doi.org/10.24002/jts.V13i1.639>.

Sudarno, S. 2021. "Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan Paving Block," *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 3(2), Hlm. 101. Tersedia Pada: <https://doi.org/10.47600/jtst.V3i2.290>.

Tjokrodinuljo 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kmts Ft Ugm.

Wijaya, A. Dan Rasyid, A.H.A. 2023. "Analisa Kekerasan Dan Ketahanan Aus Baja Aisi 1045 Akibat Heat Treatment Dengan Variasi Temperatur Dan Media Quenching Air Garam Untuk Aplikasi Sprocket Gear," *Jurnal Teknik Mesin*, 11.

Wijaya Kusuma, M., Sri Sunarsih, E. Dan Lilo Adi Sucipto, T. 2020. "Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Volume Pasir Dan Fly Ash 20% Sebagai Bahan Pengganti Semen Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Berat Jenis Beton Dalam Lingkungan Agresi Sulfat 5%," *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 6(2), Hlm. 24. Tersedia Pada: <https://doi.org/10.20961/ijcee.V6i2.53664>.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Surat Keterangan Bebas Plagiasi



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia  
Gedung Moh. Hatta  
Jl. Kalurang Km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext.2301  
F. (0274) 898444 psw.2091  
E. perpustakaan@uii.ac.id  
W. library.uui.ac.id

### SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2853204273/Perpus./10/Dir.Perpus/VII/2025

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Mahendra Surya Atmaja  
Nomor Mahasiswa : 21511125  
Pembimbing : Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM  
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil  
Judul Karya Ilmiah : PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK KACA DAUR ULANG SEBAGAI SUBSTITUTOR PARSIAL SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, PENYERAPAN AIR, DAN KETAHANAN AUS PAVING BLOCK (IMPACT OF RECYCLED GLASS POWDER IN PARTIAL CEMENT SUBSTITUTION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, WATER ABSORPTION, AND ABRASION RESISTENCE OF PAVING BLOCKS)

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **14 (Empat Belas) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 1/6/2026

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

## Lampiran 2 Surat Permohonan Penggunaan Laboratorium



**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id



Nomor : 464/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2025  
Hal : Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium

Kepada Yth:  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
FTSP UII  
di Yogyakarta

**Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,**

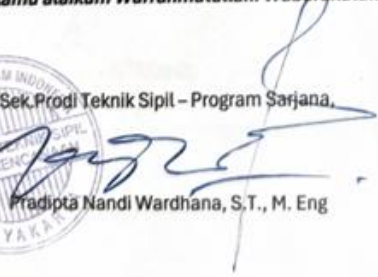
Melalui surat ini kami memohon kepada pimpinan Jurusan Teknik Sipil untuk dapat memberikan izin penelitian untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	: Mahendra Surya Atmaja
NIM	: 21511125
No. HP Mahasiswa	: 087777888457
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Kaca Daur Ulang Sebagai Substitutior Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air, Dan Ketahanan Aus Paving Block

Kami mohon bantuan untuk dapat memberikan perizinan peminjaman laboratorium untuk Pengujian Gradasi, Pengujian Berat Volume Agregat, Pengujian Kandungan Lumpur, Pengujian Kuat Tekan, Pengujian Penyerapan Air, Pengujian Ketahanan Aus untuk kebutuhan Tugas Akhir di Laboratorium **Bahan Konstruksi Teknik**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

**Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.**



Sek Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,  
Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M. Eng

Yogyakarta, Juni 2025  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng).. IPM

ACC 23.6.25  


### Lampiran 3 Hasil Pengujian Laboratorium



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Fakultas	: Teknik Sipil dan Perencanaan	Nama	: Mahendra Surya A.
Prodi/Diploma/Pasca	: Teknik Sipil	NIM	: 21511125
Kode Mata Kuliah/Blok	:	Keperluan	: Penelitian TA
Nama Mata Kuliah/Blok	:	Tanggal Berlaku	: Rabu, 12/11/2025

**PENGUJIAN KUAT TEKAN *PAVING BLOCK***  
(SNI 03-0691-1996)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
KT 1	60	58	58	3755	10,582
KT 2	63	58	58	4025	10,802
KT 3	60	59	59	3875	10,735
KT 4	61	56	60	4125	11,842
KT 5	58	60	60	3950	11,131
Rerata					11,018

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
KT 6	58	60	59	4875	13,738
KT 7	61	58	58	4750	13,166
KT 8	60	58	60	4425	12,470
KT 9	60	58	60	3550	10,004
KT 10	61	57	60	3800	10,718
Rerata					12,019

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
KT 11	62	58	57	5750	15,681
KT 12	61	57	60	5875	16,570
KT 13	62	58	59	4725	12,886
KT 14	62	58	60	5825	15,885
KT 15	61	58	60	5450	15,106
Rerata					15,226

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
KT 16	61	58	58	6950	19,264
KT 17	62	57	59	5875	16,303
KT 18	62	58	59	6150	16,772
KT 19	61	57	60	6400	18,051
KT 20	62	57	58	5450	15,123
Rerata					17,103

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
KT 21	61	58	59	4225	11,711
KT 22	62	58	58	5825	15,885
KT 23	60	57	59	5325	15,269
KT 24	62	58	60	5775	15,749
KT 25	63	58	60	4475	12,010
Rerata					14,125

Diperiksa oleh:  
Kepala Laboratorium BKT



Astriana Hardawati, S. T., M. Eng.

Diuji oleh:  
PLP Laboratorium BKT



Daru Salam, A. Md.

Fakultas	: Teknik Sipil dan Perencanaan	Nama	: Mahendra Surya A.
Prodi/Diploma/Pasca	: Teknik Sipil	NIM	: 21511125
Kode Mata Kuliah/Blok	:	Keperluan	: Penelitian TA
Nama Mata Kuliah/Blok	:	Tanggal Berlaku	: Rabu, 12/11/2025

**PENGUJIAN PENYERAPAN AIR *PAVING BLOCK***  
(SNI 03-0691-1996)

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 1	2375	2175	9,195
PA 2	2352	2151	9,344
PA 3	2407	2178	10,514
<b>Rerata</b>			<b>9,685</b>

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 4	2390	2165	10,393
PA 5	2376	2194	8,295
PA 6	2353	2176	8,134
<b>Rerata</b>			<b>8,941</b>

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 7	2391	2213	8,043
PA 8	2411	2249	7,203
PA 9	2318	2142	8,217
<b>Rerata</b>			<b>7,821</b>

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 7	2391	2213	8,043
PA 8	2411	2249	7,203
PA 9	2318	2142	8,217
<b>Rerata</b>			<b>7,821</b>

Kode Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air (%)
PA 13	2384	2260	5,487
PA 14	2381	2219	7,301
PA 15	2362	2228	6,014
<b>Rerata</b>			<b>6,267</b>

Diperiksa oleh:  
Kepala Laboratorium BKT



Astriana Hardawati, S. T., M. Eng.

Duji oleh:  
PLP Laboratorium BKT



Daru Salam, A. Md.

Fakultas	: Teknik Sipil dan Perencanaan	Nama	: Mahendra Surya A.
Prodi/Diploma/Pasca	: Teknik Sipil	NIM	: 21511125
Kode Mata Kuliah/Blok	:	Keperluan	: Penelitian TA
Nama Mata Kuliah/Blok	:	Tanggal Berlaku	: Rabu, 12/11/2025

**PENGUJIAN KETAHANAN AUS *PAVING BLOCK***  
(SNI 03-0691-1996)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 1	126,34	124,28	0,412	0,544
KA 2	117,52	116,75	0,154	0,219
KA 3	120,98	119,68	0,260	0,352
<b>Rerata</b>				<b>0,372</b>

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 4	113,87	112,59	0,256	0,347
KA 5	112,24	110,87	0,274	0,370
KA 6	115,85	114,61	0,248	0,337
<b>Rerata</b>				<b>0,351</b>

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 7	121,14	120,04	0,220	0,302
KA 8	112,51	111,52	0,198	0,274
KA 9	121,32	119,97	0,270	0,365
<b>Rerata</b>				<b>0,314</b>

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 10	121,31	120,19	0,224	0,307
KA 11	122,67	121,41	0,252	0,342
KA 12	131,85	130,59	0,252	0,342
<b>Rerata</b>				<b>0,330</b>

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA 13	122,83	121,49	0,268	0,362
KA 14	118,41	117,23	0,236	0,322
KA 15	121,72	120,15	0,314	0,420
<b>Rerata</b>				<b>0,368</b>

Diperiksa oleh:  
Kepala Laboratorium BKT



Astmana Hardawati, S. T., M. Eng.

Diuji oleh:  
PLP Laboratorium BKT



Daru Salam, A. Md.