**TUGAS AKHIR**

# PENGARUH SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN PENYERAPAN AIR PADA *PAVING BLOCK* *(THE EFFECT OF SUBSTITUTION COCONUT SHELL ASH ON COMPRESSIVE STRENGTH, WEAR RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION OF PAVING BLOCK)*

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


**KHAIRUL NUR IHFANSYAH**
**20511098**

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

**2024**

**TUGAS AKHIR**

# PENGARUH SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN PENYERAPAN AIR PADA *PAVING BLOCK* *(THE EFFECT OF SUBSTITUTION COCONUT SHELL ASH ON COMPRESSIVE STRENGTH, WEAR RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION OF PAVING BLOCK)*

Disusun oleh

**Khairul Nur Ihfansyah**

**20511098**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada Tanggal

Oleh Dewan Penguji

| Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| 6/9/2024 | | 4/9 2024 |
| **Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.** | **Jafar, S.T., M.T., MURP.** | **Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.** |
| **NIK: 855110201** | **NIK: 185111305** | **NIK: 185111304** |

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

9/9/2024

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

**NIK: 095110101**

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 6 September 2024

Penulis,




Khairul Nur Ihlansyah

(20511098)

# DEDIKASI



Terima kasih ya Allah atas rahmat Mu sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat selesai dan ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua, Bapak Wahyono dan Ibu Siti Fatimah serta adik Fina Ayatul Husna yang hingga saat ini telah mendidik, membimbing, dan memberikan dukungan baik spiritual maupun material dengan penuh kesabaran serta mengarahkan yang terbaik untuk masa depan anaknya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan dan keselamatan bagi mereka dan semoga Allah SWT juga membalas jasa-jasa yang telah mama dan apak berikan. Amiin.
2. Simbah Sukadi dan Simbah Sodemi tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan cucunya hingga kini semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan keselamatan bagi mereka.
3. Teman-teman yang sudah membantu dan mendukung hingga tugas akhir ini selesai.

# KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Allag SWT karena tugas akhir ini yang berjudul *Pengaruh Substitusi Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Aus Pada Paving Block* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya disampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
2. Selaku dosen penguji I, Jafar, S.T., M.T., MURP. yang telah meluangkan waktu untuk menguji saya.
3. Selaku dosen penguji II, Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktu untuk menguji saya.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua Bapak Wahyono, Ibu Siti Fatimah, dan adik Fina Ayatul Husna yang telah memberikan dukungan spiritual maupun material hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Simbah Sukadi dan Simbah Sodemi yang selalu mendukung dan mendoakan cucunya hingga kini.
7. Teman-teman terutama Aldi, Ishom, Roby, Hanif, Alif, Yasmin, Dhita, Isak yang telah membantu dan memberikan semangat pada tugas akhir ini.

8. Simbah Sukadi dan Simbah Sodemi yang selalu mendukung dan mendoakan cucunya hingga kini.
9. Bapak Suluk dan Mas Andi selaku tenaga kerja di pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Universitas Islam Indonesia yang telah membantu dalam pembuatan benda uji *paving block.*

Permohonan maaf kepada para pembaca apabila terdapat kesalahan penulisan dan sebagaimana mestinya. Kritik dan saran kepada pembaca membuat sempurna laporan tugas akhir ini.

Yogyakarta, 7 September 2024
Penulis,

Khairul Nur Ihfansyah
(20511098)

# DAFTAR ISI


HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
DEDIKASI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
ABSTRAK xvii
*ABSTRACT* xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan masalah 3
1.3 Tujuan penelitian 4
1.4 Manfaat penelitian 4
1.5 Batasan penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Pengaruh pnambahan abu arang tempurung kelapa terhadap kuat tekan *paving block* 7
2.2 Pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen 7
2.3 Pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti semen 8
2.4 Pemanfaatan limbah abu tempurung kelapa dan kapur hidrolis sebagai bahan substitusi semen pada *paving block* 8
2.5 Penggunaan serat *polypropylene* dan serat baja pada *paving block* 9
2.6 Pengaruh penambahan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan *paving block* 10

2.7 Keaslian penelitian 10
BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 *Paving block* 14
3.2 Klasifikasi 15
3.2.1 Mutu *paving block* 15
3.2.2 Bentuk *paving block* 15
3.2.3 Ketebalan *paving block* 16
3.3 Syarat mutu *paving block* 17
3.3.1 Sifat tampak 17
3.3.2 Ukuran 17
3.3.3 Sifat fisika 17
3.4 Bahan penyusun *paving block* 17
3.4.1 Semen *portland* 18
3.4.2 Agregat halus 19
3.4.3 Air 26
3.4.4 Abu tempurung kelapa sebagai *pozzolan* 27
3.5 Perawatan *paving block* 28
3.6 Pengujian *paving block* 29
3.6.1 Uji kuat tekan 29
3.6.2 Uji ketahanan aus 29
3.6.3 Penyerapan air 30
BAB IV METODE PENELITIAN 31
4.1 Metode penelitian 31
4.2 Bahan dan peralatan 31
4.3 Benda uji 37
4.4 Pelaksanaan penelitian 38
4.4.1 Tahap persiapan bahan 38
4.4.2 Tahap pengujian bahan 38
4.4.3 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 6 cm. 42

4.4.4 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:2 ketebalan 6 cm. 43
4.4.5 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 8 cm. 44
4.4.6 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 8 cm. 44
4.4.7 Pembuatan benda uji 45
4.4.8 Proses pengujian benda uji 47
4.5 Analisis data dan pembahasan 49
4.6 Bagan alir penelitian 50
BAB V 53
HASIL DAN PEMBAHASAN 53
5.1 Tinjauan umum 53
5.2 Pemeriksaan bahan 53
5.2.1 Pengujian agregat halus pasir Merapi 53
5.2.2 Pengujian agregat halus pasir Sungai Progo 63
5.3 Hasil uji coba pengujian yang telah dilakukan 72
5.4 Perhitungan kebutuhan campuran 75
5.5 Hasil pengujian *paving block* 77
5.6 Pembahasan keseluruhan 94
5.6.1 Rekapitulasi pembahasan mutu *paving block* 98
BAB VI 100
KESIMPULAN DAN SARAN 101
DAFTAR PUSTAKA 103
LAMPIRAN 106

# DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Telah Dilakukan 11
Tabel 3. 1 Sifat - Sifat Fisika 17
Tabel 3. 2 Kandungan Oksida Pada Semen *Portland* 18
Tabel 3. 3 Komposisi Senyawa Semen *Portland* 19
Tabel 3. 4 Batas Persentase Gradasi Lolos 24
Tabel 3.5 Komposisi Abu Tempurung Kelapa 27
Tabel 3. 6 Komposisi Kimia Bahan *Pozzolan* 28
Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji 37
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Pasir Merapi 56
Tabel 5. 2 Gradasi Agregat Halus 58
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus Pasir Merapi 59
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Pasir Merapi 61
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Pasir Merapi 62
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus Pasir Merapi 63
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Pasir Sungai Progo 66
Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Halus 68
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus Pasir Sungai Progo 69
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Pasir Sungai Progo 70
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Pasir Sungai Progo 71
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus Pasir Sungai Progo 72

Tabel 5. 13 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi Tebal 6 cm Perbandingan 1:3 73
Tabel 5. 14 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Progo Tebal 6 cm Perbandingan 1:2 74
Tabel 5. 15 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi Tebal 8 cm Perbandingan 1:3 74
Tabel 5. 16 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo Tebal 8 cm Perbandingan 1:3 75
Tabel 5. 17 Komposisi Campuran *Paving Block* 77
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V0 79
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V1 79
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi *Paving Block* V2 80
Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V3 80
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V4 81
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V5 81
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Rata-rata Dan Klasifikasi Mutu *Paving Block* 82
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V0 85
Tabel 5.26 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V1 85
Tabel 5.27 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V2 85
Tabel 5.28 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V3 86
Tabel 5.29 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V4 86
Tabel 5.30 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V5 86
Tabel 5.31 Hasil Rekapitulasi dan Klasifikasi Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* 87
Tabel 5.32 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V0 90
Tabel 5.33 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V1 90
Tabel 5.34 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V2 90
Tabel 5.35 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V3 91
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V4 91
Tabel 5.37 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V5 91

Tabel 5.38 Hasil Rekapitulasi dan Klasifikasi Mutu Penyerapan Air *Paving Block* 92
Tabel 5.39 Rekapitulasi Mutu *Paving Block* 98

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3. 1 Bentuk *Paving Block* 15
Gambar 3. 2 Pasir Merapi 21
Gambar 3. 3 Pasir Sungai Progo 21
Gambar 3. 4 Sketsa Pengujian Kuat Tekan 29
Gambar 4. 1 Air 31
Gambar 4. 2 Semen *Portland* 32
Gambar 4. 3 Pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo 33
Gambar 4. 4 Abu Tempurung Kelapa 33
Gambar 4. 5 Cetakan *Paving Block* 34
Gambar 4. 6 Mesin Cetak *Paving Block* 34
Gambar 4. 7 Saringan 35
Gambar 4. 8 Timbangan 35
Gambar 4. 9 Oven 36
Gambar 4. 10 Mesin Uji Kuat Tekan 36
Gambar 4. 11 Mesin Ketahanan Aus 37
Gambar 4. 12 Proses Pencampuran 45
Gambar 4. 13 Proses Pencetakan 46
Gambar 4. 14 Alat Pemotong 46
Gambar 4. 15 Perawatan 47
Gambar 4. 16 Pengujian Kuat Tekan 48
Gambar 4. 17 Pengujian Ketahanan Aus 48
Gambar 4. 18 Pengujian Penyerapan Air 49
Gambar 4. 19 Bagan Alir Penelitian 51
Gambar 5. 1 Grafik Hasil Analisa Saringan Halus Daerah II (Pasir Merapi) 57
Gambar 5. 2 Grafik Hasil Analisa Saringan Halus Daerah IV (Pasir Sungai Progo) 67
Gambar 5.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata 82
Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengujian Rata-rata Ketahanan Aus *Paving Block* 87

Gambar 5.5 Grafik Hasil Uji Penyerapan Air Rata-rata *Paving Block* 92
Gambar 5.6 Grafik Diagram Kuat Tekan 95
Gambar 5.7 Grafik Diagram Ketahanan Aus 96
Gambar 5.8 Grafik Diagram Penyerapan Air 97

# DAFTAR LAMPIRAN


Lampiran 1 Surat Bebas Laboratorium 107
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan 108
Lampiran 3 Hasil Pengujian Ketahanan Aus 111
Lampiran 4 Hasil Pengujian Penyerapan Air 114
Lampiran 5 Surat Bebas Plagiasi 117

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A = Luas penampang benda uji ($cm^2$).

$Al_2O_3$ = *Aluminium trioxide.*

*ASTM* = *American society for testing and material.*

B = Berat piknometer berisi air (gram).

Bk = Berat benda uji kering oven (gram).

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram).

BV pasir = Berat volume pasir ($gram/cm^3$).

D = Keausan (mm/menit).

D tabung = Diameter dalam tabung (cm).

FAS = Faktor air semen.

Fe2O3 = Ferum (III) trioxide.

G = Kehilangan berat/waktu pengausan (gram/menit).

MHB = Modulus halus butir.

P = Beban maksimum (kgf).

Pc = *Portland cement.*

Ps = Pasir.

PUBI = Persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia.

$SiO_2$ = *Silicon dioxide.*

SNI = Standar Nasional Indonesia.

t tabung = Tinggi tabung (cm).

V = Volume tabung ($cm^3$).

$V_{paving\ block}$ = Volume *paving block* ($cm^3$).

w1 = Berat agregat kering oven (gram).

w2 = Berat agregat kering oven sesudah dicuci (gram).

W1 = Berat tabung (gram).

W2 = Berat tabung + berat pasir (gram).

W3 = Berat pasir padat atau gembur (gram).

# ABSTRAK

Limbah material sisa yang dihasilkan dari suatu proses produksi, kegiatan industri, atau aktivitas manusia lainnya yang umumnya tidak memiliki nilai ekonomis dan sering kali dianggap sebagai bahan buangan. Salah satu jenis limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah limbah tempurung kelapa, yang terus menumpuk tanpa penanganan yang memadai. Dari limbah tempurung kelapa yang dibakar menjadi abu memiliki kandungan silika berpotensi meningkatkan nilai kuat tekan pada *paving block.* Dimana di kandungan silika sangat membantu reaksi *pozzolan* dalam rongga partikel semen terhidrasi. Tujuan penelitian ini adalah dapat mengetahui pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block.*

Pengujian yang dilakukan sesuai standar SNI-03-0691-1996 antara lain: pengujian kuat tekan, pengujian ketahanan aus, dan penyerapan air. Persentase penggunaan abu tempurung kelapa sebesar 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5% dan 13,5% dari berat semen. Pengujian dilakukan setelah *paving block* berumur 28 hari. Campuran menggunakan perbandingan semen dan pasir 1 : 3 (1,5 Ps Merapi dan 1,5 Ps Sungai Progo). Penggunaan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo didasarkan pada karakteristik butiran yang berbeda, di mana pasir Merapi yang memiliki butiran angular dan tajam dicampur dengan pasir Sungai Progo yang memiliki butiran halus dan bulat, dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kuat tekan.

Berdasarkan pengujian yang dihasilkan nilai kuat tekan *paving block* normal sebesar 36,925 MPa, ketahanan aus sebesar 0,085 mm/menit dan penyerapan air sebesar 2,132%. Sedangkan hasil variasi paling optimal tertinggi kategori mutu A untuk jalan pada persentase variasi 9,5% dengan hasil nilai kuat tekan sebesar 40,450 MPa, ketahanan aus sebesar 0,086 mm/menit, dan nilai penyerapan air sebesar 2,349%. Dengan kenaikan parameter kuat tekan pada variasi 9,5% dibandingkan dengan beton normal maka, abu tempurung kelapa dapat dijadikan substitusi dalam pembuatan *paving block.*

**Kata Kunci:** *Paving Block*, Abu Tempurung Kelapa, Kuat Tekan, Ketahanan Aus, Penyerapan Air

# *ABSTRACT*

*Waste is leftover material generated from a production process, industrial activity, or other human activity that generally has no economic value and is often considered as discarded material. One type of waste that has not been optimally utilised is coconut shell waste, which continues to accumulate without adequate handling. Coconut shell waste that is burned into ash has silica content that has the potential to increase the compressive strength value of paving blocks. Where in the silica content greatly helps the pozzolanic reaction in the cavity of hydrated cement particles. The purpose of this study was to determine the effect of coconut shell ash substitution on compressive strength, wear resistance, and water absorption in paving blocks.*

*Tests were conducted in accordance with SNI-03-0691-1996 standards, including: compressive strength testing, wear resistance testing, and water absorption. The percentage of coconut shell ash used was 5.5%, 7.5%, 9.5%, 11.5% and 13.5% by weight of cement. Tests were conducted after the paving blocks were 28 days old. The mixture used a cement and sand ratio of 1: 3 (1.5 Ps Merapi and 1.5 Ps Progo River). The use of Merapi sand and Progo River sand is based on different grain characteristics, where Merapi sand which has angular and sharp grains is mixed with Progo River sand which has fine and round grains, with the aim of increasing the compressive strength value.*

*Based on the tests produced, the compressive strength value of normal paving blocks is 36.925 MPa, wear resistance is 0.085 mm/min and water absorption is 2.132%. While the results of the highest optimal variation of quality category A for roads at a percentage variation of 9.5% with the results of a compressive strength value of 40.450 MPa, wear resistance of 0.086 mm/min, and a water absorption value of 2.349%. With the increase in compressive strength parameters in the 9.5% variation compared to normal concrete, coconut shell ash can be used as a substitute in making paving blocks.*

**Keywords:** *Paving Block, Coconut Shell Ash, Compressive Strength, Wear Resistance, Water Absorption*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar belakang

Pada era globalisasi saat ini, perkembangan teknologi pracetak di Indonesia mulai berkembang pesat. *Paving block* merupakan adalah salah satu alternatif pilihan lapis perkerasan permukaan tanah. Selain itu juga, *paving block* adalah salah satu teknologi pracetak yang sangat mudah pada saat pemeliharaan, pengerjaan, dan juga pemasangannya. Secara umum *paving block* merupakan sebuah konstruksi bahan bangunan yang terdiri dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis serupa, air, dan agregat halus, baik dengan atau tanpa tambahan bahan lain yang tidak mengurangi mutu (SNI 03-0691-1996).

*Paving block* pada umumnya digunakan sebagai lahan parkir, trotoar, dan taman. *Paving block* juga biasanya digunakan untuk sarana material perkerasan permukaan tanah yang diperuntukkan sebagai jalan. Arman dkk. (2023) menyatakan fungsi *paving block* adalah digunakan sebagai material penutup perkerasan tanah atau jalan pengganti aspal dan beton. Masyarakat banyak lebih memilih *paving block* dibandingkan aspal dan beton untuk perkerasan jalan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain ramah lingkungan, lebih ekonomis, dan memiliki sifat kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus yang cukup tinggi. Sembiring (2017) menyebutkan kelebihan dari *paving block* dibandingkan perkerasan yang lain juga memiliki daya serap air yang baik, dan dapat menjaga keseimbangan tanah.

Sampah dan limbah merupakan hal yang harus diperhatikan khusus oleh semua pihak. Jumlah populasi penduduk yang mencapai 261,89 juta jiwa turut menyumbang suplai timbunan sampah dan limbah yang menembus angka 65 juta ton/tahun (BPS, 2018). Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk Indonesia dapat diperkirakan volume sampah yang dihasilkan akan semakin meningkat. Berdasarkan komposisinya sampah dibedakan menjadi sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik adalah sampah yang berasal dari sisa-sisa organisme

makhluk hidup baik manusia, hewan, serta tumbuhan. Salah satu contohnya adalah limbah tempurung kelapa. Alfiyah dkk. (2022) menyatakan tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil olahan kelapa yang telah diambil daging kelapanya. Limbah tempurung kelapa tersebut masih kurang adanya pemanfaatan untuk mengurangi penumpukan limbah tempurung kelapa. Dalam penelitian ini limbah tempurung kelapa yang diolah menjadi abu dan hasilnya akan menghasilkan potensi baru untuk inovasi pada *paving block*. Limbah tempurung kelapa diolah dengan cara pembakaran dari tumpukan tempurung kelapa tersebut sehingga, setelah proses pembakaran tempurung kelapa menghasilkan produk limbah yang disebut "abu tempurung kelapa". Abu tempurung kelapa mempunyai potensi sebagai bahan organik yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan *paving block* karena di dalam abu tempurung kelapa terdapat silika merupakan senyawa berbentuk kristal yang sehingga membuat *paving block* memiliki kuat tekan yang tinggi pula. Di dalam bahan baku pembuatan *paving block* yaitu semen, pasir, dan air dengan komposisi kimia yang terkandung di dalamnya antara lain $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$, CaO dan $H_2O$. Senyawa ferik ($Fe_2O_3$) merupakan *polietilen* yang memiliki sifat kristalinitas tinggi dan gaya tarik antar molekul kuat sehingga kekuatan mekanik yang dimilikinya juga besar. Kekuatan mekanik ini dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kuat silikon dioksida limbah yang dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block.* Mahmudi dan Puspita (2010) dalam Hambali (2013) menyatakan *polietilen* juga memiliki struktur yang tak berpori atau sukar ditembus air sehingga dapat menurunkan daya serap air pada *paving block*. Oleh karena itu, perlu penambahan dengan abu tempurung kelapa agar diharapkan bisa menambah penyerapan air pada *paving block.*

Penelitian sejenis terkait pengaruh penambahan abu tempurung kelapa terhadap salah satu parameter mutu *paving block* berupa nilai kuat tekan *paving block* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Zhafirin (2012) menyatakan dengan persentase abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen. Dari hasil pengujian didapatkan setiap penambahan abu tempurung kelapa meningkatkan nilai kuat tekan pada kondisi kering maupun basah dan kuat lentur pada *paving block*. Pada variasi persentase

10% mengalami nilai optimum dengan nilai kuat tekan kering sebesar rata-rata 268,84 kg/cm$^2$, kuat tekan kondisi basah sebesar rata-rata 215,24 kg/cm$^2$, dan kuat lentur rata-rata sebesar 27,99 kg/cm$^2$. Pengujian daya serap air pada *paving block* mencapai nilai optimum pada variasi persentase 12,5% dengan nilai sebesar 15,99%. Abu tempurung kelapa dalam campuran *paving block* ternyata dapat mempengaruhi kuat tekan *paving block* yang dihasilkan. Dengan seiring terjadinya penurunan daya serap air, maka terjadi peningkatan kuat tekan. Hal ini saling berhubungan, karena daya serap air yang kecil membuat *paving block* menjadi kedap air. Saputra (2017) menyatakan *paving block* yang kedap air artinya *paving block* tersebut tidak memiliki rongga udara atau pori-pori, sehingga fisiknya semakin keras dan kokoh.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan tambah berdasarkan SNI 03-0691-1996 berupa pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. Dengan penggunaan variasi abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen yang lebih variatif yaitu 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan perbandingan variasi yang lebih optimum dari abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai substitusi semen tersebut, sehingga dapat diperoleh hasil *paving block* yang mempunyai kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Dengan penambahan abu tempurung kelapa diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap pemanfaatan limbah abu tempurung kelapa untuk pemanfaatan bahan konstruksi.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka di dalam penelitian ini didapat rumusan masalahnya yaitu sebagai berikut.

1. Berapakah besar nilai kuat tekan penggunaan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo dalam pembuatan *paving block.*
2. Bagaimana pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan *paving block* ?

3. Bagaimana pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap ketahanan aus *paving block* ?
4. Bagaimana pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap penyerapan air *paving block* ?
5. Berapakah persentase optimum dari substitusi abu tempurung kelapa untuk menghasilkan *paving block* tertinggi?

## 1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan penggunaan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo dalam pembuatan *paving block*.
2. Untuk menentukan pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap pengujian kuat tekan pada *paving block*.
3. Untuk menentukan pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap pengujian ketahanan aus pada *paving block*.
4. Untuk menentukan pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap pengujian penyerapan air pada *paving block*.
5. Untuk mendapatkan pengaruh persentase campuran penggunaan abu tempurung kelapa sebagai substitusi yang optimum pada *paving block* tertinggi.

## 1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Sebagai referensi dan salah satu sumber informasi dalam pengembangan inovasi material konstruksi.
2. Menambah pengetahuan terkait penggunaan abu tempurung kelapa sebagai substitusi terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block.*
3. Mengurangi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah abu tempurung kelapa.

## 1.5 Batasan penelitian

Untuk dapat mencapai tujuan di atas dengan lebih mudah dan pembahasan tidak meluas, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Agregat halus dalam penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari daerah kawasan Gunung Merapi dan pasir yang berasal dari Sungai Progo dikarenakan pasir Merapi yang berbutir tajam atau *angular* dapat diisi oleh pasir Sungai Progo yang berbentuk bulat sehingga dapat meminimalisir ruang kosong pada *paving block.*
2. Pengujian ini dilakuka dengan beberapa metode pengujian meliputi :
   a. Kuat tekan.
   b. Ketahanan aus.
   c. Penyerapan air.
3. Variasi penggunaan abu tempurung kelapa yaitu sebesar 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen.
4. *Paving block* yang digunakan berbentuk persegi panjang dengan dimensi 20 x 10 x 8 cm dan dimensi untuk pengujian antara lain :
   a. *Paving block* yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dengan dimensi panjang = 8 cm, lebar = 8 cm, dan tinggi = 8 cm.
   b. *Paving block* yang digunakan untuk pengujian ketahanan aus dengan dimensi panjang = 5 cm, lebar = 5 cm, dan tinggi = 2 cm.
   c. *Paving block* yang digunakan untuk pengujian penyerapan air dengan dimensi panjang = 20 cm, lebar = 10 cm, dan tinggi = 8 cm.
5. Perbandingan campuran semen dan pasir menggunakan 1pc : 3 ps dengan proporsi (1,5 ps Merapi dan 1,5 ps Sungai Progo), pertimbangan penggunaan pasir Merapi memiliki karakteristik berbutir kasar dan tajam sehingga dapat terisi oleh pasir Sungai Progo yang memiliki karakteristik berbutir bulat dan halus.
6. Faktor air semen (fas) yang digunakan sebesar 0,35. Pengambilan nilai fas ditentukan dari jurnal Saputra dan Bachtiar (2021).
7. Semen yang digunakan menggunakan jenis I dengan merek tiga roda.

8. Uji *paving block* pada umur 28 hari, dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
9. Abu tempurung kelapa berasal dari pembakaran yang berbentuk kering, berwarna hitam dengan lolos saringan No.200 melalui proses penumbukan.
10. Pembuatan *paving block* menggunakan metode mekanis.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Pengaruh Penambahan Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*

Saputra dan Bachtiar (2021) dalam penelitiannya meneliti tentang penambahan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan *paving block*. Tujuan penelitian untuk mengetahui penggunaan bahan tambah abu tempurung kelapa pada *paving block* terhadap syarat mutu yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996 yang meliputi sifat tampak, ukuran, penyerapan air, dan kuat tekan. Pada penelitian ini pengujian *paving block* dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Jenis *paving block* yang digunakan adalah *paving block* dengan dimensi 21cm x 10,5cm x 8 cm, dengan perbandingan semen dan pasir 1: 3. Dengan persentase variasi sebesar 0%, 5%, 6%, 7% dan 8% dari berat semen. Hasil penelitiannya pada umur 14 hari pada persentase 0%, 5%, 7%, 8% masuk dalam mutu kelas III dengan nilai kuat tekan 0%(12,61 MPa), 5%(15,63 MPa), 7%(14,34 MPa), dan 8%(12,66 MPa), sedangkan pada kelompok 6% (20,37 MPa) masuk dalam mutu kelas II. Pada umur 28 hari 0%, 5%, 7%, 8% masuk dalam kelas mutu II dengan nilai kuat tekan 0%( 27,93 MPa), 5%( 29,09 MPa) 7%(19,27 MPa) 8%(17,93 MPa), sedangkan nilai yang paling optimum terdapat pada kelompok 6% dengan kuat tekan rata-rata (37,68 MPa) masuk kelas mutu I pada perendaman 28 hari. Pada pengujian penyerapan air didapatkan nilai rata-rata untuk kelompok 14 hari 0%(4,5%), 5%(4,98%), 6%(3,26%), 7%(4,53%), 8% (6,72%). Pada umur 28 hari 0%(4,07%), 5% (4,39%), 6%(3,06%), 7%(4,95%), 8%(6,32%). Dari hasil tersebut rata-rata penyerapan air masuk ke dalam kelas mutu B.

## 2.2 Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Semen

Zhafirin (2012) dalam penelitiannya melakukan penambahan abu tempurung kelapa dalam campuran *paving block* yang kemudian diuji kuat tekannya pada umur 28 hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk menutup pori-pori mortar akibat reaksi antara semen dan air dengan membentuk zat perekat, sehingga dihasilkan mortar

dengan karakteristik lebih baik. Persentase penambahan abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen pada pembuatan *paving block* adalah sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen. Dari hasil pengujian yang didapatkan nilai optimum pada kondisi kering maupun basah dan kuat lentur pada *paving block* pada kondisi variasi 10%. Dengan rata-rata nilai kuat tekan kering 268,84 kg/cm$^2$, kuat tekan basah rata-rata 215,24 kg/cm$^2$, dan kuat lentur rata-rata sebesar 27,99 kg/cm$^2$. Pada pengujian daya serap air mengalami kondisi optimum pada variasi persentase nilai 12,5 % dengan nilai daya serap air sebesar 15,99 %.

## 2.3 Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Semen

*Fly ash* merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), namun dapat dimanfaatkan karena memiliki karakteristik *pozzolan*. Ridha dan Rahma (2024) dalam penelitiannya melakukan penggunaan *fly ash* dalam pembuatan *paving block.* Tujuannya adalah untuk menentukan nilai kuat tekan *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 terhadap penggunaan *fly ash* dan berapa proporsi penggunaan *fly ash* terhadap kuat tekan optimum. *Paving block* yang dibuat berukuran 21 x 10 x 8 cm. Perbandingan semen dan pasir adalah 1 : 4. Persentase penambahan penggunaan *fly ash* sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian dengan proses *curing* dengan umur 28 hari. Dari hasil pengujian yang didapatkan berturut-turut sebesar 14,61 MPa, 12,27 MPa, 10,63 MPa, 8,67 MPa. *Paving block* normal menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dari pada penggunaan *fly ash* pada *paving block,* hal itu terjadi karena semen memiliki daya rekat yang kuat terhadap agregat dibandingkan abu batu bara atau *fly ash*.

## 2.4 Pemanfaatan Limbah Abu Tempurung Kelapa dan Kapur Hidrolis Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada *Paving Block*

Intan dkk. (2022) dalam penelitiannya melakukan substitusi semen dengan limbah abu batok kelapa dan kapur hidrolis dengan persentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. *Paving block* dilakukan pengujian pada umur 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah abu batok kelapa dan kapur hidrolis tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan dan penyerapan air *paving block*. Hasil kuat tekan

rata-rata maksimum sebesar 18,616 MPa dan penyerapan air rata-rata sebesar 10,751% dengan penambahan masing-masing variasi 5% limbah abu tempurung kelapa dan kapur hidrolis. Berdasarkan SNI-03-0691-1996 kuat tekan rata-rata *paving block* termasuk klasifikasi mendekati mutu B, sedangkan untuk penyerapan air belum memenuhi syarat klasifikasi mutu penyerapan air.

## 2.5 Penggunaan Serat *Polypropylene* dan Serat Baja Pada *Paving Block*

Shaikh dan Sengupta (2022)dalam penelitiannya melakukan penambahan serat *polypropylene* dan serat baja pada pembuatan *paving block.* Penggunaan serat *polypropylene* dan serat baja masing-masing dengan persentase 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8, dan 1%. Pada pengujian ini juga melakukan pencampuran serat baja dan serat *polypropylene* dengan masing-masing persentase 0,8% serat baja : 0,2% *polypropylene*, 0,6% serat baja : 0,4% serat *polypropylene*, 0,4% serat baja : 0,6% serat *polypropylene*, dan 0,2% serat baja : 0,8% serat *polypropylene*. Dari hasil pengujian kuat tekan yang didapatkan dalam penggunaan serat *polypropylene* persentase optimum dengan persentase 0,4%. Hasil yang didapatkan dari pengujian di umur 3, 14, dan 28 hari berturut-turut sebesar 34,27 MPa, 36,07 MPa, dan 44,55 MPa. Penggunaan serat baja dalam pembuatan *paving block* juga persentase paling optimum pada persentase 1% dengan hasil kuat tekan berturut-turut sebesar 37,88 MPa, 40,68 MPa, dan 45,20 MPa. Hasil pencampuran serat *polypropylene* dan serat baja dengan masing-masing persentase paling optimum yaitu perbandingan serat *polypropylene* dan serat baja (SP4) yaitu 0,6% serat *polypropylene* : 0,4% serat baja. Dengan hasil kuat tekan berturut-turut umur pengujian 3, 14, dan 21 hari sebesar 38,13 MPa, 41,72 MPa, dan 47,20 MPa. Kesimpulan dari hasil pengujian kuat tekan tersebut adalah penggunaan serat *polypropylene* paling optimum yaitu persentase 0,4%. Penggunaan serat baja optimum sebesar 1% dan juga hasil pencampuran serat *polypropylene* dan serat baja optimum sebesar 0,6% (serat *polypropylene*) : 0,4% (serat baja).

## 2.6 Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*

Mustaqim dkk. (2016) dalam penelitiannya menambahkan abu tempurung kelapa dengan persentase 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, dan 20 % dari berat semen. Perbandingan semen dan pasir menggunakan 1 : 6 dengan dimensi *paving block* yaitu 20 x 10 x 6 cm. Pengujian *paving block* dilakukan pada umur 14 hari. Hasil pengujian kuat tekan *paving block* normal nilai rata-rata sebesar 101 kg/cm$^2$. Pada penambahan 5 % diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 113 kg/cm$^2$, pada penambahan 10 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 108 kg/cm$^2$, pada penambahan 15 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 86 kg/cm$^2$, pada penambahan 20 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 81 kg/cm$^2$. Pada penambahan abu tempurung kelapa sebesar 20% tidak dapat digunakan karena tidak mencapai syarat kuat tekan mutu D SNI-03-0691-1996.

## 2.7 Keaslian penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu agregat halus menggunakan pasir Merapi, terdapat perbedaan dalam penelitian tersebut. Perbedaan yang dimiliki penelitian yang dilakukan pada penelitian saat ini penggunaan agregat halus menggunakan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo. Abu tempurung kelapa telah dikembangkan sebagai substitusi pada *paving block* dalam penelitian ini dengan variasi persentase sebesar 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen. Persentase yang lebih variatif diharapkan pengujian mendapatkan nilai persentase yang lebih optimum dari pengujian sebelumnya. Adapun beberapa tinjauan pustaka yang diperoleh dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Telah Dilakukan**

| **Peneliti** | Saputra dan Bachtiar (2021) | Zhafirin (2012) | Ridha dan Rahma (2024) | Intan, Diana, dan Zainah (2022) | Shaikh (2022) | Mustaqim, Marliansyah dan Rahmi (2016) | Ihfansyah (2024) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Judul Penelitian** | Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block* | Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar *Paving Block.* | Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Semen | Pemanfaatan Limbah Abu Tempurung Kelapa Dan Kapur Hidrolis Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada *Paving Block* | *Comparative Study Of Polypropylene, Steel And Hybrid Fiber In Concrete Paving Blocks* | Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block* | Pengaruh Substitusi Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus dan Penyerapan Air Pada P*aving Block* |
| **Jenis Limbah** | Abu Tempurung Kelapa | Abu Tempurung Kelapa | *Fly Ash* | Abu Tempurung Kelapa Dan Kapur Hidrolis | Serat *Polypropylene* Dan Serat Baja | Abu Tempurung Kelapa | Abu Tempurung Kelapa |
| **Pengujian dan Umur Pengujian** | Kuat Tekan, Dan Penyerapan Air. Umur Pengujian Selama 14 Dan 28 Hari | Kuat Tekan Kering, Kuat Tekan Basah, Kuat Tekan Lentur, Dan Daya Serap Air Pada Umur 28 Hari | Kuat Tekan | Kuat Tekan Dan Penyerapan Air, Umur Pengujian 28 Hari | Kuat Tekan Dan Umur Pengujian 3 Hari, 14 Hari, Dan 28 Hari | Kuat Tekan Dan Umur Pengujian 14 Hari. | Kuat Tekan, Ketahanan Aus Dan Penyerapan Air Dan Umur 28 Hari |

**Lanjutan Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Telah Dilakukan**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variasi Persentase** | 0%, 5%, 6%, 7%, dan 8% dari berat semen. | 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen. | 0%, 10%, 20%, dan 30%. | 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. | Variasi S1, S2, S3, S4, S5, dan S7 | Variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan.20% dari berat semen | Variasi 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5%. |
| **Hasil** | Hasil penelitiannya pada umur 14 hari pada persentase 0%, 5%, 7%, 8% masuk dalam mutu kelas III dengan nilai kuat tekan 0% 12,61 MPa, 5% (15,63 MPa), 7% (14,34 MPa), dan 8% (12,66 MPa), sedangkan pada kelompok 6% (20,37 MPa) masuk dalam mutu kelas II. Pada pengujian penyerapan air didapatkan nilai rata-rata untuk kelompok 14 hari 0% (4,5%), 5%(4,98%), 6% (3,26%), 7% (4,53%), 8% (6,72%). | Pada penambahan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan kering, kuat tekan basah dan kuat lentur pada kondisi variasi 10%. Nilai kuat tekan kering rata-rata sebesar 268,84 kg/cm$^2$, kuat tekan basah rata-rata 215,24 kg.cm$^2$, kuat lentur sebesar 27,99 kg/cm$^2$. Pada | Pada pemanfaatan *fly ash* dalam pembuatan *paving block* terhadap kuat tekan dengan umur pengujian 28 hari dengan persentase variasi 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian dengan proses *curing* dengan umur 28 hari. Dari hasil pengujian yang | Pada penggunaan limbah abu tempurung kelapa dan kapur hidrolis sebagai bahan tambah dengan persentase variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dari penambahan tersebut hasil pengujian kuat tekan berturut-turut yaitu 13,051 MPa, 18,616 MPa, 12,853 MPa, 13,051 MPa, dan | Pada penelitian ini hasil pengujian menunjukan bahwa pada penambahan serat *polypropylene* dari umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari mengalami kondisi optimum kuat tekan pada variasi sebesar 0,4% serat *polypropylene*, penambahan serat baja optimum | Hasil pengujian kuat tekan *paving block* normal nilai rata-rata sebesar 101 kg/cm$^2$. Pada penambahan 5 % diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 113 kg/cm$^2$, pada penambahan 10 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 108 | Variasi persentase abu tempurung kelapa sebesar 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5% dan 13,5% dari berat semen. Hasil pengujian kuat tekan yaitu 36,93 MPa, 37,97 MPa, 39,13 MPa, 40,45 MPa, 34,02 MPa dan 30,35 MPa. Hasil pengujian ketahanan aus yaitu 0,085 mm/menit, 0,089 mm/menit, 0,093 mm/menit, 0,086 mm/menit, 0,109 mm/menit, dan 0,118 mm/menit. Hasil pengujian penyerapan air 2,132%, 2,360%, 2,626%, 2,349%, 3,417%, dan 3,801%. Pada pembuatan *paving block* |

**Lanjutan Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Telah Dilakukan**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hasil** | Pada kelompok 28 hari 0%, 5%, 7%, 8% masuk dalam kelas mutu II dengan nilai kuat tekan 0% ( 27,93 MPa), 5% ( 29,09 MPa) 7% (19,27 MPa) 8% (17,93 MPa), sedangkan nilai yang paling optimum terdapat pada kelompok 6% dengan kuat tekan rata-rata 37,68 MPa masuk kelas mutu I pada perendaman 28 hari. Kelompok 28 hari penyerapan air rata-rata 0%(4,07%), persentase 5%(4,39%), 6%(3,06%),7%(4,95 %), dan 8%(6,32%). Dari hasil tersebut rata-rata penyerapan air masuk ke dalam kelas mutu B. | penyerapan air kondisi lentur sebesar 27,99 kg/cm$^2$. Pada penyerapan air kondisi optimum variasi 12,5% dengan nilai 15,99%. | didapatkan berturut - turut sebesar 14,61 MPa, 12,27 MPa, 10,63 MPa, 8,67 MPa. *Paving block* normal menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dari pada penggunaan *fly ash* pada *paving block.* | 15,039 MPa. Hasil uji kuat tekan paling optimum pada variasi 5% dengan kuat tekan sebesar 18,616 MPa dengan mutu C. Pada pengujian penyerapan air pada variasi 0%,5%, 10%, 15%, 20%. Hasil rata-rata sebesar 12,241%, 10,751%, 10,411%, 12,595%, dan 10,286% yang paling optimum dari hasil pengujian penyerapan air pada variasi persentase 20% dengan mutu D. | dengan variasi 1% dan penambahan campuran serat baja dan serat *polypropylene* mengalami kondisi optimum pada variasi 0,6 serat baja dan 0,4 serat *polypropylene*. | kg/cm$^2$, pada penambahan 15 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 86 kg/cm$^2$, pada penambahan 20 % kuat tekan rata-ratanya sebesar 81 kg/cm$^2$. Pada penambahan abu tempurung kelapa sebesar 20% tidak dapat digunakan karena tidak mencapai syarat kuat tekan mutu D SNI-03-0691-1996. | menggunakan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo pada pencampuran agregat halus tersebut dikarenakan partikel antar agregat halus saling mengisi pasir Merapi yang berbutir tajam dapat diisi ruang kosong oleh pasir Sungai Progo yang berbutir bulat sehingga, nilai kuat tekan pada *paving block* lebih tinggi, Perbandingan penggunaan semen dan pasir 1 pc : 3 ps dengan proporsi (1,5 ps Merapi dan 1,5 ps Sungai Progo). Pada hasil penelitian yang optimum tertinggi *paving block* persentase 9,5% dengan nilai kuat tekan sebesar 40,45 MPa, ketahanan aus sebesar 0,086 mm/menit, dan penyerapan air sebesar 2,349%. |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 *Paving block*

Pada peraturan standarisasi nasional atau SNI-03-0691-1996 *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dengan campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut. *Paving block* memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai bahan bangunan, kelebihan dan kekurangan *paving block* sebagai berikut ini.

1. Kelebihan *paving block*:
    a. harga *paving block* relatif murah dibandingkan bahan bangunan yang lain,
    b. mudah dicetak,
    c. mudah dipasang atau dibongkar,
    d. perawatan mudah,
    e. produksi banyak dijumpai di berbagai daerah,
    f. tahan terhadap kondisi lingkungan.
2. Kekurangan *paving block*:
    a. mudah retak,
    b. kuat lentur yang relatif rendah,
    c. mudah hancur.

Di antara kelebihan dan kekurangan tersebut, terdapat beberapa faktor yang memengaruhi kualitas dari *paving block* itu sendiri. Berikut merupakan komponen yang mempengaruhi kualitas dari *paving block*.

1. kualitas semen,
2. kualitas air dari kebersihannya,
3. kualitas agregat dan komposisinya,
4. teknik pencampuran atau produksi,
5. perawatan.

*Paving block* sebagai material konstruksi, memiliki sejumlah fungsi yang luas, yang dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan dan spesifikasi. Fungsi-fungsi tersebut meliputi penggunaan sederhana hingga penggunaan yang mengharuskan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk pengerasan jalan, penutup halaman atau pekarangan, jalur pejalan kaki, serta pengerasan area parkir. Kualitas *paving block* yang baik ditandai dengan kekuatan tekan yang tinggi. Semakin tinggi tingkat kekuatan tekan pada *paving block*, maka semakin baik pula kualitasnya.

## 3.2 Klasifikasi

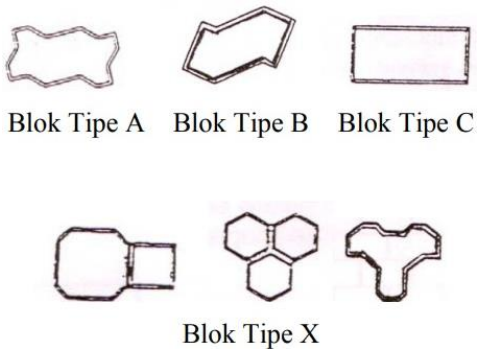
Klasifikasi *paving block* dibagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut.

### 3.2.1 Mutu *paving block*

Pada SNI 03-0691-1996 *paving block* dibagi menjadi beberapa bagian klasifikasi mutunya yaitu mutu A digunakan untuk jalan, mutu B digunakan untuk parkir, mutu C digunakan untuk pejalan kaki, dan mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya.

### 3.2.2 Bentuk *paving block*

Berdasarkan SK SNI T-04-1990-F, klasifikasi dari *paving block* didasarkan atas bentuk, tebal, dan warna. Klasifikasi bentuk *paving block* menjadi 2 (dua) macam yaitu: segi empat dan segi banyak seperti terlihat pada Gambar 3.1.




**Gambar 3. 1 Bentuk *Paving Block***
*(Sumber : SK SNI T-04-1990-F, 1990)*

Klasifikasi dari bentuk *paving block* dari masing-masing sebagai berikut.

1. *Paving block* persegi panjang (bata).

   Mudiyon (2019) dalam Rupiah dan Larasati (2023) menyebutkan pada bentuk *paving block* tipe bata ini atau yang sering disebut tipe persegi panjang ini umumnya sering ditemukan di pasaran, selain modelnya yang simpel membuatnya juga mudah untuk menyesuaikan kebutuhan yang diinginkan.

2. *Paving block* segi enam (*hexagon*).

   Mudiyon (2019) dalam Rupiah dan Larasati (2023) menyebutkan *paving block* dengan bentuk *hexagon* atau segi enam ini memiliki model yang unik dari bentuk *hexagon* ini lebih kuat dan kokoh diantar bentuk lainnya. Biasanya *paving block* dengan bentuk *hexagon* kerap digunakan untuk perkerasan pada trotoar, sebabnya tepi jalan yang menggunakan *paving block* bentuk *hexagon* lebih terlihat cantik dan kuat.

3. *Paving block unipave* (zig-zag).

   Mudiyon (2019) dalam Rupiah dan Larasati (2023) menyebutkan pada bentuk *paving block* dengan bentuk *unipave* (zig-zag) ini biasa disebut juga dengan *interpave* dan merupakan bentuk *paving block* yang *paving* popular dan biasanya digunakan di area perumahan maupun kompleks. Jenis ini kerap dipilih bukan hanya karena jumlahnya yang sedikit tiap satu meter persegi, namun juga memiliki nilai estetik yang lebih dibandingkan bentuk lain.

4. *Paving block* trihex.

   Mudiyon (2019) dalam Rupiah dan Larasati (2023) menyebutkan *paving block* trihex ini hampir sama dengan *paving block hexagonal*. *Paving block* ini lebih kuat dibandingkan dengan jenis lain. *Paving block* ini kerap digunakan untuk lapisan trotoar, *paving block* jenis ini juga memiliki bentuk unik dan biasanya juga digunakan sebagai motif biasa seperti pada halaman rumah ataupun taman.

### 3.2.3 Ketebalan *paving block*

Ketebalan *paving block* dibedakan menjadi 3 (tiga) macam yaitu: 60, 80, dan 100 (mm).

## 3.3 Syarat mutu *paving block*

### 3.3.1 Sifat tampak

Tampak yaitu sifat yang secara bentuk fisik dapat terlihat oleh mata manusia. Beberapa kriteria syarat yang terkait sifat tampak dari *paving block* antara lain: permukaan *paving block* rata, bebas dari cacat (retak), tidak hancur jika dipegang.

### 3.3.2 Ukuran

Pemeriksaan ukuran digunakan peralatan *caliper* atau sejenisnya dengan ketelitian 0,1 mm. Pengukuran tebal dilakukan terhadap tiga tempat yang berbeda-beda dan diambil nilai rata-rata. *Paving block* mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dengan toleransi ±8%.

### 3.3.3 Sifat fisika

Sifat fisika yaitu karakteristik atau ciri-ciri fisik yang dimiliki oleh suatu benda atau material. Sifat fisika dapat digunakan untuk menggambarkan bagaimana suatu benda dapat bereaksi terhadap lingkungannya. Contohnya antara lain kekuatan, ketahanan aus, dan penyerapan air. *Paving block* mempunyai sifat-sifat fisika pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Sifat - Sifat Fisika**

| **Mutu** | **Kuat tekan (MPa)** | | **Ketahanan aus (mm/menit)** | | **Penyerapan air rata-rata (maks)** |
|---|---|---|---|---|---|
| | Rata-rata | Min | Rata-rata | Min. | (%) |
| A | 40 | 35 | 0,090 | 0,130 | 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*

## 3.4 Bahan penyusun *paving block*

Material yang digunakan untuk pembuatan *paving block* sama dengan material yang digunakan pada biasanya. Pada peraturan SNI 03-0691-1996 bahwa bahan penyusun *paving block* yaitu semen *portland*, air, dan agregat halus dengan

bahan atau tanpa bahan tambah lainnya. Bahan penyusun *paving block* dapat dilihat sebagai berikut.

### 3.4.1 Semen *portland*

Semen berdasarkan SNI 15-2049-2015 adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif yaitu bahan pengikat. Artinya adalah suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk massa yang padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

Tjokrodimuljo (2007) dalam Purnomo dan Hisyam (2014) menyebutkan semen *portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil / bata pecah disebut beton.

Selain memiliki sifat-sifat kimia yang sangat berpengaruh dalam kualitas semen yang dihasilkan, semen *portland* juga mempunyai sifat-sifat kimia. Sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh oleh senyawa dari semen *portland.* Perbandingan susunan oksida dan kandungan senyawa semen *portland* ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3. 2 Kandungan Oksida Pada Semen *Portland***

| **Oksida** | **Kandungan (%)** |
|---|---|
| Kalsium (CaO) | 60-65 |
| Silika ($SiO_2$) | 17-25 |
| Alumunia ($Al_2O_3$) | 3-8 |
| Ferik ($Fe_2O_3$) | 0,5-0,6 |
| Magnesium (MgO) | 0,5-0,4 |
| Sulfur ($SO_3$) | 1-2 |
| Sodium ($Na_2O+K_2O$) | 0,5-1 |

*Sumber: Tjokrodimulyo (2007)*

**Tabel 3. 3 Komposisi Senyawa Semen *Portland***

| Senyawa | Kandungan (%) |
|---|---|
| $C_3S$ | 45-65 |
| $C_2S$ | 10-25 |
| $C_3A$ | 7-12 |
| $C_4AF$ | 5-11 |

*Sumber : Tjokrodimulyo (2007)*

Ketika senyawa-senyawa kimia apabila dicampur dengan air, maka akan mengalami reaksi *hidrasi.* Membentuk proses *hidrasi*, kecepatan reaksi dengan air dari setiap komponen berbeda-beda. Penggolongan komposisi kimia *(manufacturing)* semen dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen agar menghasilkan 5 semen tipe umum (PUBI, 1982). Penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen sesuai dengan tujuan pemakaian dan spesifik, penggolongan ini mengacu pada ASTM C-150 *(American Society for Testing and Material)* yaitu sebagaimana berikut:

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

### 3.4.2 Agregat halus

Menurut SNI 1970-2016, agregat halus adalah jenis material alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran pembuatan *paving block* yang memiliki ukuran partikel kecil dan dapat melewati saringan dengan ukuran lubang 4,75 mm (No.4). Porsi agregat pada *paving block* sekitar 60-70% dari total volume. Oleh

karena itu, agregat halus sangat penting agar mutu dan kualitas dari *paving block* baik. Syarat-syarat agregat halus (pasir) sebagai pembuatan beton sesuai dengan ASTM 33 adalah sebagai berikut.

1. Material dari bahan alami dengan kekerasan permukaan yang optimal sehingga kuat tekan beton besar.
2. Butiran tajam, keras, awet *(durable)*, dan tidak bereaksi dengan material beton lainnya.
3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan padat dan awet.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* karena akan membutuhkan semen lebih baik banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk yang baik adalah bulat, karena akan saling mengisi rongga dan jika bentuk yang pipih dan lonjong dibatasi 15% berat total agregat.

Fungsi dari agregat halus adalah sebagai bahan pengisi atau *filler* yang bertujuan untuk mengisi ruang pada campuran beton pembuatan *paving block.* Pemeriksaan agregat halus perlu dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus sudah sesuai dengan apa yang disyaratkan. Pada pembuatan *paving block* agregat halus yang digunakan adalah pasir Merapi dan pasir Sungai Progo adapun penjelasan mengenai pasir Merapi dan pasir Sungai Progo berikut.

1. Pasir Merapi

Choiriyah dan Pertiwi (2016) menyebutkan pasir Merapi merupakan pasir dengan kualitas baik, dikarenakan banyak mengandung kandungan silika ($SiO_2$) yang tinggi, pada ujung silika yang runcing membentuk partikel yang memiliki sudut. Pola partikel yang memiliki sudut itulah yang membuat ikatan pasir gunung merapi dengan semen menjadi lebih kuat. Selain kandungan silika ($SiO_2$) yang tinggi, pasir gunung merapi juga memiliki kandungan besi (FeO). Pasir Merapi juga memiliki tingkat kecenderungan berbutir kasar dan memiliki butiran tajam. Gambar pasir Merapi dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 2 Pasir Merapi**

2. Pasir Sungai Progo

Pasir Sungai Progo adalah pasir yang memiliki karakteristik butiran yang halus dan memiliki kandungan lumpur yang rendah sehingga pada pembuatan *paving block* dapat digunakan berfungsi sebagai pengisi ruang pada *paving block.* Pasir Progo memiliki rentang ukuran butir kasar hingga sangat halus dikarenakan distribusi ukuran butir pasir menunjukkan bahwa butir pasir kasar terdapat dekat tubuh sungai, dan semakin halus menjauhi tubuh sungai. Gambar pasir Sungai Progo dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3 Pasir Sungai Progo**

Pada pemeriksaan ini dapat digunakan sebagai data pembuatan adukan campuran beton pada *paving block*. Pemeriksaan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

   Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) yang tujuannya adalah untuk menentukan angka berat jenis curah, berat

jenis jenuh permukaan, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat halus. Memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 1970-2016.

a. Berat jenis curah

Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25ºC.

Data pemeriksaan berat jenis curah agregat halus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{\text{Bk}}{\text{B}+500-\text{Bt}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram),

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram), dan

500 = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gram).

b. Berat jenis permukaan

Berat jenis kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25ºC.

Data pemeriksaan berat jenis curah agregat halus dapat dihitung persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis jenuh permukaan} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

Keterangan:

B = berat piknometer berisi air (gram),

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram), dan

500= berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gram).

c. Berat jenis semu

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25ºC.

Data pemeriksaan berat jenis semu agregat halus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.3)$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer berisi benda air (gram), dan

Bt = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram).

d. Penyerapan air pada agregat

Penyerapan pada agregat adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Data pemeriksaan penyerapan air agregat halus dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air pada agregat} = \frac{500-Bk}{Bk} \quad (3.4)$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram), dan

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram).

2. Pemeriksaan analisis saringan

Pemeriksaan ini yaitu pemeriksaan yang dilakukan pada agregat halus dan sejenisnya yang lolos saringan No.4 (4,75) yang tujuannya adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Untuk memperoleh data tersebut perlu dilakukan langkah-langkah yang sesuai dengan SNI 03-1968-1990.

Untuk langkah-langkah pemeriksaan analisis saringan yaitu sebagai berikut.

a. Mengeringkan benda uji dalam oven dengan suhu (110±5)ºC, sampai berat tetap.

b. Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncangkan dengan tangan atau mesin diguncangkan selama 15 menit.

Data pemeriksaan analisis saringan agregat halus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

1) Berat tertinggal

$$\text{Berat tertinggal} = \frac{Berat\ tertinggal}{Jumlah} x\ 100\% \quad (3.5)$$

2) Berat tertinggal kumulatif

Berat tertinggal kumulatif = Persentase berat tertinggal + Persentase berat tertinggal kumulatif sebelumnya (3.6)

3) Persentase lolos kumulatif

Persen lolos kumulatif = 100 – berat tertinggal kumulatif (3.7)

4) Modulus halus butir (MHB)

$$\text{Modulus halus butir (MHB)} = \frac{\sum Berat\ tertinggal\ kumulatif}{100} \quad (3.8)$$

Batas persentase gradasi lolos dari agregat halus ditampilkan dalam Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4 Batas Persentase Gradasi Lolos**

| Ukuran Saringan (mm) | Persentase Berat Butir Lolos Saringan | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III | Zona IV |
| 10,00 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,40 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,20 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,60 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,30 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

*Sumber: SNI 03-2834-1992 (1992)*

Keterangan :

Zona I = pasir kasar,

Zona II = pasir agak kasar,

Zona III = pasir agak halus, dan

Zona IV = pasir halus.

3. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur

   Pada pengujian ini berguna untuk mengetahui berat volume padat dan gembur agregat halus. Untuk mendapatkan data diperlukan langkah-langkah dan perhitungan dengan persamaan sebagaimana berikut.

   a. Berat pasir

      $$W3 = W2 - W1 \quad (3.9)$$

      Keterangan:

      *W2* = berat tabung + berat pasir (gram), dan

      *W1* = berat tabung (gram).

   b. Volume tabung

      $$V = \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ D\ tabung^2\ x\ t\ tabung \quad (3.10)$$

      Keterangan:

      D *tabung* = diameter dalam tabung (cm), dan

      t *tabung* = tinggi tabung (cm).

   c. Berat volume padat

      $$\text{Berat volume padat} = \frac{W3}{V} \quad (3.11)$$

      Keterangan:

      *W3* = berat pasir gembur (gram), dan

      *V* = volume tabung ($cm^3$).

   d. Berat volume gembur

      $$\text{Berat volume gembur} = \frac{W3}{V} \quad (3.12)$$

      Keterangan:

      *W3* = berat pasir gembur (gram), dan

      *V* = volume tabung ($cm^3$).

4. Pemeriksaan kandungan lumpur

   Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur di dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi bangunan. Berdasarkan PUBI

1982, berat bagian yang lewat saringan No.200 untuk pasir maksimal 5%. Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus atau pasir yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) sebanyak 500 gram dan langkah-langkah pengujian yang sesuai SNI 03-4142-1996.

Data pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat lolos saringan No. } 200 = \frac{w1-w2}{w1} x\ 100\% \quad (3.13)$$

Keterangan:

w1 = berat agregat kering oven (gram), dan

w2 = berat agregat kering oven sesudah dicuci (gram).

### 3.4.3 Air

Air adalah salah satu bahan dasar pembuatan *paving block* karena air selain berfungsi mempermudah pemadatan juga air berfungsi sebagai pelarut semen membentuk pasta dan mengikat seluruh agregat yang berukuran besar hingga kecil. Dalam pembuatan *paving block* penggunaan air harus tepat karena apabila digunakan secara berlebihan mengakibatkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan apabila penggunaan air terlalu sedikit menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya tercapai yang dapat mempengaruhi kekuatan *paving block.* Syarat air yang dapat digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah sebagai berikut SNI 03-6861.1-2002.

1. Bersih, tidak mengandung benda terapung yang terlihat secara visual (minyak, lumpur, dan lain sebagainya).
2. Tidak mengandung benda yang tersuspensi > 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang larut dan dapat merusak beton.
4. Tidak mengandung kandungan klorida > 0,50 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.
6. Penurunan kekuatan beton tidak lebih dari 10%.

### 3.4.4 Abu tempurung kelapa sebagai *pozzolan*

Tempurung kelapa adalah cangkang keras dan kokoh berguna untuk melindungi buah kelapa dari luar. Tempurung kelapa yang memiliki lapisan keras biasanya ketebalan 3-6 mm. Oleh karena itu, sifat kekerasan ini disebabkan kandungan silika yang didalamnya ($SiO_2$) pada tempurung kelapa tersebut. Abu tempurung kelapa berasal dari proses pembakaran dari tempurung atau cangkang menjadi abu. Komposisi kimia yang terdapat pada tempurung kelapa ini terdiri atas, selulosa, pentosa, lignin, abu, solven ekstraktif, uronat anhidrat, nitrogen, dan air. Berat dari tempurung kelapa sekitar 15-19% dari berat keseluruhan buah kelapa. Berikut merupakan komposisi abu tempurung kelapa berdasarkan *The result test from ITS Laboratory*, 2023 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Komposisi Abu Tempurung Kelapa**

| Komposisi | Persentase (%) |
|---|---|
| $SiO_2$ | 7,65 |
| $AI2O_3$ | 1,5 |
| Feo3 | 7,47 |
| MnO | 0,215 |
| CaO | 43,25 |
| $P_2O_5$ | 1,85 |
| $K_2O$ | 32,05 |
| $TIO_2$ | 3,53 |
| $V_2O_5$ | 16,19 |
| $SO_3$ | 0,45 |
| $C_UO$ | 9,57 |
| ZnO | 0,1 |
| $Rb_2O$ | 0,215 |
| SrO | 0,19 |
| $Re_2O_7$ | 0,04 |
| $OsO_4$ | 0,045 |

*Sumber : The result test from ITS Laboratory (2023).*

Dari Tabel 3.5 abu tempurung kelapa ini mengandung silika yang merupakan bahan tambah bersifat *pozzolan*. Berdasarkan *The result test from ITS Laboratory* (2023). Menurut ASTM C 618-96 dalam Suryoatmono (2007) menyebutkan *pozzolan* adalah material yang mengandung silika dan alumina, yang memiliki sedikit atau bahkan tidak sama sekali nilai sementitis, namun dalam bentuk halus pada saat lembab akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar untuk membentuk senyawa yang memiliki kemampuan sementitis.

Rocktron (2007) dalam Suryoatmono (2007) menyebutkan secara sederhana membagi jenis *pozzolan* menurut asalnya menjadi dua kategori yaitu *pozzolan* alam dan *pozzolan* artifisial. *Pozzolan* alam adalah debu vulkanis (*volcanic ash*), *pumice*, tufa (*tuff*), *diatomaceous earth,* dan *opaline shale*; sedangkan *pozzolan* artifisial adalah *fly ash,* dan produk abu terbang yang berasal dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik, abu sekam padi (*rice husk ash*), debu bata (*brick dust),* kaolin berkapur (*calcined kaolin*), *condensed silica fume*, GGBS dan beberapa slag metalurgis. Komposisi kimia dari bahan *pozzolan* dapat dilihat pada Tabel 3.6.

**Tabel 3. 6 Komposisi Kimia Bahan *Pozzolan***

| **Unsur kimia (%)** | **Tras** | ***Fly ash*** |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 45-72 | 40-60 |
| $A1_2O_3$ | 10-18 | 20-26 |
| $Fe_2O_3$ | 1-6 | 4-7 |
| CaO | - | - |
| MgO | 0,5-3 | 1-2 |
| $SO_3$ | 0,3-1,6 | 0,3-1,6 |
| Alkali | - | 2,5-5 |
| L O 1 | 3-14 | 1-10 |

*Sumber : Tjokrodimuljo,1996*

## 3.5 Perawatan *paving block*

Pada benda *paving block* untuk memastikan kelancaran proses hidrasi semen, perawatan benda uji melalui pemeliharaan kelembaban permukaan menjadi hal

yang krusial. Benda uji yang berumur 1 hari harus dikeluarkan dari cetakan dan direndam hingga mencapai umur 28 hari.

## 3.6 Pengujian *paving block*

Pengujian *paving block* melibatkan serangkaian metode dan prosedur yang dirancang untuk mengevaluasi kualitas dan karakteristik fisik *paving block*. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa *paving block* memenuhi persyaratan teknis dan memiliki kemampuan yang diinginkan, seperti kekuatan mekanik, ketahanan terhadap beban, daya serap air, dan kestabilan dimensi.

### 3.6.1 Uji kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Kuat tekan pada *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 dan gambar sketsa pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.4.

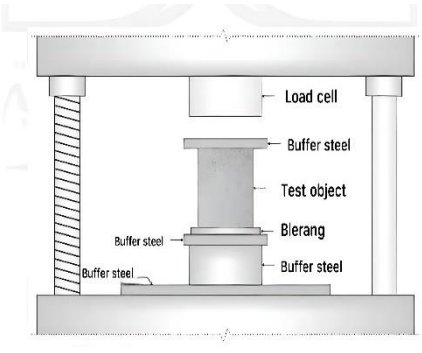
$$\sigma = \frac{P}{L} \tag{3.14}$$

Dengan:

σ = kuat tekan (N/mm$^2$),

P = beban tekan (N), dan

L = luas bidang tekan (mm$^2$).




**Gambar 3.4 Sketsa Pengujian Kuat Tekan**

*Sumber: Muhamad (2022)*

### 3.6.2 Uji ketahanan aus

Untuk pengujian ketahanan aus adalah dapat diartikan sebagai terkikisnya lapisan permukaan benda uji akibat adanya gesekan. Uji ketahanan aus pada *paving*

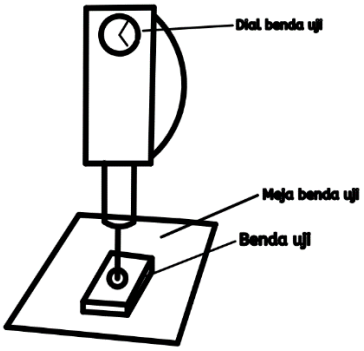
*block* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 dan gambar sketsa pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada Gambar 3.5.

$$D = 1{,}26\ G + 0{,}0246 \quad (3.15)$$

Dengan:

D = keausan (mm/menit), dan

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




**Gambar 3.5 Sketsa Pengujian Ketahanan Aus**

3.6.3 Penyerapan air

Pengujian penyerapan air adalah proses untuk mengukur kemampuan suatu bahan menyerap atau menahan air. Tujuan pengujian penyerapan air pada *paving block* untuk menentukan persentase air yang dapat diserap oleh *paving block.* Untuk menghitung penyerapan air pada *paving block* dapat dilihat pada Persamaan 3.16.

$$DSA = \frac{A-B}{B} \text{ x } 100\% \quad (3.16)$$

Dengan:

DSA = penyerapan air (%),

A = berat *paving block* basah (gram), dan

B = berat *paving block* kering (gram).

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu dengan melakukan serangkaian percobaan atau pengamatan untuk mendapatkan data yang diinginkan. Data yang diambil atau didapat akan terlebih dahulu dianalisis untuk mendapatkan hasil penelitian, yang nantinya dibandingkan dengan persyaratan atau SNI yang digunakan. Standard dan prosedur yang digunakan mengacu peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI 03-1968-1990, SNI 03-1970-2016, SNI 4804-1998, dan PUBI 1982.

## 4.2 Bahan dan peralatan

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan *paving block* dalam penelitian diuraikan sebagai berikut ini.

1. Air

   Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang jernih, tidak berbau, dan tidak mengandung benda-benda asing yang dapat dilihat secara kasat mata. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah air dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1 Air**

2. Semen *portland*

Pada penelitian ini digunakan semen *portland* merk Tiga roda. Semen *portland* berfungsi untuk bahan pengikat di dalam pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar semen *portland* merk tiga roda dapat dilihat pada Gambar 4.2.




**Gambar 4.2 Semen *Portland***

3. Pasir

   Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 4,75 mm (No.4) pada kondisi jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*). Perbedaan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo adalah pasir Merapi jauh lebih kasar dan tajam dibandingkan dengan pasir Sungai Progo dikarenakan pasir Merapi lebih abrasif karena terdiri dari material vulkanik yang belum terlalu halus. Warna pada pasir Merapi dan pasir Sungai Progo sangat jauh berbeda pasir Merapi berwarna kehitaman sedangkan pasir Sungai Progo keputihan. Kandungan silika juga pasir Merapi jauh lebih tinggi dibandingkan pasir Sungai Progo. Berikut adalah gambar pasir Merapi dan pasir Sungai Progo dapat dilihat pada Gambar 4.3.



a) b)

**Gambar 4.3 Pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo**

4. Abu tempurung kelapa

   Pada penelitian ini, abu tempurung kelapa diperoleh dari salah satu industri rumah tangga di Kebumen. Abu tempurung kelapa tersebut diambil langsung oleh peneliti, kemudian diolah menjadi abu tempurung kelapa dengan proses pembakaran dan penumbukan yang menghasilkan warna kehitaman dan abu yang lolos saringan No.200. Berikut adalah gambar abu tempurung kelapa yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Abu Tempurung Kelapa**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Cetakan *paving block* dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm

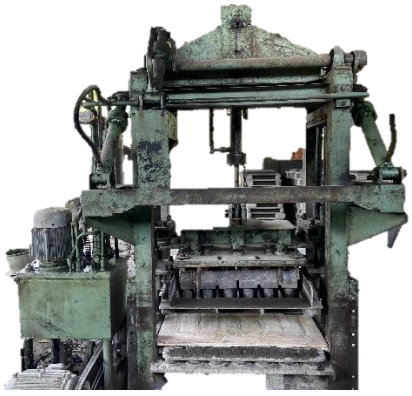
   Pada penelitian ini menggunakan cetakan dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm agar memberikan pola atau desain dengan menggunakan cetakan yang sesuai syarat SNI membantu dalam mencapai tingkat presisi dan akurasi pada *paving block.* Berikut adalah gambar cetakan *paving block* yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Cetakan *Paving Block***

2. Mesin press *paving block*,

   Pada penelitian ini menggunakan mesin cetak *paving block* yang dioperasikan dengan sistem hidrolik dan dilengkapi *vibrator* (penggetar). Berikut adalah mesin cetak *paving block* yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6 Mesin Cetak *Paving Block***

3. Ayakan atau saringan,

   Pada penelitian ini digunakan beberapa macam saringan. Di dalam satu set saringan dari saringan No.1 sampai No.200 yang digunakan untuk pengujian modulus halus butir (MHB) atau analisis saringan agregat halus, saringan No. 200 digunakan untuk pemeriksaan butiran yang lolos untuk uji kandungan lumpur dalam pasir dan saringan No.200 juga digunakan untuk penyaringan bahan abu tempurung kelapa. Berikut adalah saringan yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7 Saringan**

4. Timbangan,

   Pada penelitian ini digunakan timbangan yang ketelitian 0,001 kg atau 1 gram. Timbangan digunakan untuk menimbang bahan yang dipakai dalam pembuatan *paving block*, untuk menimbang benda uji *paving block* dalam pengujian penyerapan air dan pengujian ketahanan aus. Berikut adalah gambar timbangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Timbangan**

5. Oven,

   Pada penelitian ini digunakan oven dengan kapasitas panas sampai dengan 250 derajat celcius. Oven berfungsi sebagai pada pengujian properties agregat halus dan pengujian penyerapan air *paving block.* Berikut adalah oven yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.




**Gambar 4.9 Oven**

6. Mesin uji kuat tekan (*Universal testing matchine*),

   Pada penelitian ini digunakan mesin kuat tekan untuk mendapatkan nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh *paving block.* Mesin kuat tekan yang memberikan beban dengan gaya yang konstan sampai *paving block* hancur. Berikut adalah gambar mesin uji kuat tekan yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Mesin Uji Kuat Tekan**

7. Mesin ketahanan aus.

   Pada penelitian ini digunakan mesin ketahanan aus yang berfungsi untuk menghitung ketahanan aus pada *paving block* dengan cara memutarkan mesin dan menggesekkan benda uji terhadap permukaan *paving block.* Berikut adalah gambar mesin ketahanan aus dapat dilihat pada Gambar 4. 11.



**Gambar 4.11 Mesin Ketahanan Aus**

## 4.3 Benda uji

Pada penelitian ini *paving block* yang diuji adalah *paving block* berbentuk kubus dengan ukuran 8 cm x 8 cm x 8 cm untuk uji kuat tekan, untuk uji ketahanan aus berbentuk kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 2 cm, dan untuk uji penyerapan air ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm. Jumlah keseluruhan benda uji adalah sebanyak 120 benda uji dengan rincian jumlah benda uji untuk kuat tekan pervariasi adalah 10 benda uji, pervariasi untuk ketahanan aus sebanyak 5 benda uji, dan pervariasi untuk penyerapan air sebanyak 5 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji**

| **Komposisi Terhadap Semen : Pasir (ps Merapi dan ps Sungai Progo)** | **Persentase Abu Tempurung Kelapa (%)** | **Jumlah Sampel** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Uji Kuat Tekan** | **Uji Ketahanan Aus** | **Penyerapan Air** |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 0 | 10 | 5 | 5 |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 5,5 | 10 | 5 | 5 |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 7,5 | 10 | 5 | 5 |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 9,5 | 10 | 5 | 5 |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 11,5 | 10 | 5 | 5 |
| 1 : 3 (1,5 dan 1,5) | 13,5 | 10 | 5 | 5 |

Tabel 4.1 menunjukkan komposisi dan jumlah sampel yang digunakan pada pembuatan *paving block.* Komposisi tersebut dihasilkan dari hasil uji coba yang

telah dilakukan dengan mencampurkan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo. Pada pembuatan *paving block* menggunakan campuran antara pasir Merapi dan pasir Sungai Progo karena pasir Merapi yang berbutir tajam dan lebih kasar dibandingkan pasir Sungai Progo yang lebih halus dan berbutir bulat. Oleh karena itu, rongga pada *paving block* dapat diminimalisir karena agregat halus dapat saling mengisi antar partikelnya dan membuat peningkatan nilai kuat tekan.

## 4.4 Pelaksanaan penelitian

Persiapan dan pemeriksaan bahan susun *paving block* dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini sebagai berikut.

### 4.4.1 Tahap persiapan bahan

Persiapan pasir yang digunakan dalam penelitian dengan cara mengayak pasir sampai pasir lolos lubang ayakan 4,75 mm, kemudian pasir dikondisikan dalam keadaan jenuh kering muka atau SSD *(Saturated Survface Dry)***.** Oleh karena itu, perlu melakukan pengujian karakteristik pasir yang digunakan. Pengujian karakteristik bertujuan untuk menentukan keadaan fisik pasir sebenarnya. Pengujian karakteristik pasir yang digunakan meliputi: kadar air pasir, berat jenis pasir, gradasi pasir, pengujian berat volume padat gembur, dan pengujian kandungan lumpur.

### 4.4.2 Tahap pengujian bahan

1. Pengujian Pemeriksaan analisis saringan

   Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus dan sejenisnya yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) yang bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 03-1968-1990.

Langkah-langkah pemeriksaan analisis saringan yaitu sebagai berikut.

a. Mengeringkan benda uji dalam oven dengan suhu 110±5 °C, sampai berat tetap.
b. Mendinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam dan timbang beratnya.
c. Menyusun ayakan kemudian masukkan benda uji kering oven tersebut ke dalam ayakan.
d. Mengguncangkan menggunakan mesin selama 10-15 menit. Menimbang masing-masing benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ayakan dan catat beratnya.

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus

   Menurut SNI 03-1970-2016, tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus.

   Langkah-langkah pengujian berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut.

   a. Menyiapkan benda uji dan mencuci untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
   b. Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu (110±5) °C sampai beratnya tetap.
   c. Mendinginkan benda uji pada suhu ruangan selama 1-3 jam sampai dengan temperatur yang bisa dikerjakan, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk).
   d. Membasahi dengan air dan rendam benda uji dalam air pada suhu ruangan selama 15 sampai dengan 19 jam.
   e. Sebagai catatan, apabila nilai berat jenis dan penyerapan digunakan dalam menghitung campuran dengan agregat dalam kondisi lapangan yang ada, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dapat diabaikan dan apabila permukaan partikel telah terjaga dalam kondisi basah, perendaman dapat diabaikan.

f. Mengeluarkan benda uji dari air, dan mengelap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
g. Menimbang benda uji jenuh kering permukaan (Bj).
h. Mengisi piknometer dengan air sebagian saja, segera setelah itu masukkan agregat halus ke dalam piknometer (500±10) gram dalam kondisi jenuh kering permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya.
i. Menambahkan kembali air sampai kira-kira 90% kapasitas piknometer.
j. Memutar dan mengguncangkan piknometer dengan tangan untuk menghilangkan gelembung udara yang terdapat di dalam air atau bisa menggunakan pompa vakum atau alat pemanas.
k. Menyesuaikan temperatur piknometer, air, dan agregat dengan temperatur ruang, apabila diperlukan, rendam dalam air yang bersirkulasi.
l. Mengisi piknometer sampai batas pembacaan pengukuran.
m. Menimbang berat total piknometer, benda uji, dan air (Bt).
n. Meletakan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (Ba), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25°).
o. Mengeluarkan agregat halus dari dalam piknometer.
p. Mengeringkan sampai berat tetap pada temperatur (110±5) °C.
q. Mendinginkan pada temperatur ruang selama (1,0±0,5) jam dan timbang beratnya.
r. Menimbang berat piknometer pada saat terisi air saja sampai batas pembacaan yang ditentukan pada temperatur (23±1,7) °C.

3. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur

   Pemeriksaan berat volume padat dan gembur dilakukan dengan menggunakan metode analisis densitas untuk mengukur massa dan volume

suatu bahan dengan tujuan memperoleh informasi tentang kepadatan dan komposisi material tersebut.

Untuk langkah-langkah untuk pemeriksaan berat volume padat dan gembur yaitu sebagai berikut.

a. Memasukkan agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah baja.
b. Mengeringkan dalam oven dengan suhu 110±5 °C, sampai berat tetap.
c. Mengeluarkan benda uji dari oven lalu dinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam dan timbang beratnya dengan ketelitian 0,1 gram.
d. Menimbang dan catat berat wadah (W1) dan volume wadah (V1).
e. Masukkan benda uji ke dalam wadah dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir menggunakan sekop.
f. Mengisi hingga memenuhi wadah (untuk benda uji gembur).
g. Mengisilah wadah dengan benda uji 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata (untuk benda uji padat).
h. Menusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk (untuk benda uji padat).
i. Mengisi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti di atas (untuk benda uji padat).
j. Mengisi wadah sampai berlebih dan tusuk lagi (untuk benda uji padat).
k. Meratakan permukaan benda uji.
l. Menimbang dan catat berat wadah beserta benda uji (W2)

4. Pemeriksaan kandungan lumpur

Langkah-langkah pemeriksaan kandungan lumpur yaitu sebagai berikut.

a. Mengambil benda uji yang lolos ayakan no.200 kering oven sebanyak 500 gram.
b. Mengaliri pasir dengan air di atasnya.
c. Meratakan pasir dengan air hingga butiran halus menembus saringan dan yang kasar tertinggal di saringan.
d. Melakukan proses ini secara berulang hingga jernih.

e. Setelah air jernih, tuang agregat halus ke dalam tatakan dan keringkan di dalam oven dengan suhu 110±5 °C selama 24 jam.
f. Menimbang benda uji yang sudah dikeringkan.

5. Pemeriksaan semen

   Pada penelitian ini, pemeriksaan semen dilakukan melalui metode visual yang mencakup pengamatan warna dan kehalusan butiran semen setelah ditempatkan dalam kondisi tertutup rapat. Tujuannya adalah memastikan bahwa semen yang digunakan dalam *paving block* memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk menghasilkan *paving block* yang kuat dan tahan lama.

6. Pemeriksaan air

   Pemeriksaan air adalah proses evaluasi kualitas air yang akan digunakan dalam campuran *paving block*. Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual dengan kriteria yang meliputi kejernihan, ketiadaan lumpur, minyak, dan garam. Air harus jernih dan bebas dari kekeruhan yang signifikan. Partikel tersuspensi dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan *paving block.*

7. Pemeriksaan abu tempurung kelapa

   Pemeriksaan abu tempurung kelapa adalah proses evaluasi dan analisis untuk memastikan kualitas dan kesesuaian sebagai bahan substitusi dalam pembuatan *paving block.* Pemeriksaan dilakukan secara visual memeriksa kandungan kelembaban untuk memastikan bahwa abu tempurung dalam kondisi kering dan lolos saringan No.200.

4.4.3 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 6 cm.

Langkah-langkah pembuatan uji coba sebagai berikut.

1. Pemeriksaan pasir Merapi meliputi pemeriksaan analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume padat, berat volume gembur, dan uji kandungan lumpur.
2. Mengayak agregat halus dengan saringan No. 4,75 mm sesuai kebutuhan.

3. Penimbangan komposisi campuran agregat halus, semen, dan air sesuai perhitungan dengan perbandingan semen dan pasir 1:3 nilai fas 0,4.
4. Pencampuran pasir Merapi, semen dan air dengan dimasukkan ke dalam *mixer*.
5. Memasukkan campuran *paving block*, ke dalam cetakan.
6. Setelah memasukan campuran ke dalam cetakan selanjutnya, dilakukan pengepresan pada mesin hidrolis.
7. Mengambil *paving block* yang sudah tercetak dan diletakkan di tempat yang teduh dan menunggu pengeringan sampai mengeras.
8. Setelah *paving block* mengeras, selanjutnya dilakukan proses perendaman selama 28 hari.

4.4.4 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:2 ketebalan 6 cm.

Langkah-langkah pembuatan trial sebagai berikut.

1. Pemeriksaan pasir Sungai Progo meliputi pemeriksaan analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume padat, berat volume gembur, dan uji kandungan lumpur.
2. Mengayak agregat halus Sungai Progo dengan lolos saringan 4,75 mm sesuai kebutuhan.
3. Penimbangan komposisi campuran agregat halus, semen, dan air sesuai perhitungan dengan perbandingan semen dan pasir 1:2 nilai fas 0,4.
4. Pencampuran pasir Sungai Progo, semen dan air dengan dimasukkan ke dalam *mixer*.
5. Memasukkan campuran *paving block* ke dalam cetakan.
6. Setelah di masukan, selanjutnya dilakukan pengepresan pada mesin hidrolis.
7. Mengambil *paving block* yang sudah tercetak dan diletakkan di tempat yang teduh dan menunggu pengeringan sampai mengeras.
8. Setelah menunggu mengeras, selanjutnya dilakukan proses perendaman di dalam air selama 28 hari dan sebelum merendam cek kondisi air secara visual jernih atau sudah terkontaminasi zat-zat lain.

4.4.5 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 8 cm.

1. Pemeriksaan pasir Merapi meliputi pemeriksaan analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume padat, berat volume gembur, dan uji kandungan lumpur.
2. Mengayak agregat halus Merapi dengan lolos saringan No.4,75 mm sesuai kebutuhan.
3. Penimbangan komposisi campuran agregat halus, semen, dan air sesuai perhitungan dengan perbandingan semen dan pasir 1:3 nilai fas 0,4.
4. Pencampuran pasir Merapi, semen dan air dengan dimasukkan ke dalam *mixer*.
5. Memasukkan campuran *paving block* ke dalam cetakan.
6. Setelah di masukan selanjutnya dilakukan pengepresan pada mesin hidrolis.
7. Mengambil *paving block* yang sudah tercetak dan diletakkan di tempat yang teduh dan menunggu pengeringan sampai mengeras.
8. Setelah menunggu mengeras, selanjutnya dilakukan proses perendaman di dalam air selama 28 hari dan sebelum merendam cek kondisi air secara visual jernih atau sudah terkontaminasi zat-zat lain.

4.4.6 Pembuatan uji coba perbandingan semen dan pasir 1:3 ketebalan 8 cm.

1. Pemeriksaan pasir Merapi dan Sungai Progo meliputi pemeriksaan analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume padat, berat volume gembur, dan uji kandungan lumpur.
2. Pencucian agregat halus pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo agar kadar lumpur yang ada di dalamnya berkurang.
3. Penimbangan komposisi campuran agregat halus, semen, dan air sesuai perhitungan dengan perbandingan semen dan pasir 1:3 meliputi (1,5 pasir Merapi dan 1,5 pasir Sungai Progo) fas 0,35.
4. Pencampuran pasir Merapi dan pasir Sungai Progo, semen dan air dengan dimasukkan ke dalam *mixer*.
5. Memasukkan campuran *paving block* ke dalam cetakan.

6. Setelah di masukan, selanjutnya dilakukan pengepresan pada mesin hidrolis.
7. Mengambil *paving block* yang sudah tercetak dan diletakkan di tempat yang teduh dan menunggu pengeringan sampai mengeras.
8. Setelah menunggu mengeras, selanjutnya dilakukan proses perendaman di dalam air selama 28 hari dan sebelum merendam cek kondisi air secara visual jernih atau sudah terkontaminasi zat-zat lain.

4.4.7 Pembuatan benda uji

1. Proses pencampuran benda uji

   Perbandingan berat semen terhadap pasir Merapi dan pasir Sungai Progo yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 pc : 3 ps meliputi (1,5 ps Merapi) dan (1,5 ps Sungai Progo), dengan variasi substitusi abu tempurung kelapa sebesar 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen. Proses tersebut mengimplikasikan tahap pencampuran bahan-bahan tersebut. Gambar proses pencampuran dapat dilihat pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12 Proses Pencampuran**

2. Pencetakan benda uji

   Proses percetakan benda uji dilakukan menggunakan mesin pres yang menggunakan sistem hidrolik dan dilengkapi dengan sistem vibrator yang umumnya digunakan dalam produksi *paving block*. Gambar proses pembuata benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13 Proses Pencetakan**

3. Pemotongan benda uji

   *Paving block* yang semula berukuran 20 cm × 10 cm × 8 cm dipotong menggunakan alat pemotong batuan. Mendapatkan bentuk permukaan yang presisi tanpa adanya profil pada permukaan benda uji yang membuat perhitungan luas permukaan *paving block* sedikit kurang detail, menyesuaikan tempat peletakan benda uji pada alat pengujian, jumlah jenis pengujian dan juga untuk mempermudah proses pemotongan karena tebal dari *paving block* tersebut adalah 8 cm, maka benda uji dipotong menjadi 3 buah bagian. Pemotongan benda uji untuk kebutuhan pengujian kuat tekan berukuran 8 cm × 8 cm × 8 cm sedangkan untuk pengujian ketahanan aus dipotong dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 2 cm dan untuk pengujian penyerapan air tidak dipotong dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm. Gambar alat pemotongan *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.14.




**Gambar 4.14 Alat Pemotong**

4. Proses perawatan benda uji

   Perawatan benda uji dilakukan setelah 1 hari sejak pembuatan *paving block.* Pada usia 1 hari, benda uji telah cukup keras dilakukan proses perendaman selama 28 hari menggunakan air bersih yang tidak terkontaminasi zat-zat lain. Hal tersebut agar pada saat proses pengeringan dan pengerasan pada *paving block* berjalan sempurna atau mencegah terjadinya retak-retak atau pecah pada *paving block.* Gambar proses perawatan *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15 Perawatan**

4.4.8 Proses pengujian benda uji

Pengujian *paving block* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas *paving block* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan

   Benda uji yang telah siap untuk dilakukan pengujian kuat tekannya dengan mesin kuat tekan yang dapat diatur kecepatan penekanannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai benda uji hancur diatur, sehingga tidak kurang dari satu menit dan tidak lebih dari dua menit. Kuat tekan didapat dengan menghitung beban maksimum yang diterima *paving block* berbanding luas bidang tekan, dinyatakan dalam MPa. Gambar pengujian kuat tekan *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.16.



**Gambar 4. 16 Pengujian Kuat Tekan**

2. Ketahanan aus

   Pengujian ketahanan aus dilakukan setelah benda uji umur mencapai 28 hari. Pengujian ketahanan aus bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan *paving block*, seberapa besar kehilangan berat yang terjadi pada *paving block* per menit. Gambar pengujian ketahanan aus pada *paving block*, yaitu dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan langkah-langkah pengujian ketahanan aus sebagai berikut.



**Gambar 4.17 Pengujian Ketahanan Aus**

   Berikut merupakan langkah-langkah pengujian ketahanan aus sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

   a. Membersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
   b. Memotong benda uji dengan bujur sangkar dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 2 cm.
   c. Menggunakan mesin aus dengan cara mengaus-aus serta cari berat jenis yang dikerjakan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

d. Mencatat semua hasil dari pengujian ketahanan aus yang telah dilakukan.

3. Penyerapan air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan *paving block* untuk menyerap air melalui pori-porinya. Mengacu pada SNI 03-0691-1996 langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut. Gambar pengujian penyerapan air *paving block* dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18 Pengujian Penyerapan Air**

a. Merendam benda uji ke dalam air hingga jenuh selama 24 jam, kemudian menimbang beratnya dalam keadaan basah dengan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,5 gram.
b. Mengeringkan benda uji ke dalam oven dengan suhu 110±5 °C selama 24 jam sampai berat pada 2 kali penimbangan selisihnya tidak lebih dari 0,2%.
c. Menimbang dalam keadaan kering oven.

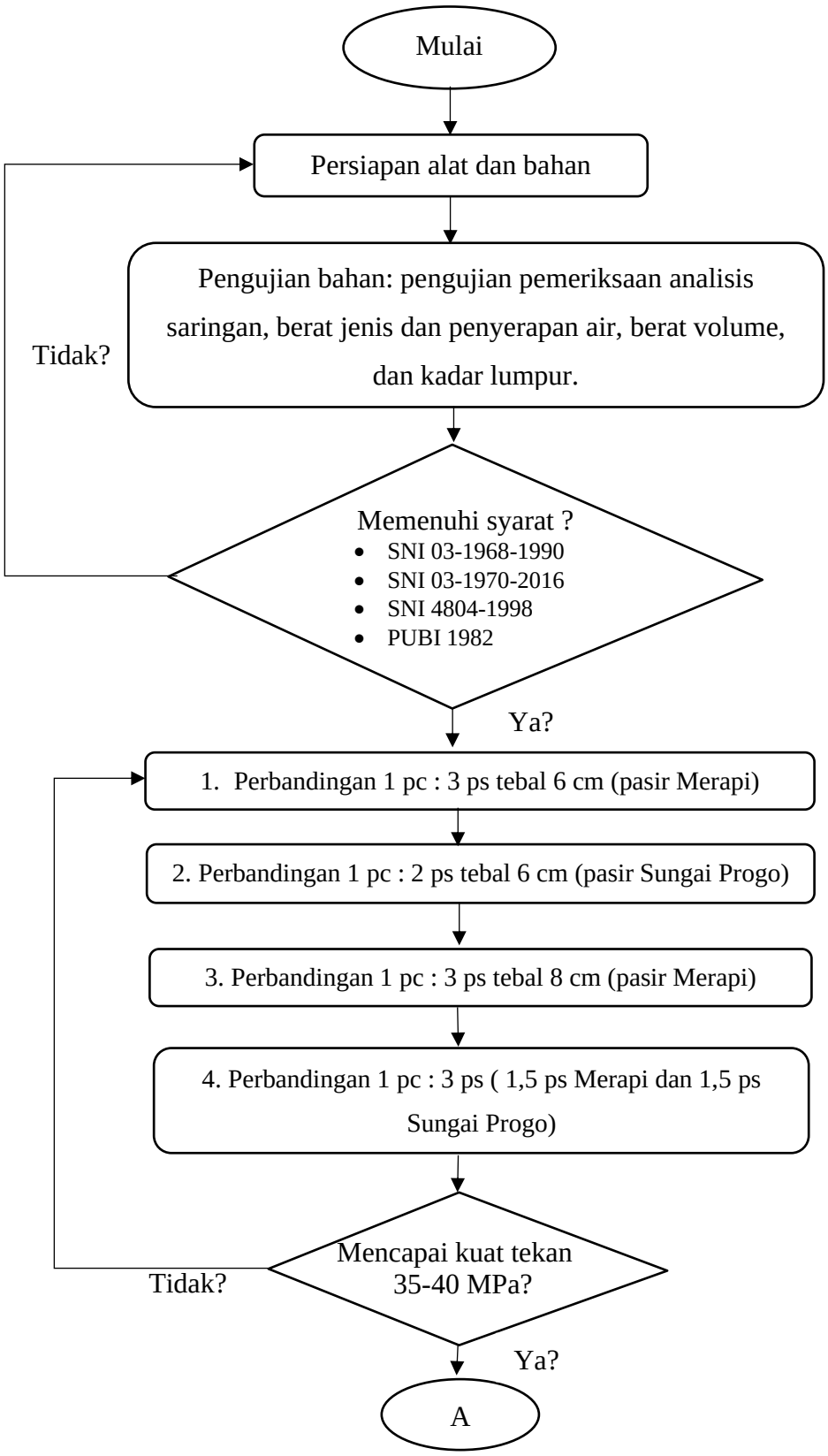
## 4.5 Analisis data dan pembahasan

Setelah proses pengujian selesai, langkah berikutnya adalah pengolahan data yang diperoleh sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Hal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block*. Peneliti harus melakukan analisis data guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai dampak penggunaan abu tempurung kelapa dalam komposisi *paving block* tersebut.

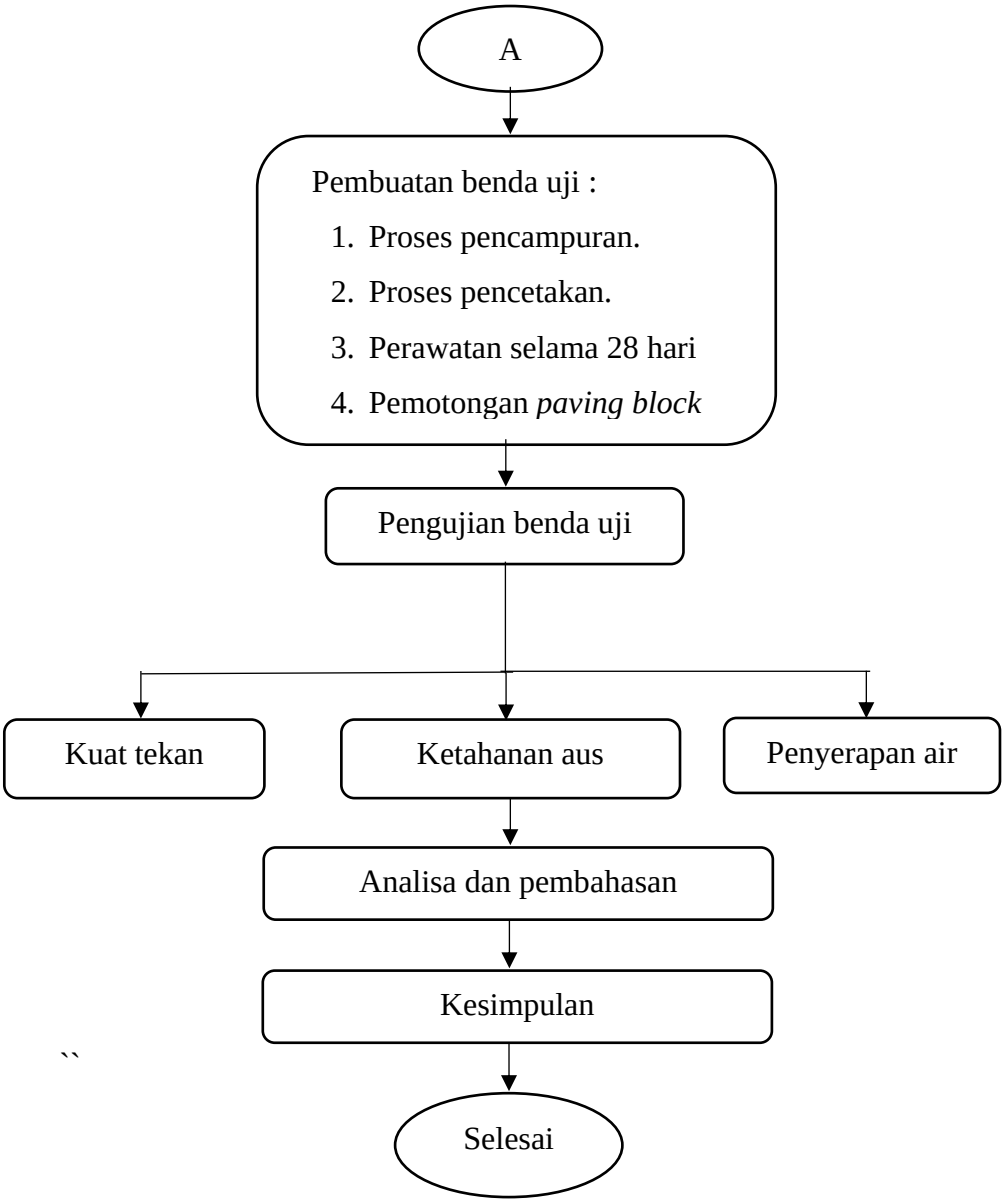
Pada tahap ini juga, berdasarkan analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan. Kesimpulan yang diambil merupakan hasil dari pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block* yang dilakukan penambahan abu tempurung kelapa dalam campuran *paving block*. Kesimpulan tersebut memberikan pemahaman tentang pengaruh penambahan abu tempurung kelapa terhadap kualitas *paving block* dalam hal kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air, serta memberikan wawasan mengenai potensi penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam industri *paving block.*

## 4.6 Bagan alir penelitian

Bagan alir (*flowchart*) adalah suatu gambaran langkah-langkah yang harus dilakukan dalam sebuah penelitian dengan urutan yang terstruktur dan sistematis. Pada penelitian ini, bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.20.




**Gambar 4. 19 Bagan Alir Penelitian**




``

**Lanjutan Gambar 4. 20 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Tinjauan umum

Pada bab ini, membahas mengenai hal yang dilakukan dalam penelitian seperti menganalisis sifat material penyusun *paving block*, membuat uji coba benda uji dengan menggunakan jenis pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo dengan ketebalan benda uji 6 cm dan 8 cm hingga bisa mencapai nilai kuat tekan rencana sebesar 35-40 MPa. Setelah mencapai nilai kuat tekan rencana dapat disubstitusikan dengan abu tempurung kelapa, selanjutnya dapat diuji kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block.*

## 5.2 Pemeriksaan bahan

Pada pengujian ini bahan pembuatan *paving block* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia didapatkan beberapa data dari hasil pengujian antara lain pengujian modulus halus butir, pengujian berat volume padat dan gembur, pengujian berat jenis, penyerapan air dan pengujian kandungan lumpur. Data yang diperoleh tersebut di analisa agar dapat masuk ke dalam persyaratan bahan penyusun *paving block*, sehingga *paving block* yang telah dibuat sesuai dengan perencanaan.

### 5.2.1 Pengujian agregat halus pasir Merapi

1. Pengujian modulus halus butir agregat halus pasir Merapi

   Pada pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai modulus halus butir agregat halus pasir Merapi berdasarkan metode dari SNI 03-1968-1990. Pengujian menggunakan benda uji agregat halus pasir Merapi dengan berat 2000 gram, dan hasil data berat tertinggal pada setiap saringan yang diukur. Setiap agregat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang, kemudian dilakukan analisis perhitungan untuk memperoleh berat tertahan kumulatif dan persentase lolos kumulatif. Berdasarkan hasil ini, klasifikasi daerah gradasi agregat dapat ditentukan berdasarkan persentase lolos

kumulatif. Terdapat beberapa klasifikasi daerah gradasi agregat halus, di antaranya daerah I yang mencakup pasir kasar, daerah II untuk pasir agak kasar, daerah III untuk pasir agak halus, dan daerah IV yang mencakup pasir halus. Saringan yang digunakan dalam pengujian meliputi ukuran 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Berikut adalah data hasil pengujian analisis saringan agregat halus.

a. Analisis berat tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ tertinggal}{\sum Berat\ tertinggal}\ x\ 100\%$

Saringan ukuran 4,8 mm $= \frac{7}{2000}\ x\ 100\%$

$= 0{,}35\%$

Saringan ukuran 2,4 mm $= \frac{175}{2000}\ x\ 100\%$

$= 8{,}75\%$

Saringan ukuran 1,2 mm $= \frac{289}{2000}\ x\ 100\%$

$= 14{,}49\%$

Saringan ukuran 0,6 mm $= \frac{778}{2000}\ x\ 100\%$

$= 38{,}90\%$

Saringan ukuran 0,3 mm $= \frac{300}{2000}\ x\ 100\%$

$= 15{,}00\%$

Saringan ukuran 0,15 mm $= \frac{285}{2000}\ x\ 100\%$

$= 14{,}25\%$

Pan $= \frac{166}{2000}\ x\ 100\%$

$= 8{,}30\%$

b. Analisa berat tertinggal kumulatif

Saringan ukuran 4,8 mm $= 0\% + 0{,}35\%$

$= 0{,}35\%$

Saringan ukuran 2,4 mm $= 0{,}35\% + 8{,}75\%$

$= 9{,}10\%$

Saringan ukuran 1,2 mm $= 9{,}10\% + 14{,}45\%$

= 23,55%

Saringan ukuran 0,6 mm = 23,55%+ 38,90%

= 62,45%

Saringan ukuran 0,3 mm = 62,45%+ 15,00%

= 77,45%

Saringan ukuran 0,15 mm = 77,45%+ 14,25%

= 91,70%

Pan = 91,70%+ 8,30%

= 100%

c. Analisa persen kumulatif

Saringan ukuran 4,8 mm = 100% -0%

= 100%

Saringan ukuran 2,4 mm = 100% - 0,35%

= 99,65%

Saringan ukuran 1,2 mm = 100% - 9,10%

= 90,90%

Saringan ukuran 0,6 mm = 100% -23,55%

= 76,45%

Saringan ukuran 0,3 mm = 100% - 77,45%

= 22,55%

Saringan ukuran 0,15 mm = 100% - 91,70%

= 8,30%

Pan = 100% - 100%

= 0%

Dari perhitungan analisa menurut SNI 03-1968-1990, diperoleh hasil rekapitulasi pada pengujian nilai modulus halus butir agregat halus pasir Merapi. Hasil rekapitulasi analisa saringan agregat halus pasir Merapi disajikan dalam Tabel 5.1.

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

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gr) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Saringan Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 20,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 10,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 4,80 | 7 | 0,35 | 0,35 | 99,65 |
| 2,40 | 175 | 8,75 | 9,10 | 90,90 |
| 1,20 | 289 | 14,45 | 23,55 | 76,45 |
| 0,6 | 778 | 38,90 | 62,45 | 37,55 |
| 0,3 | 300 | 15,00 | 77,45 | 22,55 |
| 0,15 | 285 | 14,25 | 91,70 | 8,30 |
| Sisa | 166 | 8,30 | 100,00 | 0,00 |
| Jumlah | 2000 | 100 | 264,6 | |

d. Modulus halus butir (MHB)

Berdasarkan Tabel 5.1 dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) dengan persamaan berikut ini.

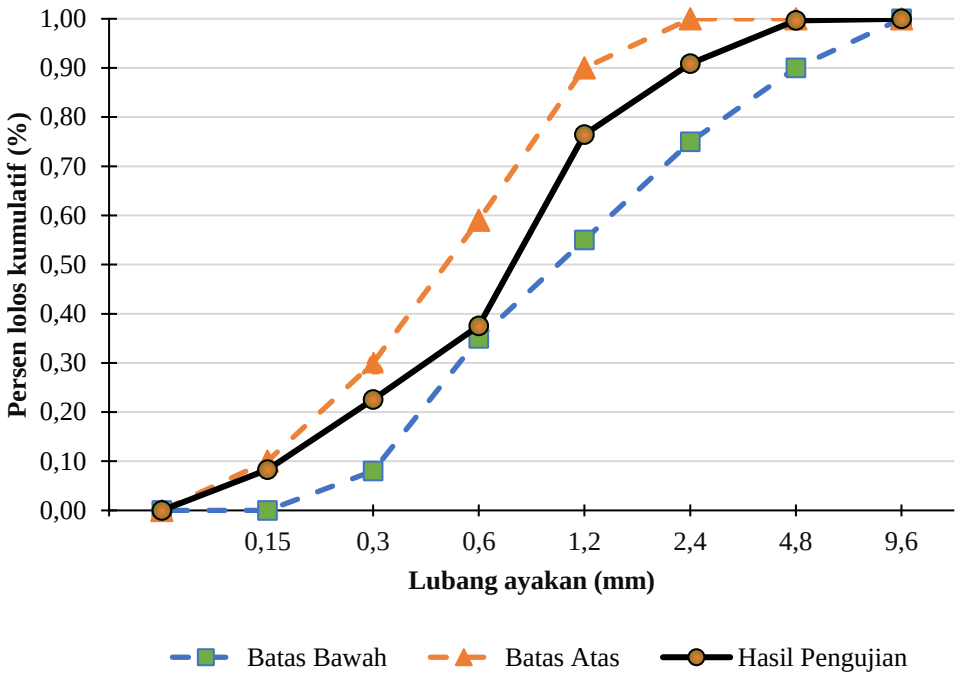
$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$= \frac{264,6}{100}$$

$$= 2,646$$

Dengan hasil pengujian dan analisis, diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) dengan agregat halus rata-rata sebesar 2,646. Hal ini menunjukkan bahwasanya nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus yang diperoleh telah memenuhi ketentuan SNI 03-1968-1990 untuk modulus halus butir, yaitu 1,5 – 3,8. Perincian untuk lubang ayakan 10,00 mm (100%), 4,8 mm (90-100%), 2,4 mm (75-100%), 1,20 mm (55-90%), 0,60 mm (35-59%), 0,30 mm (8-30%), 0,15 mm (0-10%).

Data hasil lolos saringan agregat halus yang diperoleh merupakan gradasi pasir daerah (II) 2. Pada perhitungan yang telah didapatkan bahwa pasir yang digunakan merupakan pasir sedang dengan nilai 2,646. Berikut merupakan grafik dan tabel penentuan gradasi agregat halus yang dihasilkan pada pengujian modulus halus butir (MHB) yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.2.




**Gambar 5.1 Grafik Hasil Analisa Saringan Halus Daerah II (Pasir Merapi)**

Pada Gambar 5.1 diperoleh hasil analisa grafik analisis saringan menunjukan bahwa pasir Merapi dengan rincian persen lolos saringan kumulatif lubang ayakan 9,6 mm lolos saringan sebesar 100%, lubang ayakan 4,8 mm sebesar 99,65%, lubang ayakan 2,4 mm sebesar 90,90%, lubang ayakan 1,2 mm sebesar 76,45%, lubang ayakan 0,6 mm sebesar 37,55%, lubang ayakan 0,3 mm sebesar 22,55%, lubang ayakan 0,15 mm sebesar 8,30%, dan sisa atau pan persen lolos kumulatif sebesar 0%. Pada hasil tersebut didalam batas atas dan batas bahwah dapat dikategorikan daerah II atau pasir agak kasar. Pasir Merapi dengan karakteristik tersebut memberikan kekuatan dan ketahanan sehingga, menghasilkan campuran yang kuat dan tahan lama.

**Tabel 5.2 Gradasi Agregat Halus**

| Lubang ayakan (mm) | Persentase Butir Agregat Lolos Ayakan (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Daerah I** | **Daerah II** | **Daerah III** | **Daerah IV** |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,40 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,20 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,60 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,30 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

*Sumber: SNI 2834-2000*

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus pasir Merapi

   Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus langkah-langkah pengujian berdasarkan SNI 03-1970-2016. Rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus pasir Merapi sebagai berikut.

   a. Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

      $= \frac{483}{728+500-1042}$

      $= 2{,}59$

   b. Berat jenis $= \frac{500}{B+500-Bt}$

      $= \frac{500}{728+500-1042}$

      $= 2{,}68$

   c. Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$

      $= \frac{483}{728+483-1042}$

      $= 2{,}85$

   d. Penyerapan air $= \frac{500-Bk}{Bk}$

      $= \frac{500-483}{483}$

= 3,52%

Hasil rekapitulasi hasil pengujian dari pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus Pasir Merapi**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata |
| Berat pasir kering mutlak, Bk (gr) | 483,00 | 483,00 | 483,00 |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka, *SSD* (gr) | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Berat piknometer berisi dan air, *B*t (gram) | 1042,00 | 1030,00 | 1042,00 |
| Berat piknometer berisi air, B (gr) | 728,00 | 728,00 | 728,00 |
| Berat jenis curah, *Bk / ( B + 500 – Bt )* (gr) | 2,59 | 2,59 | 2,59 |
| Berat jenis jenuh kering muka, 500 / ( B + 500 – Bt ) (gr) | 2,68 | 2,68 | 2,68 |
| Berat jenis semu, Bk/ ( B + Bk – Bt) (gr) | 2,85 | 2,85 | 2,85 |
| Penyerapan Air, (500 – Bk) / Bk x 100% | 3,52% | 3,52% | 3,52% |

Dari Tabel 5.3 diperoleh hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yang diperoleh berat jenis curah pada agregat halus rata-rata sebesar 2,68 gram/cm$^3$ dan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 3,52%, dengan nilai berat jenis jenuh kering muka yang berada di antara rentang normal (2,5-2,7) yang disarankan oleh Tjokrodimuljo (2007), dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut termasuk dalam kategori berat jenis agregat normal.

3. Pengujian berat volume agregat halus pasir Merapi

Pada pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998. Uji berat volume gembur dan padat pada agregat halus adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik

agregat halus. Pada pengujian ini berfungsi untuk mengetahui tingkat kepadatan dan porositas agregat halus yang dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan daya tahan pada *paving block*. Rekapitulasi hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut.

a. Berat volume padat agregat halus pasir Merapi

Pada perhitungan berat volume padat agregat halus pasir Merapi sebagai berikut.

Berat tabung (W1) = 6607 gram

Berat tabung serta agregat kering oven (W2) = 16474 gram

Berat pasir (W3) = W2 – W1

= 16474-6607

= 9867 gram

Diameter tabung (d) = 15 cm

Tinggi tabung(t) = 30 cm

Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ \times\ d^2 \times\ t$

$= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ \times\ 15^2 \times\ 30$

= 5301,43 cm$^3$

Berat volume padat $= \frac{W3}{Volume}$

$= \frac{9867}{\frac{1}{4} x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30}$

$= \frac{9867}{5301{,}437}$

= 1,86 gram/cm$^3$

Berat volume padat rata-rata $= \frac{Sampel\ 1 + Sampel\ 2}{2}$

$= \frac{1{,}86+1{,}92}{2}$

= 1,89 gram/cm$^3$

Rekapitulasi hasil dari pengujian berat volume padat agregat halus pasir Merapi dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Pasir Merapi**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat Tabung, (W1), (gr) | 6607,00 | 6607,00 | 6607,00 |
| Berat Tabung + agregat (W2), (gr) | 16474,00 | 16789,00 | 1663,50 |
| Berat Agregat (W3), (gr) | 9867,00 | 10182,00 | 10024,50 |
| Volume Tabung (V), ($cm^3$) | 5301,44 | 5301,44 | 5301,44 |
| Berat Volume Padat Pasir (W3/V), ($gr/cm^3$) | 1,86 | 1,92 | 1,89 |

Pada Tabel 5.4 disajikan pengujian berat volume padat agregat halus pasir Merapi dengan rata-rata yaitu sebesar 1,89 $gram/cm^3$.

b. Berat volume gembur agregat halus pasir Merapi

Perhitungan berat volume gembur agregat halus pasir Merapi sebagai berikut.

Berat volume gembur $= \frac{W}{Volume}$

$= \frac{8717}{\frac{1}{4} x\, \pi\, x\, 15^2 x\, 30}$

$= \frac{8717}{5301{,}438}$

$= 1{,}64\ gram/cm^3$

Berat volume rata-rata $= \frac{Sampel\ 1 + Sampel\ 2}{2}$

$= \frac{1{,}64 + 1{,}63}{2}$

$= 1{,}64\ gram/cm^3$

Hasil rekapitulasi pengujian dari berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Pasir Merapi**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat tabung, *W1* (gr) | 6607,00 | 6607,00 | 6607,00 |
| Berat tabung + agregat (gr) | 15324,00 | 15280,00 | 15302,00 |
| Berat agregat, *W3= W2-W1* (gr) | 8717,00 | 8673,00 | 8695,00 |
| Volume tabung, *V* ($cm^3$) | 5301,44 | 5301,44 | 5301,44 |
| Berat volume gembur pasir, *W3/V* ($gr/cm^3$) | 1,64 | 1,64 | 1,64 |

Pada hasil pengujian berat volume gembur disajikan Tabel 5.5 hasil pengujian berat volume gembur agregat halus pasir Merapi dengan rata-rata yaitu sebesar 1,64 $gram/cm^3$.

4. Pengujian kandungan lumpur agregat halus pasir Merapi

Pada pengujian ini bertujuan adalah untuk memperoleh persentase nilai kandungan lumpur pada agregat halus menggunakan saringan No.200. Langkah-langkah pengujian kandungan lumpur agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996. Uraian dan hasil pengujian kandungan lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6.

a. Berat agregat lolos saringan no.200 sampel 1

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W1-W2}{W1} X\ 100\%$$
$$= \frac{500-477}{500} X\ 100\%$$
$$= 4{,}60\%$$

b. Berat agregat lolos saringan no.200 sampel 2

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W1-W2}{W1} X\ 100\%$$
$$= \frac{500-479}{500} X\ 100\%$$
$$= 4{,}20\%$$

c. Berat agregat lolos saringan no.200 rata-rata

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{Sampel\ 1 + Sampel\ 2}{2}$$

$$= \frac{4{,}60 + 4{,}20}{2}$$

$$= 4{,}40\%$$

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus Pasir Merapi**

| **Uraian** | **Hasil Pengamatan** | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat Agregat Kering Oven, *W1* (gr) | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Berat Agregat Kering Oven Stelah Dicuci, *W2* (gr) | 477,00 | 479,00 | 478,00 |
| Berat Lolos Ayakan No.200, *(W1-W2)/W1)* x 100% | 4,60% | 4,20% | 4,40% |

Berdasarkan Tabel 5.6 disajikan hasil pengujian kandungan lumpur agregat halus diperoleh hasil pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus rata-rata yaitu sebesar 4,40%, Maka bahwa sesuai persyaratan PUBI 1982 kandungan lumpur pada agregat halus yang menyebutkan bahwa agregat halus normal memiliki kandungan lumpur harus di bawah 5% dan dari hasil di atas agregat halus pasir Merapi dengan hasil rata-rata sebesar 4,40% sudah memenuhi persyaratan.

5.2.2 Pengujian agregat halus pasir Sungai Progo

1. Pengujian modulus halus butir agregat halus Sungai Progo

Pada pengujian modulus halus butir pasir Sungai Progo berdasarkan metode dari SNI 03-1968-1990. Pengujian ini menggunakan agregat halus pasir Sungai Progo dengan massa sebesar 2000 gram untuk mengevaluasi karakteristik gradasi material. Proses pengujian, berat material yang tertahan pada setiap saringan setelah proses pengayakan dicatat dengan cermat. Setiap fraksi agregat yang tertahan kemudian ditimbang, dan hasilnya dianalisis untuk menghitung berat tertahan kumulatif serta persentase lolos kumulatif.

Analisis ini memungkinkan penentuan klasifikasi gradasi agregat berdasarkan distribusi persentase lolos kumulatif. Hasilnya, agregat halus dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yaitu: daerah I yang mewakili pasir kasar, daerah II untuk pasir agak kasar, daerah III untuk pasir agak halus, dan daerah IV yang mencakup pasir halus. Saringan yang digunakan dalam pengujian meliputi ukuran 4,80 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Berikut adalah data hasil pengujian perhitungan saringan agregat halus.

a. Perhitungan berat tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ tertinggal}{\sum Berat\ tertinggal}\ x\ 100\%$

Saringan ukuran 4,8 mm $= \frac{5}{2000}\ x\ 100\%$

$= 0{,}25\%$

Saringan ukuran 2,4 mm $= \frac{28}{2000}\ x\ 100\%$

$= 1{,}40\%$

Saringan ukuran 1,2 mm $= \frac{73}{2000}\ x\ 100\%$

$= 3{,}65\%$

Saringan ukuran 0,6 mm $= \frac{212}{2000}\ x\ 100\%$

$= 10{,}60\%$

Saringan ukuran 0,3 mm $= \frac{1290}{2000}\ x\ 100\%$

$= 64{,}50\%$

Saringan ukuran 0,15 mm $= \frac{359}{2000}\ x\ 100\%$

$= 17{,}95\%$

Pan $= \frac{33}{2000}\ x\ 100\%$

$= 1{,}65\%$

b. Analisa berat tertinggal kumulatif

Saringan ukuran 4,8 mm $= 0\% + 0{,}25\%$

$= 0{,}25\%$

Saringan ukuran 2,4 mm $= 0{,}25\% + 1{,}40\%$

| | |
|---|---|
| | = 1,65% |
| Saringan ukuran 1,2 mm | = 1,65%+ 3,65% |
| | = 5,30% |
| Saringan ukuran 0,60 mm | = 5,30%+ 10,60% |
| | = 15,90% |
| Saringan ukuran 0,30 mm | = 64,50%+ 15,90% |
| | = 80,40% |
| Saringan ukuran 0,15 mm | = 80,40%+ 17,95% |
| | = 98,35% |
| Pan | = 98,35%+ 1,65% |
| | = 100% |

c. Analisa persen kumulatif

| | |
|---|---|
| Saringan ukuran 4,8 mm | = 100% - 0,25% |
| | = 99,75% |
| Saringan ukuran 2,4 mm | = 100% - 1,65% |
| | = 98,35% |
| Saringan ukuran 1,2 mm | = 100% - 5,30% |
| | = 94,70% |
| Saringan ukuran 0,60 mm | = 100% -15,90% |
| | = 84,10% |
| Saringan ukuran 0,30 mm | = 100% - 80,40% |
| | = 19,60% |
| Saringan ukuran 0,15 mm | = 100% - 98,35% |
| | = 1,65% |
| Pan | = 100% - 100% |
| | = 0% |

Dari perhitungan di atas, diperoleh hasil rekapitulasi pada pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai modulus halus butir agregat halus pasir sungai Progo berdasarkan metode dari SNI 03-1968-1990.

Rekapitulasi yang disajikan berbentuk tabel dapat dilihat pada Tabel 5.7 pasir Sungai Progo.

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Pasir Sungai Progo**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gr) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Saringan Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 20,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 10,00 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 4,80 | 5 | 0,25 | 0,25 | 99,75 |
| 2,40 | 28 | 1,40 | 1,65 | 98,35 |
| 1,20 | 73 | 3,65 | 5,30 | 94,70 |
| 0,6 | 212 | 10,60 | 15,90 | 84,10 |
| 0,3 | 1290 | 64,50 | 80,40 | 19,60 |
| 0,15 | 359 | 17,95 | 98,35 | 1,65 |
| Sisa | 33 | 1,65 | 100,00 | 0,00 |
| Jumlah | 2000 | 100 | 201,85 | |

d. Modulus Halus Butir (MHB)

Pada hasil Tabel 5.7 yang diperoleh maka dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) dengan persamaan berikut ini.

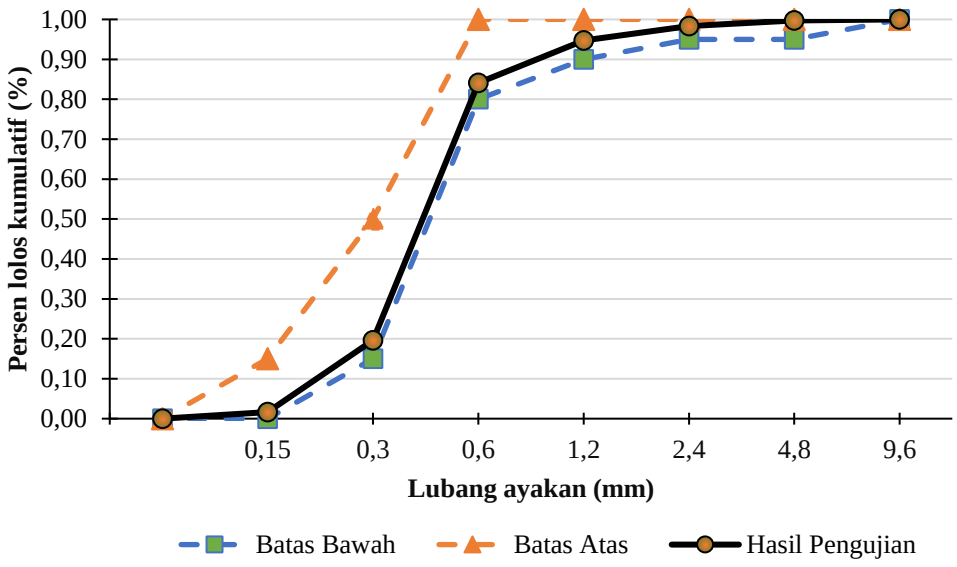
$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$= \frac{201{,}9}{100}$$

$$= 2{,}019$$

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) dengan agregat halus rata-rata sebesar 2,019. Hal ini menunjukkan bahwasanya nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus yang diperoleh telah memenuhi ketentuan SNI 03-2461-1991 dengan

perincian untuk lubang ayakan 10,00 mm (100%), 4,8 mm (95-100%), 2,40 mm (95-100%), 1,20 mm (90-100%), 0,60 mm (80-100%), 0,30 mm (15-50%), 0,15 mm (0-15%). Untuk itu hasil data yang didapatkan merupakan gradasi pasir daerah (IV) 4. Pada perhitungan yang telah didapatkan bahwa pasir yang digunakan merupakan pasir halus dengan nilai 2,019. Berikut merupakan grafik dan tabel penentuan gradasi agregat halus yang dihasilkan pada pengujian modulus halus butir (MHB) yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.8.




**Gambar 5.2 Grafik Hasil Analisa Saringan Halus Daerah IV (Pasir Sungai Progo)**

Berdasarkan hasil analisis grafik saringan yang ditunjukkan pada Gambar 5.2, pasir Sungai Progo memiliki distribusi ukuran partikel dengan persentase lolos kumulatif sebagai berikut: 100% pada lubang ayakan berukuran 9,6 mm, 99,75% pada ayakan 4,8 mm, 98,35% pada ayakan 2,4 mm, 94,70% pada ayakan 1,2 mm, 84,10% pada ayakan 0,6 mm, 19,60% pada ayakan 0,3 mm, 1,65% pada ayakan 0,15 mm, serta 0% pada sisa ayakan. Berdasarkan data tersebut, pasir ini berada dalam rentang batas atas dan bawah kategori daerah IV, yang mengindikasikan karakteristik sebagai pasir sangat halus. Karakteristik ini memberikan pasir Sungai Progo memberikan kepadatan untuk mengisi antar partikel dengan pasir Merapi yang membuat *paving block* lebih kuat karena pemadatan yang maksimal.

**Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Halus**

| Lubang Ayakan (mm) | Persentase Butir Agregat Lolos Ayakan (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Daerah I** | **Daerah II** | **Daerah III** | **Daerah IV** |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,40 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,20 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,60 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,30 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

*Sumber: SNI 2834-2000*

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus pasir Sungai Progo

   Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus pasir Sungai Progo yang dilakukan sesuai dengan SNI 1970-2016. Pada pengujian kali ini agregat halus yang dipakai adalah untuk dievaluasi karakteristik fisik agregat halus, yang digunakan pada campuran *paving block*. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus pasir Sungai Progo dapat dilihat pada rekapitulasi Tabel 5.9.

   a. Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

   $= \frac{485}{730+500-1036}$

   $= 2{,}50$

   b. Berat jenis $= \frac{500}{B+500-Bt}$

   $= \frac{500}{730+500-1036}$

   $= 2{,}57$

   c. Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$

   $= \frac{485}{730+485-1036}$

   $= 2{,}70$

d. Penyerapan air $= \frac{500-Bk}{Bk}$

$= \frac{500-485}{485}$

= 3,09%

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus Pasir Sungai Progo**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat pasir kering mutlak, Bk (gr) | 485,00 | 485,00 | 485,00 |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka, *SSD* (gr) | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Berat piknometer berisi pasir dan air, *B*t (gram) | 1036,00 | 1036,00 | 1036,00 |
| Berat piknometer berisi air, B (gr) | 730,00 | 730,00 | 730,00 |
| Berat jenis curah, *Bk / ( B + 500 – Bt )* (gr) | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Berat jenis jenuh kering muka, 500 / ( B + 500 – Bt ) (gr/cm$^3$) | 2,57 | 2,57 | 2,57 |
| Berat jenis semu, Bk/ ( B + Bk – Bt) (gr) | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| Penyerapan Air, (500 – Bk) / Bk x 100% | 3,09% | 3,09% | 3,09% |

Pada Tabel 5.9 yang disajikan sebagaimana tercantum di atas, diperoleh bahwa berat jenis jenuh kering muka rata-rata dari agregat halus pasir Sungai Progo adalah 2,57 gram/cm³, dengan penyerapan air rata-rata sebesar 3,09%. Dengan nilai berat jenis jenuh kering muka yang berada dalam rentang normal (2,5-2,7) sebagaimana disarankan oleh Tjokrodimuljo (2007), dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut tergolong dalam kategori berat jenis agregat normal.

3. Pengujian berat volume agregat halus pasir Sungai Progo

   a. Berat volume padat agregat halus pasir Sungai Progo

Pada perhitungan berat volume padat agregat halus pasir Sungai Progo sebagai berikut.

Berat volume padat $= \frac{W}{Volume}$

$= \frac{9144}{\frac{1}{4} x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30}$

$= \frac{9144}{5301{,}438}$

$= 1{,}72$ gram/cm$^3$

Berat volume rata-rata $= \frac{Sampel\ 1 + Sampel\ 2}{2}$

$= \frac{1{,}72+1{,}77}{2}$

$= 1{,}75$ gram/cm$^3$

Rekapitulasi hasil dari pengujian berat volume padat agregat halus pasir Sungai Progo dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Pasir Sungai Progo**

| **Uraian** | **Hasil Pengamatan** | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat tabung, *W1* (gr) | 10920,00 | 10920,00 | 10920,00 |
| Berat tabung + agregat (gr) | 20064,00 | 20344,00 | 20204,00 |
| Berat agregat, *W3= W2-W1* (gr) | 9144,00 | 9284,00 | 9284,00 |
| Volume tabung, *V* (cm$^3$) | 5301,44 | 5301,44 | 5301,44 |
| Berat volume padat pasir, *W3/V* (gr/cm$^3$) | 1,72 | 1,77 | 1,75 |

Dari hasil pengujian berat volume padat agregat halus pasir Sungai Progo dengan rata-rata yaitu sebesar 1,75 gram/cm$^3$.

b. Berat volume gembur agregat halus pasir Sungai Progo

Pada perhitungan berat volume padat agregat halus pasir Sungai Progo sebagai berikut.

Berat volume gembur $= \frac{W}{Volume}$

$$= \frac{8592}{\frac{1}{4} x\, \pi\, x\, 15^2 x\, 30}$$

$$= \frac{8218}{5301{,}438}$$

$$= 1{,}55 \text{ gram/cm}^3$$

Berat volume rata-rata $= \frac{Sampel\ 1 + Sampel\ 2}{2}$

$$= \frac{1{,}55+1{,}58}{2}$$

$$= 1{,}56 \text{ gram/cm}^3$$

Rekapitulasi hasil pengujian dari berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Pasir Sungai Progo**

| **Uraian** | **Hasil Pengamatan** | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat tabung, *W1* (gr) | 10920,00 | 10920,00 | 10920,00 |
| Berat tabung + agregat (gr) | 19138,00 | 19328,00 | 19233,00 |
| Berat agregat, *W3= W2-W1* (gr) | 8218,00 | 8408,00 | 8313,00 |
| Volume tabung, *V* ($cm^3$) | 5301,44 | 5301,44 | 5301,44 |
| Berat volume gembur pasir, *W3/V* ($gr/cm^3$) | 1,55 | 1,58 | 1,56 |

Data hasil uji berat volume gembur pada Tabel 5.11 menunjukan hasil agregat halus pasir Sungai Progo dengan rata-rata sebesar 1,56 gram/cm³.

4. Pengujian kandungan lumpur agregat halus pasir Sungai Progo

   Pada pengujian kandungan lumpur agregat halus pasir Sungai Progo dilakukan berdasarkan SNI-03-4142-1996. Pada pengujian ini untuk mengetahui persentase berat lumpur dalam sampel yang menjadi parameter kualitas pada agregat halus. Rekapitulasi hasil pengujian kandungan lumpur agregat halus pasir Sungai Progo dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Kandungan Lumpur $= \frac{W1-W2}{W1}$ X 100%

$= \frac{500-496}{500}$ X 100%

= 0,80%

Kandungan lumpur rata-rata $= \frac{\text{Sampel 1+ Sampel 2}}{2}$

$= \frac{0{,}80\ \% + 1{,}00\%}{2}$

= 0,90%

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus Pasir Sungai Progo**

| **Uraian** | **Hasil Pengamatan** | | |
|---|---|---|---|
| | **Sampel 1** | **Sampel 2** | **Rata-rata** |
| Berat Agregat Kering Oven, *W1* (gr) | 500 | 500 | 500 |
| Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci, *W2* (gr) | 496 | 495 | 495,5 |
| Berat Lolos Ayakan No.200, *(W1-W2)/W1)* x 100% | 0,80% | 1,00% | 0,90% |

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.12 hasil kandungan lumpur pasir Sungai Progo menunjukkan bahwa rata-rata kandungan lumpur pada agregat halus adalah sebesar 0,90%. Sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh PUBI 1982, yang mensyaratkan bahwa kandungan lumpur pada agregat halus harus kurang dari 5%, pasir Sungai Progo dengan kandungan lumpur rata-rata sebesar 0,90% telah memenuhi persyaratan tersebut.

## 5.3 Hasil uji coba pengujian yang telah dilakukan

Merujuk pada sub bab 5.1 pada hasil dari uji coba penggunaan pasir Merapi dan pasir Sungai Progo dalam pembuatan *paving block* penggunaan pasir Merapi nilai kuat tekan sebesar 22,97 MPa. Butiran-butiran agregat halus pasir Merapi yang lebih kasar dan tajam membuat tidak tercapainya mutu yang direncanakan. Butiran yang tajam dan angular membuat kepadatan antar agregat halus pada *paving block*

kurang maksimal sehingga porositas atau antar agregat halus masih belum saling mengisi dan menjadikan nilai kuat tekan belum tercapai. Penggunaan pasir Sungai Progo pada pembuatan uji coba yang dilakukan menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 21,07 MPa. Pada penggunaan agregat halus pasir Sungai Progo tidak mencapai nilai kuat tekan rencana dikarenakan pasir Sungai Progo memiliki butiran yang lebih halus atau lebih bulat, yang dapat mengurangi kemampuan butir-butir pasir untuk saling mengunci, sehingga nilai tekan *paving block* tidak tercapai. Pasir Sungai Progo juga kurang memiliki kandungan mineral silika yang berperan penting dalam dalam meningkatkan kekuatan material setelah mengeras. Pembuatan *paving block* ini, agar mencapai nilai kuat tekan rencana perlu mencampuran antara pasir Merapi dengan pasir Sungai Progo. Pencampuran pasir Merapi yang memiliki karakteristik kasar dan tajam dapat terisi ruang kosongnya oleh pasir Sungai Progo yang memiliki butiran lebih halus sehingga, porositas pada *paving block* dapat diminimalisir dan *paving block* akan lebih padat yang mengakibatkan meningkatnya nilai kuat tekan. Hasil pengujian uji coba kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, Tabel 5.15, dan Tabel 5.16.

**Tabel 5.13 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi Tebal 6 cm Perbandingan 1:3**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N0 | 60,00 | 62,00 | 68,00 | 0,454 | 3720 | 9000 | 23,73 |
| N0 | 64,10 | 59,90 | 61,90 | 0,494 | 3840 | 7500 | 19,16 |
| N0 | 62,00 | 61,50 | 62,00 | 0,512 | 3813 | 10000 | 25,73 |
| N0 | 60,00 | 63,50 | 60,00 | 0,504 | 3810 | 9500 | 24,46 |
| N0 | 60,00 | 60,00 | 59,00 | 0,474 | 3600 | 8000 | 21,80 |
| **Rata – rata** | | | | | | | **22,97** |

**Tabel 5.14 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Progo Tebal 6 cm Perbandingan 1:2**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N0 | 61,50 | 60,70 | 60,00 | 0,475 | 3733 | 9000 | 20,65 |
| N0 | 61,50 | 61,50 | 61,50 | 0,466 | 3782 | 10000 | 21,94 |
| N0 | 63,00 | 62,10 | 59,90 | 0,488 | 3912 | 10500 | 20,33 |
| N0 | 59,80 | 59,90 | 60,00 | 0,407 | 3582 | 9700 | 19,57 |
| N0 | 59,90 | 60,00 | 59,50 | 0,477 | 3594 | 9850 | 22,89 |
| **Rata – rata** | | | | | | | **21,07** |

**Tabel 5.15 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi Tebal 8 cm Perbandingan 1:3**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N0 | 81,00 | 85,00 | 79,50 | 1,301 | 6885 | 21000 | 29,92 |
| N0 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 1,265 | 6400 | 21500 | 32,96 |
| N0 | 82,00 | 81,00 | 79,50 | 1,241 | 6642 | 21900 | 32,35 |
| N0 | 81,00 | 80,50 | 79,50 | 1,216 | 6521 | 19800 | 29,79 |
| N0 | 80,00 | 80,50 | 79,00 | 1,270 | 6440 | 20900 | 31,84 |
| N0 | 81,90 | 81,00 | 80,00 | 1,301 | 6634 | 20425 | 30,20 |
| N0 | 81,50 | 80,00 | 79,50 | 1,265 | 6520 | 19500 | 29,34 |
| N0 | 81,00 | 80,00 | 80,00 | 1,279 | 6480 | 18900 | 28,61 |
| N0 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 1,281 | 6400 | 20200 | 30,96 |
| N0 | 80,00 | 80,00 | 79,00 | 1,295 | 6400 | 19600 | 30,04 |
| **Rata – rata** | | | | | | | **30,60** |

**Tabel 5.16 Hasil Uji Coba Penentuan Pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo Tebal 8 cm Perbandingan 1:3**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N0 | 82,00 | 82,00 | 79,00 | 1,201 | 6724 | 25100 | 36,62 |
| N0 | 80,00 | 81,00 | 80,00 | 1,200 | 6480 | 23370 | 35,38 |
| N0 | 81,00 | 81,00 | 80,00 | 1,155 | 6561 | 22960 | 34,33 |
| N0 | 82,00 | 80,00 | 81,00 | 1,175 | 6560 | 23300 | 34,84 |
| N0 | 80,00 | 81,00 | 79,00 | 1,160 | 6480 | 22870 | 34,62 |
| N0 | 79,00 | 80,00 | 81,00 | 1,300 | 6320 | 25800 | 40,05 |
| N0 | 79,50 | 80,00 | 79,00 | 1,245 | 6360 | 25200 | 38,87 |
| N0 | 81,00 | 81,00 | 81,00 | 1,180 | 6561 | 23450 | 35,06 |
| N0 | 80,00 | 79,00 | 80,00 | 1,240 | 6320 | 23478 | 36,44 |
| N0 | 79,00 | 80,00 | 79,00 | 1,200 | 6320 | 23000 | 35,70 |
| **Rata – rata** | | | | | | | **36,19** |

Pada hasil uji coba penentuan yang telah dilakukan pada Tabel 5.16 menghasilkan pembuatan *paving block* yang mencampurkan pasir Merapi dengan pasir Sungai Progo ketebalan 8 cm nilai kuat tekan rata-rata sebesar 36,19 MPa. Pada hasil yang telah disajikan nilai kuat tekan tersebut telah mencapai kuat tekan rencana dimana telah mencapai 35-40 MPa. Pada proses selanjutnya, dapat dilakukan pembuatan benda uji yang disubstitusikan dengan abu tempurung kelapa dan menguji kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air hingga dapat diklasifikasikan mutu paving yang didapatkan.

## 5.4 Perhitungan kebutuhan campuran

Pada pembuatan benda uji yang dilakukan pada penelitian ini, proporsi semen dengan perbandingan volume campuran semen : pasir yaitu 1 : 3 meliputi (1,5 ps Merapi dan 1,5 ps Sungai Progo), sedangkan untuk persentase abu tempurung kelapa sebesar 0%, 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen. Berikut merupakan hasil perhitungan kebutuhan bahan penyusun *paving block.*

Volume = 20 cm x 10 cm x 8 cm

= 1600 $cm^3$

Berat volume padat pasir Merapi = 1,891 gram/$cm^3$

Berat volume padat pasir Sungai Progo = 1,751 gram/$cm^3$

Berat volume padat pasir rata-rata = 1,821 gram/$cm^3$

Faktor pemadatan mesin hidrolis = 1,3

5.2.1 Perhitungan kebutuhan agregat halus

Berikut merupakan kebutuhan agregat halus untuk bahan penyusun *paving block.*

Kebutuhan pasir 1 *paving block* $= \frac{3}{4}\ x\ 1{,}821\ x\ 1600\ x\ 1{,}3$

= 2840,858 gram

Kebutuhan pasir untuk 24 *paving block* = 2840,858 x 24 (*paving block*)

= 68180,586 gram

5.2.2 Perhitungan kebutuhan semen

Berikut merupakan perhitungan bahan penyusun kebutuhan semen untuk *paving block.*

Kebutuhan semen 1 *paving block* $= \frac{Kebutuhan\ pasir}{Perbandingan\ semen}$

$= \frac{2840{,}858}{3}$

= 946,953 gram

Kebutuhan semen untuk 24 *paving block* = 946,953 x 24 *(paving block)*

= 22726,862 gram

5.2.3 Perhitungan kebutuhan abu tempurung kelapa

Berikut merupakan perhitungan kebutuhan abu tempurung kelapa yang menggunakan variasi 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% dari berat semen.

5,5% $= \frac{5{,}5}{100}\ x\ 22726{,}862\ = 1249{,}977$ gram

7,5% $= \frac{7{,}5}{100}\ x\ 22726{,}862 = 1704{,}515$ gram

9,5% $= \frac{9{,}5}{100}\ x\ 22726{,}862 = 2159{,}052$ gram

11,5% $= \frac{11{,}5}{100}\ x\ 22726{,}862 = 2613{,}589$ gram

13,5% $= \frac{13,5}{100}\ x\ 22726,862 = 3068,126$ gram

Berikut adalah kebutuhan bahan penyusun *paving block* yang terdiri dari agregat halus 1,5 ps (Merapi) dan 1,5 ps (Sungai Progo), semen dan abu tempurung kelapa yang dapat dilihat pada Tabel 5.17.

**Tabel 5.17 Komposisi Campuran *Paving Block***

| Variasi | Semen | Pasir Merapi | Pasir Sungai Progo | Abu Tempurung Kelapa | Air | Jumlah Benda Uji |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (%) | (gram) | (gram) | (gram) | (gram) | (liter) | (buah) |
| 0 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 0 | 8 | 24 |
| 5,5 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 1249,977 | 8 | 24 |
| 7,5 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 1704,515 | 8 | 24 |
| 9,5 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 2159,052 | 8 | 24 |
| 11,5 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 2613,589 | 8 | 24 |
| 13,5 | 22726,862 | 34090,293 | 34090,293 | 3068,126 | 8 | 24 |

## 5.5 Hasil pengujian *paving block*

Pada pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Pengujian dilakukan yaitu pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus. Pengujian yang setelah benda uji direndam selama 28 hari dengan setiap variasi jumlah 10 buah untuk pengujian kuat tekan, 5 buah untuk pengujian penyerapan air, dan 5 buah untuk pengujian ketahanan aus untuk setiap variasi.

### 5.3.1 Kuat tekan

Untuk melakukan pengujian kuat tekan benda uji harus dipotong berbentuk kubus dengan dimensi 8 cm x 8 cm x 8 cm dengan jumlah benda uji kuat tekan yaitu 10 buah per variasi. Pada contoh hasil perhitungan uji kuat tekan *paving block* sampel dengan substitusi kandungan abu tempurung kelapa 5,5% dengan kode sampel V1 sebagai berikut.

Panjang (p) = 80 mm

Lebar (l) = 80 mm

Tinggi (t) = 79 mm

Luas = p x l

= 80 x 80

= 6400 $mm^2$

Beban maksimal (p) = 26700 Kgf

= 26700 x 9,81

= 261927 N

Kuat tekan (σ) = $\frac{P}{L}$

= $\frac{261927}{6400}$

= 40,926 $N/mm^2$

= 40,93 MPa

Toleransi tinggi *paving block* ±8%.

Batas minimum tinggi = 80 – (8% x 80)

= 73,6 mm

Batas maksimum tinggi= 80 + (8% x 80)

= 86,4 mm

Dengan demikian, tinggi *paving block* variasi dengan kode sampel V1 telah memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 dikarenakan tinggi *paving block* berada dibatas minimum dan maksimum yang telah ditetapkan 73,6 mm < 79 mm < 86,4 mm. Contoh perhitungan untuk menentukan nilai kuat tekan *paving block* rata-rata pada variasi persentase 5,5% sebagai berikut.

Kuat tekan rata-rata = $\frac{\sum\sigma}{\text{Jumlah sampel}}$

= $\frac{38,62+35,14+39,31+40,93+39,69+35,12+39,94+40,55+35,11+35,26}{10}$

= 37,967 MPa

Pada hasil pengujian kuat tekan yang disajikan dalam tabel dapat dilihat dari Tabel 5.18 sampai Tabel 5.23 sebagai berikut.

**Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V0**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V0 | 81,00 | 82,00 | 79,00 | 1,350 | 6642,000 | 25980 | 38,37 |
| V0 | 79,00 | 82,00 | 82,00 | 1,265 | 6478,000 | 24500 | 37,10 |
| V0 | 81,70 | 80,50 | 81,00 | 1,241 | 6576,850 | 24750 | 36,92 |
| V0 | 81,00 | 81,00 | 79,00 | 1,316 | 6561,000 | 26500 | 39,62 |
| V0 | 80,00 | 82,00 | 82,00 | 1,190 | 6560,000 | 23650 | 35,37 |
| V0 | 82,00 | 79,00 | 80,00 | 1,270 | 6478,000 | 24200 | 36,65 |
| V0 | 81,00 | 82,00 | 82,00 | 1,187 | 6642,000 | 23700 | 35,00 |
| V0 | 81,00 | 79,00 | 80,00 | 1,100 | 6399,000 | 23005 | 35,27 |
| V0 | 79,00 | 81,00 | 82,00 | 1,251 | 6399,000 | 24000 | 36,79 |
| V0 | 82,00 | 79,00 | 79,00 | 1,295 | 6478,000 | 25200 | 38,16 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **36,93** |

**Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V1**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V1 | 81,00 | 82,00 | 79,00 | 1,350 | 6642,000 | 26150 | 38,62 |
| V1 | 80,00 | 82,00 | 82,00 | 1,155 | 6560,000 | 23500 | 35,14 |
| V1 | 82,00 | 79,00 | 81,00 | 1,334 | 6478,000 | 25960 | 39,31 |
| V1 | 80,00 | 80,00 | 79,00 | 1,325 | 6400,000 | 26700 | 40,93 |
| V1 | 81,00 | 82,00 | 82,00 | 1,333 | 6642,000 | 26870 | 39,69 |
| V1 | 81,00 | 80,00 | 80,00 | 1,170 | 6480,000 | 23200 | 35,12 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 82,00 | 1,342 | 6399,000 | 26050 | 39,94 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 80,00 | 1,323 | 6399,000 | 26450 | 40,55 |
| V1 | 82,00 | 80,00 | 82,00 | 1,170 | 6560,000 | 23478 | 35,11 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 79,00 | 1,100 | 6399,000 | 23000 | 35,26 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **37,97** |

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi *Paving Block* V2**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V2 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 1,340 | 6561,000 | 25999 | 38,87 |
| V2 | 82,00 | 80,00 | 80,00 | 1,330 | 6560,000 | 25910 | 38,75 |
| V2 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 1,230 | 6480,000 | 23950 | 36,26 |
| V2 | 80,00 | 79,00 | 79,00 | 1,344 | 6320,000 | 26005 | 40,37 |
| V2 | 80,00 | 79,00 | 82,00 | 1,320 | 6320,000 | 25890 | 40,19 |
| V2 | 79,00 | 80,00 | 80,00 | 1,350 | 6320,000 | 26100 | 40,51 |
| V2 | 82,00 | 79,00 | 79,00 | 1,347 | 6478,000 | 26067 | 39,47 |
| V2 | 82,00 | 82,00 | 82,00 | 1,310 | 6724.000 | 25800 | 37,64 |
| V2 | 81,00 | 82,00 | 81,00 | 1,350 | 6642.000 | 26147 | 38,62 |
| V2 | 79,00 | 80,00 | 79,00 | 1,390 | 6320.000 | 26200 | 40,67 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **39,13** |

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V3**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V3 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 1,380 | 6480,000 | 26797 | 40,57 |
| V3 | 79,00 | 81,00 | 80,00 | 1,370 | 6399,000 | 26255 | 40,25 |
| V3 | 79,00 | 80,00 | 81,00 | 1,385 | 6320,000 | 26785 | 41,58 |
| V3 | 81,00 | 81,00 | 79,00 | 1,377 | 6561,000 | 26565 | 39,72 |
| V3 | 82,00 | 82,00 | 80,00 | 1,379 | 6724,000 | 26799 | 39,10 |
| V3 | 80,00 | 81,00 | 81,00 | 1,388 | 6480,000 | 27260 | 41,27 |
| V3 | 79,00 | 79,00 | 79,00 | 1,397 | 6241,000 | 27520 | 43.26 |
| V3 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 1,372 | 6480,000 | 26590 | 40,25 |
| V3 | 79,00 | 79,00 | 82,00 | 1,359 | 6241,000 | 26170 | 41,14 |
| V3 | 82,00 | 80,00 | 82,00 | 1,299 | 6560,000 | 24990 | 37,37 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **40,45** |

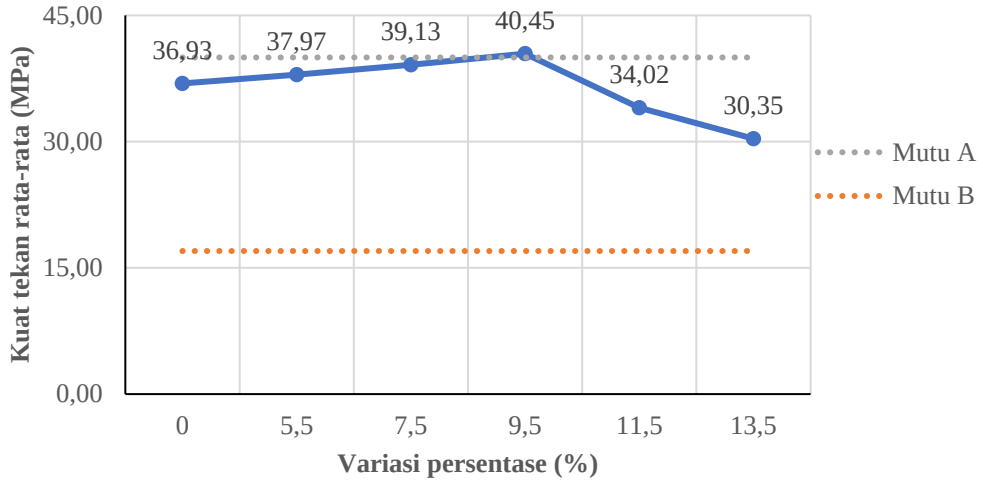
**Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V4**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V4 | 80,00 | 82,00 | 81,00 | 1,000 | 6560,000 | 22500 | 33,65 |
| V4 | 81,00 | 79,00 | 82,00 | 0,990 | 6399,000 | 16850 | 25,83 |
| V4 | 82,00 | 81,00 | 81,00 | 0,980 | 6642,000 | 16780 | 24,78 |
| V4 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 0,989 | 6561,000 | 21800 | 32,60 |
| V4 | 81,00 | 80,00 | 79,00 | 1,225 | 6480,000 | 24876 | 37,66 |
| V4 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 1,200 | 6480,000 | 24678 | 37,36 |
| V4 | 79,00 | 82,00 | 80,00 | 1,115 | 6478,000 | 23250 | 35,21 |
| V4 | 79,00 | 82,00 | 79,00 | 1,267 | 6478,000 | 24800 | 37,56 |
| V4 | 80,00 | 79,00 | 82,00 | 1,332 | 6320,000 | 25978 | 40,32 |
| V4 | 80,00 | 80,00 | 81,00 | 1,067 | 6400,000 | 23000 | 35,25 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **34,02** |

**Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Variasi V5**

| Kode Sampel | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Berat (kg) | Luas Penampang ($mm^2$) | Beban Maksimum (kgf) | Kuat Tekan (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V5 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 1,225 | 6400,000 | 25250 | 38,70 |
| V5 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 1,245 | 6561,000 | 24876 | 37,19 |
| V5 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 1,221 | 6400,000 | 24880 | 38,14 |
| V5 | 79,00 | 79,00 | 82,00 | 0,990 | 6241,000 | 17200 | 27,04 |
| V5 | 82,00 | 82,00 | 79,00 | 0,960 | 6724,000 | 15750 | 22,98 |
| V5 | 79,00 | 80,00 | 82,00 | 0,920 | 6320,000 | 13900 | 21,58 |
| V5 | 80,00 | 80,00 | 82,00 | 0,925 | 6400,000 | 13950 | 21,38 |
| V5 | 81,00 | 80.00 | 79,00 | 0,911 | 6480,000 | 12950 | 19,60 |
| V5 | 80,00 | 79,00 | 80,00 | 1,220 | 6320,000 | 25100 | 38,96 |
| V5 | 80,00 | 81,00 | 79,00 | 1,213 | 6480,000 | 25050 | 37,92 |
| **Rata-rata** | | | | | | | **30,35** |

Pada hasil berdasarkan pengujian kuat tekan di atas, dapat dibuat grafik untuk pengujian kuat tekan pada *paving block.* Berikut adalah grafik dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada Gambar 5.3.




**Gambar 5.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata**

Berdasarkan grafik, seluruh variasi yang telah diujikan pada *paving block* dapat di klasifikasikan pada mutu masing-masing variasi yang mengacu pada SNI 03-0691-1996. Berikut merupakan klasifikasi mutu pada *paving block* dapat dilihat pada Tabel 5.24.

**Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Rata-rata Dan Klasifikasi Mutu *Paving Block***

| No. | Variasi | Rata-rata Kuat Tekan (MPa) | Mutu | Fungsi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | V0 | 36,93 | B | Parkir |
| 2. | V1 | 37,97 | B | Parkir |
| 2. | V2 | 39,13 | B | Parkir |
| 4. | V3 | 40,45 | A | Jalan |
| 5. | V4 | 34,02 | B | Parkir |
| 6. | V5 | 30,35 | B | Parkir |

Pada pengujian kuat tekan *paving block* sesuai Tabel 5.24 dan Lampiran 2 dihasilkan kuat tekan rerata pada variasi normal sebesar 36,93 MPa, sehingga

masuk ke dalam kategori mutu B sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996 standar mutu *paving block.* Hasil pengujian benda uji *paving block* pada variasi V1 mengalami kenaikan nilai rata-rata kuat tekan dengan sebesar 37,97 MPa yang termasuk ke dalam kategori mutu B. Pada persentase variasi V2 mengalami kenaikan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 39,13 MPa yang termasuk ke dalam kategori mutu B. Pada variasi V3 juga mengalami peningkatan optimum nilai kuat tekan rata-rata sebesar 40,45 MPa meningkat 9,54% dari *paving block* normal. Kenaikan pada kuat tekan variasi V3 disebabkan dampak dari silika yang terdapat pada abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan tambah pada *paving block.* Abu tempurung kelapa mengandung senyawa yang hampir sama dengan bahan utama pembuatan semen. Apabila digiling secara halus dan saling beraksi maka akan saling bereaksi dengan kapur semen, maka senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat atau mengunci dan mengeras seperti batu dan berdampak meningkatkan kuat tekan pada *paving block.* Fungsi lain dari abu tempurung kelapa yang sebagai bahan tambah abu tempurung kelapa juga berfungsi sebagai pengisi antar partikel karena kehalusan butirannya yang lolos saringan no.200 atau 0,075 mm. Dengan demikian, ruang kosong yang ada pada *paving block* dapat diminimalkan, sehingga *paving block* menjadi lebih padat. Hal tersebut membuat peningkatan nilai kuat tekan pada *paving block.* Kenaikan tersebut tidak terjadi semakin bertambahnya persentase abu tempurung kelapa tetapi, hanya mencapai nilai kuat tekan tertinggi pada *paving block* pada persentase variasi V3.

Penurunan kuat tekan terjadi pada variasi V4 dan V5 penurunan terjadi dikarenakan semakin bertambahnya abu tempurung kelapa menjadikan kadar silika yang menyatu dengan material penyusun *paving block* juga semakin tinggi. Kadar silika yang berlebih dapat menyebabkan alkali silika. Reaksi ini terjadi ketika kandungan silika aktif dalam agregat berinteraksi dengan alkali dalam semen, membentuk suatu gel alkali silika yang melapisi butiran-butiran agregat. Gel ini terjebak di antara pasta semen, dan karena adanya pemuaian, dapat menyebabkan munculnya tegangan internal yang mengakibatkan retakan atau bahkan kerusakan pasta semen sehingga *paving block* menjadi rapuh (Chandra, 2013). Akibatnya, nilai kuat tekan *paving block* menurun. Pada abu tempurung kelapa yang digunakan

berlebih dapat menyebabkan menurunkan kemampuan. Pori-pori *paving block* yang dapat diisi abu tempurung kelapa kekuatannya abu tempurung kelapa lebih rendah dari pasir dan jumlah pasta semen tidak mencukupi untuk membungkus abu tempurung kelapa.

5.3.2 Ketahanan aus

Pada pengujian ketahanan aus pada *paving block*, benda uji yang akan dilakukan pengujian harus dipotong berbentuk kubus dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 2 cm. Pada pengujian ketahanan aus jumlah benda uji yaitu 5 buah untuk setiap variasinya. Contoh perhitungan uji ketahanan aus *paving block* variasi V1 dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 5,5% sebagai berikut.

Berat awal = 120 gram

Berat akhir = 119,70 gram

Lama pengujian = 5 menit

Kehilangan berat (G) $= \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{lama pengujian}}$

$= \frac{120 - 119{,}70}{5}$

$= \frac{0{,}30}{5}$

= 0,060 gram/menit

Ketahanan aus (D) = 1,26 x G + 0,0246

= 1,26 x 0,060 + 0,0246

= 0,100 mm/menit

Dari hasil perhitungan di atas setelah mendapatkan nilai pengujian ketahanan aus pada variasi V1 dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 5,5%, hasil tersebut dihitung dengan rata-rata ketahanan aus pada variasi tersebut. Pada perhitungan hasil rata-rata pengujian ketahanan aus V1 adalah sebagai berikut.

Ketahanan aus (D) rata-rata $= \frac{0{,}100 + 0{,}077 + 0{,}083 + 0{,}103 + 0{,}080}{5}$

= 0,089 mm/menit

Pada hasil pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada Tabel 5.25 – Tabel 5.30 sebagai berikut.

**Tabel 5.25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V0**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V0 | 124,00 | 123,70 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 119,00 | 118,90 | 0,020 | 0,050 |
| V0 | 115,00 | 114,70 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 120,00 | 119,70 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 121,00 | 120,80 | 0,040 | 0,075 |
| **Rata-rata** | | | | **0,085** |

**Tabel 5.26 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V1**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V1 | 120,00 | 119,70 | 0,060 | 0,100 |
| V1 | 164,00 | 163,78 | 0,044 | 0,077 |
| V1 | 135,00 | 134,77 | 0,046 | 0,083 |
| V1 | 125,00 | 124,69 | 0,062 | 0,103 |
| V1 | 121,00 | 120,78 | 0,044 | 0,080 |
| **Rata-rata** | | | | **0,089** |

**Tabel 5.27 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V2**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V2 | 107,00 | 106,71 | 0,058 | 0,098 |
| V2 | 155,00 | 154,75 | 0,050 | 0,088 |
| V2 | 115,00 | 114,68 | 0,064 | 0,105 |
| V2 | 135,00 | 134,74 | 0,052 | 0,090 |
| V2 | 160,00 | 159,76 | 0,048 | 0,085 |
| **Rata-rata** | | | | **0,093** |

**Tabel 5.28 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V3**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V3 | 122,00 | 121,76 | 0,052 | 0,086 |
| V3 | 110,00 | 109,77 | 0,056 | 0,083 |
| V3 | 128,00 | 127,76 | 0,054 | 0,085 |
| V3 | 146,00 | 145,75 | 0,050 | 0,088 |
| V3 | 127,00 | 126,75 | 0,050 | 0,088 |
| **Rata-rata** | | | | **0,086** |

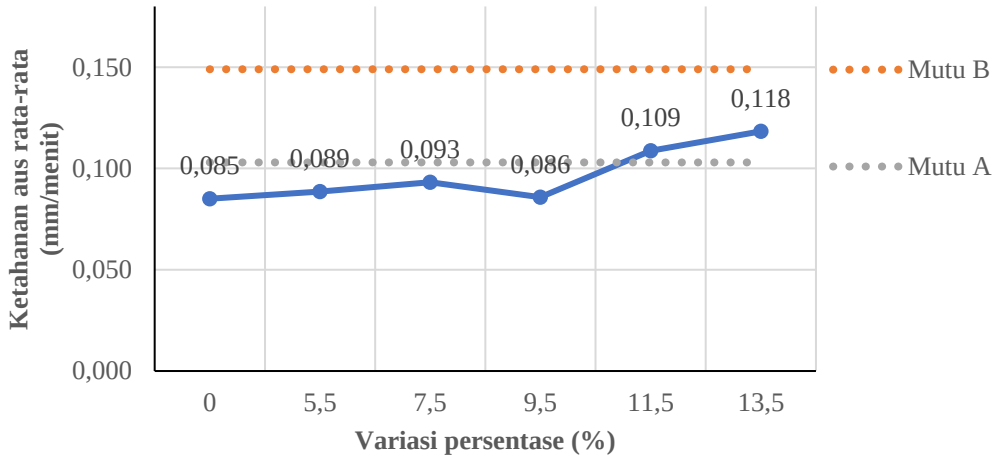
**Tabel 5.29 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V4**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V4 | 127,00 | 126,66 | 0,068 | 0,110 |
| V4 | 116,00 | 115,68 | 0,064 | 0,105 |
| V4 | 120,00 | 119,67 | 0,066 | 0,108 |
| V4 | 120,00 | 119,64 | 0,072 | 0,115 |
| V4 | 112,00 | 111,68 | 0,064 | 0,105 |
| **Rata-rata** | | | | **0,109** |

**Tabel 5.30 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block* Variasi V5**

| Kode Sampel | Berat Awal (mm) | Berat Akhir (mm) | Kehilangan Berat (G) (gram/menit) | Ketahanan Aus (mm/menit) |
|---|---|---|---|---|
| V5 | 135,00 | 134,59 | 0,082 | 0,128 |
| V5 | 122,00 | 121,64 | 0,072 | 0,115 |
| V5 | 124,00 | 123,67 | 0,066 | 0,108 |
| V5 | 106,00 | 105,59 | 0,082 | 0,128 |
| V5 | 151,00 | 150,65 | 0,070 | 0,113 |
| **Rata-rata** | | | | **0,118** |

Berdasarkan tabel hasil pengujian ketahanan aus *paving block* di atas maka dapat dibuat grafik nilai ketahanan aus rata-rata yang dapat dilihat pada Gambar 5.4.




**Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengujian Rata-rata Ketahanan Aus *Paving Block***

Berdasarkan hasil perhitungan dan grafik rata-rata hasil pengujian ketahanan aus *paving block* dapat di klasifikasikan mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada Tabel 5.31.

**Tabel 5.31 Hasil Rekapitulasi dan Klasifikasi Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block***

| No. | Variasi | Rata-rata Ketahanan Aus (mm/menit) | SNI 03-0691-1996 | | Fungsi *Paving Block* |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mutu | Ketahanan Aus Minimum (mm/menit) | |
| 1. | V0 | 0,085 | A | 0.103 | Jalan |
| 2. | V1 | 0,089 | A | 0.103 | Jalan |
| 3. | V2 | 0,093 | A | 0.103 | Jalan |
| 4. | V3 | 0,086 | A | 0.103 | Jalan |
| 5. | V4 | 0,109 | B | 0,149 | Parkir |
| 6. | V5 | 0,118 | B | 0,149 | Parkir |

Pada pengujian ketahanan aus *paving block* sesuai Tabel 5.31 dan Lampiran 3 didapatkan nilai rata-rata nilai pengujian ketahanan aus benda uji normal sebesar 0,085 mm/menit, sehingga masuk ke dalam mutu A sesuai dengan SNI 03-0691-1996 mengenai standar mutu *paving block.* Hasil pengujian ketahanan aus pada variasi V1 mengalami kenaikan ketahanan aus dengan rata-rata sebesar 0,089 mm/menit yang termasuk ke dalam mutu A. Variasi V2 mengalami kenaikan ketahanan aus sebesar 0,093 mm/menit yang termasuk ke dalam mutu A. Variasi V3 mengalami kenaikan sebesar 0,086 mm/menit yang termasuk ke dalam mutu A. Variasi V4 mengalami kenaikan ketahanan aus sebesar 0,109 mm/menit yang termasuk ke dalam mutu B. Kenaikan terbesar pada variasi V5 dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa sebesar 13,5% sebesar 0,118 mm/menit atau 39,10% dari *paving block* normal. Kenaikan nilai ketahanan aus yang berarti penurunan kualitas *paving block*. Kenaikan nilai ketahanan aus dikarenakan faktor penyebab keausan adalah agregat yang terlalu halus, abu tempurung kelapa merupakan partikel-partikel halus. Oleh karena itu, semakin tinggi penambahan abu tempurung kelapa maka akan semakin tinggi nilai keausannya. Kenaikan nilai ketahanan aus disebabkan oleh meningkatnya jumlah abu yang menyebabkan disintegrasi atau perpecahan dalam semen setelah pengikatan. Kerusakan pada semen terjadi mengakibatkan menurunnya daya ikat antar butiran agregat. Menurunnya daya ikat antar agregat menyebabkan nilai ketahanan aus yang semakin tinggi. Keausan yang tinggi juga dapat disebabkan oleh gradasi pasir yang digunakan pada *paving block* didominasi oleh butiran halus. Keausan yang tinggi juga disebabkan karena gradasi pasir yang digunakan pada *paving block* didominasi oleh butiran halus. Semakin kasar agregat pasir semakin tinggi ketahanan ausnya. Sebaliknya, terlalu banyak butiran halus mengakibatkan ketahanan aus berkurang.

Nilai ketahanan aus akan semakin tinggi seiring bertambahnya abu tempurung kelapa sebagai *filler*. Abu tempurung kelapa pada saat proses pencampuran pembuatan mengalami penggumpalan-penggumpalan dan menyerap air sehingga campuran kurang homogen dan kurang plastis. Pada saat tersebut terjadi dikarenakan bereaksi secara maksimal dengan adanya air yang semakin berkurang. Oleh karena itu, dari itu kapur yang dibebaskan pada saat hidrasi antara

semen dan air semakin berkurang. Dengan hal ini, kapur yang dibebaskan kurang bereaksi secara maksimal terhadap silika pada abu tempurung kelapa yang semakin banyak sehingga fungsi abu tempurung kelapa dan semen sebagai perekat menurun dan berkurang. Dengan demikian nilai ketahanan aus yang semakin besar sejalan dengan persentase penambahan abu tempurung kelapa.

Dengan demikian pula, ada kenaikan paling optimum yaitu variasi persentase V3 dengan kenaikan sebesar 0,89% dari *paving block* normal. Hal tersebut dikarenakan tingkat kepadatan atau ruang kosong pada *paving block* dapat terisi oleh abu tempurung kelapa dengan baik. Tanpa ikatan baru yang terjadi dapat membuat peningkatan kerekatan antar partikel didalam *paving block*. Dengan hasil pengujian nilai ketahanan aus pada *paving block* variasi V3 mengalami nilai paling optimum dari pada variasi yang lain sehingga membuat peningkatan nilai ketahanan aus paling terkecil dengan variasi V3 sebesar 0,086 mm/menit.

### 5.3.3 Pengujian penyerapan air

Pada pengujian penyerapan air benda yang dipakai dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 8 cm tanpa pemotongan. Pada pengujian penyerapan air *paving block* dalam penelitian ini dilakukan setelah berumur 28 hari dengan jumlah benda uji berjumlah masing-masing 5 buah per variasi. Contoh perhitungan uji penyerapan air *paving block* sampel variasi V1 dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 5,5% sebagai berikut.

Berat basah = 3066 gram

Berat kering = 3005 gram

Penyerapan air $= \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \text{ x } 100\%$

$= \frac{3066-3005}{3005} \text{ x } 100\%$

$= 2{,}030\%$

Perhitungan rata-rata penyerapan air variasi V1 atau substitusi abu tempurung kelapa sebesar 5,5% adalah sebagai berikut.

Penyerapan air $= \frac{\sum \text{Nilai penyerapan air}}{\text{Jumlah sampel}}$

$= \frac{\sum 2{,}030+2{,}851+2{,}077+2{,}458+2.384}{5}$

= 2,360%

Berikut merupakan hasil pengujian penyerapan air *paving block* yang dapat dilihat pada Tabel 5.32 – Tabel 5.37.

**Tabel 5.32 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V0**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V0 | 3185 | 3119 | 2,116 |
| V0 | 3372 | 3300 | 2,182 |
| V0 | 3431 | 3359 | 2,143 |
| V0 | 3354 | 3287 | 2,038 |
| V0 | 3188 | 3120 | 2,179 |
| **Rata – rata** | | | 2,132 |

**Tabel 5.33 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V1**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V1 | 3066 | 3005 | 2,030 |
| V1 | 3066 | 2981 | 2,851 |
| V1 | 3047 | 2985 | 2,077 |
| V1 | 3084 | 3010 | 3,458 |
| V1 | 3092 | 3020 | 2,384 |
| **Rata – rata** | | | **2,360** |

**Tabel 5.34 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V2**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V2 | 2981 | 2905 | 2,616 |
| V2 | 2986 | 2910 | 2,612 |
| V2 | 3038 | 2960 | 2,635 |
| V2 | 2872 | 2799 | 2,608 |
| V2 | 3012 | 2934 | 2,658 |
| **Rata – rata** | | | **2,960** |

**Tabel 5.35 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V3**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V3 | 3069 | 2999 | 2,334 |
| V3 | 3012 | 2943 | 2,345 |
| V3 | 3067 | 2997 | 2,336 |
| V3 | 3099 | 3027 | 2,379 |
| V3 | 3004 | 2935 | 2,351 |
| **Rata-rata** | | | **2,349** |

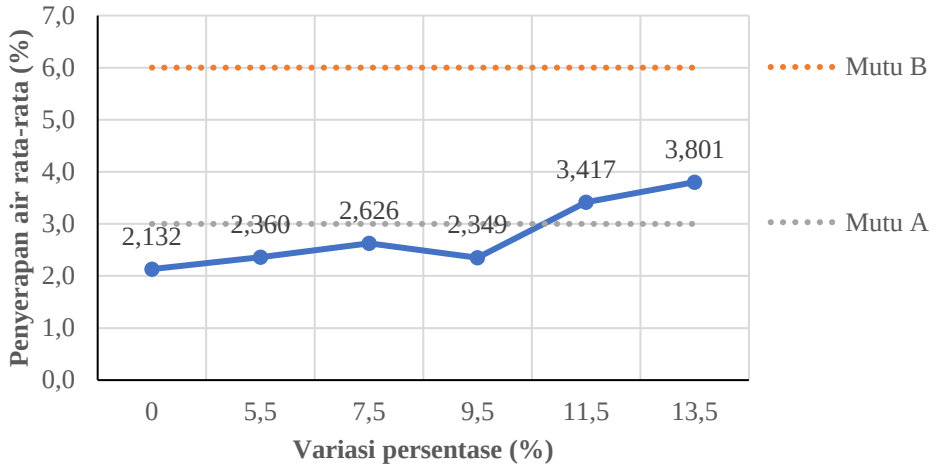
**Tabel 5.36 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V4**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V4 | 3032 | 2934 | 3,340 |
| V4 | 2977 | 2879 | 3,440 |
| V4 | 3005 | 2910 | 3.265 |
| V4 | 3158 | 3055 | 3,372 |
| V4 | 2881 | 2779 | 3,670 |
| **Rata – rata** | | | **3,417** |

**Tabel 5.37 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Variasi V5**

| Kode Sampel | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|---|---|---|---|
| V5 | 2967 | 2859 | 3,778 |
| V5 | 2965 | 2859 | 3,708 |
| V5 | 2970 | 2861 | 3,810 |
| V5 | 2911 | 2801 | 3,927 |
| V5 | 2962 | 2854 | 3,784 |
| **Rata – rata** | | | **3,801** |

Berdasarkan tabel hasil pengujian penyerapan air menunjukan dapat dibuat grafik nilai penyerapan air rata-rata yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.




**Gambar 5.5 Grafik Hasil Uji Penyerapan Air Rata-rata *Paving Block***

Berdasarkan hasil perhitungan dan grafik rata-rata hasil pengujian penyerapan air, dapat diklasifikasikan mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada Tabel 5.38.

**Tabel 5.38 Hasil Rekapitulasi dan Klasifikasi Mutu Penyerapan Air *Paving Block***

| No. | Variasi | Rata-rata Penyerapan Air (%) | SNI 03-0691-1996 | | Fungsi *Paving Block* |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mutu | Penyerapan Air Rata-rata maks (%) | |
| 1. | V0 | 2,132 | A | 3 | Jalan |
| 2. | V1 | 2,360 | A | 3 | Jalan |
| 3. | V2 | 2,626 | A | 3 | Jalan |
| 4. | V3 | 2,349 | A | 3 | Jalan |
| 5. | V4 | 3,417 | B | 6 | Parkir |
| 6. | V5 | 3,801 | B | 6 | Parkir |

Pada pengujian penyerapan air yang telah dilakukan yaitu dengan melakukan perendaman setelah melakukan proses perawatan. Benda uji *paving block* setelah dilakukan perendaman selama 24 jam barulah benda uji melalui proses pemanasan

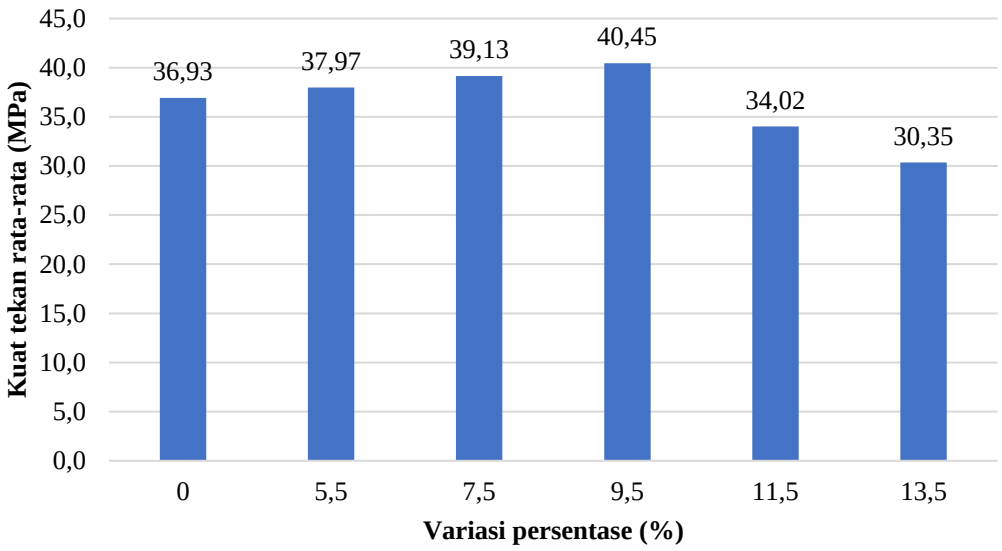
di dalam oven selama 24 jam. Benda uji *paving block* yang setelah di oven dapat ditimbang serta diketahui pada pengujian penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Hasil dari penyerapan air sesuai dengan Tabel 5.38 dan Lampiran 4 didapatkan nilai rata-rata penyerapan air pada variasi normal V0 sebesar 2,132%, sehingga masuk ke dalam mutu A sesuai dengan SNI 03-0691-1996 mengenai standar mutu *paving block.* Pada pengujian *paving block* variasi V1 mengalami kenaikan penyerapan air dengan nilai rata-rata sebesar 2,360% termasuk ke dalam mutu A. Pada variasi V2 mengalami kenaikan nilai penyerapan air rata-rata sebesar 2,626% termasuk ke dalam mutu A. Pada variasi V3 mengalami kenaikan 10,18% dari nilai rata-rata penyerapan air *paving block* normal atau mengalami kenaikan penyerapan air rata-rata sebesar 2,349% termasuk ke dalam mutu A. Pada Variasi V4 nilai rata-rata penyerapan air sebesar 3,417% termasuk ke dalam mutu A. Pada variasi V5 nilai rata-rata abu penyerapan air paling tinggi dengan kenaikan sebesar 3,801% termasuk ke dalam mutu B. Pada pengujian penyerapan air *paving block* peningkatan penyerapan air menandakan penurunan kualitas *paving block,* sedangkan penurunan nilai penyerapan air yang berarti meningkatkan kualitas *paving block.* Pada penambahan abu tempurung kelapa dengan semakin bertambahnya persentase variasi sejalan dengan bertambahnya juga nilai penyerapan air pada *paving block*. Hal tersebut dikarenakan abu tempurung kelapa yang sebagai bahan tambah juga memiliki pori-pori lebih kecil dari pada semen, sehingga penyerapan *paving block* terhadap air mengikuti kapasitas pada abu tempurung kelapa. Dengan demikian, semakin bertambahnya persentase variasi abu tempurung kelapa yang menandakan bertambahnya juga kapasitas penyerapan *paving block* terhadap air. Abu tempurung kelapa juga mengandung bahan silika yang bersifat *pozzolan* yaitu bersifat menyerap air. Nilai penyerapan air *paving block* sangat dipengaruhi oleh jumlah persentase abu tempurung kelapa, semakin banyak persentase substitusi semakin meningkat pula kenaikan nilai penyerapan airnya. Dengan adanya peningkatan jumlah persentase substitusi berarti porositas atau ruang kosong pada *paving block* semakin berkurang sehingga abu tempurung kelapa tidak bisa lagi mengisi kekosongan ruang pada *paving block* sehingga mengakibatkan penumpukan. Dengan demikian abu tempurung tidak bisa bekerja

dengan maksimal sehingga hanya dapat mempengaruhi nilai penyerapan air pada *paving block.* Nilai penyerapan air yang besar dipengaruhi oleh nilai porositas (perbandingan volume pori yang ditempati oleh fluida terhadap volume total benda uji). Menurut powers (2011) dalam Saputra (2021) menyatakan porositas yang terbuka terisi oleh *evaporable water* (air yang dapat menguap dan sebagian besar merupakan air yang berada di dalam kapiler atau tertahan). Akibat proses hidrasi pada bahan ikat (semen, abu tempurung kelapa). Nilai penyerapan air yang semakin besar seiring bertambahnya bahan substitusi juga dapat disebabkan oleh banyaknya senyawa alkali yaitu $Na_2O$ dan $K_2O$. Kadar alkali yang tinggi mempengaruhi kecepatan pengerasan semen. Bila dalam pembuatan dipakai batuan yang mengandung silika reaktif dan semennya mengandung alkali tinggi, maka akan terjadi reaksi kimia antara silika dan alkali membentuk senyawa alkali silikat yang higroskopis dan membesarnya volume dalam keadaan basah. Akibat reaksi ini, mengakibatkan retak atau pecah (Tjokrodimulijo,2004:25).

Namun, pada peningkatan penyerapan air persentase yang paling optimum yaitu pada persentase V3 dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 9,5% dengan kenaikan sebesar 10,19% dari *paving block* normal. Hal ini dikarenakan, ruang kosong atau rongga-rongga udara pada *paving block* variasi V3 dapat terisi oleh abu tempurung kelapa secara maksimal sebagai *filler* yang membuat *paving block* menjadi lebih kedap air dan pada akhirnya dapat menurunkan nilai penyerapan air pada *paving block*. Dengan demikian, yang mempengaruhi besar kecilnya daya serap air pada suatu *paving block* adalah adanya pori atau rongga udara dan juga oleh nilai porositas abu tempurung kelapa artinya semakin bertambahnya persentase bahan substitusi abu tempurung kelapa yang bersifat *pozzolan* maka otomatis nilai penyerapan air meningkat.

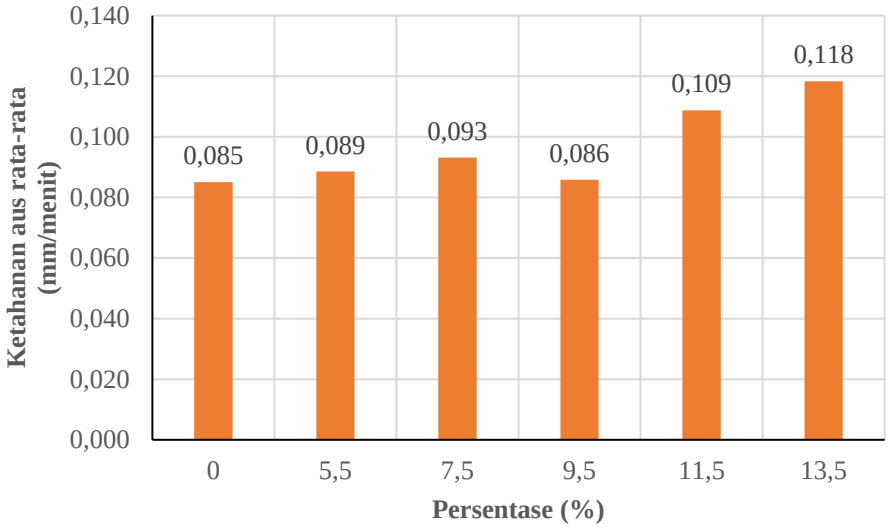
## 5.6 Pembahasan keseluruhan

Berdasarkan pembahasan di atas keseluruhan maka dapat diketahui nilai pengujian kuat tekan, pengujian ketahanan aus dan penyerapan air. Berikut adalah grafik rekapitulasi pengujian keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5.6.




**Gambar 5.6 Grafik Diagram Kuat Tekan**

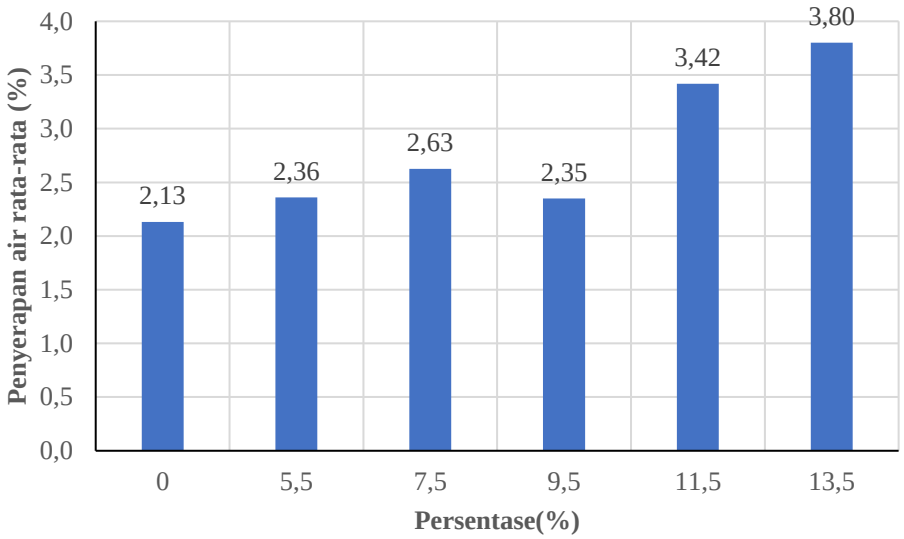
Pada Gambar 5.6 grafik diagram menunjukkan bahwa nilai pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dapat meningkatkan kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air dari pada *paving block* normal. Hal ini dikarenakan abu tempurung kelapa memiliki kandungan silika yang berfungsi sebagai perekat. Dengan menambah abu tempurung kelapa kandungan silika pada semen akan meningkat mengakibatkan menambah nilai kuat tekan. Abu tempurung kelapa mengandung silika yang merupakan bahan utama pembuatan semen. Fungsi lain dari abu tempurung kelapa yang sebagai bahan tambah abu tempurung kelapa juga berfungsi sebagai pengisi antar partikel karena kehalusan butirannya yang lolos saringan no.200 atau 0,075 mm. Ruang kosong yang ada pada *paving block* dapat diminimalkan sehingga *paving block* menjadi lebih padat. Hal tersebut membuat peningkatan nilai kuat tekan pada *paving block.*




**Gambar 5.7 Grafik Diagram Ketahanan Aus**

Pada Gambar 5.7 grafik diagram menunjukan semakin bertambahnya persentase penambahan abu tempurung kelapa juga dapat meningkatkan nilai ketahanan aus. Hal tersebut dikarenakan rongga-rongga atau ruang kosong yang sudah terisi abu tempurung kelapa apabila semakin meningkat jumlah persentasenya akan membuat penumpukan dan mengakibatkan peningkatan nilai ketahanan aus. Penggunaan abu tempurung kelapa yang berfungsi sebagai bahan tambah dikarenakan abu tempurung kelapa yang berbutir halus menyebabkan nilai ketahanan aus *paving block* meningkat. Semakin banyak bahan tambah abu tempurung yang berbutir halus maka semakin besar nilai keausannya. Namun, peningkatan persentase paling optimum pada variasi V3 dimana dengan penggunaan abu tempurung kelapa yang tidak berlebihan, porositas atau ruang kosong pada *paving block* dapat diisi dengan baik karena abu tersebut memiliki butiran yang sangat halus (lolos saringan no.200 atau berdiameter 0,075 mm) sehingga dapat menjadi pengisi antara partikel-partikel pembentuk mortar tanpa membentuk ikatan tambahan selain ikatan antara pasir, air dan abu tempurung kelapa. Penggunaan abu tempurung kelapa terlalu banyak juga dapat menyebabkan pembentukan ikatan baru selain ikatan antara pasir dengan semen dan abu tempurung kelapa itu sendiri. Ikatan baru ini terjadi antara partikel abu tempurung kelapa karena kandungan karbon yang tinggi dalam abu tersebut, dimana karbon

sebagai komponen grafit cenderung memiliki ikatan yang lemah antar partikelnya. Bahkan, ikatan ini lebih lemah dari pada ikatan antara karbon dan mortar (Abdullah dkk, 2009).




**Gambar 5.8 Grafik Diagram Penyerapan Air**

Pada Gambar 5.8 menunjukkan pengujian penyerapan air sama halnya dengan pengujian ketahanan aus semakin bertambahnya persentase semakin naik nilai penyerapan airnya. Hal tersebut dikarenakan nilai penyerapan air yang besar dipengaruhi oleh nilai porositas jadi semakin bertambahnya abu tempurung kelapa maka semakin bertambahnya porositas atau volume pori-pori yang ada pada *paving block* tersebut. Akibat dari semakin bertambahnya porositas atau volume pori-pori *paving block* tersebut, maka penyerapan air pada *paving block* mengalami kenaikan. Namun di dalam kenaikan penyerepan air kenaikan paling optimum yaitu pada variasi V3 dimana abu tempurung kelapa dapat mengisi rongga udara atau rongga-rongga pada *paving block* yang mengakibatkan *paving block* menjadi lebih kedap air. Penggunaan abu tempurung kelapa yang tidak berlebihan menjadikan ruang kosong dapat terisi secara maksimal dan dapat menurunkan penyerapan air. Akan tetapi, apabila penggunaan secara berlebihan dapat menaikan penyerapan air pada *paving block* hal tersebut dibuktikan dengan penggunaan abu tempurung kelapa yang secara berlebih, yang membuat penumpukan didalam rongga udara pada *paving block* sehingga campuran semen, air dan abu tempurung kelapa tidak

bisa bekerja secara maksimal yang mengakibatkan nilai penyerapan air pada *paving block* mengalami peningkatan pada yaitu pada variasi V4 dan V5.

Namun, dalam kenaikan paling optimum tertinggi dari kesemua variasi pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air tertinggi pada variasi V3 dengan penambahan abu tempurung kelapa sebesar 9,5%. Hasil pengujian pada variasi 9,5% yaitu kuat tekan sebesar 40,45 MPa, ketahanan aus sebesar 0,086 mm/menit, dan penyerapan air sebesar 2,349%. Hasil tersebut menunjukan bahwa semakin meningkatnya nilai kenaikan kuat tekan maka, dapat menurunkan hasil ketahanan aus dan penyerapan air dikarenakan semakin optimalnya persentase penggunaan abu tempurung kelapa sebagai substitusi sehingga nilai kuat tekan dengan hasil ketahanan aus dan penyerapan air berbanding terbalik.

### 5.6.1 Rekapitulasi pembahasan mutu *paving block*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air *paving block* didapatkan nilai optimum pada variasi yang sama yaitu paving pada variasi V3 dengaan kadar abu tempurung kelapa sebesar 9,5%. Rekapitulasi klasifikasi mutu *paving block* tempurung kelapa sebagai substitusi berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada Tabel 5.39.

**Tabel 5.39 Rekapitulasi Mutu *Paving Block***

| **Variasi** | **Abu Tempurung Kelapa (%)** | **Klasifikasi Mutu *Paving Block*** | | | **Mutu Akhir** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Kuat Tekan** | **Ketahanan Aus** | **Penyerapan Air** | |
| V0 | 0 | B | A | A | B |
| V1 | 5,5 | B | A | A | B |
| V2 | 7,5 | B | A | A | B |
| V3 | 9,5 | A | A | A | A |
| V4 | 11,5 | B | B | B | B |
| V5 | 13,5 | B | B | B | B |

Pada Tabel 5.39 menunjukan hasil rekapitulasi mutu *paving block* bahwa kadar variasi subtitusi abu tempurung kelapa mempengaruhi klasifikasi mutu yang

dihasilkan oleh *paving block*. Pada variasi Normal atau V0 menunjukan dari hasil pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air klasifikasi mutu akhir yaitu mutu B. Pada *paving block* variasi V1 menunjukan klasifikasi mutu akhir yaitu B. Pada *paving block* variasi V2 menunjukan klasifikasi mutu akhir yaitu B. Mutu tertinggi yang dihasilkan berdasarkan pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air terdapat pada variasi V3 dengan kadar abu tempurung kelapa sebesar 9,5% dimana didapatkan mutu A pada pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block* yang dapat digunakan untuk jalan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan abu tempurung kelapa dengan substitusi tidak berlebihan atau kadar yang tepat, dengan demikian tidak terjadi reaksi alkali silika dan tidak terbentuk ikatan tambahan yang dapat menurunkan mutu *paving block.* Pada *paving block* variasi V4 dan V5 menunjukan dari hasil pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air konsisten pada klasifikasi mutu akhir yaitu B.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada *paving block* pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving block* sebagai berikut.

1. Pada penggunaan agregat halus pasir Merapi nilai kuat tekan sebesar 22,97 MPa, dan pada penggunaan agregat halus pasir Sungai Progo nilai kuat tekan sebesar 21,07 MPa. Namun, dalam pembuatan *paving block* penggunaan pencampuran antara agregat halus pasir Merapi dengan pasir Sungai Progo nilai kuat tekannya sebesar 36,19 MPa termasuk kedalam mutu B.
2. Kuat tekan

   Pengaruh substitusi abu tempurung kelapa pada campuran *paving block* dapat meningkatkan nilai kuat tekan dengan kadar variasi persentase 5,5%, 7,5%, dan 9,5%, tetapi mengalami penurunan nilai kuat tekan pada variasi persentase 11,5% dan 13,5%. Berdasarkan pengujian *paving block* normal, didapatkan nilai pengujian kuat tekan 36,93 MPa. Peningkatan optimum untuk mencapai mutu A adalah dengan variasi persentase 9,5% dengan nilai kuat tekan sebesar 40,45 MPa.
3. Ketahanan aus

   Pengaruh substitusi abu tempurung kelapa pada campuran *paving block* dari variasi persentase 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% mengalami peningkatan nilai ketahanan aus. Pada pengujian *paving block* normal nilai ketahanan aus sebesar 0,085 mm/menit. Namun, dari hasil semua variasi nilai ketahanan aus optimum untuk kategori mutu A adalah variasi persentase 9,5% dengan nilai ketahanan aus sebesar 0,086 mm/menit.
4. Penyerapan air

   Pengaruh substitusi abu tempurung kelapa pada campuran *paving block* dari variasi persentase 5,5%, 7,5%, 9,5%, 11,5%, dan 13,5% mengalami

peningkatan nilai penyerapan air. Pada pengujian *paving block* normal penyerapan air sebesar 2,132%. Namun, dari hasil semua variasi nilai penyerapan air optimum kategori untuk mutu A adalah variasi persentase 9,5% dengan nilai penyerapan air sebesar 2,349%.

5. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai optimum tertinggi dari pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air mencapai mutu A yakni pada variasi persentase 9,5%. Pada variasi ini nilai kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air mencapai nilai kuat tekan 40,45 MPa, ketahanan aus 0,086 mm/menit, dan penyerapan air sebesar 2,349%, sehingga masuk ke dalam kategori mutu A untuk jalan.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian yang selanjutnya. Berikut merupakan saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi persentase abu tempurung kelapa dengan interval yang lebih rapat dan sesudah 9,5% yang merupakan variasi optimum, dapat memvariasikan persentase di antara 9,6% sampai 9,99% abu tempurung kelapa dari pengujian mutu *paving block* sebagai bahan tambah agar dapat mencapai mutu tinggi *paving block* (fc’ ≥ 41,4 MPa).
2. Pembakaran abu tempurung kelapa dapat dilakukan dengan suhu yang konstan untuk memastikan hasil yang konsisten dan optimal dalam hal komposisi kimia dan sifat fisik abu yang dihasilkan.
3. Pemanfaatan substitusi abu tempurung kelapa dapat divariasikan untuk pembuatan beton mutu tinggi atau beton SCC mutu tinggi.
4. Untuk penelitian yang menguji beton dengan pencampuran agregat halus pasir Merapi dan Pasir Sungai Progo perlu disamakan berat jenisnya ketika melakukan *mix design*.

# DAFTAR PUSTAKA


Arman. A, Mulyati., Wardi, S., Roza, A., dan Putra, D.S. 2023. Pengaruh Penambahan Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block. Jurnal Teknologi dan Vokasi*. Vol.1 No.2:23-30.

Abdullah, M., Sonya, A. D., Nuryadin, B. W., Marully, A. R., Khairuddin dan Khairurrijal. 2009. Sintesis Keramik Berbasis Komposit *Clay*-Karbon dan Karakterisasi Kekuatan Mekaniknya. *Jurnal Nano sains dan Nanoteknologi*, Vol. 2 No. 2. Bandung.

Adeala dkk. 2020. *Potential Of Coconut Shell Ash As Partial Replacement Of Ordinary Portland Cement In Concrete Production. International Journal of Engineering Science Invention (IJESI).* Volume 9 Issue 1 Series. II.

Adi Chandra, R. 2013. Kajian Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Penambahan Abu Bonggol Jagung Sebagai Zat *Additive*. *Tugas Akhir*. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.

Alfiyah dkk. 2022. Formulasi Pengembangan Usaha Arang Batok Kelapa Dengan Menggunakan Metode Pendekatan ABCD (*Asset Based Community Development*) Di Dusun Posong Lor, Desa Wringinanom, Kecamatan Kuripan, Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Pengabdian Masyarakat.* Vol.1, No.3, September 2022.

Choiriyah, S. Dan Pertiwi, D. 2016. Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Pasir Gunung Merapi Ditinjau Dari Manajemen Kwalitas. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IV.

*American Society for Testing and Materials*. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates.* ASTM designation: C 33-03. Philadelpia. PA.

*American Society for Testing and Materials.* 2005. *Standard Specification for Portland Cement.* ASTM designation: C 150-07. Philadelpia. PA.

*American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.* ASTM *designation*: C 618-03.

Badan Standarisasi Nasional. 1987. *Ubin Semen Polos*. SNI 03-0028-1987. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. SNI 03-1968-1990. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Bata Beton (Paving Block)*. SNI 03-0691-1996. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm)*. SNI 03-4142-1996. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. SNI 03-4804-1998. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan*. SNI 03-6861.1-2002. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Semen Portland*. SNI 15-2049-2015. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 03-1970-2016. Jakarta.

Diana, A.I.N. dan Zainah, N. 2022. Pemanfaatan Limbah Abu Batok Kelapa dan Kapur Hidroli Sebagai Bahan Substitusi Semen pada *Paving Block. Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol.28 No.2:276-283.

Hambali, Lesmania, dan Midkasna. 2013. Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Airnya. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 19 No. 4 Desember 2013.

Intan, A., Diana, N. Dan Zainah, N. 2022. Pemanfaatan Limbah Abu Batok Kelapa dan Kapur Hidrolis Sebagai Bahan Substitusi Semen pada *Paving Block*, Media Komunikasi Teknik Sipil.

Kurniawan, D. 2017. Pemanfaatan Bahan Tambah *Pozzolan* Lumpur Sidoarjo Sebagai Substitusi Semen Dengan Agregat *Pumice* Pada Kuat Tekan dan Porositas Beton Ringan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 1 No .1 : 201-211.

Muhammad, A. N. 2022. Pengaruh Sebagian Semen Menggunakan Abu Serbuk Kayu Mahoni Hasil Pembakaran Terhadap Mutu *Paving Block. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

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. *Jurnal Universitas Bangka Belitung*. Vol 2 No. 1 : 14 – 55.

Ridha, M. dan Rahman, A.. 2024. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Subtitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan *Paving Block. Jurnal universitas Muhammadiyah Parepare,* Parepare, Indonesia. Vol 2 No. 2 April 2024.

Rupiah, U.S. dan Larasati, Z. 2023. Analisis *Jointing* Pada Perkerasan *Paving Block* Untuk Mengatasi Amblesan dan Serapan Air. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.

Saputra, W. Dan Bachtiar, G. 2021. Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan *Paving Block. Jurnal Pendidikan Teknik dan Vokasional.* Volume 3, Nomor 2, Desember 2021.

Sembiring, A. C. dan Saruksuk J. J. 2017. Uji Kuat Tekan Dan Serapan Air Pada *Paving Block* dengan Bahan Pasir Kasar, Batu Kacang, dan Pasir Halus. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima.* Vol. 1 No. 1 Juni 2017.

Shaikh, T.A. dan Sengupta, A.A. 2022. *Comparative Study Of Polypropilene, Steel and Hybrid Fiber In Concrete Paving Blocks, Novateur Publications Internationals Journal Of Innovatoins In Engineering Research And Technology*.

SK SNI T-04-1990-F. *Klasifikasi Paving Block Bentuk, Tebal, Tekuatan, dan Warna*. Balitbang PU. Jakarta.

Statistik Lingkungan hidup Indonesia. 2018. Pengelolaan Sampah Di Indonesia *Environments Statistics Of Indonesia Waste Management.*

Suryoatmono, B. Dan Susilorini, M.I.R. 2019. Trass, Masa Depan Bagi *Pozzolan* Alam Sebagai Agregat Alternatif Untuk Campuran Beton. *Seminar Nasional "Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa dan Konstruksi Beton".*

Tjokrodimuljo, Kardiyono. 2004. *Teknologi Beton.* Yogyakarta.

Tjokrodimuljo K. 2007. *Bahan Bangunan*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo K. 2009. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Widayanti, dkk. 2024. *The Utilization of Coconut Shell Ash Waste as Filler in Pavement Mixture towards Green Infrastructure. Jurnal.* Universitas Negeri Surabaya. Surabaya

Zhafirin, Z. 2012. Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar *Paving Block. Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Yogyakarta.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Surat Bebas Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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

**SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM**

Nomor : 53/ Ka.Lab/60/LBKT/VI/2024

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

| | |
|---|---|
| Nama | : MALIK MUSHTHOFA, S.T., M.ENG. |
| NIK | : 185111302 |
| Jabatan Struktural | : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Tenik JTS FTSP UII |

Dengan ini menerangkan bahwa :

| | |
|---|---|
| Nama | : KHOIRUL NUR IHFANSYAH |
| N I M | : 20511098 |
| Program Studi | : S1 Teknik Sipil |
| Dosen Pembimbing TA | : Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. |
| Instansi | : Universitas Islam Indonesia |

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"PENGARUH PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS DAN PENYERAPAN AIR PADA PAVING BLOCK"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya *).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 19 Juni 2024

| Di periksa oleh: | Didata oleh : |
|---|---|
| Kepala Laboratorium BKT, | PLP/Teknisi |
| Malik Mushthofa, S. T., M. Eng | Daru Salam, A.Md |

Disahkan oleh :
Manajer Mutu Laboratorium Jur. Tek. Sipil

Dr. Eng. Faizul Chasanah, S. T., M.Sc.

*) Nota/bukti transfer invoice terlampir

## Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

### Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

### (SNI 03-0691-1996)

Nama : Khairul Nur Ihfansyah

NIM : 20511098

Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Tugas Akhir

| Variasi : Variasi : **NORMAL** (Abu Tempurung Kelapa 0%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maks. | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V0 | 81,00 | 82,00 | 79,00 | 6642,000 | 25980,000 | 38,37 |
| V0 | 79,00 | 82,00 | 82,00 | 6478,000 | 24500,000 | 37,10 |
| V0 | 81,70 | 80,50 | 81,00 | 6576,850 | 24750,000 | 36,92 |
| V0 | 81,00 | 81,00 | 79,00 | 6561,000 | 26500,000 | 39,62 |
| V0 | 80,00 | 82,00 | 82,00 | 6560,000 | 23650,000 | 35,37 |
| V0 | 82,00 | 79,00 | 80,00 | 6478,000 | 24200,000 | 36,65 |
| V0 | 81,00 | 82,00 | 82,00 | 6642,000 | 23700,000 | 35,00 |
| V0 | 81,00 | 79,00 | 80,00 | 6399,000 | 23005,000 | 35,27 |
| V0 | 79,00 | 81,00 | 82,00 | 6399,000 | 24000,000 | 36,79 |
| V0 | 82,00 | 79,00 | 79,00 | 6478,000 | 25200,000 | 38,16 |
| Rerata | | | | | | 36,93 |

| Variasi : **V1ATK 5,5%** (Abu Tempurung Kelapa 5,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maksimum | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V1 | 81,00 | 82,00 | 79,00 | 6642,000 | 26150,000 | 38,62 |
| V1 | 80,00 | 82,00 | 82,00 | 6560,000 | 23500,000 | 35,14 |
| V1 | 82,00 | 79,00 | 81,00 | 6478,000 | 25960,000 | 39,31 |
| V1 | 80,00 | 80,00 | 79,00 | 6400,000 | 26700,000 | 40,93 |
| V1 | 81,00 | 82,00 | 82,00 | 6642,000 | 26870,000 | 39,69 |
| V1 | 81,00 | 80,00 | 80,00 | 6480,000 | 23200,000 | 35,12 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 82,00 | 6399,000 | 26050,000 | 39,94 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 80,00 | 6399,000 | 26450,000 | 40,55 |
| V1 | 82,00 | 80,00 | 82,00 | 6560,000 | 23478,000 | 35,11 |
| V1 | 81,00 | 79,00 | 79,00 | 6399,000 | 23000,000 | 35,26 |
| Rerata | | | | | | 37,97 |

| Variasi : **V2ATK 7,5%** (Abu Tempurung Kelapa 7,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maksimum | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V2 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 6561,000 | 25999,000 | 38,87 |
| V2 | 82,00 | 80,00 | 80,00 | 6560,000 | 25910,000 | 38,75 |
| V2 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 6480,000 | 23950,000 | 36,26 |
| V2 | 80,00 | 79,00 | 79,00 | 6320,000 | 26005,000 | 40,37 |
| V2 | 80,00 | 79,00 | 82,00 | 6320,000 | 25890,000 | 40,19 |
| V2 | 79,00 | 80,00 | 80,00 | 6320,000 | 26100,000 | 40,51 |
| V2 | 82,00 | 79,00 | 79,00 | 6478,000 | 26067,000 | 39,47 |
| V2 | 82,00 | 82,00 | 82,00 | 6724,000 | 25800,000 | 37,64 |
| V2 | 81,00 | 82,00 | 81,00 | 6642,000 | 26147,000 | 38,62 |
| V2 | 79,00 | 80,00 | 79,00 | 6320,000 | 26200,000 | 40,67 |
| Rerata | | | | | | 39,13 |

| Variasi : **V3ATK 9,5%** (Abu Tempurung Kelapa 9,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maksimum | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V3 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 6480,000 | 26797,000 | 40,57 |
| V3 | 79,00 | 81,00 | 80,00 | 6399,000 | 26255,000 | 40,25 |
| V3 | 79,00 | 80,00 | 81,00 | 6320,000 | 26785,000 | 41,58 |
| V3 | 81,00 | 81,00 | 79,00 | 6561,000 | 26565,000 | 39,72 |
| V3 | 82,00 | 82,00 | 80,00 | 6724,000 | 26799,000 | 39,10 |
| V3 | 80,00 | 81,00 | 81,00 | 6480,000 | 27260,000 | 41,27 |
| V3 | 79,00 | 79,00 | 79,00 | 6241,000 | 27520,000 | 43,26 |
| V3 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 6480,000 | 26590,000 | 40,25 |
| V3 | 79,00 | 79,00 | 82,00 | 6241,000 | 26170,000 | 41,14 |
| V3 | 82,00 | 80,00 | 82,00 | 6560,000 | 24990,000 | 37,37 |
| Rerata | | | | | | 40,45 |

| Variasi : **V4ATK 11,5%** (Abu Tempurung Kelapa 11,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maksimum | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V4 | 80,00 | 82,00 | 81,00 | 6560,000 | 22500,000 | 33,65 |
| V4 | 81,00 | 79,00 | 82,00 | 6399,000 | 16850,000 | 25,83 |
| V4 | 82,00 | 81,00 | 81,00 | 6642,000 | 16780,000 | 24,78 |
| V4 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 6561,000 | 21800,000 | 32,60 |
| V4 | 81,00 | 80,00 | 79,00 | 6480,000 | 24876,000 | 37,66 |
| V4 | 80,00 | 81,00 | 82,00 | 6480,000 | 24678,000 | 37,36 |
| V4 | 79,00 | 82,00 | 80,00 | 6478,000 | 23250,000 | 35,21 |
| V4 | 79,00 | 82,00 | 79,00 | 6478,000 | 24800,000 | 37,56 |
| V4 | 80,00 | 79,00 | 82,00 | 6320,000 | 25978,000 | 40,32 |
| V4 | 80,00 | 80,00 | 81,00 | 6400,000 | 23000,000 | 35,25 |
| Rerata | | | | | | 34,02 |

| Variasi : **V5ATK 13,5%** (Abu Tempurung Kelapa 13,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda uji | Dimensi | | | Luas Penampang | Beban Maksimum | Kuat Tekan |
| | panjang | lebar | tinggi | mm2 | kgf | Mpa |
| | mm | mm | mm | | | |
| V5 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 6400,000 | 25250,000 | 38,70 |
| V5 | 81,00 | 81,00 | 82,00 | 6561,000 | 24876,000 | 37,19 |
| V5 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 6400,000 | 24880,000 | 38,14 |
| V5 | 79,00 | 79,00 | 82,00 | 6241,000 | 17200,000 | 27,04 |
| V5 | 82,00 | 82,00 | 79,00 | 6724,000 | 15750,000 | 22,98 |
| V5 | 79,00 | 80,00 | 82,00 | 6320,000 | 13900,000 | 21,58 |
| V5 | 80,00 | 80,00 | 82,00 | 6400,000 | 13950,000 | 21,38 |
| V5 | 81,00 | 80,00 | 79,00 | 6480,000 | 12950,000 | 19,60 |
| V5 | 80,00 | 79,00 | 80,00 | 6320,000 | 25100,000 | 38,96 |
| V5 | 80,00 | 81,00 | 79,00 | 6480,000 | 25050,000 | 37,92 |
| Rerata | | | | | | 30,35 |

| Manajer Mutu Lab JTS | Kepala Laboratorium BKT | PLP/Teknisi |
|---|---|---|
| Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. | Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. | Darusalam, A.Md. |

## Lampiran 3 Hasil Pengujian Ketahanan Aus

**Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block***

**(SNI 03-0691-1996)**

Nama : Khairul Nur Ihfansyah

NIM : 20511098

Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Tugas Akhir

| Variasi : **NORMAL** (Abu Tempurung Kelapa 0%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/menit | mm/menit |
| V0 | 124,00 | 123,70 | 0,30 | 5 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 119,00 | 118,90 | 0,10 | 5 | 0,020 | 0,050 |
| V0 | 115,00 | 114,70 | 0,30 | 5 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 120,00 | 119,70 | 0,30 | 5 | 0,060 | 0,100 |
| V0 | 121,00 | 120,80 | 0,20 | 5 | 0,040 | 0,075 |
| Rerata | | | | | | 0,085 |

| Variasi : **V1ATK 5,5%** (Abu Tempurung Kelapa 5,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/mm | mm/menit |
| V1 | 120,00 | 119,70 | 0,30 | 5 | 0,060 | 0,100 |
| V1 | 164,00 | 163,78 | 0,22 | 5 | 0,044 | 0,077 |
| V1 | 135,00 | 134,77 | 0,23 | 5 | 0,046 | 0,083 |
| V1 | 125,00 | 124,69 | 0,31 | 5 | 0,062 | 0,103 |
| V1 | 121,00 | 120,78 | 0,22 | 5 | 0,044 | 0,080 |
| Rerata | | | | | | 0,089 |

| Variasi : **V2ATK 7,5%** (Abu Tempurung Kelapa 7,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/mm | mm/menit |
| V2 | 107,00 | 106,71 | 0,29 | 5 | 0,058 | 0,098 |
| V2 | 155,00 | 154,75 | 0,25 | 5 | 0,050 | 0,088 |
| V2 | 115,00 | 114,68 | 0,32 | 5 | 0,064 | 0,105 |
| V2 | 135,00 | 134,74 | 0,26 | 5 | 0,052 | 0,090 |
| V2 | 160,00 | 159,76 | 0,24 | 5 | 0,048 | 0,085 |
| Rerata | | | | | | 0,093 |

| Variasi : **V3ATK 9,5%** (Abu Tempurung Kelapa 9,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/mm | mm/menit |
| V3 | 122,00 | 121,76 | 0,33 | 5 | 0,049 | 0,086 |
| V3 | 110,00 | 109,77 | 0,25 | 5 | 0,046 | 0,083 |
| V3 | 128,00 | 127,76 | 0,23 | 5 | 0,048 | 0,085 |
| V3 | 146,00 | 145,75 | 0,32 | 5 | 0,050 | 0,088 |
| V3 | 127,00 | 126,75 | 0,32 | 5 | 0,050 | 0,088 |
| Rerata | | | | | | 0,086 |

| Variasi : **V4ATK 11,5%** (Abu Tempurung Kelapa 11,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/mm | mm/menit |
| V4 | 127,00 | 126,66 | 0,34 | 5 | 0,068 | 0,110 |
| V4 | 116,00 | 115,68 | 0,32 | 5 | 0,064 | 0,105 |
| V4 | 120,00 | 119,67 | 0,33 | 5 | 0,066 | 0,108 |
| V4 | 120,00 | 119,64 | 0,36 | 5 | 0,072 | 0,115 |
| V4 | 112,00 | 111,68 | 0,32 | 5 | 0,064 | 0,105 |
| Rerata | | | | | | 0,109 |

| Variasi : **V5ATK 13,5%** (Abu Tempurung Kelapa 13,5%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Sebelum | Berat Sesudah | Selisih | Waktu | Kehilangan | Ketahanan Aus |
| | gram | gram | gram | menit | gr/mm | mm/menit |
| V5 | 135,00 | 134,59 | 0,41 | 5 | 0,082 | 0,128 |
| V5 | 122,00 | 121,64 | 0,36 | 5 | 0,072 | 0,115 |
| V5 | 124,00 | 123,67 | 0,33 | 5 | 0,066 | 0,108 |
| V5 | 106,00 | 105,59 | 0,41 | 5 | 0,082 | 0,128 |
| V5 | 151,00 | 150,65 | 0,35 | 5 | 0,070 | 0,113 |
| Rerata | | | | | | 0,188 |

| Disahkan oleh, | Diperiksa oleh | Didata oleh, |
|---|---|---|
| Manajer Mutu Lab JTS | Kepala Laboratorium BKT | PLP/Teknisi |
| Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. | Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. | Darusalam, A.Md. |

## Lampiran 4 Hasil Pengujian Penyerapan Air

**Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block***

**(SNI 03-0691-1996)**

Nama : Khairul Nur Ihfansyah

NIM : 20511098

Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Tugas Akhir

| Variasi : **NORMAL** (Abu Tempurung Kelapa 0%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V0 | 3185 | 3119 | 2,116 |
| V0 | 3372 | 3300 | 2,182 |
| V0 | 3431 | 3359 | 2,143 |
| V0 | 3354 | 3287 | 2,038 |
| V0 | 3188 | 3120 | 2,179 |
| Rerata | | | 2,132 |

| Variasi : **V1ATK 5,5%** (Abu Tempurung Kelapa 5,5%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V1 | 3066 | 3005 | 2,030 |
| V1 | 3066 | 2981 | 2,851 |
| V1 | 3047 | 2985 | 2,077 |
| V1 | 3084 | 3010 | 2,458 |
| V1 | 3092 | 3020 | 2,384 |
| Rerata | | | 2,360 |

| Variasi : **V2ATK 7,5%** (Abu Tempurung Kelapa 7,5%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V2 | 2981 | 2905 | 2,616 |
| V2 | 2986 | 2910 | 2,612 |
| V2 | 3038 | 2960 | 2,635 |
| V2 | 2872 | 2799 | 2,608 |
| V2 | 3012 | 2934 | 2,658 |
| Rerata | | | 2,626 |

| Variasi : **V3ATK 9,5%** (Abu Tempurung Kelapa 9,5%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V3 | 3069 | 2999 | 2,334 |
| V3 | 3012 | 2943 | 2,345 |
| V3 | 3067 | 2997 | 2,336 |
| V3 | 3099 | 3027 | 2,379 |
| V3 | 3004 | 2935 | 2,351 |
| Rerata | | | 2,349 |

| Variasi : **V4ATK 11,5%** (Abu Tempurung Kelapa 11,5%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V4 | 3032 | 2934 | 3,340 |
| V4 | 2977 | 2878 | 3,440 |
| V4 | 3005 | 2910 | 3,265 |
| V4 | 3158 | 3055 | 3,372 |
| V4 | 2881 | 2779 | 3,670 |
| Rerata | | | 3,417 |

| Variasi : **V5ATK 13,5%** (Abu Tempurung Kelapa 13,5%) | | | |
|---|---|---|---|
| Benda Uji | Berat Setelah Rendam | Berat Setelah Oven | Daya Serap |
| | gram | gram | % |
| V5 | 2967 | 2859 | 3,778 |
| V5 | 2965 | 2859 | 3,708 |
| V5 | 2970 | 2861 | 3,810 |
| V5 | 2911 | 2801 | 3,927 |
| V5 | 2962 | 2854 | 3,784 |
| Rerata | | | 3,801 |

| Manajer Mutu Lab JTS | Kepala Laboratorium BKT | PLP/Teknisi |
|---|---|---|
| Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. | Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. | Darusalam, A.Md. |

## Lampiran 5 Surat Bebas Plagiasi

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

**SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI**
Nomor: 2429492637/Perpus./10/Dir.Perpus/VIII/2024

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

| | |
|---|---|
| Nama | : Khairul Nur Ihfansyah |
| Nomor Mahasiswa | : 20511098 |
| Pembimbing | : Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. |
| Fakultas / Prodi | : Teknik Sipil dan Perencanaan/ TEKNIK SIPIL |
| Judul Karya Ilmiah | : PENGARUH SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN PENYERAPAN AIR PADA PAVING BLOCK (THE EFFECT OF SUBSTITUTION COCONUT SHELL ASH ON COMPRESSIVE STRENGTH,WEAR RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION OF PAVING BLOCK) |

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **18 (Delapan Belas) %.**

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 8/9/2024
Direktur

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
DIREKTORAT PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

Muhammad Jamil, SIP.