

## **TUGAS AKHIR**

# **PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH GYPSUM DAN PENAMBAHAN SIKACIM TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN SERAP AIR PAVING BLOCK (*THE EFFECT OF SUBSTITUTION GYPSUM WASTE AND ADDITION SIKACIM ON COMPRESSIVE STRENGTH, ABRASION RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION PAVING BLOCK*)**

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



**Yudit Yustisiandi  
19511266**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2025**

## TUGAS AKHIR

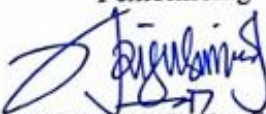
**PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH *GYP SUM* DAN  
PENAMBAHAN SIKACIM TERHADAP KUAT TEKAN,  
KETAHANAN AUS, DAN SERAP AIR *PAVING BLOCK*  
(*EFFECT OF SUBSTITUTION GYP SUM WASTE AND  
ADDITION SIKACIM ON COMPRESSIVE STRENGTH,  
ABRASION RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION  
PAVING BLOCK*)**



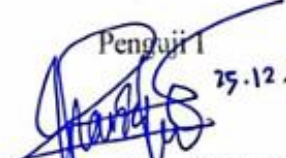
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memenuhi derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 17/12/2025  
Oleh Dewan Penguji


Pembimbing

  
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.  
NIK: 185111304

Penguji I

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

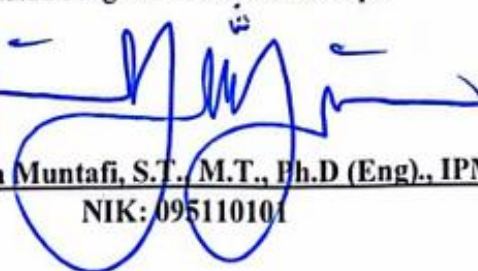
Penguji II

  
Malik Musthofa, ST., M.Eng  
NIK: 185111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa tugas akhir yang saya buat untuk memenuhi salah satu persyaratan program sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia secara keseluruhan adalah hasil karya saya sendiri. Beberapa bagian pada penulisan laporan tugas akhir yang saya kutip dari karya orang lain telah saya cantumkan sumbernya dengan jelas, sesuai dengan standar, kaidah dan etika penulisan artikel ilmiah.

Yogyakarta, 22 Desember 2025

P.  

Yudit Yustisiandi

(19511266)

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatu.

Alhamdulillahirabilalamin, dengan menyebut nama Allah dan Rasulnya yang sudah memberikan kekuatan dan waktunya sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Substitusi Limbah *Gypsum* Dan Penambahan Sikacim Terhadap Kuat Tekan, Ketahanan Aus, dan Serap Air *Paving block*”.

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir, penulis melalui banyak tantangan dan rintangan. Namun berkat bantuan, arahan, dan semangat yang diberikan oleh beberapa pihak sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Berkaitan dengan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada yang bersangkutan :

1. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing selama pengerjaan Tugas Akhir ini sampai dengan selesai,
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T.,M.Eng selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan juga mengarahkan baiknya Tugas Akhir ini,
3. Bapak Malik Musthofa, ST.,M.Eng selaku Dosen Penguji II yang telah mengoreksi, memberi masukan, dan mengarahkan baiknya Tugas Akhir ini,
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. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Program Studi Teknik Sipil FTSP-UII dan Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Universitas Islam Indonesia,
6. Orang tua penulis, Ibu Nani Tresnawati dan Bapak Rudi Mulya Gunadi yang selalu memberi dorongan, mendidik, serta memotivasi tanpa adanya tekanan dan paksaan terhadap penulis,

7. Teman hidup penulis, Fairuz Luthfiyyah Azhar yang selalu memberi masukan, dan semangat kepada penulis,
8. Dwi Julianto Ashari, Imam Ramdhani, Muhammad Arif, Muhammad Ridho Saputra, Mustika Dewa Samoedra, Perkenan Perdana, Haikal Malik Fawwaz Sapriana, Satria, Intun, Saddam Husein, Alip, Genta Mahardika, Hilal, Valen, Imam, Faizal, Bima, Agis, Opay, Bimo dan semua teman saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang menemani saya sejauh ini dan untuk selalu memberikan motivasi juga bantuan,
9. Diri saya sendiri, yang sudah bisa kuat dan bertahan sampai sejauh ini, dan menyelesaikan tanggung jawab secara maksimal bagi diri saya sendiri.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan, dan semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatu.

Yogyakarta, 22 Desember 2025

Penulis,



Yudit Yustisiandi  
(19511266)

## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL                           | i     |
| HALAMAN PENGESAHAN                      | ii    |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI               | iii   |
| KATA PENGANTAR                          | iv    |
| DAFTAR ISI                              | vi    |
| DAFTAR GAMBAR                           | x     |
| DAFTAR TABEL                            | xiii  |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN             | xvi   |
| ABSTRAK                                 | xvii  |
| <i>ABSTRACT</i>                         | 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                 | 6     |
| 2.1 Tinjauan Pustaka                    | 6     |
| 2.2 Perbedaan Peneliti Terdahulu        | 6     |
| 2.3 Perbedaan penelitian yang dilakukan | 9     |
| BAB III LANDASAN TEORI                  | 12    |
| 3.1 Umum                                | 12    |

|                          |  |    |
|--------------------------|--|----|
| 3.1.1                    | Definisi <i>Paving block</i>                 | 12 |
| 3.1.2                    | Keunggulan dan Kelemahan <i>Paving block</i> | 13 |
| 3.2                      | Bahan Penyusunan <i>Paving block</i>         | 14 |
| 3.2.1                    | Agregat                                      | 14 |
| 3.2.2                    | Semen Portland                               | 16 |
| 3.2.3                    | Air  | 18 |
| 3.3                      | Bahan Tambah ( <i>Admixture</i> )            | 19 |
| 3.3.1                    | Limbah <i>Gypsum</i>                         | 21 |
| 3.3.2                    | SikaCim ( <i>chemical admixtures</i> )       | 22 |
| 3.4                      | Pengujian <i>Paving block</i>                | 22 |
| 3.4.1                    | Kuat Tekan <i>Paving block</i>               | 23 |
| 3.4.2                    | Ketahanan Aus                                | 23 |
| 3.4.3                    | Penyerapan Air                               | 24 |
| BAB IV METODE PENELITIAN |  | 26 |
| 4.1                      | Umum   | 26 |
| 4.2                      | Alat dan Bahan                               | 26 |
| 4.2.1                    | Alat   | 26 |
| 4.2.2                    | Bahan  | 32 |
| 4.3                      | Benda Uji                                    | 36 |
| 4.4                      | Tahap Penelitian                             | 37 |
| 4.4.1                    | Persiapan Bahan                              | 37 |
| 4.4.2                    | Tahap Pencampuran                            | 43 |
| 4.4.3                    | Pembuatan Benda Uji                          | 44 |
| 4.4.4                    | Perawatan Benda Uji                          | 45 |
| 4.4.5                    | Pemotongan Benda Uji                         | 46 |

|                                   |  |    |
|-----------------------------------|--|----|
| 4.4.6                             | Pengujian <i>Paving block</i>  | 47 |
| 4.5                               | Diagram Alir Penelitian (Flow Chart)   | 50 |
| <b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b> |  | 52 |
| 5.1                               | Tinjauan Umum  | 52 |
| 5.2                               | Hasil Pengujian Bahan Agregat Halus  | 52 |
| 5.2.1                             | Analisis Saringan Agregat Halus  | 52 |
| 5.2.2                             | Pengujian Kandungan Lumpur   | 59 |
| 5.2.3                             | Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur  | 60 |
| 5.2.4                             | Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus   | 63 |
| 5.3                               | Hasil Pengujian Bahan Agregat Kasar  | 64 |
| 5.3.1                             | Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur  | 64 |
| 5.3.2                             | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar   | 67 |
| 5.3                               | Perhitungan Kebutuhan Campuran   | 68 |
| 5.3.1                             | Perhitungan kebutuhan <i>Paving block</i>  | 69 |
| 5.3.2                             | Perhitungan Kebutuhan Limbah <i>Gypsum</i> pada setiap variasi   | 70 |
| 5.3.3                             | Perhitungan kebutuhan SikaCim  | 71 |
| 5.3.4                             | Perhitungan kebutuhan semen pada setiap variasi  | 72 |
| 5.4                               | Hasil Pengujian <i>Paving block</i>  | 73 |
| 5.4.1                             | Kuat Tekan <i>Paving block</i>   | 73 |
| 5.4.2                             | Ketahanan Aus <i>Paving block</i>  | 83 |
| 5.4.3                             | Penyerapan Air <i>Paving block</i>   | 88 |
| 5.4.4                             | Pengaruh Serbuk Limbah <i>Gypsum</i> Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen dan SikaCim <i>Concrete Additive</i> Sebagai Bahan Tambah Terhadap Mutu <i>Paving block</i> | 94 |
| 5.5                               | Biaya Bahan Baku   | 97 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.5.1 Pasir                            | 98  |
| 5.5.2 Kerikil                          | 98  |
| 5.5.3 Semen                            | 99  |
| 5.5.4 Limbah <i>Gypsum</i>             | 100 |
| 5.5.5 SikaCim <i>Concrete Additive</i> | 100 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN            | 105 |
| 6.1 Kesimpulan                         | 105 |
| 6.2 Saran                              | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA                         | 107 |
| LAMPIRAN                               | 109 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Limbah Gypsum                        | 21 |
| Gambar 3. 2 SikaCim Concrete Additive            | 22 |
| Gambar 3. 3 Skema Uji Kuat Tekan                 | 23 |
| Gambar 3. 4 Skema Uji Ketahanan Aus              | 24 |
| Gambar 3. 5 Skema Uji Penyerapan Air             | 25 |
| Gambar 4. 1 Sekop                                | 27 |
| Gambar 4. 2 Cetok                                | 27 |
| Gambar 4. 3 Ember Material                       | 28 |
| Gambar 4. 4 Timbangan                            | 28 |
| Gambar 4. 5 Saringan Agregat                     | 29 |
| Gambar 4. 6 Mesin Press                          | 29 |
| Gambar 4. 7 Mesin Pengaduk (Mixer)               | 30 |
| Gambar 4. 8 Pemotong Paving block                | 30 |
| Gambar 4. 9 Papan Kayu                           | 31 |
| Gambar 4. 10 Oven                                | 31 |
| Gambar 4. 11 Alat Uji Tekan Beton model ADR 3000 | 32 |
| Gambar 4. 12 Alat Uji Ketahanan Aus model BDM16  | 32 |
| Gambar 4. 13 Semen                               | 33 |
| Gambar 4. 14 Agregat Halus                       | 33 |
| Gambar 4. 15 Agregat Kasar                       | 34 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4. 16 Air                                 | 34 |
| Gambar 4. 17 Limbah Gypsum                       | 35 |
| Gambar 4. 18 SikaCim Concrete Additive           | 36 |
| Gambar 4. 19 Dimensi Paving block                | 36 |
| Gambar 4. 20 Proses Pencampuran                  | 44 |
| Gambar 4. 21 Proses Pencetakan                   | 45 |
| Gambar 4. 22 Perawatan Benda Uji                 | 46 |
| Gambar 4. 23 Pemotongan Benda Uji                | 46 |
| Gambar 4. 24 Hasil Untuk Uji Kuat Tekan          | 47 |
| Gambar 4. 25 Hasil Untuk Uji Ketahanan Aus       | 47 |
| Gambar 4. 26 Hasil Untuk Uji Penyerapan Air      | 47 |
| Gambar 4. 27 Dimensi Pengujian Kuat Tekan        | 48 |
| Gambar 4. 28 Pengujian Kuat Tekan                | 48 |
| Gambar 4. 29 Dimensi pengujian ketahanan aus     | 49 |
| Gambar 4. 30 Pengujian Ketahanan Aus             | 49 |
| Gambar 4. 31 Pengujian Penyerapan Air            | 50 |
| Gambar 4. 32 Flowchart                           | 51 |
| Gambar 5. 1 Gradasi Aregat Halus Sampel 1        | 56 |
| Gambar 5. 2 Gradasi Aregat Halus Sampel 2        | 59 |
| Gambar 5. 3 Grafik Nilai Kuat Tekan Rata-rata    | 80 |
| Gambar 5. 4 Grafik Nilai Kuat Tekan Minimum      | 80 |
| Gambar 5. 5 Grafik Nilai Ketahanan Aus Rata-rata | 86 |
| Gambar 5. 6 Grafik Nilai Ketahanan Aus Maksimum  | 86 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 5. 7 Grafik Nilai Penyerapan Air Rata-rata      | 91 |
| Gambar 5. 8 Grafik Rekapitulasi Pengujian Paving block | 94 |
| Gambar 5. 9 Dimensi Paving block                       | 97 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terlebih Dahulu dengan Penelitian Sekarang                      | 10 |
| Tabel 2. 2 Perbedaan Penelitian Terlebih Dahulu dengan Penelitian Sekarang                      | 11 |
| Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus  | 15 |
| Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar  | 16 |
| Tabel 4. 1 Jumlah Sampel Pengujian  | 37 |
| Tabel 4. 2 Ukuran Sampel  | 37 |
| Tabel 5. 1 Daerah Gradasi Agregat Halus   | 53 |
| Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Modulus Halus Butir Sampel 1                                       | 55 |
| Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Modulus Halus Butir Sampel 2                                       | 58 |
| Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur   | 60 |
| Tabel 5. 5 Berat Volume Padat Agregat Halus   | 62 |
| Tabel 5. 6 Berat Volume Gembur Agregat Halus  | 62 |
| Tabel 5. 7 Hasil Penelitian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus                            | 63 |
| Tabel 5. 8 Hasil Analisis Perhitungan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air<br>Agregat Halus | 64 |
| Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat   | 66 |
| Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur   | 66 |
| Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar                            | 67 |
| Tabel 5. 12 Hasil analisis perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar                 | 68 |
| Tabel 5. 13 Rekapitulasi perhitungan kebutuhan campuran Paving block                            | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Tabel 5. 14 Hasil Pemeriksaan Tinggi Paving block Variasi 1       | 75 |
| Tabel 5. 15 Hasil Pemeriksaan Tinggi Paving block Variasi 2       | 75 |
| Tabel 5. 16 Hasil Pemeriksaan Tinggi Paving block Variasi 3       | 76 |
| Tabel 5. 17 Hasil Pemeriksaan Tinggi Paving block Variasi 4       | 76 |
| Tabel 5. 18 Hasil Pemeriksaan Tinggi Paving block Variasi 5       | 77 |
| Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Variasi 1     | 77 |
| Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Variasi 2     | 78 |
| Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Variasi 3     | 78 |
| Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Variasi 4     | 79 |
| Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Variasi 5     | 79 |
| Tabel 5. 24 Klasifikasi Mutu Kuat Tekan Paving block              | 81 |
| Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving block Variasi 1  | 84 |
| Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving block Variasi 2  | 84 |
| Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving block Variasi 3  | 85 |
| Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving block Variasi 4  | 85 |
| Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving block Variasi 5  | 85 |
| Tabel 5. 30 Rekapitulasi Mutu Ketahanan Aus Paving block          | 87 |
| Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block Variasi 1 | 89 |
| Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block Variasi 2 | 89 |
| Tabel 5. 33 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block Variasi 3 | 90 |
| Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block Variasi 4 | 90 |
| Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block Variasi 5 | 90 |
| Tabel 5. 36 Rekapitulasi Mutu Penyerapan Air Paving block         | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 5. 37 Klasifikasi Mutu Paving block | 96  |
| Tabel 5. 38 Biaya Bahan Baku              | 102 |

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

|                |  |
|----------------|--|
| cm             | : Centimeter                           |
| m              | : Meter                                |
| mm             | : Milimeter                            |
| SNI            | : Standar Nasional Indonesia           |
| MPa            | : Megapascal                           |
| FAS            | : Faktor Air Semen                     |
| Kg             | : Kilo Gram                            |
| gr             | : gram                                 |
| ±              | : Kurang Lebih                         |
| $\sigma'_{b}$  | : Kuat Tekan                           |
| A              | : Luas bidang tekan (cm <sup>2</sup> ) |
| P              | : Beban                                |
| M <sup>2</sup> | : Meter persegi                        |
| G              | : Kehilangan Berat                     |
| D              | : Ketahanan Aus                        |
| C3A            | : Trikalsium Aluminat                  |
| L              | : Liter                                |
| ml             | : Mililiter                            |
| %              | : presentase                           |
| DSA            | : Penyerapan air                       |
| A              | : Berat <i>Paving block</i> Basah      |
| B              | : Berat <i>Paving block</i> Kering     |

## ABSTRAK

*Paving block* atau bata beton adalah material berbahan dasar perekat hidrolis, air, agregat bisa ditambahkan bahan tambah yang tidak merusak mutunya. Banyak diaplikasikan pada perkerasan jalan, lahan parkir, trotoar, maupun area taman. Peningkatan kualitas *paving block* dapat dilakukan melalui substitusi parsial dan penambahan material tertentu dalam campurannya, salah satunya limbah *gypsum*. Limbah *gypsum* merupakan limbah yang berasal dari perajin *gypsum* yang bisa dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen pada campuran *paving block*, juga penambahan SikaCim karena memiliki karakteristik yang mendukung serta mampu meningkatkan nilai kuat tekan serta memberikan nilai tambah dari aspek teknis maupun ekonomi.

Penelitian ini menggunakan variasi substitusi Limbah *gypsum* sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen serta penambahan SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen pada seluruh variasi. Benda uji yang digunakan adalah *paving block* tipe *Holland* berukuran  $200 \times 100 \times 60$  mm dengan perbandingan campuran 1:4:2 (semen : pasir : kerikil). Pengujian utama meliputi kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air sesuai SNI 03-0691-1996, dengan seluruh benda uji diuji pada umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 0% (kontrol) menghasilkan mutu D dengan kuat tekan rata-rata sebesar 15,112 yang memenuhi mutu C, ketahanan aus rata-rata sebesar 0,213 yang memenuhi mutu D dan nilai nilai penyerapan mendapatkan nilai rata-rata sebesar 9,813 yang memenuhi mutu D. Nilai optimum terdapat pada variasi 10% dengan substitusi parsial 10% limbah *gypsum* dan penambahan 0,5% SikaCim menghasilkan mutu C dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 21,273 MPa yang memenuhi mutu B. Ketahanan aus terbaik mencapai 0,181 mm/menit, sedangkan penyerapan air terendah adalah 6,614%, keduanya termasuk kategori mutu C. Selain itu, variasi optimum tersebut menghasilkan biaya bahan baku paling efisien sebesar Rp 40.144,35/m<sup>2</sup> dibanding dengan variasi kontrol dengan harga Rp. 39.050,00/m<sup>2</sup>. Secara keseluruhan, peningkatan kuat tekan berbanding terbalik dengan daya serap air dan berkorelasi positif terhadap ketahanan aus.

**Kata kunci :** Limbah *Gypsum*, SikaCim, Kuat Tekan, Ketahanan Aus, Penyerapan Air.

## **ABSTRACT**

*Concrete paving blocks are construction materials composed of hydraulic binders, water, and aggregates, with the possible addition of admixtures that do not adversely affect their quality. They are widely applied in road pavements, parking areas, sidewalks, and landscaped areas. The quality of paving blocks can be improved through partial substitution and the addition of specific materials in the mixture, one of which is gypsum waste. Gypsum waste is a by-product generated by gypsum craftsmen and can be utilized as a partial replacement for cement in paving block mixtures. In addition, the incorporation of SikaCim is intended to enhance the material characteristics, improve compressive strength, and provide added value from both technical and economic perspectives.*

*This study employs Gypsum waste substitution levels of 0%, 5%, 10%, and 15% of the cement weight, along with the addition of 0.5% SikaCim for all variations. The test specimens used were Holland-type Paving block measuring 200 × 100 × 60 mm with a mix proportion of 1:4:2 (cement : sand : gravel). The primary tests conducted included compressive strength, abrasion resistance, and water absorption in accordance with SNI 03-0691-1996, with all specimens tested at 28 days.*

*The results indicate that the 0% variation (control) produced quality grade D, with an average compressive strength of 15.112 MPa, meeting grade C requirements. The average abrasion resistance was 0.213 mm/min, satisfying grade D criteria, while the average water absorption value was 9.813%, also classified as grade D. The optimum performance was achieved at the 10% variation, where partial substitution of 10% gypsum waste combined with 0.5% SikaCim resulted in quality grade C. This variation produced a compressive strength of 21.273 MPa, fulfilling grade B requirements. The best abrasion resistance reached 0.181 mm/min, and the lowest water absorption was 6.614%, both classified as grade C. Furthermore, this optimum variation yielded the most cost-efficient raw material cost of IDR 40,144.35/m<sup>2</sup> compared to the control variation, which had a cost of IDR 39,050.00/m<sup>2</sup>. Overall, the increase in compressive strength is inversely proportional to water absorption and positively correlated with abrasion resistance.*

**Keywords:** *Gypsum waste, SikaCim, compressive strength, abrasion resistance, water absorption.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan konstruksi modern, *paving block* semakin populer sebagai solusi perkerasan permukaan tanah. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya menyerap air sehingga dapat membantu pengendalian banjir dan mempertahankan keseimbangan air tanah. Selain itu, *paving block* dikenal praktis dalam pemasangan, memiliki performa fungsional yang baik, dan memberi tampilan yang menarik. Oleh karena itu, material ini sering diaplikasikan pada perkerasan jalan, jalur pedestrian, area parkir, trotoar, hingga ruang hijau seperti taman.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 (1996), bata beton atau *paving block* adalah material bangunan yang disusun dari semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, dan agregat, serta dapat ditambahkan bahan lain yang tidak menurunkan mutu beton. *Paving block* termasuk jenis beton pracetak yang diproduksi dalam berbagai bentuk dan berfungsi untuk melapisi permukaan tanah pada jalan, area parkir, maupun jalur pejalan kaki. Dari segi pemeliharaan, *paving block* lebih ekonomis dibandingkan perkerasan lainnya dan mampu memberikan nilai estetika pada penataan taman. Selain itu, material ini unggul karena tidak membutuhkan alat berat untuk pemasangan, mudah diproduksi secara massal, memiliki kemampuan sebagai media resapan air, dan tetap memungkinkan penggunaan bahan tambahan tanpa merusak kualitasnya.

Penelitian ini menggunakan perbandingan semen, agregat halus, dan agregat kasar 1:4:2 dengan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dan bahan tambah Sikacim sebesar 0,5%. Untuk kuat tekan rencana rata – rata 20 MPa dan minimum 17 MPa, Variasi kadar yang digunakan dipilih dengan mempertimbangkan hasil yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, (ardi, 2020) melalui hasil penelitiannya dijelaskan bahwa limbah

*gypsum* sebesar 2%, 4%, 6%, 8% terhadap berat semen dan perbandingan semen dan pasir adalah 1:2 dapat meningkatkan nilai kuat tekan *paving block* pada variasi 8% sebesar 21,43 *Mpa* sedangkan menurun pada variasi 10%, juga Gusneli Yanti, dkk (2021) pada penelitiannya yang menyatakan nilai rata-rata kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran dengan penambahan SikaCim sebesar 0,5%, perbandingan semen terhadap agregat kasar 1:3, serta faktor air semen 0,3, yaitu sebesar 18,08 MPa. Kuat tekan tersebut termasuk dalam kategori B dan sesuai digunakan untuk area pelataran parkir.

Limbah *gypsum* menurut (Mukramin dan Baso, 2020) menyatakan bahwa Limbah *gypsum* merupakan jenis limbah B3 dengan kode limbah B414 pada kategori bahaya 2 jika tidak dimanfaatkan. Menurut (Muslimin dan Fauziah, 2022) Material *gypsum* memiliki komposisi mineral yang sebagian besar terdiri dari kalsium. *gypsum* tergolong bahan yang dapat menguap dan sering dimanfaatkan sebagai material dekorasi dalam konstruksi. Aktivitas pembuatan produk *gypsum* oleh pengrajin biasanya menyisakan sejumlah limbah dari proses pembentukannya.

Untuk memperkuat bahan substitusi parsial yang di pakai maka peneliti juga menggunakan bahan tambah *superplazticizer* yang diharapkan bisa meningkatkan kualitas *paving block* yang mengacu pada Yanti pada tahun 2021 dari penelitiannya yang berjudul Variasi Penambahan SikaCim Pada Beton Porous menyatakan bahwa kuat tekan beton porous meningkat seiring dengan semakin kecilnya rasio semen–agregat. Nilai porositas pada beton porous dengan fas 0,25 tercatat lebih tinggi dibandingkan fas 0,30. Terdapat korelasi antara porositas dan kuat tekan, di mana kuat tekan cenderung meningkat ketika porositas menurun. Nilai rata-rata kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi penambahan SikaCim sebesar 0,5% dengan perbandingan semen–agregat 1:3 dan fas 0,30, yaitu sebesar 18,08 MPa, yang termasuk kategori B dan sesuai untuk penggunaan pada area pelataran parkir.

Sedangkan SikaCim *Concrete Additive* merupakan *admixture high range water reducing* yang diformulasikan khusus untuk industri beton pracetak, untuk memenuhi kebutuhan pembukaan bekisting lebih cepat dan pencapaian kuat tekan awal lebih tinggi. Memungkinkan peralatan pengecoran beton untuk digunakan

dengan kapasitas penuh. Efektif pada semua rentang dosis yang direkomendasikan. Berbentuk cairan berwarna coklat tua (Lembar Kerja PT. Sika Indonesia, 2022).

Adapun biaya bahan baku yang didapat dari penelitian ini yang dihitung dari bahan baku yang dipakai untuk bahan penyusun *paving block*. Pada dasarnya ini sangat berguna dalam penggunaan khalayak umum karena hasilnya mempengaruhi harga. Harga adalah nilai dari suatu barang atau jasa yang diungkapkan dalam bentuk uang, yang merupakan unsur penting dalam pemasaran dan pemasukan perusahaan (Ramli, 2013). Menjadi salah satu alasan yang kuat untuk pemilihan konsumen maupun pelaku usaha, baik pemilihan jenis Paving, dan juga bahan baku. Sedangkan menurut (Mulyadi, 2013), biaya bahan baku mencakup seluruh pengeluaran yang diperlukan untuk memperoleh bahan yang digunakan dalam proses produksi, seperti biaya papan dasar dan berbagai material lainnya.

Dengan demikian, peneliti melakukan substitusi menggunakan limbah *gypsum* yang diperoleh dari sisa pembuatan yang tidak lagi dimanfaatkan oleh perajin *gypsum* dari berat semen, dan menambahkan SikaCim untuk bahan tambah dari berat semen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari pembahasan pada latar belakang maka dapat disimpulkan pada rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta penambahan SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen, terhadap nilai kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari ?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta penambahan SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen, terhadap nilai ketahanan aus *paving block* pada umur 28 hari ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta penambahan SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen, terhadap nilai serap air *paving block* pada umur 28 hari ?

4. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta penambahan SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen, terhadap biaya bahan baku *paving block* ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta bahan tambah SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen terhadap nilai kuat tekan pada pembuatan *paving block* umur 28 hari.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta bahan tambah SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen terhadap nilai ketahanan haus pada pembuatan *paving block* umur 28 hari.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta bahan tambah SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen terhadap nilai daya serap air pada pembuatan *paving block* umur 28 hari.
4. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi semen dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%, serta bahan tambah SikaCim sebesar 0,5% dari berat semen terhadap biaya bahan baku dari *paving block*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil dalam penelitian ini antara lain :

1. Memberikan informasi mengenai fungsi dari pengaruh substitusi limbah *gypsum* serta bahan tambah SikaCim untuk nilai kuat tekan, nilai ketahanan aus, nilai daya serap air, dan biaya bahan baku *paving block*.
2. memberikan inovasi dan kontribusi dalam dunia infrastruktur yang dikhususkan pada penggunaan *paving block*.

## 1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian tidak menyimpang dari fokus yang telah ditentukan, diperlukan penetapan batasan penelitian. Berikut ini merupakan batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Kuat tekan *paving block* rencana ( $f'c$ ) rata – rata sebesar  $20MPa$ , dan minimum  $17 MPa$  (Mutu B).
2. Perencanaan perbandingan semen : agregat halus : agregat kasar, (1:4:2).
3. Perencanaan campuran *paving block* mengacu pada SNI 03-0691-1996.
4. Variasi kadar substitusi limbah *gypsum* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat semen.
5. Variasi kadar bahan tambah SikaCim yang digunakan adalah 0,5% terhadap berat semen pada semua variasi limbah *gypsum*.
6. Semen yang digunakan adalah semen dengan merek Dynamix tipe PCC.
7. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari progo.
8. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari celereng.
9. *Gypsum* yang digunakan disaring dengan saringan ukuran 200 mesh / 0,075 mm.
10. Air yang digunakan berasal dari Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII.
11. Substitusi berupa limbah *gypsum* berasal dari perajin *gypsum* sekitaran DIY.
12. Penambah berupa SikaCim menggunakan merek Sika.
13. Perhitungan biaya bahan baku dari semua bahan penyusun *paving block*.
14. Sampel diuji pada umur 28 hari pada semua variasi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* atau bata beton dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan yang tidak memengaruhi mutu beton. Material ini berfungsi sebagai penutup permukaan tanah dan dapat digunakan secara luas, mulai dari aplikasi sederhana hingga penggunaan yang memerlukan spesifikasi khusus. *Paving block* sering dipakai untuk perkerasan jalan di kawasan permukiman, mempercantik trotoar kota, memperindah taman, halaman rumah, area parkir, perkantoran, pabrik, sekolah, serta lingkungan hotel dan restoran.

*Paving block* dapat dikategorikan sebagai material penutup atau pengerasan permukaan tanah yang ramah lingkungan karena proses pemasangannya tidak menimbulkan kebisingan maupun debu, sekaligus berperan sebagai media resapan air saat terjadi genangan.

#### **2.2 Perbedaan Peneliti Terdahulu**

Penelitian ini menggunakan hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya sebagai tinjauan pustaka. Penelitian yang telah terdapat sebelumnya yang digunakan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian ini di antara lain.

1. Ardi, dkk. (2020) Pesatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia sebagai negara berkembang menyebabkan tingginya permintaan konsumen terhadap produksi material infrastruktur, salah satunya *paving block*. Bahan penyusun dari *paving block* adalah semen, pasir dan air dengan atau tanpa bahan tambah lainnya. Bahan tambah yang digunakan dapat berupa limbah atau sisa bahan bangunan yang tidak digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh campuran limbah *gypsum* terhadap kuat tekan dan daya serap air *paving block*. Penelitian ini

dilakukan di Laboratorium Pekerjaan Umum Kabupaten Tanah Datar. Dalam penelitian ini digunakan perbandingan semen dan pasir adalah 1:2 dengan presentase limbah *gypsum* 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat semen. Hasil pengujian nilai kuat tekan dan daya serap pada presentase limbah *gypsum* 0% adalah 19,68 MPa dan 5,68%, campuran 2% adalah 19,92 MPa dan 8,5%, campuran 4% adalah 20,49 MPa dan 10,57%, campuran 6% adalah 20,78 MPa dan 12,22%, campuran 8% adalah 21,43 MPa dan 13,99%, dan campuran 10% adalah 19,93 MPa dan 16,07%. Nilai kuat tekan dan daya serap air yang optimum pada campuran 8% adalah 21,43 MPa dan 13,99%, dengan demikian peningkatan kuat tekan yang optimum terjadi sebesar 8% dari campuran 0% limbah *gypsum*. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa limbah *gypsum* dapat meningkatkan mutu *paving block* dengan penambahan 8% limbah *gypsum*.

2. Yanti, dkk. (2021) Beton porous dikategorikan sebagai beton ramah lingkungan karena mempunyai rongga saling terhubung yang menghasilkan bahan yang permeabel, sehingga memungkinkan dapat mengalirkan air secara cepat dan dapat mengurangi limpasan. Beton ini dapat diaplikasikan untuk area parkir, trotoar untuk pejalan kaki dan sebagainya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik beton dengan pengamatan terhadap kuat tekan dan porositasnya. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan sampel uji berbentuk silinder ukuran 150 x 300 mm. Pada penelitian ini menggunakan agregat kasar, semen, air serta variasi penambahan *admixture* SikaCim *Concrete Additive* sebesar 0% (kontrol); 0.3% ; 0.5%; 0.7% terhadap berat semen. Fas yang dipergunakan sebesar 0.25 dan 0.30 serta perbandingan semen dan agregat kasar 1:3 dan 1:5. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan tekan beton porous mengalami kenaikan seiring dengan semakin kecil nilai rasio semen agregat. Nilai porositas beton porous dengan fas 0.25 lebih tinggi dari fas 0.30 Terdapat hubungan antara porositas dan kuat tekan, kekuatan tekan umumnya meningkat seiring dengan penurunan porositas. Nilai rata-rata kuat tekan tertinggi dengan variasi penambahan SikaCim sebesar 0.5%

dan perbandingan semen agregat kasar 1:3 serta faktor air semen 0.3, dengan nilai kuat tekan sebesar 18.08 MPa, termasuk dalam kategori B yang digunakan untuk pelataran parkir.

3. Ramadhan (2022) Meningkatkan kebutuhan *paving block* sebagai bahan infrastruktur, sejalan dengan meningkatnya produktifitas dalam pembuatan *paving block*. Sehingga mengakibatkan ketersediaan bahan baku pembuatannya seperti semen menjadi menipis dan akan menimbulkan eksploitasi sumber daya alam secara terus-menerus. Untuk meminimalisir penggunaan semen maka dilakukan penelitian ini dengan menggunakan limbah *gypsum board* sebagai bahan substitusi semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah *gypsum board* sebagai bahan substitusi semen pada *paving block* serta ingin mengetahui nilai kuat tekan optimum dan daya serap air pada penggunaan limbah *gypsum board*. Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah 0% (normal) dan 30% limbah *gypsum board* dengan perbandingan semen dan pasir yaitu 1 : 4 dan nilai fas sebesar 40%. Penelitian ini menggunakan metode perawatan basah (wet curing). Pengujian kuat tekan dan daya serap air dilakukan pada umur perawatan 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dan daya serap air mengacu pada SNI-03-0691-1996 bata beton (*paving block*). Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada *paving block* 30% limbah *gypsum board* yaitu sebesar 27,90 Kg/cm<sup>2</sup> atau setara dengan 2,74 Mpa pada umur perawatan 14 hari. Untuk pengujian daya serap air terkecil pada *paving block* 30% limbah *gypsum board* didapatkan sebesar 9,89% pada umur perawatan 28 hari.
4. Hadi (2023) *paving block* adalah produk konstruksi yang berfungsi sebagai alternatif penutup atau peneras permukaan tanah, dibuat dari semen, air, dan agregat halus, dengan atau tanpa tambahan bahan lain. Limbah atau sisa material bangunan dapat digunakan sebagai bahan tambah. Penggunaan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian agregat halus diharapkan dapat menghasilkan komposisi *paving block* yang optimal dan berkualitas baik. Penelitian ini menggunakan perbandingan semen dan pasir 1:4, dengan

persentase limbah *gypsum* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat pasir. Benda uji berbentuk kubus berukuran 15 cm<sup>3</sup> diuji untuk kuat tekan dan daya serap air pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tekan berturut-turut 7,41 MPa; 7,17 MPa; 7,45 MPa; 8,12 MPa; 7,59 MPa; dan 8,03 MPa untuk masing-masing variasi limbah *gypsum* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Nilai daya serap air berturut-turut sebesar 7,80%; 6,90%; 9,06%; 11,84%; 11,32%; dan 13,25%.

### **2.3 Perbedaan penelitian yang dilakukan**

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat dilakukan penelitian yang berbeda dengan penelitian terdahulu, yaitu menggunakan bahan substitusi pada semen dengan persentase substitusi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen, dan untuk meningkatkan kualitas mutu *paving block* atau durabilitas akan dilakukan dengan cara menambahkan SikaCim sebesar 0,5% yang bertujuan agar semen dan agregat dapat mengikat lebih sempurna lagi hingga mencapai mutu *paving* rencana rata – rata 20 MPa serta minimum di angka 17 MPa menggunakan benda uji balok 20 cm × 10 cm × 6 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, berikut adalah perbedaan penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan dilaksanakan yang tertera pada tabel 2.1 dihalaman berikutnya.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terlebih Dahulu dengan Penelitian Sekarang

| Tentang                  | Farid Ardi (2020)   | Gusneli Yanti,dkk (2021)  | Ady Putra Ramadhan (2022)   | M.Fahmi Hadi (2023)   | Penelitian ini (2025)  |
|--------------------------|---|---|---|---|--|
| <b>Judul penelitian</b>  | Uji Kuat Tekan dan Daya Serap Air Pada <i>paving block</i> Dengan Campuran limbah <i>gypsum</i>   | Variasi penambahan SikaCim pada beton porous  | Pemanfaatan Limbah <i>Gypsum</i> Board Untuk Substitusi Semen Pada Mortar Sebagai Bahan Dalam Pembuatan <i>paving block</i>   | Pengaruh Pemanfaatan Limbah <i>Gypsum</i> Sebagai Campuran Bahan Terhadap Sifat Mekanik <i>paving block</i>   | Pengaruh Substitusi limbah <i>gypsum</i> dan penambahan SikaCim terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan serap air <i>Paving Block</i>  |
| <b>Tujuan penelitian</b> | Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh campuran limbah <i>gypsum</i> terhadap kuat tekan dan daya serap air <i>paving block</i> . | mempelajari mengenai karakteristik beton porous tanpa agregat halus menggunakan variasi penambahan bahan tambah <i>admixture</i> SikaCim <i>concrete additive</i> melalui pengamatan kekuatan terhadap tekan dan porositas. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui nilai kuat tekan tertinggi <i>paving block</i> yang dihasilkan dengan penggunaan substitusi limbah <i>Gypsum</i> board sebanyak 30% dari berat semen.</li> <li>2. Mengetahui nilai daya serap air <i>paving block</i> yang dihasilkan dengan penggunaan substitusi limbah <i>Gypsum</i> board sebanyak 30% dari berat semen. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menentukan sifat mekanis dari <i>Paving block</i> dengan campuran limbah <i>Gypsum</i> dilihat dari nilai kuat tekan.</li> <li>2. Menentukan sifat fisik dari <i>paving block</i> dengan campuran limbah <i>Gypsum</i> dilihat dari nilai daya serap terhadap air.</li> </ol> | Mengetahui pengaruh substitusi limbah <i>Gypsum</i> dengan kadar variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen serta penambahan 0,5% SikaCim dari berat semen terhadap kuat tekan, ketahanan haus, dan serap air pada pembuatan <i>paving block</i> pada umur 28 hari. |

Tabel 2. 2 Perbedaan Penelitian Terlebih Dahulu dengan Penelitian Sekarang

| Tentang                             | Farid Ardi (2020)                                | Gusneli Yanti,dkk<br>(2021)         | Ady Putra Ramadhan<br>(2022)   | M.Fahmi Hadi (2023)                          | Penelitian ini (2025)  |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|--|
| <b>Kuat Tekan Rencana</b>           | 20 <i>MPa</i>                                    | Tidak memakai kuat tekan rencana    | 25 <i>Mpa</i>  | 20 <i>MPa</i>                                | Rata-rata 20 <i>MPa</i> minimum 17 <i>MPa</i>  |
| <b>Varian Penelitian</b>            | 0%, 2 %, 4 %, 6 %, 8 % dan 10 % dari berat semen | 0% ; 0.3 % ; 0.5%; 0.7%             | 0% (normal) dan 30% limbah <i>Gypsum</i> board dengan perbandingan semen dan pasir yaitu 1 : 4 | 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat pasir | 0%, 5%, 10%, dan 15% <i>Gypsum</i> serta 0,5% SikaCim dari berat semen dengan perbandingan semen, agregat halus, dan agregat kasar yaitu 1:4:2 |
| <b>Hasil kuat tekan optimum</b>     | 21,43 <i>MPa</i> pada komposisi 8%               | 18.08 <i>MPa</i> pada variasi 0,5 % | 27,90 kg/cm <sup>2</sup> (2,74 <i>MPa</i> ) pada komposisi 30% pada 14 hari                    | 8,12 <i>MPa</i> pada komposisi 6%            | 21,273 <i>Mpa</i> , pada komposisi 10% Limbah <i>Gypsum</i> dan 0,5% SikaCim.  |
| <b>Hasil daya serap air optimum</b> | 13,99% pada komposisi 8%                         | Tidak melakukan pengujian           | 9,89% pada komposisi 30% pada 28 hari  | 6,90% pada komposisi 2%                      | 6,614% pada komposisi 10% Limbah <i>Gypsum</i> dan 0,5% SikaCim.   |
| <b>Hasil Ketahanan aus optimum</b>  | Tidak melakukan pengujian                        | Tidak melakukan pengujian           | Tidak melakukan pengujian  | Tidak melakukan pengujian                    | 0,181 mm/menit   |

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Umum**

##### **3.1.1 Definisi *Paving block***

Berdasarkan (SNI-03-0691-1996) *paving block* atau bata beton merupakan suatu komponen bahan bangunan yang dibuat dari bahan campuran semen portland atau bahan perekat lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa tambahan lain yang tidak mengurangi mutu *Paving Block* tersebut.

Saat ini, *paving block* banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi konstruksi seperti halaman, trotoar, dan tempat parkir, karena kepraktisan pemasangan dan kemampuannya menahan beban tertentu. Selain itu, *paving block* unggul dibanding trotoar lainnya dalam hal pemeliharaan ekonomi, estetika, produksi massal tanpa alat berat, dan kontribusi terhadap lingkungan sebagai media resapan air.

Umumnya, *paving block* dibuat dari semen dan pasir yang relatif mahal. Sebagai alternatif, penelitian ini memanfaatkan limbah *gypsum* yang berasal dari sisa produksi para perajin *gypsum*, dan menyempurnakannya menggunakan SikaCim yang ditambahkan dengan presentase terhadap berat semen.

*Paving block* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak – retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan, *paving block* harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi  $\pm 8\%$ .

*Paving block* juga memiliki klasifikasi dimana SNI 03-0691-1996 sebagai berikut :

1. Bata beton mutu A yang digunakan untuk jalan,
2. Bata beton mutu B yang digunakan untuk peralatan parkir,
3. Bata beton mutu C yang digunakan untuk pejalan kaki, dan

4. Bata beton mutu D yang digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

*paving block* juga harus memiliki sifat-sifat fisika SNI 03-0691-1996

antara lain :

1. Bata beton mutu A memiliki kuat tekan rata – rata 40 *MPa* dengan minimum 35 *MPa*, ketahanan aus rata-rata 0,090 (mm/menit) dengan minimum 0,103 (mm/menit), dan penyerapan air rata-rata maksimal 3%,
2. Bata beton mutu B memiliki kuat tekan rata – rata 20 *MPa* dengan minimum 17 *MPa*, ketahanan aus rata-rata 0,130 (mm/menit) dengan minimum 0,149 (mm/menit), dan penyerapan air rata-rata maksimal 6%,
3. Bata beton mutu C memiliki kuat tekan rata – rata 15 *MPa* dengan minimum 12,5 *MPa*, ketahanan aus rata-rata 0,160 (mm/menit) dengan minimum 0,184 (mm/menit), dan penyerapan air rata-rata maksimal 8%, dan
4. Bata beton mutu D memiliki kuat tekan rata – rata 10 *MPa* dengan minimum 8,5 *MPa*, ketahanan aus rata-rata 0,219 (mm/menit) dengan minimum 0,251 (mm/menit), dan penyerapan air rata-rata maksimal 10%.

### 3.1.2 Keunggulan dan Kelemahan *Paving block*

Adapun keunggulan dan kelemahan dari *paving block* adalah sebagai berikut.

1. Keunggulan *Paving block*
  - a. *Paving block* memiliki kemampuan menyerap air yang baik, sehingga dapat mengurangi genangan dan membantu menjaga keseimbangan air tanah di sekitarnya.
  - b. Variasi bentuk, tekstur, warna, dan motif pada *paving block* mendukung penggunaannya sebagai aksen dekoratif pada eksterior rumah, jalan, taman, dan area sejenis.
  - c. Memiliki harga yang terjangkau dari pada jenis perkerasan lainnya.
  - d. Pemasangan yang praktis dan tidak membutuhkan alat berat.

- e. Apabila terjadi kerusakan atau cacat dapat dilakukan penggantian dengan cara yang mudah dan tidak menyeluruh.
2. kelemahan *Paving block*
- a. Apabila pondasi *paving block* tidak dipasang dengan baik, pemasangan dapat menghasilkan permukaan yang bergelombang dan tidak rata.
  - b. Penggunaan *paving block* kurang disarankan pada lahan yang sering dilalui kendaraan dengan kecepatan tinggi.
  - c. Pemasangan *paving block* yang kurang benar dapat menimbulkan jalan yang tidak rata dan menyebabkan blok-bloknya mudah terlepas dari sambungan, sehingga mengurangi kualitas permukaan jalan.

### 3.2 Bahan Penyusunan *Paving block*

Dalam SNI 2847-2019 agregat adalah material yang memiliki butiran seperti slag tanur (sebagai pengganti semen), batu pecah, kerikil, dan pasir, yang digunakan dengan media perekat pada campuran beton. Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu, berikut adalah penjabarannya.

#### 3.2.1 Agregat

##### A. Agregat Halus

Agregat halus adalah material alami yang berfungsi sebagai material pengisi dalam campuran *paving block*, *paving block* menggunakan agregat halus atau pasir adalah butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat, tajam dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak maksimum 4,76 mm ini berdasarkan SNI 03-1750-1990. Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran *paving block* sehingga dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat/semen, adapun persyaratan umum dalam SNI 03-6821-2002 agregat halus pada material campuran beton sebagai berikut :

1. Agregat halus memiliki gradasi sesuai SNI-1970-2008 dan nilai MHB yang didapat ada pada rentang 1,5-3,8 (SNI-03-1968-1990).
2. Untuk menjaga kualitas campuran, agregat halus harus bebas dari lumpur dengan kadar tidak lebih dari 5% dari berat kering sesuai dengan SK-SNI-S-04-1989-F. Bila kandungan lumpur melebihi batas ini, pencucian agregat diperlukan sebelum digunakan.
3. Agregat halus memiliki penyerapan tidak lebih dari 3% sesuai SNI 03-1970-1990 dan nilai berat jenis kering muka SSD diantara 2,5-2,7 sesuai SK-SNI-T15-1990.

Susunan besaran butir memiliki modulus kehalusan antara 1,50-3,80 dengan variasi butir sesuai standar gradasi pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus**

| Lubang ayakan (mm) | Persen butiran yang lolos ayakan |                        |                         |                   |
|--------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
|                    | Daerah I (kasar)                 | Daerah II (Agak kasar) | Daerah III (Agak halus) | Daerah IV (Halus) |
| 10                 | 100                              | 100                    | 100                     | 100               |
| 4,8                | 90 - 100                         | 90 - 100               | 90 - 100                | 95 - 100          |
| 2,4                | 60 - 95                          | 75 - 100               | 85 - 100                | 95 - 100          |
| 1,2                | 30 - 70                          | 55 - 90                | 75 - 100                | 90 - 100          |
| 0,6                | 15 - 34                          | 35 - 59                | 60 - 79                 | 80 - 100          |
| 0,3                | 5 - 20                           | 8 - 30                 | 12 - 40                 | 0 - 15            |
| 0,15               | 0 - 10                           | 0 - 10                 | 0 - 10                  | 0 - 15            |

Sumber : SNI 03-1970-2008

#### B. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan bahan utama dalam campuran beton yang berfungsi untuk memberikan kekuatan pada struktur beton. Kualitas dari agregat kasar sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fisik dari beton yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 mengenai perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, agregat kasar dapat berupa kerikil yang terbentuk secara alami dari pelapukan batuan, atau berupa batu pecah hasil pemrosesan di industri pemecah batu. Ukuran butiran agregat kasar umumnya berkisar antara 5 mm hingga 40 mm. Agar

dapat digunakan dalam campuran beton, agregat kasar ini harus memenuhi beberapa syarat tertentu, berikut adalah syarat yang digunakan :

1. Butiran agregat harus kuat, tidak berpori, dan tahan terhadap cuaca, artinya tidak mudah rusak akibat panas matahari atau hujan.
2. Nilai penyerapan agregat kasar tidak boleh melebihi 3% sesuai dengan SNI No. 1737-1989-F (1989).

Persyaratan gradasi pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut

**Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar**

| Lubang ayakan (mm) | Persen butiran yang lolos ayakan |          |
|--------------------|----------------------------------|----------|
|                    | 40 mm                            | 20 mm    |
| 40                 | 95 – 100                         | 100      |
| 20                 | 35 – 70                          | 95 – 100 |
| 10                 | 10 – 35                          | 25 – 55  |
| 4,8                | 0 - 5                            | 0 - 10   |

Sumber : SNI 03-1970-2008

### 3.2.2 Semen Portland

Semen merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan *paving block* yang berfungsi sebagai perekat antara butiran agregat sekaligus mengisi rongga-rongga di antaranya. Secara umum, semen dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semen hidrolik dan semen non-hidrolik. Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, sedangkan semen hidrolik mampu bereaksi dengan air dan mengeras bahkan ketika berada di dalam air.

Portland Cement (PC) adalah semen hidrolik yang dihasilkan melalui penggilingan klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolik, dengan penambahan satu atau lebih bentuk kalsium sulfat yang digiling bersama bahan utamanya (ASTM C-150, 1985). American Standard Testing and Material. Semen portland adalah bahan ikat yang mempunyai peran penting dalam pembuatan *paving block* dalam sebuah konstruksi bangunan. Menurut SK SNI S-04-1989-F, Semen Portland dibagi dalam lima kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya sebagai berikut :

1. Semen Portland tipe I

Adalah semen *Portland* yang pada penggunaannya tidak diminta

persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lainnya.

2. Semen Portland tipe II

Adalah semen *portland* yang pada penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Semen Portland tipe III

Adalah semen *Portland* yang pada penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikat terjadi.

4. Semen Portland tipe IV

Adalah semen *Portland* yang pada penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

5. Semen Portland tipe V

Adalah semen *Portland* yang pada penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Selain itu semen juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga kosong antar butiran agregat, terdapat 4 unsur penting didalam semen, menurut Tjokromuljo, 2007 4 unsur adalah sebagai berikut.

1.  $C_3S$  (Tri-kalsium Silikat,  $3CaO \cdot SiO_2$ ) bereaksi cepat dengan air melalui proses hidrasi yang menghasilkan panas. Senyawa ini berperan penting dalam pengerasan semen, khususnya pada 14 hari pertama setelah pengecoran.
2.  $C_2S$  (Di-kalsium Silikat,  $2CaO \cdot SiO_2$ ) menunjukkan reaksi hidrasi yang lambat dengan air, sehingga pengaruhnya terhadap pengerasan semen muncul terutama pada umur lebih dari 7 hari.
3.  $C_3A$  (Tri-kalsium Aluminat,  $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) bereaksi dengan air secara eksotermik dan cepat, menghasilkan peningkatan kekuatan semen dalam 24 jam pertama. Karena reaksinya hanya melibatkan 40% dari kandungannya dan jumlah unsur yang relatif sedikit, pengaruh  $C_3A$  terhadap kebutuhan air juga minimal.
4. Unsur  $C_4AF$  (Tetra-kalsium Aluminoforit,  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ) hanya memberikan kontribusi minimal terhadap kekerasan semen atau beton.

Dalam penelitian ini, digunakan semen Dynamix, yaitu semen Portland

komposit (PCC), yang cocok untuk aplikasi konstruksi umum. Semen ini memiliki kekuatan tekan setara dengan semen Portland tipe I.

### 3.2.3 Air

Air merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam pencampuran *paving block*. Air dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen sehingga dapat menjadi bahan pengikat antara agregat halus (pasir), semen, dan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi. Air berpengaruh dalam kuat tekan *paving block* karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan *paving block* itu sendiri. Selain itu jika *paving block* kelebihan air akan mengalami *bleeding*, ialah air bersama – sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja di tuang. Air yang diperlukan dalam suatu campuran beton dipengaruhi berbagai macam faktor ialah sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum

Semakin besar ukuran butir agregat, kebutuhan air dalam campuran beton akan semakin menurun, karena luas permukaan agregat yang harus diselimuti air menjadi lebih kecil.

2. Bentuk butir agregat

Agregat berbentuk bulat memerlukan jumlah air lebih sedikit dibandingkan agregat berbentuk pecah.

3. Gradasi agregat

Agregat dengan gradasi baik dapat mengurangi kebutuhan air untuk mencapai kelecakan yang sama. Gradasi yang baik dicirikan oleh ukuran butiran yang beragam dan tersusun rapat sehingga rongga udara mendekati nol.

4. Kotoran dalam agregat

Kehadiran lanau, tanah liat, dan lumpur dalam agregat akan meningkatkan kebutuhan air dalam campuran beton.

Syarat air menurut SNI 03-2847-2002 mengenai air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut :

1. Air harus bersih dan bebas oleh bahan – bahan yang dapat merusak contohnya oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan – bahan

lainnya yang bisa mengakibatkan kerugian pada beton atau tulangan.

2. Air tidak boleh mengandung ion klorida dalam kadar yang membahayakan pada pencampur yang digunakan pada beton prategang maupun yang menggunakan logam aluminium untuk pencampuran di dalamnya.
3. Umumnya air yang tidak boleh diminum juga tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton. Terdapat pengecualian untuk pemilihan jumlah campuran beton yang harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

### 3.3 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan lain yang dicampurkan kedalam campuran *paving block* selain air, agregat halus, dan semen. *Admixture* merupakan material yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada waktu pencampuran *paving block* berlangsung. Penambahan *admixture* (tambahan) bertujuan untuk memodifikasi *paving block* dengan sifat atau karakteristik tertentu. *Admixture* (bahan tambahan) digunakan dalam bahan campuran *paving block* didapatkan sifat-sifat khusus dari *paving block* yaitu kemudahan pengerjaan, waktu pengikatan, pengerasan, kekedapan, dan keawetan. Bahan tambah atau *admixture* dibagi menjadi dua jenis yaitu bahan kimia dan bahan tambah mineral.

#### 1. Bahan tambah kimia (*chemical admixtures*)

Menurut SNI 03-2495-1991, bahan tambah kimia dikumpulkan seperti dibawah ini.

##### a. Tipe A (*water – reducing admixtures*)

*Water-Reducing Admixtures* adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton, sehingga menghasilkan beton dengan faktor air-semen (fas) lebih rendah tanpa mengurangi kemudahan pengerjaan dibandingkan beton tanpa *admixture*.

##### b. Tipe B (*retarding admixtures*)

*Retarding Admixtures* berfungsi memperlambat waktu ikat beton (setting time).

##### c. Tipe C (*accelerating admixtures*)

*Accelerating Admixtures* berperan mempercepat waktu ikat beton dan meningkatkan kekuatan awal beton.

d. *Tipe D (Water Reducing and Retarding Admixtures)*

*Admixture* ini memiliki fungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air dalam campuran dan memperlambat waktu ikat beton.

e. *Tipe E (Water Reducing and Accelerating Admixtures)*

Jenis ini berfungsi menurunkan kadar air campuran beton sekaligus mempercepat waktu ikat dan peningkatan kekuatan awal beton.

f. *Tipe F (Water Reducing, High Range Admixtures)*

*Admixture* ini mampu mengurangi kebutuhan air dalam campuran sebesar 12% atau lebih, sehingga menghasilkan beton dengan konsistensi yang diinginkan.

g. *Tipe G (Water Reducing, High Range Retarding Admixtures)*

Jenis ini mengurangi jumlah air dalam campuran sebesar 12% atau lebih dan sekaligus memperlambat waktu ikat beton untuk menghasilkan konsistensi beton yang telah ditetapkan.

2. Bahan Tambah Mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral berfungsi untuk meningkatkan kualitas dan performa beton sesuai kebutuhan tertentu, khususnya untuk meningkatkan nilai kuat tekan. Beberapa bahan tambah mineral yang umum digunakan antara lain *gypsum*, *pozzolan*, *fly ash*, terak besi tanur tinggi, dan *silika fume*.

Pada penelitian ini bahan tambah yang dijadikan substitusi sebagian semen adalah *gypsum* yang masuk ke bahan tambah mineral (*Additive*) yang bersifat mengikat karena kandungan di dalamnya adalah kalsium sulfat dihidrat, dan SikaCim (*chemical admixtures*) yang digunakan untuk bahan tambah terhadap berat semen dapat mempercepat pengerasan pada beton, dengan pengurangan air hingga 20% bertujuan untuk mempermudah pengecoran dan meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari.

### 3.3.1 Limbah *Gypsum*

Pada setiap pengusaha kerajinan *gypsum* sering dijumpai serbuk, dan patahan yang tersisa dari pengolahan kerajinan *gypsum*. Jika limbah dibuang secara terus menerus tanpa adanya pengolahan yang baik maka akan dapat mencemari air dan tanah yang harusnya tidak tercampur oleh *gypsum* (Ardi, dkk, 2020).



**Gambar 3. 1 Limbah *Gypsum***

*Gypsum* termasuk mineral dengan kandungan kalsium yang dominan. Jenis yang umum dijumpai adalah kalsium sulfat hidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Pemanfaatan *gypsum* memiliki beberapa kegunaan, (Muslimin dan Fauziah, 2022) menyatakan pada penelitiannya antara lain adalah :

1. *Gypsum* dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena kandungan kalsiumnya mampu mengikat tanah organik dengan tanah lempung, sehingga memperkuat agregat tanah.
2. *Gypsum* dapat mempercepat proses rembesan air karena memiliki kemampuan menyerap air yang lebih tinggi.
3. *Gypsum* merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam pembuatan semen portland.
4. Dengan menambahkan *gypsum* ke tanah lempung, sodium pada tanah digantikan oleh kalsium, sehingga pengembangan tanah berkurang dan potensi terjadinya keretakan menurun.
5. *Gypsum* digunakan sebagai bahan tambahan dalam perkerasan konstruksi bangunan.

Adapun menurut Menurut Muhammad Nugraha (2008). *Gypsum* juga sangat penting dalam industri semen karena berperan utama sebagai pengatur waktu ikat (setting time) semen, mencegah proses hidrasi yang terlalu cepat, Kristal pada *gypsum* yang berbentuk jarum disebut ettringite. Ettringite memblokir air dari permukaan  $C_3A$  (Trikalsium Aluminat) yang terdapat pada semen dan limbah *gypsum* dalam bentuk serbuk memiliki sifat bila terkena air akan berbentuk kristal-kristal (Lewry, A. J., dan Williamson. J,1994).

### 3.3.2 SikaCim (*chemical admixtures*)

SikaCim *Concrete Additive* merupakan *product* dari Sika bahan kimia berbentuk cairan dengan jenis superplasticizer yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan pada beton, dengan pengurangan air hingga 20% bertujuan untuk mempermudah pengecoran dan meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari. SikaCim merupakan bahan *admixture Superplasticizer*, dalam penggunaannya bahan tambah SikaCim, dapat membantu menaikkan kekuatan tekan beton *porous* (Alfiona, dkk 2017).



**Gambar 3. 2 SikaCim Concrete Additive**

### 3.4 Pengujian *Paving block*

Pengujian *paving block* yang di bahas pada tugas akhir ini antara lain kuat tekan, ketahanan aus, dan pengujian daya serap air. Menurut SNI 03 – 0691 – 1996 berikut penjelasan pada penelitian dilakukan.

### 3.4.1 Kuat Tekan *Paving block*

Kuat tekan *paving block* yaitu beban yang mampu ditahan oleh benda uji per satuan luas benda uji. Pengujian akan mendapatkan nilai maksimum kuat tekan 12 apabila pada penanda jarum penunjuk beban mulai menurun. Kuat tekan *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan SNI-03-0691-1996 sebagai berikut.

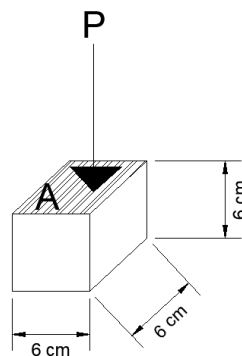
$$\sigma'b = P/A \quad (3.1)$$

Dengan maksud :

$\sigma'b$  = Kuat tekan (Mpa)

$P$  = Beban tekan (Newton)

$A$  = Luas bidang tekan ( $\text{mm}^2$ )



**Gambar 3. 3 Skema Uji Kuat Tekan**

### 3.4.2 Ketahanan Aus

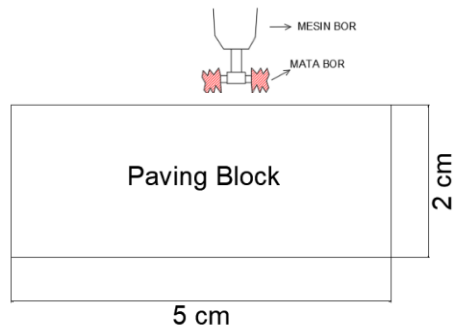
Ketahanan aus atau keausan yaitu salah satu parameter pengujian *paving block* untuk mengetahui kemampuan daya tahan benda uji terhadap gesekan yang dilakukan secara terus menerus. Pengujian kuat aus menentukan kualitas sebuah *Paving* memiliki output yaitu nilai keausan dengan nilai keausan semakin kecil maka mutu *paving block* semakin baik. Keausan *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$D = 1,2 G + 0,0246 \quad (3.2)$$

Dengan maksud :

$D$  = keausan (mm/menit)

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



**Gambar 3. 4 Skema Uji Ketahanan Aus**

### 3.4.3 Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air yaitu pengujian daya serap air yang mampu diloloskan oleh *paving block*. Kapasitas air yang diserap *paving block* yaitu persentase berat air yang dapat diserap pada pori-pori *paving block*. Hasil pengujian penyerapan air didapat dari membandingkan berat *paving block* pada kondisi basah (setelah benda uji direndam air) dan pada kondisi kering (setelah di oven). Parameter kualitas daya resap air didapatkan nilai yang semakin rendah maka semakin baik kualitasnya. Penyerapan air dapat dihitung dengan rumus berdasarkan SNI-03-0691-1996 sebagai berikut.

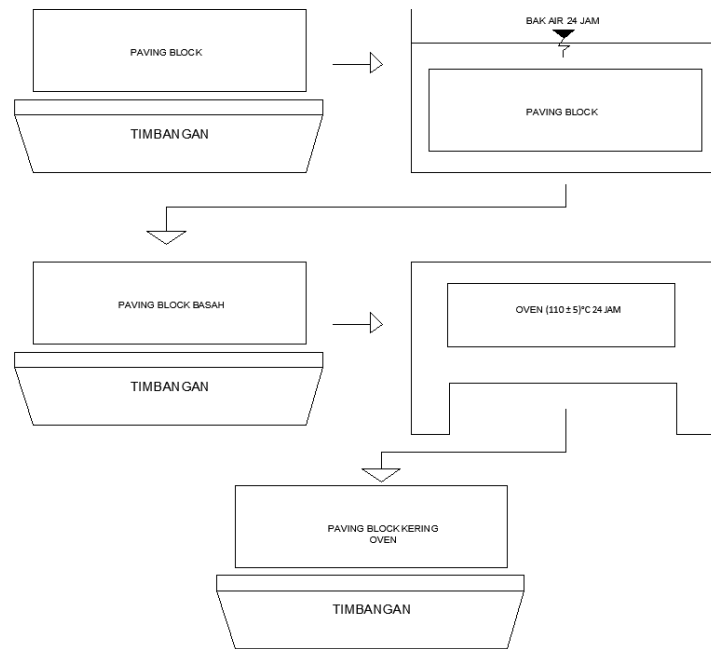
$$DSA = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan maksud :

DSA = Penyerapan air (%)

A = Berat *Paving block* Basah

B = Berat *Paving block* Kering



**Gambar 3. 5 Skema Uji Penyerapan Air**

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Metode penelitian yaitu langkah untuk memperoleh hasil yang rasional dari suatu penelitian. Penulis menggunakan penelitian agar dapat memudahkan dalam mencapai tujuan yang diinginkan oleh penulis mengenai *paving block* dengan substitusi limbah *gypsum* dan menambahkan bahan tambah SikaCim.

*Gypsum* merupakan bahan tambah mineral yang bersifat mengikat, yakni kalsium sulfat atau sebagai pengikat selain semen sedangkan SikaCim merupakan bahan kimia berbentuk cairan dengan jenis superplasticizer yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan pada beton, dengan pengurangan air hingga 20% bertujuan untuk mempermudah pengecoran dan meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Adapun variasi substitusi bahan *gypsum* yakni 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat semen, dan penambahan SikaCim 0,5% dari berat semen. Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia (PIMVM UII) sebagai tempat pembuatan benda uji *paving block* dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia sebagai tempat pengujian bahan dan benda uji. Benda uji akan dibuat mengikuti SNI 03-0691-1996 dengan bentuk *paving block* tipe holland dengan dimensi panjang  $\times$  lebar  $\times$  tinggi yaitu 20 cm  $\times$  10 cm  $\times$  6 cm yang dipotong kubus dengan ukuran 6 cm  $\times$  6 cm  $\times$  6 cm sehingga didapat 3 buah sampel benda uji berbentuk kubus untuk pengujian.

#### **4.2 Alat dan Bahan**

##### **4.2.1 Alat**

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini :

1. Sekop

Alat ini digunakan untuk mengaduk atau mencampurkan, memindahkan, atau mengambil campuran bahan *Paving*.



**Gambar 4. 1 Sekop**

2. Cetok

Cetok digunakan untuk memasukkan dan meratakan campuran kedalam cetakan *paving block*.



**Gambar 4. 2 Cetok**

3. Ember Material

Ember material berfungsi untuk membawa material yang sudah di timbang ke mesin pengaduk.



**Gambar 4. 3 Ember Material**

4. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengetahui detail berat bahan penyusun *paving block* dengan ketelitian 1 gram.



**Gambar 4. 4 Timbangan**

5. Saringan Agregat

Alat ini digunakan untuk memisahkan material guna untuk mendapatkan agregat halus dengan kriteria yang lolos saringan 4,75 mm.



**Gambar 4. 5 Saringan Agregat**

6. Mesin *Press*

Alat ini digunakan untuk mencetak sekaligus memadatkan benda uji dengan cara menekan saat proses pencetakan, selain itu mesin ini dapat digunakan untuk mengangkat cetakan karena pada mesin ini sudah dilengkapi dengan sistem hidrolik dan vibrator.



**Gambar 4. 6 Mesin *Press***

7. Mesin Pengaduk (*mixer*)

*Mixer* digunakan untuk membantu dalam proses pencampuran bahan *paving block* agar dapat tercampur dengan baik.



**Gambar 4. 7 Mesin Pengaduk (*Mixer*)**

8. Alat Pemotong *Paving block*

Benda uji yang berupa *paving block* dengan tipe holland dengan dimensi  $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  akan dipotong menjadi bentuk kubus yang memiliki dimensi  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  dan  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  untuk sampel atau benda uji pada pengujian kuat tekan dan keausan.



**Gambar 4. 8 Pemotong *Paving block***

9. Papan Kayu

Papan kayu digunakan untuk menjadi alas *paving block* yang sudah dicetak.



**Gambar 4. 9 Papan Kayu**

#### 10. Oven

Oven digunakan untuk proses pengeringan benda uji sebagai pengujian daya serap air.



**Gambar 4. 10 Oven**

#### 11. Alat Uji Tekan Beton

Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan yaitu alat yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dengan pembacaan kuat tekan digital model ADR 3000 yang bekerja dengan sistem hidrolis dan memiliki kapasitas tekan 3000 kN.



**Gambar 4. 11 Alat Uji Tekan Beton model ADR 3000**

#### 12. Alat Uji Ketahanan Aus

Alat yang digunakan untuk pengujian ketahanan aus yaitu alat yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia model BDM16.



**Gambar 4. 12 Alat Uji Ketahanan Aus model BDM16**

#### 4.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian yaitu :

##### 1. Semen

Semen yang digunakan yaitu dengan merk Dynamix tipe PCC. Ditakar dan

diambil sesuai berat yang sudah di perhitungkan yang digunakan pada setiap variasinya.



**Gambar 4. 13 Semen**

## 2. Agregat Halus

Agregat halus atau material pasir yang digunakan yaitu pasir dari daerah sungai progo yang lolos saringan diameter 4,75 mm,



**Gambar 4. 14 Agregat Halus**

### 3. Agregat Kasar

Agregat kasar atau kerikil, menggunakan batu jenis andesit yang berasal dari daerah celereng, dengan ukuran  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ , bertujuan untuk kehalusan yang dibutuhkan *paving block*.



**Gambar 4. 15 Agregat Kasar**

### 4. Air

Air yang digunakan berasal dari Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia, dengan FAS 0,55% didapat dari penyesuaian.



**Gambar 4. 16 Air**

#### 5. Limbah *Gypsum*

*Gypsum* yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah *gypsum* yang dikumpulkan dari perajin *gypsum* sekitar DIY dan lolos saringan no.200



**Gambar 4. 17 Limbah *Gypsum***

#### 6. SikaCim *Concrete Additive*

SikaCim *Concrete Additive* pada penelitian ini digunakan merek Sika yang memiliki variasi tetap yaitu 0,5% terhadap berat semen yang dimana berat SikaCim adalah 1,17 Kg/L (Lembar Data Teknis SikaCim *Concrete Additive* ,2022).dengan penjelasan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat SikaCim} &= 0,5\% \times \text{Berat Semen} \\
 &= \text{Berat SikaCim (Kg)} \\
 \text{Konversi SikaCim (L)} &= \frac{\text{Berat SikaCim}}{\text{Berat Jenis SikaCim}} \quad (4.1) \\
 &= \text{SikaCim (L)}
 \end{aligned}$$

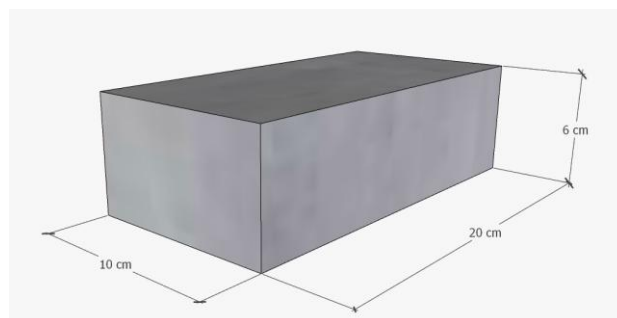
Dengan demikian di dapat berat jenis SikaCim dalam satuan liter yang di aplikasikan dalam pengujian ini.



**Gambar 4. 18 SikaCim Concrete Additive**

### 4.3 Benda Uji

*Paving block* yang dibuat adalah tipe Holland dengan dimensi 200 mm × 100 mm × 60mm yang akan di sesuaikan dengan dimensi benda uji yang ditentukan pada SNI 03-0691-1996. Berikut dimensi *paving block*.



**Gambar 4. 19 Dimensi Paving block**

Pada penelitian ini akan dilakukan sebanyak 3 pengujian pengujian kuat tekan, pengujian ketahanan aus, dan pengujian penyerapan air.

**Tabel 4. 1 Jumlah Sampel Pengujian**

| Variasi    | Persentase<br>Limbah<br><i>Gypsum</i> | Persentase<br>SikaCim | Jumlah Sampel (buah) |                  |                   |
|------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-------------------|
|            |                                       |                       | Kuat<br>Tekan        | Ketahanan<br>Aus | Penyerapan<br>air |
| <b>I</b>   | 0%                                    | 0%                    | 10                   | 5                | 5                 |
| <b>II</b>  | 0%                                    | 0,5%                  | 10                   | 5                | 5                 |
| <b>III</b> | 5%                                    | 0,5%                  | 10                   | 5                | 5                 |
| <b>IV</b>  | 10%                                   | 0,5%                  | 10                   | 5                | 5                 |
| <b>V</b>   | 15%                                   | 0,5%                  | 10                   | 5                | 5                 |

**Tabel 4. 2 Ukuran Sampel**

| UKURAN SAMPEL       |            |               |                |
|---------------------|------------|---------------|----------------|
| BENDA UJI           | KUAT TEKAN | KETAHANAN AUS | PENYERAPAN AIR |
| <b>DIMENSI (cm)</b> | 6 × 6 × 6  | 5 × 5 × 2     | 20 × 10 × 6    |

#### 4.4 Tahap Penelitian

Tahap persiapan hingga pengujian dilaksanakan pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dengan tahapan sebagai berikut.

##### 4.4.1 Persiapan Bahan

Pada tahapan persiapan bahan terdapat beberapa pemeriksaan bahan maupun alat yang akan digunakan pada saat pembuatan benda uji. Berikut merupakan tahapan persiapan bahan.

##### 1. Agregat Halus (pasir)

Pasir atau agregat halus memerlukan beberapa pemeriksaan yaitu pengujian modulus halus butir agregat, berat volume pasir padat dan gembur, pengujian kandungan lumpur, dan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus. Berikut mengenai uraiannya.

##### a. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui gradasi pasir dengan menggunakan saringan dan modulus halus butir (MHB) guna untuk

mendapatkan pasir yang akan digunakan saat penelitian. Langkah-langkah pengujian modulus halus butir agregat sesuai dengan SNI 03-1968-1990 sebagai berikut.

- 1) Pasir dioven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , hal ini bertujuan untuk mendapatkan pasir yang kering dengan berat tetap,
- 2) Benda uji dikeluarkan dari oven dan dinginkan benda uji selama 1-3 jam pada suhu ruangan lalu ditimbang,
- 3) Susun saringan dengan urutan lubang paling besar diletakkan paling atas (4,75 mm) hingga terkecil dipaling bawah (0,15 mm). kemudian diayak dengan menggunakan mesin selama 10 menit,
- 4) Keluarkan benda uji pada setiap saringan dan masukkan kedalam pan lalu timbang dan catat benda uji yang tertahan pada setiap saringan,
- 5) Gradasi agregat halus didapat dengan cara menghitung komulatif persentase butiran yang lolos pada masing masing saringan. Perhitungan modulus halus butir pasir dengan cara menjumlahkan persentase kumulatif butir tertinggal dibagi seratus.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \quad (4.2)$$

b. Pengujian Berat Volume Pasir Padat dan Gembur

Pengujian berat volume dilakukan pada 2 kondisi yaitu pasir padat dan pasir gembur guna untuk mengetahui volume takaran pasir atau bahan yang akan digunakan untuk perbandingan pada saat membuat campuran beton *Paving*. Langkah langkah pengujian berat volume sesuai SNI 03-4804-1998 yaitu sebagai berikut.

- 1) Agregat dioven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam guna untuk mengeringkan,
- 2) Keluarkan dan dinginkan agregat yang dioven sesuai dengan suhu ruangan,
- 3) Timbang wadah (W1) yang akan digunakan,
- 4) Volume gembur masukkan agregat kedalam wadah hingga seluruh

wadah tertutup tanpa penumbukan,

- 5) Volume padat masukkan agregat kedalam wadah hingga menutupi seluruh wadah dengan penumbukan setiap 1/3 bagian sebanyak 25 kali,
- 6) Timbang berat wadah yang telah terisi agregat halus ( $W_2$ ),
- 7) Hitung berat agregat ( $W_3$ ) dengan rumus,  $W_3 = W_2 - W_1$ ,
- 8) Hitung hasil pengujian dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W_3}{V} \quad (4.3)$$

Dengan :

- $W_3$  = Berat Agregat (gram),
- $V$  = Volume Wadah ( $\text{cm}^3$ ).

c. Pengujian Kandungan Lumpur Pasir

Pengujian ini memiliki tujuan mengetahui persentase kadar lumpur yang ada pada agregat. Langkah-langkah menurut SNI 03-4142-1996 mengenai pengujian kandungan lumpur sebagai berikut.

- 1) Letakkan benda uji pada pan yang telah tersedia,
- 2) Benda uji dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  selama 24 jam,
- 3) Setelah dioven, benda uji ditimbang dan masukkan kedalam saringan no.200 dengan aliran air diatasnya,
- 4) Gerakkan benda uji yang berada pada saringan dengan aliran air hingga butiran halus lolos saringan no.200 dan butiran kasar tertahan pada saringan,
- 5) Ulangi pekerjaan diatas hingga aliran air yang menembus saringan berwarna jernih,
- 6) Benda uji dikeringkan dengan cara mengoven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  selama 24 setelah itu timbangan menggunakan timbangan dengan tingkat ketelitian 0,1 gram.

Dikatakan memenuhi bila nilai uji tersebut mendapatkan nilai kurang dari 5%, sesuai SK-SNI-S-04-1989-F.

d. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat yang dimiliki pasir, karena pasir pada setiap daerah memiliki berat jenis yang berbeda, maka dari itu dibutuhkan pemeriksaan ini, dengan cara dibawah ini :

- 1) Pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya tetap,
- 2) Pasir direndam dalam air selama 24 jam,
- 3) Air bekas rendaman dibuang dengan hati-hati sehingga butiran pasir tidak ikut terbuang. Pasir diletakkan diatas nampan dan dianginkan sampai tercapai keadaan jenuh kering muka. Untuk pengujian kondisi jenuh kering muka dilakukan dengan memasukkan pasir pada kerucut terpancung dan dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali. Pada saat kerucut diangkat, pasir akan runtuh tetapi masih berbentuk kerucut.
- 4) Pasir di atas sebanyak 500 gr (W0) dimasukkan kedalam piknometer kemudian tambahkan air 90% penuh. Untuk mengeluarkan udara yang terjebak dalam butir-butir pasir, piknometer diputar dan digulinggulingkan.
- 5) Air ditambahkan sampai piknometer penuh, kemudian ditimbang (W1).
- 6) Pasir dikeluarkan dari piknometer kemudian dimasukkan kedalam oven selama 2 x 24 jam dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya tetap (W2).
- 7) Piknometer dibersihkan dan diisi dengan air hingga penuh, kemudian ditimbang (W3).
- 8) Berat jenis pasir adalah perbandingan antara berat pasir kering tungku dengan berat piknometer berisi air ditambah berat pasir dalam keadaan jenuh kering muka dan dikurangi berat piknometer berisi pasir + air.

2. Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar atau kerikil memerlukan beberapa pemeriksaan yaitu pengujian berat volume agregat kasar padat dan gembur, dan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, berikut adalah penjabarannya.

a. Pengujian Berat Volume Agregat Kasar Padat dan Gembur

Pengujian berat volume dilakukan pada 2 kondisi yaitu krikil padat dan krikil gembur guna untuk mengetahui volume takaran krikil atau bahan yang akan digunakan untuk perbandingan pada saat membuat campuran beton *Paving*. Langkah langkah pengujian berat volume sesuai SNI 03-4804-1998 yaitu sebagai berikut.

- 1) Agregat dioven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam guna untuk mengeringkan,
- 2) Keluarkan dan dinginkan agregat yang dioven sesuai dengan suhu ruangan,
- 3) Timbang wadah (W1) yang akan digunakan,
- 4) Volume gembur masukkan agregat kedalam wadah hingga seluruh wadah tertutup tanpa penumbukan,
- 5) Volume padat masukkan agregat kedalam wadah hingga menutupi seluruh wadah dengan penumbukan setiap 1/3 bagian sebanyak 25 kali,
- 6) Timbang berat wadah yang telah terisi agregat halus (W2),
- 7) Hitung berat agregat (W3) dengan rumus,  $W3 = W2 - W1$ ,
- 8) Hitung hasil pengujian dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W3}{V} \quad (4.4)$$

Dengan :

- W3 = Berat Agregat (gram),
- V = Volume Wadah (cm<sup>3</sup>).

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 1970-2016 dan berikut adalah langkah-langkah sesuai dengan SNI 1970-2016

- 1) masukan benda uji agregat kasar yang tertahan di saringan No.4

- (4,75mm) sebanyak 5000 gram kedalam nampan.
- 2) Keringkan benda uji di dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai dengan berat benda uji tetap di dalam oven dengan selang waktu 2 jam. Setelah itu dinginkan benda uji di suhu ruangan selama 1-3 jam. Kemudian rendam benda uji di dalam air selama  $24 \pm 4$  jam.
  - 3) Keluarkan benda uji dari dalam air kemudian lap permukaan benda uji hingga air di permukaan hilang (SSD atau jenuh kering permukaan).
  - 4) Timbang benda uji dalam keadaan SSD.
  - 5) Kemudian letakkan benda uji dalam keranjang air lalu guncangkan benda uji hingga udara yang tertahan didalam dapat keluar dan timbang berat dalam air. Ukur suhu air agar menyesuaikan pada suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - 6) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air dengan menyesuaikan perhitungan dengan suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - 7) Masukkan benda uji ke dalam pan kemudian masukan ke dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama  $24 \pm 4$  jam. Timbang dan catat hasilnya setelah kering.

Didapatkan data untuk perhitungan dengan rumus dan data yang di dapat sebagai berikut.

Rumus :

$$\text{- Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (4.5)$$

$$\text{- Berat Jenis SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (4.6)$$

$$\text{- Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (4.7)$$

$$\text{- Penyerapan Air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (4.8)$$

Keterangan :

- Bk = Berat benda uji kering oven (gram)
- Bj = Berat benda uji SSD (gram)
- Ba = Berat benda uji SSD di dalam air (gram)

### 3. Semen

Semen yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu semen Dynamix. Semen yang akan digunakan harus diperiksa terlebih dahulu dengan cara memastikan semen bersifat halus, bungkus semen masih rapat dan tidak terbuka atau sobek sebelum digunakan, dan tidak ada gumpalan.

### 4. Air

Sebelum digunakan air diperiksa terlebih dahulu dengan cara memastikan air dalam kondisi bersih tidak tercampur dengan lumpur, minyak, ataupun jenis bahan lainnya.

### 5. Limbah *Gypsum*

limbah *gypsum* berasal dari perajin *gypsum* sekitar sleman DIY sebelum digunakan, dilakukan pengayakan menggunakan ayakan nomor 200 untuk memastikan hanya limbah *gypsum* yang lolos ayakan, jadi yang digunakan hanya limbah *gypsum* yang lolos sarungan 200 saja berikut uraiannya :

#### a. Pengayakan Limbah *Gypsum*

Pengayakan dilakukan untuk memastikan hanya serbuk *gypsum* saja yang dipakai untuk substitusi semen dilakukan dengan cara berikut :

- 1) Masukkan *gypsum* keadaan SSD kedalam 1 set ayakan dari 4,75 hingga no.200,
- 2) Lakukan pengayakan selama 10 menit,
- 3) Ambil hasil lolos ayakan no.200 hingga bisa dipakai dalam substitusi semen untuk pembuatan *paving block*.

### 6. SikaCim

SikaCim harus masih segel, tidak kadaluarsa, dan tidak ada pengendapan apapun, SikaCim baik digunakan 12 bulan setelah waktu produksi.

#### 4.4.2 Tahap Pencampuran

Tahapan ini merupakan proses mencampur bahan utama dalam campuran *paving block* dengan bahan yang digunakan sebagai substitusi. Pada penelitian ini digunakan limbah *gypsum* sebanyak 0%, 5%, 10, dan 15%, dan penambahan SikaCim sebanyak 0,5%. Dengan perbandingan 1:4:2 sebagai bahan substitusi yang dihitung berdasarkan dari berat semen.

langkah – langkah pencampuran bahan *paving block* yaitu sebagai berikut.

1. Pastikan bahan yang akan digunakan sudah siap yang meliputi agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen, air, limbah *gypsum*, dan SikaCim yang sudah direncanakan sesuai dengan variasinya.
2. Bahan yang sudah siap kemudian dapat dicampurkan menjadi satu dengan menuangkan ke mesin pengaduk (*mixer*) selama  $\pm 10$  menit.
3. Setelah pengadukan selesai pastikan bahan sudah tercampur secara merata dan adukan homogen serta tingkat kelacakannya sudah sesuai target.



**Gambar 4. 20 Proses Pencampuran**

#### 4.4.3 Pembuatan Benda Uji

Tahap pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan mesin pres yang sudah di lengkapi dengan sistem hidrolik dan sistem vibrator yang dapat memudahkan dalam proses produksi *paving block*. Bahan campuran dimasukkan kedalam cetakan dan dipadatkan menggunakan mesin pres, selain itu pada saat pemadatan mesin pres akan menggetarkan campuran yang ada dalam cetakan guna untuk membuat agregat didalam cetakan dapat mengisi secara merata dan tidak ada rongga udara pada *paving block* yang dihasilkan. Tujuan dari penggunaan mesin pres yang sudah dilengkapi oleh sistem hidrolis dan vibrator untuk memperkecil terjadinya segregasi. Langkah-langkah pencetakan *paving block* adalah sebagai berikut.

1. Persiapkan alas yang berupa triplek dengan tebal 20 mm dan letakkan pada

meja mesin.

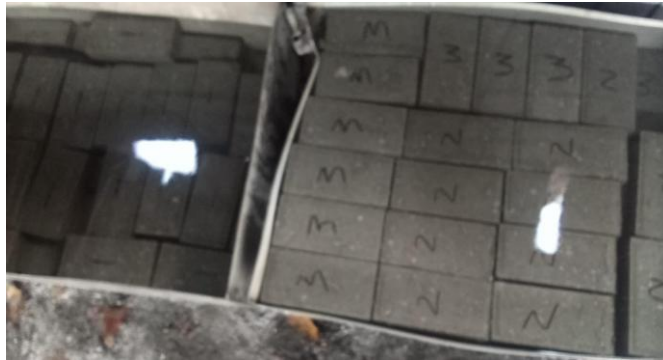
2. Pastikan mesin pada posisi cetakan membuka untuk memasukkan campuran kecetakan.
3. Masukkan campuran kedalam cetakan dan pastikan campuran memenuhi cetakan.
4. Hidupkan mesin dengan sistem getar selama  $\pm 5$  detik.
5. Tambahkan campuran kedalam cetakan yang turun akibat penggetaran.
6. Tekan tuas mesin pres hingga bagian sampel turun dan jalan sistem getar.
7. Bagian cetakan diangkat dengan cara menekan tuas pada mesin pres.



**Gambar 4. 21 Proses Pencetakan**

#### 4.4.4 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji bertujuan untuk menjaga kelembaban *paving block* selama umur yang telah ditentukan untuk pengujian yaitu 28 hari untuk memastikan pada saat proses pengeringan dan pengerasan beton *paving* berjalan sempurna dan mencegah adanya retakan atau pecahan pada *paving block*. Perawatan yang dimaksud yaitu dengan cara merendam *paving block* setelah satu hari pencetakan karena sudah cukup keras maka dilakukan perendaman. Setelah selesai proses perendaman benda uji akan diletakkan pada tempat kering yang terlindung dari panas.



**Gambar 4. 22 Perawatan Benda Uji**

#### 4.4.5 Pemotongan Benda Uji

Tahap pemotongan dilakukan untuk memotong *paving block* yang memiliki dimensi semula yaitu  $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  menjadi dimensi yang sudah direncanakan sesuai dengan kebutuhan pengujian. Untuk pengujian kuat tekan *paving block* dipotong dengan bentuk kubus berdimensi  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ , untuk pengujian ketahanan aus *paving block* akan dipotong dengan dimensi  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ , dan untuk pengujian penyerapan air digunakan *paving block* utuh seperti semula. Pemotongan akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Berikut proses pemotongan *paving block* dan hasil setelah dipotong.



**Gambar 4. 23 Pemotongan Benda Uji**



**Gambar 4. 24 Hasil Untuk Uji Kuat Tekan**



**Gambar 4. 25 Hasil Untuk Uji Ketahanan Aus**



**Gambar 4. 26 Hasil Untuk Uji Penyerapan Air**

#### 4.4.6 Pengujian *Paving block*

Parameter pengujian yang dilakukan yaitu meliputi pengujian kuat tekan, pengujian keausan, dan pengujian penyerapan air. Pengujian benda uji dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari setelah proses pencetakan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

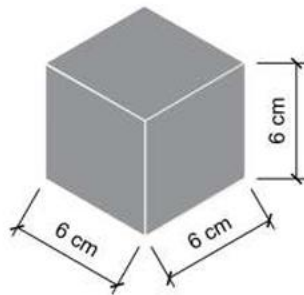
Adapun uraiannya sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui substitusi sebagian limbah *gypsum* pada campuran beton *Paving* terhadap kuat tekan. Langkah-langkah pengujian kuat tekan menurut SNI 03-0691-1996 sebagai berikut.

- a. Pengujian menggunakan benda uji yang sudah berumur 28 hari yang sudah dipotong dengan dimensi 6 cm × 6 cm × 6 cm dan lakukan pembersihan pada benda uji,
- b. Ukur benda uji dengan menggunakan jangka sorong,
- c. Benda uji diletakkan pada alat pengujian dengan posisi ditengah dan pastikan pada posisi yang simetris,
- d. Lakukan pembebanan pada alat uji kemudian amati dan catat hasil dari pembebanan hingga benda uji tidak mampu menahan beban yang diterima.

Berikut dimensi *paving block* dan proses pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah



**Gambar 4. 27 Dimensi Pengujian Kuat Tekan**



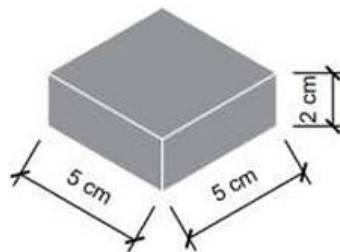
**Gambar 4. 28 Pengujian Kuat Tekan**

## 2. Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tingkat keausan pada *paving block* hasil substitusi sebagian terhadap campuran beton *Paving*. Langkah-langkah pengujian keausan menurut SNI 03-0691-1996 sebagai berikut.

- a. Benda uji yang digunakan sudah berumur 28 hari dan sudah dipotong dengan dimensi  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ,
- b. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji diletakkan ditempat yang mendapatkan angin selama satu hari,
- c. Setelah diangin anginkan benda uji dibersihkan,
- d. Timbang benda uji dan ukur menggunakan jangka sorong,
- e. Lakukan pengujian pengausan dengan alat uji yang sesuai dengan ketentuan pada SNI 03-0691-1996,
- f. Amati dan catat hasil pengujian keausan.

Berikut dapat dilihat dimensi dan pengaplikasian pada pengujian ketahanan aus



**Gambar 4. 29 Dimensi pengujian ketahanan aus**



**Gambar 4. 30 Pengujian Ketahanan Aus**

### 3. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air melalui pori-pori *paving block*. Langkah-langkah pengujian penyerapan air menurut SNI 03-0691-1996 sebagai berikut.

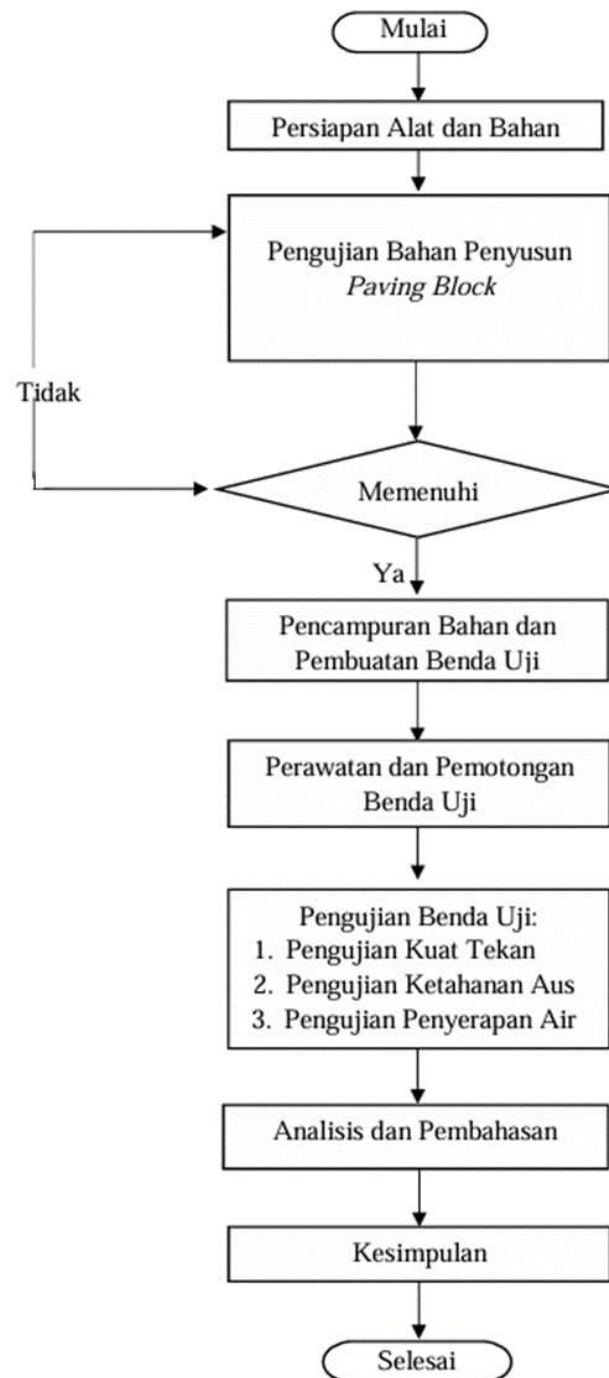
- a. Lakukan perendaman benda uji selama 24 jam,
- b. Benda uji yang masih basah dilakukan penimbangan dengan ketelitian 0,1 gram,
- c. Masukkan benda uji kedalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam untuk proses pengeringan hingga berat pada saat kering
- d. Ambil benda uji dari oven dan timbang dalam keadaan kering,
- e. Catat hasil pengujian penyerapan air.



**Gambar 4. 31 Pengujian Penyerapan Air**

#### 4.5 Diagram Alir Penelitian (Flow Chart)

Penelitian yang efektif perlu dilaksanakan dengan cara yang teratur atau mengikuti langkah-langkah yang jelas untuk memastikan hasil yang diperoleh berkualitas, optimal, dan dapat dipertanggung jawabkan. Di bawah ini adalah ilustrasi diagram alir flowchart yang dapat dilihat pada gambar 4.5 di halaman berikutnya.



**Gambar 4. 32** *Flowchart*

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Tinjauan Umum**

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang dilaksanakan di Pusat Inovasi Material Vulkanis dan Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Penelitian diawali dengan pengujian terhadap bahan penyusun *paving block* dilanjutkan dengan pengamatan proses produksinya. Selanjutnya, dilakukan serangkaian uji terhadap *paving block*, meliputi uji kuat tekan, ketahanan aus, serta daya serap air. Data yang diperoleh dari seluruh rangkaian pengujian kemudian dianalisis dan dibahas secara sistematis guna mencapai tujuan penelitian. Berikut disajikan hasil analisis data beserta pembahasannya.

#### **5.2 Hasil Pengujian Bahan Agregat Halus**

Hasil pemeriksaan bahan yang telah dilakukan diantaranya adalah Analisis Saringan Agregat Halus, Pengujian Kandungan Lumpur, Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur, dan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan. Berikut adalah hasilnya.

##### **5.2.1 Analisis Saringan Agregat Halus**

Analisis saringan agregat halus atau modulus halus butir (MHB) adalah suatu pengujian yang bertujuan mengklasifikasikan suatu agregat halus berdasarkan besar butirannya. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990. Saringan yang digunakan terdiri dari saringan dengan ukuran 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Analisis saringan ini menggunakan agregat halus sebanyak 2000 gram. Pengujian analisis saringan agregat halus dilaksanakan dengan menggunakan dua sampel. Agregat yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang kemudian dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan hasil berupa berat tertinggal kumulatif dan persen lolos kumulatif. Dengan hasil tersebut dapat dilakukan klasifikasi daerah gradasi agregat

berdasarkan persen lolos kumulatif. Ada beberapa klasifikasi daerah gradasi agregat halus diantaranya daerah I yaitu pasir kasar, daerah II yaitu pasir agak kasar, daerah III yaitu pasir agak halus, dan daerah IV yaitu pasir halus. Daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5. 1 Daerah Gradasi Agregat Halus**

| Lubang Ayakan<br>(mm) | Persen Lolos Kumulatif (%) |           |            |           |
|-----------------------|----------------------------|-----------|------------|-----------|
|                       | Daerah I                   | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10                    | 100                        | 100       | 100        | 100       |
| 4,8                   | 90-100                     | 90-100    | 90-100     | 95-100    |
| 2,4                   | 60-95                      | 75-100    | 85-100     | 95-100    |
| 1,2                   | 30-70                      | 55-90     | 75-100     | 90-100    |
| 0,6                   | 15-34                      | 35-59     | 60-79      | 80-100    |
| 0,3                   | 5-20                       | 8-30      | 12-40      | 15-50     |
| 0,15                  | 0-10                       | 0-10      | 0-40       | 0-15      |

Dengan keterangan :

- Daerah I : Pasir Kasar
- Daerah II : Pasir Agak Kasar
- Daerah III : Pasir Agak Halus
- Daerah IV : Pasir Halus

Berikut adalah perhitungan pengujian analisis saringan agregat halus yang dapat dilihat dibawah ini pada sampel 1.

1. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Berat tertahan (\%)} = \frac{\text{Berat tertinggal (gram)}}{\text{Berat total (gram)}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a. Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{28}{2000} \times 100\% \\ &= 1,4 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{98}{2000} \times 100\% \\ &= 4,9 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{234}{2000} \times 100\% \\ &= 11,7 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{656}{2000} \times 100\% \\
 &= 32,8 \% \\
 \text{e. Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{641}{2000} \times 100\% \\
 &= 32,05 \% \\
 \text{f. Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{286}{2000} \times 100\% \\
 &= 14,3 \% \\
 \text{g. Pan sisa} &= \frac{57}{2000} \times 100\% \\
 &= 2,85 \%
 \end{aligned}$$

## 2. Berat Tertinggal Kumulatif

Berat tertinggal kumulatif = % berat tertinggal + % berat tertinggal lubang sebelumnya

$$\begin{aligned}
 \text{a. Lubang ayakan 4,8 mm} &= 0\% + 1,4\% \\
 &= 1,4 \% \\
 \text{b. Lubang ayakan 2,4 mm} &= 4,9\% + 1,4\% \\
 &= 6,3 \% \\
 \text{c. Lubang ayakan 1,2 mm} &= 11,7\% + 6,3\% \\
 &= 18\% \\
 \text{d. Lubang ayakan 0,6 mm} &= 32,8\% + 18\% \\
 &= 50,8\% \\
 \text{e. Lubang ayakan 0,3 mm} &= 50,8\% + 32,05\% \\
 &= 82,85\% \\
 \text{f. Lubang ayakan 0,15 mm} &= 14,3\% + 82,85\% \\
 &= 97,15\% \\
 \text{g. Pan sisa} &= 2,85\% + 97,15\% \\
 &= 100\% \\
 \text{h. Jumlah} &= 256,5\%
 \end{aligned}$$

## 3. Persen Lolos Kumulatif

Persen lolos kumulatif = 100% – berat tertinggal kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{a. Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 1,4\%
 \end{aligned}$$

- = 98,6 %
- b. Lubang ayakan 2,4 mm = 100% – 6,3%  
= 93,7%
- c. Lubang ayakan 1,2 mm = 100% – 18%  
= 82 %
- d. Lubang ayakan 0,6 mm = 100% – 50,8%  
= 49,2 %
- e. Lubang ayakan 0,3 mm = 100% – 82,85%  
= 17,5 %
- f. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% – 97,15%  
= 2,85 %
- g. Pan sisa = 100% – 100%  
= 0 %

#### 4. Modulus Halus Butir (MHB)

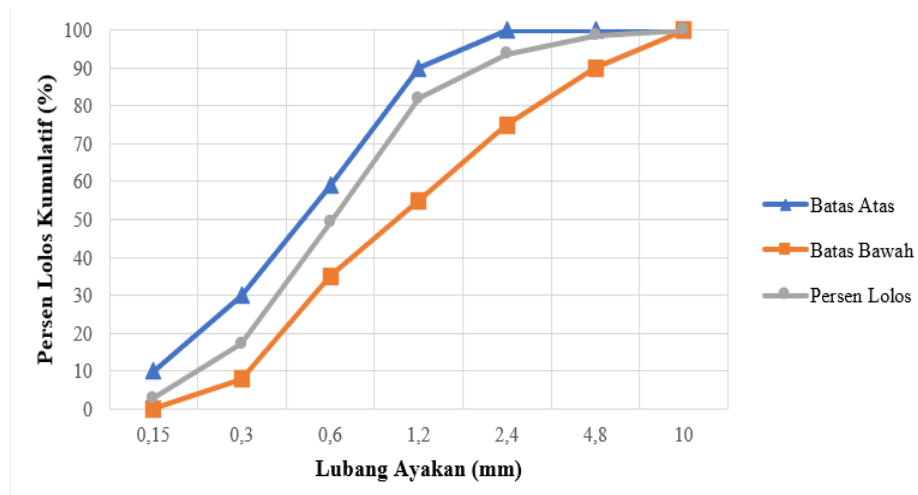
$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\Sigma \% \text{ Berat tertinggal kumulatif}}{100\%} \\ &= \frac{256,5 \%}{100\%} \\ &= 2,565 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan pengujian Modulus Halus Butir agregat halus pada sampel 1 dapat dilihat pada tabel 5.2 di bawah ini yang sudah di rekapitulasi.

**Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Modulus Halus Butir Sampel 1**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 4,80               | 28                      | 1,4                  | 1,4                            | 98,6                       |
| 2,40               | 98                      | 4,9                  | 6,3                            | 93,7                       |
| 1,20               | 234                     | 11,7                 | 18                             | 82                         |
| 0,60               | 656                     | 32,8                 | 50,8                           | 49,2                       |
| 0,30               | 641                     | 32,05                | 82,85                          | 17,15                      |
| 0,15               | 286                     | 14,30                | 97,15                          | 2,85                       |
| Sisa               | 57                      | 2,85                 | 100                            | 0                          |
| Jumlah             | 2000                    | 100                  | 256,5                          | 343,5                      |

Grafik gradasi agregat halus pada sampel 1 masuk pada gradasi 2 (pasir agak kasar) dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5. 1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1**

Untuk perhitungan pengujian analisis saringan agregat halus sampel 2 dapat dilihat sebagai berikut.

#### 1. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Berat tertahan (\%)} = \frac{\text{Berat tertinggal (gram)}}{\text{Berat total (gram)}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a. Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{32}{2000} \times 100\% \\ &= 1,6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{82}{2000} \times 100\% \\ &= 4,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{214}{2000} \times 100\% \\ &= 10,7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{633}{2000} \times 100\% \\ &= 31,65\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{571}{2000} \times 100\% \\ &= 28,55\% \end{aligned}$$

- f. Lubang ayakan 0,15 mm  $= \frac{381}{2000} \times 100\%$   
 $= 19,05 \%$
- g. Pan sisa  $= \frac{87}{2000} \times 100\%$   
 $= 4,35 \%$
2. Berat Tertinggal Kumulatif
- a. Lubang ayakan 4,8 mm  $= 0\% + 1,6\%$   
 $= 1,6 \%$
- b. Lubang ayakan 2,4 mm  $= 1,6\% + 4,1\%$   
 $= 5,7 \%$
- c. Lubang ayakan 1,2 mm  $= 5,7\% + 10,7\%$   
 $= 16,4 \%$
- d. Lubang ayakan 0,6 mm  $= 16,4\% + 31,65\%$   
 $= 48,05 \%$
- e. Lubang ayakan 0,3 mm  $= 48,05\% + 28,55\%$   
 $= 76,6 \%$
- f. Lubang ayakan 0,15 mm  $= 76,6\% + 19,05\%$   
 $= 95,65 \%$
- g. Pan sisa  $= 95,65\% + 4,35\%$   
 $= 100\%$
- h. Jumlah  $= 244 \%$  (digunakan pada perhitungan MHB)
3. Persen lolos kumulatif
- Persen lolos kumulatif  $= 100\% - \text{berat tertinggal kumulatif}$
- a. Lubang ayakan 4,8 mm  $= 100\% - 1,6\%$   
 $= 98,4\%$
- b. Lubang ayakan 2,4 mm  $= 100\% - 5,7\%$   
 $= 94,3\%$
- c. Lubang ayakan 1,2 mm  $= 100\% - 16,4\%$   
 $= 83,6\%$
- d. Lubang ayakan 0,6 mm  $= 100\% - 48,05\%$   
 $= 51,95\%$

- e. Lubang ayakan 0,3 mm = 100% – 76,6%  
= 23,4%
- f. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% – 95,65%  
= 4,35%
- g. Pan sisa = 100% – 100%  
= 0%

#### 4. Modulus Halus Butir (MHB)

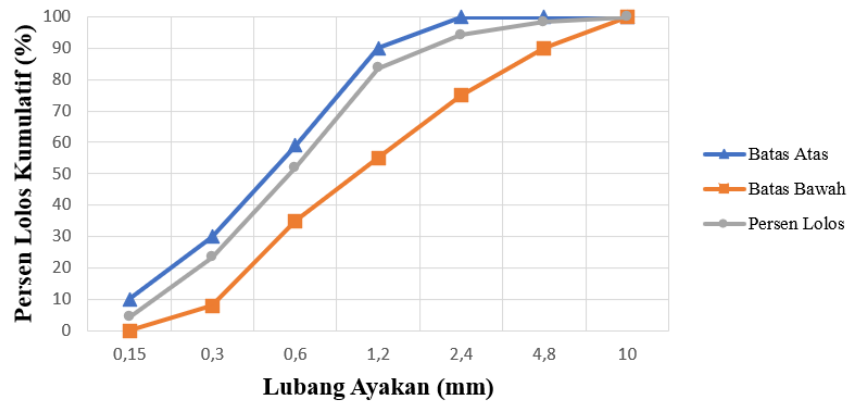
$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\Sigma \% \text{ Berat tertinggal kumulatif}}{100\%} \\ &= \frac{244\%}{100\%} \\ &= 2,44 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan pengujian Modulus Halus Butir agregat halus pada sampel 2 dapat dilihat pada tabel 5.3 di bawah ini yang sudah di rekapitulasi.

**Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Modulus Halus Butir Sampel 2**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 4,80               | 32                      | 1,6                  | 1,6                            | 98,4                       |
| 2,40               | 82                      | 4,1                  | 5,7                            | 94,3                       |
| 1,20               | 214                     | 10,7                 | 16,4                           | 83,6                       |
| 0,60               | 633                     | 31,65                | 48,05                          | 51,95                      |
| 0,30               | 571                     | 28,55                | 76,6                           | 23,4                       |
| 0,15               | 381                     | 19,05                | 95,65                          | 4,35                       |
| Sisa               | 87                      | 4,35                 | 100                            | 0                          |
| Jumlah             | 2000                    | 100                  | 244                            | 356                        |

Grafik gradasi agregat halus pada sampel 2 masuk pada gradasi 2 (pasir agak kasar) dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.



**Gambar 5. 2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2**

Berdasarkan rata-rata persen lolos kumulatif sampel 1 dan sampel 2, maka agregat halus masuk pada gradasi 2 yaitu pasir agak kasar, yang memiliki nilai MHB adalah 2,503 sesuai dengan persyaratan SNI 03-1968-1990 yaitu agregat halus memiliki nilai modulus halus butir pada rentang 1,5-3,8.

#### 5.2.2 Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian ini dilakukan berdasarkan pedoman yang tercantum dalam SNI 03-4142-1996. Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan persentase kandungan lumpur dalam agregat halus dengan menggunakan saringan nomor 200 yang memiliki diameter 0,15 mm. Berikut merupakan perhitungan kandungan lumpur pada agregat halus yang diperoleh dari hasil pengujian.

1. Berat agregat lolos saringan no.200 pada sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat lolos saringan no.200} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \% \\
 &= \frac{500 - 496}{500} \times 100 \% \\
 &= 0,8 \%
 \end{aligned}$$

2. Berat agregat lolos saringan no.200 pada sampel 2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat lolos saringan no.200} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \% \\
 &= \frac{500 - 495}{500} \times 100 \% \\
 &= 1 \%
 \end{aligned}$$

3. Berat agregat lolos saringan no.200 pada rata-rata sampel

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat lolos saringan no.200} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{0,8\% + 1\%}{2} \\
 &= 0,9\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan berat agregat lolos saringan no.200 di atas, dihasilkan kadar lumpur rata-rata pada agregat halus adalah 0,9%. Nilai tersebut telah memenuhi syarat maksimum kandungan lumpur pada agregat halus yang tertera pada SK SNI-S-04-1989-F, yaitu kurang dari 5%.

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus bisa dilihat pada Tabel 5.4 Sebagai berikut

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

| No | Uraian   | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata |
|----|--|----------|----------|-----------|
| 1  | Berat Agregat Kering Oven (W1), gram                 | 500      | 500      | 500       |
| 2  | Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram | 496      | 495      | 495,5     |
| 3  | Berat yang Lolos Ayakan No. 200                      | 0,8%     | 1%       | 0,9%      |

### 5.2.3 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur

Pengujian ini dilakukan berdasarkan metode yang sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat isi agregat halus, baik dalam kondisi padat maupun gembur. Perhitungan berat volume agregat halus dalam kedua kondisi tersebut dijabarkan sebagai berikut.

#### 1. Berat volume padat agregat halus, sampel 1

|   |                 |
|---|-----------------|
| Berat tabung (W1)                         | = 11094 gram    |
| Berat tabung dan agregat kering oven (W2) | = 19701 gram    |
| Berat pasir (W3)                          | = W2 – W1       |
|   | = 19701 – 11094 |
|   | = 8607 gram     |
| Diameter tabung (d)                       | = 14,98 cm      |
| Tinggi tabung (t)                         | = 30 cm         |

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30 \\
 &= 5287,31 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8607}{5287,31} \\
 &= 1,628 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan berat volume padat yaitu 1,628 gram/cm<sup>3</sup>, dan dengan cara perhitungan yang sama pada sampel 2 di dapatkan berat volume padat sebesar 1,660 gram/cm<sup>3</sup> yang di rata-ratakan seperti perhitungan di bawah.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat volume padat rata-rata} &= \frac{1,628 + 1,660}{2} \\
 &= 1,644 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Nilai ini di ambil untuk perhitungan pada kebutuhan campuran *paving block* karena akan di padatkanya agregat halus pada pembuatan *paving block*.

## 2. Berat volume gembur agregat halus, sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tabung (W1)} &= 11094 \text{ gram} \\
 \text{Berat tabung dan agregat kering oven (W2)} &= 19138 \text{ gram} \\
 \text{Berat pasir (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19138 - 11094 \\
 &= 8044 \text{ gram} \\
 \text{Diameter tabung (d)} &= 14,98 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30 \\
 &= 5287,31 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{8044}{5287,31}$$

$$= 1,521 \text{ gram/cm}^3$$

Dari perhitungan di atas didapatkan berat volume gembur yaitu 1,521 gram/cm<sup>3</sup>, dan dengan cara perhitungan yang sama pada sampel 2 di dapatkan berat volume gembur sebesar 1,516 gram/cm<sup>3</sup> yang di rata-ratakan seperti perhitungan di bawah.

$$\text{Berat volume gembur rata-rata} = \frac{1,521 + 1,516}{2}$$

$$= 1,519 \text{ gram/cm}^3$$

Hasil rekapitulasi pengujian berat volume padat dan gembur dapat dilihat pada tabel 5.5 sebagai berat volume padat dan tabel 5.6 sebagai berat volume gembur yang ada di bawah ini.

**Tabel 5. 5 Berat Volume Padat Agregat Halus**

| Berat Volume Padat Agregat Halus |                  |          |                      |
|----------------------------------|------------------|----------|----------------------|
| Uraian                           | Hasil Pengamatan |          | Satuan               |
|                                  | Sampel 1         | Sampel 2 |                      |
| Berat Tabung (W1)                | 11094            | 11098    | gram                 |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2)  | 19701            | 19877    | gram                 |
| Berat Agregat (W3)               | 8607             | 8779     | gram                 |
| Diameter Tabung (d)              | 14,98            | 14,98    | cm                   |
| Tinggi Tabung (t)                | 30               | 30       | cm                   |
| Volume Tabung (V)                | 5287,31          | 5287,31  | cm <sup>3</sup>      |
| Berat Volume Padat               | 1,628            | 1,660    | gram/cm <sup>3</sup> |
| Rata-rata Berat Volume Padat     | 1,644            |          | gram/cm <sup>3</sup> |

**Tabel 5. 6 Berat Volume Gembur Agregat Halus**

| Berat Volume Gembur Agregat Halus |                  |          |                      |
|-----------------------------------|------------------|----------|----------------------|
| Uraian                            | Hasil Pengamatan |          | Satuan               |
|                                   | Sampel 1         | Sampel 2 |                      |
| Berat Tabung (W1)                 | 11094            | 11098    | gram                 |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2)   | 19138            | 19115    | gram                 |
| Berat Agregat (W3)                | 8044             | 8017     | gram                 |
| Diameter Tabung (d)               | 14,98            | 14,98    | cm                   |
| Tinggi Tabung (t)                 | 30               | 30       | cm                   |
| Volume Tabung (V)                 | 5287,31          | 5287,31  | cm <sup>3</sup>      |
| Berat Volume Gembur               | 1,521            | 1,516    | gram/cm <sup>3</sup> |
| Rata-rata Berat Volume Gembur     | 1,519            |          | gram/cm <sup>3</sup> |

#### 5.2.4 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini mengacu pada standar SNI 1968-1970, yang bertujuan untuk menentukan karakteristik fisik agregat halus, meliputi berat jenis curah, berat jenis semu, berat jenis dalam kondisi jenuh permukaan kering (SSD), serta tingkat penyerapan air. Prosedur pengujian dilakukan menggunakan dua sampel, masing-masing dengan sampel berat sebesar 500 gram. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada bagian Tabel 5.7 Berikut.

**Tabel 5. 7 Hasil Penelitian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus**

| Uraian                                      | Berat (gram) |          |
|---|--------------|----------|
|   | Sampel 1     | Sampel 2 |
| Berat pasir kering mutlak (Bk)              | 487          | 488      |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) | 500          | 500      |
| Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)  | 972          | 977      |
| Berat piknometer berisi air (B)             | 667          | 673      |

#### 1. Analisis Perhitungan

Contoh analisis perhitungan pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis Curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{487}{667+500-972} \\
 &= 2,497 \\
 \\
 \text{b. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\
 &= \frac{487}{667+487-972} \\
 &= 2,676 \\
 \\
 \text{c. Berat jenis kering permukaan} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{500}{667+500-972} \\
 &= 2,564 \\
 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{500-487}{487} \times 100\% \\
 &= 2,669 \%
 \end{aligned}$$

Hasil analisis perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 .

**Tabel 5. 8 Hasil Analisis Perhitungan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

| Uraian  | Hasil    |          |           |
|---|----------|----------|-----------|
|   | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata |
| Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)              | 487      | 488      | 487,5     |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram (SSD) | 500      | 500      | 500       |
| Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)  | 972      | 977      | 974,5     |
| Berat piknometer berisi air, gram (B)             | 667      | 673      | 670       |
| Berat Jenis Curah                                 | 2,497    | 2,490    | 2,494     |
| Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)               | 2,564    | 2,551    | 2,558     |
| Berat Jenis semu                                  | 2,676    | 2,652    | 2,664     |
| Penyerapan Air                                    | 2,669%   | 2,459%   | 2,564%    |

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, dari tabel 5.8 didapatkan nilai berat jenis kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,558. Maka sesuai dengan SK SNI T – 15 (1990). Hasil tersebut dapat dikatakan memenuhi persyaratan karena di dapat nilai diantara 2,5-2,7. Hasil nilai penyerapan air agregat halus sebesar 2,564%, nilai tersebut menunjukkan bahwa penyerapan air pada agregat memenuhi kriteria persyaratan SNI 03-1970-1990 dengan nilai maksimal sebesar 3%.

### 5.3 Hasil Pengujian Bahan Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan bahan yang telah dilakukan diantaranya Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur juga Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar berikut adalah hasilnya.

#### 5.3.1 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur

Pengujian berat volume dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada volume padat dan volume gembur untuk mengetahui volume takaran agregat kasar atau bahan yang akan digunakan untuk perbandingan pada saat membuat campuran *paving*

*block*. Langkah langkah pengujian berat volume sesuai SNI 03-4804-1998. Hasil dari pengujian adalah sebagai berikut.

1. Analisis perhitungan

Contoh perhitungan berat volume padat pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tabung (W1)} &= 11096 \text{ gram} \\
 \text{Berat tabung agregat kering oven (W2)} &= 18593 \text{ gram} \\
 \text{Berat pasir (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18593 - 11096 \\
 &= 7497 \text{ gram} \\
 \\ 
 \text{Diameter tabung (d)} &= 14,98 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30 \\
 &= 5287,31 \text{ gram/cm}^3 \\
 \\ 
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7497}{5287,31} \\
 &= 1,418 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2. Analisis perhitungan

Contoh perhitungan berat volume gembur pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tabung (W1)} &= 11096 \text{ gram} \\
 \text{Berat tabung agregat kering oven (W2)} &= 17531 \text{ gram} \\
 \text{Berat pasir (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 17531 - 11096 \\
 &= 6435 \\
 \\ 
 \text{Diameter tabung (d)} &= 14,98 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tabung (t)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5287,31 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6435}{5287,31} \\
 &= 1,217 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.9 dan tabel. 5.10 dibawah ini

**Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat**

| Uraian                          | Hasil Pengamatan |          |                      |
|---------------------------------|------------------|----------|----------------------|
|                                 | Sampel 1         | sampel 2 | Satuan               |
| Berat Tabung (W1)               | 11096            | 11098    | gram                 |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 18593            | 18657    | gram                 |
| Berat Agregat (W3)              | 7497             | 7559     | gram                 |
| Diameter Tabung (d)             | 14,98            | 14,98    | cm                   |
| Tinggi Tabung (t)               | 30               | 30       | cm                   |
| Volume Tabung (V)               | 5287,31          | 5287,31  | cm <sup>3</sup>      |
| Berat Volume Padat              | 1,418            | 1,430    | gram/cm <sup>3</sup> |
| Berat Volume Padat Rata-rata    | 1,424            |          | gram/cm <sup>3</sup> |

**Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur**

| Uraian                          | Hasil Pengamatan |          |                      |
|---------------------------------|------------------|----------|----------------------|
|                                 | Sampel 1         | Sampel 2 | Satuan               |
| Berat Tabung (W1)               | 11096            | 11098    | gram                 |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 17531            | 17579    | gram                 |
| Berat Agregat (W3)              | 6435             | 6481     | gram                 |
| Diameter Tabung (d)             | 14,98            | 14,98    | cm                   |
| Tinggi Tabung (t)               | 30               | 30       | cm                   |
| Volume Tabung (V)               | 5287,31          | 5287,31  | cm <sup>3</sup>      |
| Berat Volume Gembur             | 1,217            | 1,226    | gram/cm <sup>3</sup> |
| Berat Volume Gembur Rata-rata   | 1,221            |          | gram/cm <sup>3</sup> |

Dari perhitungan di atas didapatkan data berat volume padat rata-rata yang di dapat adalah 1,424 gram/cm<sup>3</sup> dan juga berat volume gembur rata-rata yang di

dapat adalah  $1,221 \text{ gram/cm}^3$ , dan untuk masuk perhitungan proporsi pada campuran *paving block* digunakan volume padat rata-rata yaitu sebesar  $1,424 \text{ gram/cm}^3$ .

### 5.3.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini mengacu pada standar SNI 03-1969-1990 dan bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis curah, berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), serta tingkat penyerapan air pada agregat kasar. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan dua sampel, masing-masing memiliki berat 5000 gram. Hasil dari pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 5.11

**Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar**

| Uraian   | Hasil (gram) |          |
|--|--------------|----------|
|  | Sampel 1     | Sampel 2 |
| Berat kerikil mutlak, gram (Bk)                  | 4889         | 4892     |
| Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram (bj) | 5000         | 5000     |
| Berat kerikil dalam air, gram (Ba)               | 3028         | 3086     |

#### 1. Analisis Perhitungan

Contoh analisis perhitungan pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis Curah} &= \frac{Bk}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{4889}{5000 - 3028} \\
 &= 2,479 \\
 \text{b. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4889}{4889 - 3028} \\
 &= 2,627 \\
 \text{c. Berat jenis permukaan (SSD)} &= \frac{Bj}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3028} \\
 &= 2,535 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4889}{4889} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 2,27 \%$$

Hasil analisis perhitungan berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar yang didapat dapat dilihat pada tabel 5.12 sebagai berikut.

**Tabel 5. 12 Hasil analisis perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar**

| Uraian   | Hasil (gram) |          |           |
|--|--------------|----------|-----------|
|  | Sampel 1     | Sampel 2 | Rata-rata |
| Berat kerikil mutlak, gram (Bk)                  | 4889         | 4892     | 4890,5    |
| Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram (bj) | 5000         | 5000     | 5000      |
| Berat kerikil dalam air, gram (Ba)               | 3028         | 3086     | 3057      |
| berat jenis curah                                | 2,479        | 2,556    | 2,518     |
| Berat Jenis SSD                                  | 2,535        | 2,612    | 2,574     |
| Berat Jenis semu                                 | 2,627        | 2,709    | 2,668     |
| Penyerapan Air                                   | 2,27%        | 2,208%   | 2,239%    |

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dari dua sampel yang sudah di uji didapatkan nilai rata-rata berat jenis kering permukaan (SSD) agregat kasar sebesar 2,574. Maka dengan hasil tersebut sudah sesuai dengan persyaratan yang tercantum pada SK SNI T-15 (1990) yaitu bernilai antara 2,5-2,7. Menurut SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah  $\leq 3\%$ . Oleh karena itu nilai 2,239% penyerapan air agregat kasar asli yang digunakan penelitian ini adalah agregat normal.

### 5.3 Perhitungan Kebutuhan Campuran

Setelah melakukan pengujian agregat dan menghasilkan nilai sesuai standar yang ada, dan memastikan semuanya dalam keadaan baik, maka proses selanjutnya adalah membuat perhitungan campuran yang sudah di rancang untuk pembuatan benda uji *paving block*. Bahan-bahan yang di campurkan dalam pembuatan benda uji ini adalah antara lain pasir, semen, kerikil, dan air. Selain itu penelitian ini juga menggunakan bahan substitusi sebagian terhadap berat semen yaitu limbah *gypsum* yang sudah direncanakan sebelumnya dan juga menambahkan bahan tambah berupa SikaCim dari berat semen yang sudah juga di rancang sebelumnya.

Kompisisi campuran *paving block* yang digunakan yaitu 1 semen : 4 pasir : 2 kerikil, dengan limbah *gypsum* yang menjadi substitusi sebagian semen dengan variasi sebesar 0%; 5%; 10%; 15% ; dan bahan tambah SikaCim 0,5% pada setiap variasi. limbah *gypsum* di atas semuanya terhadap berat semen. Baik dari substitusi sebagian limbah *gypsum* maupun bahan tambah Sikacim. Berikut adalah perhitungan kebutuhan campuran *paving block* yang sesuai dengan perencanaan di atas.

### 5.3.1 Perhitungan kebutuhan *Paving block*

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang } Paving \text{ block} &= 20 \text{ cm} \\
 \text{Lebar } Paving \text{ block} &= 10 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi } Paving \text{ block} &= 6 \text{ cm} \\
 \text{Volume } Paving \text{ block} &= P \times L \times T \\
 &= 20 \times 10 \times 6 \\
 &= 1200 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat pasir} &= 1,644 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat kerikil} &= 1,424 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{Faktor pemadatan mesin} &= 1,3 \\
 \text{Jumlah } Paving \text{ block} &= 20 Paving \text{ block} \\
 \text{Kebutuhan Pasir 1 } Paving \text{ block} &= \frac{4}{7} \times V \text{ paving} \times \text{berat volume padat pasir} \times 1,3 \\
 &= \frac{4}{7} \times 1200 \times 1,644 \times 1,3 \\
 &= 1465,62 \text{ gram} \\
 \text{Kebutuhan Semen 1 } Paving \text{ block} &= \frac{\text{kebutuhan pasir 1 paving block}}{4} \\
 &= \frac{1465,62}{4} \\
 &= 366,41 \text{ gram} \\
 \text{Kebutuhan Kerikil 1 } Paving \text{ block} &= \frac{2}{7} \times V \text{ paving} \times \text{berat volume padat kerikil} \times 1,3 \\
 &= \frac{2}{7} \times 1200 \times 1,424 \times 1,3 \\
 &= 634,6 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Karena dalam setiap variasinya di buat 20 buah sampel maka perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Pasir 20 Paving block} &= \text{kebutuhan pasir 1 Paving block} \times 20 \\
 &= 1465,62 \times 20 \\
 &= 29312,41 \text{ gram} \\
 \text{Kebutuhan Semen 20 Paving block} &= \text{kebutuhan semen 1 Paving block} \times 20 \\
 &= 366,41 \times 20 \\
 &= 7328,1 \text{ gram} \\
 \text{Kebutuhan Kerikil 20 Paving block} &= \text{kebutuhan semen 1 Paving block} \times 20 \\
 &= 634,6 \times 20 \\
 &= 12692,04 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

### 5.3.2 Perhitungan Kebutuhan Limbah *Gypsum* pada setiap variasi

1. Variasi 0%  $= 0\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0\% \times 7328,1$   
 $= 0 \text{ gram}$
2. Variasi 0% ; 0,5% SikaCim  $= 0\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0\% \times 7328,1$   
 $= 0 \text{ gram}$
3. Variasi 5% ; 0,5% SikaCim  $= 5\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 5\% \times 7328,1$   
 $= 366,41 \text{ gram}$
4. Variasi 10% ; 0,5% SikaCim  $= 10\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 10\% \times 7313,61$   
 $= 732,81 \text{ gram}$
5. Variasi 15% ; 0,5% SikaCim  $= 15\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 15\% \times 7313,61$   
 $= 1099,22 \text{ gram}$

### 5.3.3 Perhitungan kebutuhan SikaCim

Karena berat limbah *gypsum* dianggap berat semen, maka perhitungan berat SikaCim pada setiap variasi adalah sebagai berikut.

1. Variasi 0%  $= 0\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0\% \times 7328,1$   
 $= 0 \text{ gram}$
2. Variasi 0% ; 0,5% SikaCim  $= 0,5\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0,5\% \times 7328,1$   
 $= 36,64 \text{ gram}$
3. Variasi 5% ; 0,5% SikaCim  $= 0,5\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0,5\% \times 7328,1$   
 $= 36,64 \text{ gram}$
4. Variasi 10% ; 0,5% SikaCim  $= 0,5\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0,5\% \times 7328,1$   
 $= 36,64 \text{ gram}$
5. Variasi 15% ; 0,5% SikaCim  $= 0,5\% \times \text{kebutuhan Semen 20 Paving block}$   
 $= 0,5\% \times 7328,1$   
 $= 36,64 \text{ gram}$

Perhitungan SikaCim dalam satuan liter adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui berat jenis SikaCim} &= 1,17 \text{ kg/L} \\ &= 1,17 \text{ gram/mL} \\ \text{Konversi SikaCim (ml)} &= \frac{\text{berat SikaCim}}{\text{berat jenis SikaCim}} \\ &= \frac{36,64}{1,17} \\ &= 31,316 \text{ ml} \end{aligned}$$

Didapatkan hasil 31,316 ml untuk kebutuhan variasi yang membutuhkan dan untuk memudahkan pengaplikasian, digunakanya berat SikaCim dalam satuan gram yaitu 36,64 gram.

#### 5.3.4 Perhitungan kebutuhan semen pada setiap variasi

Karena dipakainya substitusi limbah *gypsum* terhadap berat semen maka perhitungan semen pada setiap variasinya adalah sebagai berikut.

1. Variasi 0% = kebutuhan semen 20 *Paving block* –  
kebutuhan limbah *gypsum*  
= 7328,1 – 0  
= 7328,1 gram
2. Variasi 0% ; 0,5% SikaCim = kebutuhan semen 20 *Paving block* –  
kebutuhan limbah *gypsum*  
= 7328,1 – 0  
= 7328,1 gram
3. Variasi 5% ; 0,5% SikaCim = kebutuhan semen 20 *Paving block* –  
kebutuhan limbah *gypsum*  
= 7328,1 – 366,41  
= 6961,7 gram
4. Variasi 10% ; 0,5% SikaCim = kebutuhan semen 20 *Paving block* –  
kebutuhan limbah *gypsum*  
= 7328,1 – 732,81  
= 6595,29 gram
5. Variasi 15% ; 0,5% SikaCim = kebutuhan semen 20 *Paving block* –  
kebutuhan limbah *gypsum*  
= 7328,1 – 1099,22  
= 6228,89 gram

Rekapitulasi perhitungan kebutuhan campuran *paving block* dengan 20 buah benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.13 Sebagai berikut.

**Tabel 5. 13 Rekapitulasi perhitungan kebutuhan campuran *Paving block***

| Variasi (%)                | Limbah<br><i>Gypsum</i><br>(gram) | SikaCim<br>(gram) | Pasir<br>(gram) | Semen<br>(gram) | Kerikil<br>(gram) | Jumlah<br>Sampel<br>(Buah) |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| 0%                         | 0,00                              | 0,00              | 29312,41        | 7328,10         | 12692,04          | 20                         |
| 0% ; 0,5%                  | 0,00                              | 36,64             | 29312,41        | 7328,10         | 12692,04          | 20                         |
| 5% ; 0,5%                  | 366,41                            | 36,64             | 29312,41        | 6961,70         | 12692,04          | 20                         |
| 10% ; 0,5%                 | 732,81                            | 36,64             | 29312,41        | 6595,29         | 12692,04          | 20                         |
| 15% ; 0,5%                 | 1099,22                           | 36,64             | 29312,41        | 6228,89         | 12692,04          | 20                         |
| <b>Total<br/>Kebutuhan</b> | 2198,43                           | 146,56            | 146562,03       | 34442,08        | 63460,19          | 100                        |

#### 5.4 Hasil Pengujian *Paving block*

Pada proses pembuatan sampel *paving block* ini dilakukan pada laboratorium Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII sesuai dengan teknis yang sudah direncanakan sebelumnya. Penelitian dilanjutkan pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII untuk melakukan pengujian yang dilakukan pada *paving block* dengan usia 28 hari masa perendaman. Parameter pengujian ini mengacu pada SNI 03-0691-1996 mengenai *paving block* yang meliputi pengujian kuat tekan, ketahanan aus, penyerapan air. Sampel yang digunakan pada setiap variasi berjumlah 10 buah untuk uji kuat tekan, 5 buah untuk uji ketahanan aus, dan 5 buah untuk uji penyerapan air masing masing pada setiap variasi. Sebelum masuk pengujian dilakukan pemeriksaan standar dimensi *paving block* sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996 yang menetapkan tebal minimum dan maksimum 60 mm dengan toleransi  $\pm 8\%$ .

##### 5.4.1 Kuat Tekan *Paving block*

Dilakukanya pengujian kuat tekan pada *paving block*, benda uji harus dipotong dengan bentuk kubus berdimensi 6 cm x 6 cm x 6 cm. jumlah benda uji *paving block* yang digunakan adalah 10 buah dalam setiap variasi. Contoh analisis perhitungan uji kuat tekan *paving block* variasi 5% limbah *gypsum* ; 0,5% SikaCim. dengan arti 5% substitusi limbah *gypsum* terhadap berat semen dan bahan tambah 0,5% SikaCim terhadap berat semen. Berikut adalah contohnya.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (p)} &= 62,12 \text{ mm} \\
 \text{Lebar (l)} &= 62,59 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi (t)} &= 63,65 \text{ mm} \\
 \text{Luas (A)} &= p \times l \\
 &= 62,12 \times 62,59 \\
 &= 3888,09 \text{ mm}^2 \\
 \\
 \text{Beban maksimal (P)} &= 7575 \text{ Kgf} \\
 &= 7575 \times 9,81 \\
 &= 74310,75 \text{ N} \\
 \\
 \text{Kuat tekan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{74310,75}{3888,09} \\
 &= 19,112 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 19,112 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Toleransi tinggi *Paving block*  $\pm 8\%$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Batas tinggi minimum} &= 60 - (8\% \times 60) \\
 &= 60 - (4,8) \\
 &= 55,2 \text{ mm} \\
 \\
 \text{Batas tinggi maksimum} &= 60 + (8\% \times 60) \\
 &= 60 + (4,8) \\
 &= 64,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, tinggi *paving block* dengan variasi 2.2 telah memenuhi syarat yang berdasar pada SNI 03-0691-1996 karena tingginya berada diantara batas minimum dan maksimum yang di tetapkan, yaitu  $55,2 \text{ mm} < 63,65 \text{ mm} < 64,8 \text{ mm}$ .

Setelah mendapat seluruh hasil nilai kuat tekan *paving block* pada variasi 2, dan selanjutnya adalah menghitung rata-rata kuat tekan pada variasi tersebut. Perhitungan rata-rata kuat tekan *paving block* pada variasi 2 adalah sebagai berikut.

$$= \frac{\Sigma \sigma}{\text{Jumlah Sampel}}$$

$$= \frac{18,144+19,112+18,305+16,966+16,537+17,582+21,424+16,331+17,761+17,187}{10}$$

$$= 17,934 \text{ MPa}$$

Hasil pemeriksaan tinggi *paving block* dapat dilihat pada tabel 5.14 di bawah ini dengan syarat batas tinggi atas dan bawah toleransinya adalah 8% dari nilai 6 cm berikut adalah tabel 5.14

**Tabel 5. 14 Hasil Pemeriksaan Tinggi *Paving block* Variasi 1**

| Kode Sampel | Toleransi Tinggi $\pm 8\%$ | Tebal <i>Paving block</i> (mm) | Keterangan |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 1.1         | 55,2-64,8                  | 62,58                          | OK         |
| 1.2         | 55,2-64,8                  | 61,79                          | OK         |
| 1.3         | 55,2-64,8                  | 63,13                          | OK         |
| 1.4         | 55,2-64,8                  | 62,04                          | OK         |
| 1.5         | 55,2-64,8                  | 63,33                          | OK         |
| 1.6         | 55,2-64,8                  | 60,08                          | OK         |
| 1.7         | 55,2-64,8                  | 62,41                          | OK         |
| 1.8         | 55,2-64,8                  | 63,88                          | OK         |
| 1.9         | 55,2-64,8                  | 61,89                          | OK         |
| 1.10        | 55,2-64,8                  | 61,29                          | OK         |

**Tabel 5. 15 Hasil Pemeriksaan Tinggi *Paving block* Variasi 2**

| Kode Sampel | Toleransi Tinggi $\pm 8\%$ | Tebal <i>Paving block</i> (mm) | Keterangan |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 2.1         | 55,2-64,8                  | 61,66                          | OK         |
| 2.2         | 55,2-64,8                  | 63,65                          | OK         |
| 2.3         | 55,2-64,8                  | 62,54                          | OK         |
| 2.4         | 55,2-64,8                  | 62,44                          | OK         |
| 2.5         | 55,2-64,8                  | 63,40                          | OK         |
| 2.6         | 55,2-64,8                  | 62,56                          | OK         |
| 2.7         | 55,2-64,8                  | 60,49                          | OK         |
| 2.8         | 55,2-64,8                  | 64,51                          | OK         |
| 2.9         | 55,2-64,8                  | 62,66                          | OK         |
| 2.10        | 55,2-64,8                  | 62,61                          | OK         |

**Tabel 5. 16 Hasil Pemeriksaan Tinggi *Paving block* Variasi 3**

| <b>Kode Sampel</b> | <b>Toleransi Tinggi<br/>±8%</b> | <b>Tebal <i>Paving block</i><br/>(mm)</b> | <b>Keterangan</b> |
|--------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| 3.1                | 55,2-64,8                       | 61,33                                     | OK                |
| 3.2                | 55,2-64,8                       | 64,41                                     | OK                |
| 3.3                | 55,2-64,8                       | 62,73                                     | OK                |
| 3.4                | 55,2-64,8                       | 61,81                                     | OK                |
| 3.5                | 55,2-64,8                       | 63,15                                     | OK                |
| 3.6                | 55,2-64,8                       | 61,07                                     | OK                |
| 3.7                | 55,2-64,8                       | 62,21                                     | OK                |
| 3.8                | 55,2-64,8                       | 63,31                                     | OK                |
| 3.9                | 55,2-64,8                       | 62,46                                     | OK                |
| 3.10               | 55,2-64,8                       | 62,83                                     | OK                |

**Tabel 5. 17 Hasil Pemeriksaan Tinggi *Paving block* Variasi 4**

| <b>Kode Sampel</b> | <b>Toleransi Tinggi<br/>±8%</b> | <b>Tebal <i>Paving block</i><br/>(mm)</b> | <b>Keterangan</b> |
|--------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| 4.1                | 55,2-64,8                       | 62,22                                     | OK                |
| 4.2                | 55,2-64,8                       | 63,81                                     | OK                |
| 4.3                | 55,2-64,8                       | 63,46                                     | OK                |
| 4.4                | 55,2-64,8                       | 61,81                                     | OK                |
| 4.5                | 55,2-64,8                       | 63,10                                     | OK                |
| 4.6                | 55,2-64,8                       | 61,47                                     | OK                |
| 4.7                | 55,2-64,8                       | 62,21                                     | OK                |
| 4.8                | 55,2-64,8                       | 62,74                                     | OK                |
| 4.9                | 55,2-64,8                       | 63,33                                     | OK                |
| 4.10               | 55,2-64,8                       | 62,68                                     | OK                |

**Tabel 5. 18 Hasil Pemeriksaan Tinggi *Paving block* Variasi 5**

| <b>Kode Sampel</b> | <b>Toleransi Tinggi<br/>±8%</b> | <b>Tebal <i>Paving block</i><br/>(mm)</b> | <b>Keterangan</b> |
|--------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| 5.1                | 55,2-64,8                       | 63,80                                     | OK                |
| 5.2                | 55,2-64,8                       | 61,58                                     | OK                |
| 5.3                | 55,2-64,8                       | 61,49                                     | OK                |
| 5.4                | 55,2-64,8                       | 62,34                                     | OK                |
| 5.5                | 55,2-64,8                       | 61,56                                     | OK                |
| 5.6                | 55,2-64,8                       | 62,52                                     | OK                |
| 5.7                | 55,2-64,8                       | 62,94                                     | OK                |
| 5.8                | 55,2-64,8                       | 63,75                                     | OK                |
| 5.9                | 55,2-64,8                       | 63,52                                     | OK                |
| 5.10               | 55,2-64,8                       | 61,08                                     | OK                |

Rekapitulasi hasil pengujian Kuat Tekan dapat dilihat pada tabel 5.19 sampai tabel 5.23 sebagai berikut.

**Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 1**

| <b>Kode Sampel</b>          | <b>Dimensi</b> |              |               | <b>Luas Penampang<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Beban Maksimal<br/>(kgf)</b> | <b>Newton</b> | <b>Kuat Tekan<br/>(MPa)</b> |
|-----------------------------|----------------|--------------|---------------|--|---------------------------------|---------------|-----------------------------|
|                             | <b>Panjang</b> | <b>Lebar</b> | <b>Tinggi</b> |  |                                 |               |                             |
| 1.1                         | 61,90          | 60,26        | 62,58         | 3730,09                                    | 5400                            | 52974         | 14,202                      |
| 1.2                         | 63,71          | 64,78        | 61,79         | 4127,13                                    | 6625                            | 64991,250     | 15,747                      |
| 1.3                         | 64,34          | 62,87        | 63,13         | 4045,06                                    | 6050                            | 59350,500     | 14,672                      |
| 1.4                         | 61,15          | 60,50        | 62,04         | 3699,58                                    | 5775                            | 56652,750     | 15,313                      |
| 1.5                         | 63,79          | 63,60        | 63,33         | 4057,04                                    | 5525                            | 54200,250     | 13,360                      |
| 1.6                         | 60,10          | 62,75        | 60,08         | 3771,28                                    | 6375                            | 62538,750     | 16,583                      |
| 1.7                         | 62,23          | 64,21        | 62,41         | 3995,79                                    | 5225                            | 51257,250     | 12,828                      |
| 1.8                         | 60,45          | 60,27        | 63,88         | 3643,32                                    | 5850                            | 57388,500     | 15,752                      |
| 1.9                         | 61,61          | 62,68        | 61,89         | 3861,71                                    | 6900                            | 67689         | 17,528                      |
| 1.10                        | 60,33          | 60,18        | 61,29         | 3630,66                                    | 5600                            | 54936         | 15,131                      |
| <b>Kuat Tekan Rata-rata</b> |                |              |               |  |                                 |               | <b>15,112</b>               |
| <b>Kuat Tekan Minimum</b>   |                |              |               |  |                                 |               | <b>12,828</b>               |

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 2

| Kode Sampel                 | Dimensi |       |        | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal (kgf) | Newton    | Kuat Tekan (MPa) |
|-----------------------------|---------|-------|--------|-----------------------------------|----------------------|-----------|------------------|
|                             | Panjang | Lebar | Tinggi |                                   |                      |           |                  |
| 2.1                         | 59,50   | 60,02 | 61,66  | 3571,19                           | 6605                 | 64795,050 | 18,144           |
| 2.2                         | 62,12   | 62,59 | 63,65  | 3888,09                           | 7575                 | 74310,750 | 19,112           |
| 2.3                         | 60,91   | 61,92 | 62,54  | 3771,55                           | 7037,5               | 69037,875 | 18,305           |
| 2.4                         | 60,78   | 62,59 | 62,44  | 3804,22                           | 6575                 | 64500,750 | 16,955           |
| 2.5                         | 60,88   | 61,63 | 63,40  | 3752,03                           | 6325                 | 62048,250 | 16,537           |
| 2.6                         | 59,74   | 60,24 | 62,56  | 3598,74                           | 6450                 | 63274,500 | 17,582           |
| 2.7                         | 60,69   | 58,85 | 60,49  | 3571,61                           | 7800                 | 76518,000 | 21,424           |
| 2.8                         | 62,33   | 61,68 | 64,51  | 3844,51                           | 6400                 | 62784,000 | 16,331           |
| 2.9                         | 60,52   | 61,49 | 62,66  | 3721,37                           | 6738                 | 66094,875 | 17,761           |
| 2.10                        | 59,85   | 60,56 | 62,61  | 3624,52                           | 6350                 | 62293,500 | 17,187           |
| <b>Kuat Tekan Rata-rata</b> |         |       |        |                                   |                      |           | <b>17,934</b>    |
| <b>Kuat Tekan Minimum</b>   |         |       |        |                                   |                      |           | <b>16,331</b>    |

Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 3

| Kode Sampel                 | Dimensi |       |        | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal (kgf) | Newton    | Kuat Tekan (MPa) |
|-----------------------------|---------|-------|--------|-----------------------------------|----------------------|-----------|------------------|
|                             | Panjang | Lebar | Tinggi |                                   |                      |           |                  |
| 3.1                         | 62,48   | 61,84 | 61,33  | 3863,76                           | 8825                 | 86573,250 | 22,406           |
| 3.2                         | 62,20   | 62,75 | 64,41  | 3903,05                           | 6675                 | 65481,750 | 16,777           |
| 3.3                         | 60,41   | 61,94 | 62,73  | 3741,80                           | 7425                 | 72839,250 | 19,466           |
| 3.4                         | 58,70   | 59,56 | 61,81  | 3496,17                           | 8380                 | 82207,800 | 23,514           |
| 3.5                         | 60,37   | 61,12 | 63,15  | 3689,81                           | 8100                 | 79461,000 | 21,535           |
| 3.6                         | 63,91   | 61,92 | 61,07  | 3957,31                           | 7250                 | 71122,500 | 17,972           |
| 3.7                         | 59,05   | 60,99 | 62,21  | 3601,46                           | 8275                 | 81177,750 | 22,540           |
| 3.8                         | 61,17   | 61,41 | 63,31  | 3756,45                           | 6500                 | 63765,000 | 16,975           |
| 3.9                         | 60,15   | 61,54 | 62,46  | 3701,63                           | 7775                 | 76272,750 | 20,605           |
| 3.10                        | 59,46   | 60,27 | 62,83  | 3583,65                           | 6087,5               | 59718,375 | 16,664           |
| <b>Kuat Tekan Rata-rata</b> |         |       |        |                                   |                      |           | <b>19,846</b>    |
| <b>Kuat Tekan Minimum</b>   |         |       |        |                                   |                      |           | <b>16,664</b>    |

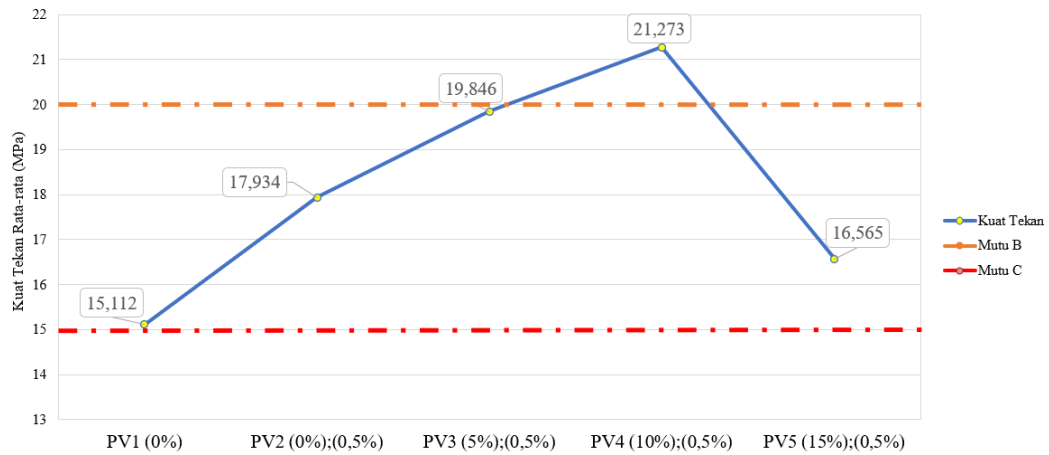
**Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 4**

| Kode Sampel                 | Dimensi |       |        | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal (kgf) | Newton    | Kuat Tekan (MPa) |
|-----------------------------|---------|-------|--------|-----------------------------------|----------------------|-----------|------------------|
|                             | Panjang | Lebar | Tinggi |                                   |                      |           |                  |
| 4.1                         | 61,47   | 60,42 | 62,22  | 3714,02                           | 8650                 | 84856,500 | 22,848           |
| 4.2                         | 61,44   | 61,15 | 63,81  | 3757,06                           | 7950                 | 77989,500 | 20,758           |
| 4.3                         | 60,02   | 57,66 | 63,46  | 3460,75                           | 6975                 | 68424,750 | 19,772           |
| 4.4                         | 62,11   | 59,95 | 61,81  | 3723,49                           | 9187,5               | 90129,375 | 24,206           |
| 4.5                         | 60,59   | 61,71 | 63,10  | 3739,01                           | 8837,5               | 86695,875 | 23,187           |
| 4.6                         | 63,66   | 62,32 | 61,47  | 3967,29                           | 7575                 | 74310,750 | 18,731           |
| 4.7                         | 61,92   | 61,44 | 62,21  | 3804,36                           | 7100                 | 69651,000 | 18,308           |
| 4.8                         | 62,90   | 62,07 | 62,74  | 3904,20                           | 8375                 | 82158,750 | 21,044           |
| 4.9                         | 62,20   | 62,36 | 63,33  | 3878,79                           | 8050                 | 78970,500 | 20,360           |
| 4.10                        | 61,55   | 60,83 | 62,68  | 3744,09                           | 8975                 | 88044,750 | 23,516           |
| <b>Kuat Tekan Rata-rata</b> |         |       |        |                                   |                      |           | <b>21,273</b>    |
| <b>Kuat Tekan Minimum</b>   |         |       |        |                                   |                      |           | <b>18,308</b>    |

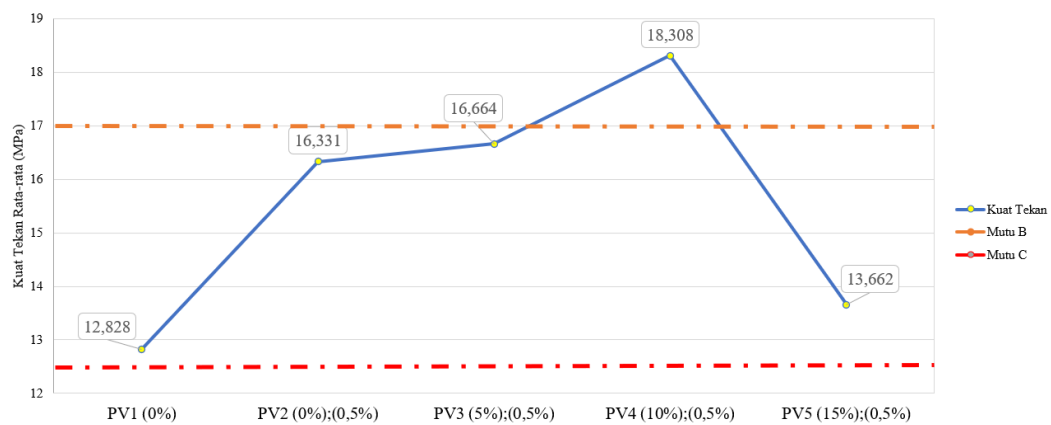
**Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Variasi 5**

| Kode Sampel                 | Dimensi |       |        | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal (kgf) | Newton    | Kuat Tekan (MPa) |
|-----------------------------|---------|-------|--------|-----------------------------------|----------------------|-----------|------------------|
|                             | Panjang | Lebar | Tinggi |                                   |                      |           |                  |
| 5.1                         | 62,49   | 63,20 | 63,80  | 3949,37                           | 5500                 | 53955,000 | 13,662           |
| 5.2                         | 63,67   | 61,26 | 61,58  | 3900,42                           | 7475                 | 73329,750 | 18,800           |
| 5.3                         | 62,14   | 63,09 | 61,49  | 3920,41                           | 6575                 | 64500,750 | 16,453           |
| 5.4                         | 62,72   | 63,24 | 62,34  | 3966,41                           | 6750                 | 66217,500 | 16,695           |
| 5.5                         | 63,95   | 60,58 | 61,56  | 3874,09                           | 5675                 | 55671,750 | 14,370           |
| 5.6                         | 63,17   | 61,92 | 62,52  | 3911,49                           | 7625                 | 74801,250 | 19,123           |
| 5.7                         | 63,22   | 61,72 | 62,94  | 3901,94                           | 7250                 | 71122,500 | 18,227           |
| 5.8                         | 60,92   | 60,76 | 63,75  | 3701,50                           | 5537,5               | 54322,875 | 14,676           |
| 5.9                         | 63,08   | 63,56 | 63,52  | 4009,36                           | 7425                 | 72839,250 | 18,167           |
| 5.10                        | 62,41   | 62,22 | 61,08  | 3883,15                           | 6125                 | 60086,250 | 15,474           |
| <b>Kuat Tekan Rata-rata</b> |         |       |        |                                   |                      |           | <b>16,565</b>    |
| <b>Kuat Tekan Minimum</b>   |         |       |        |                                   |                      |           | <b>13,662</b>    |

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian uji kuat tekan yang ada di atas, kemudian dapat dilakukan pembuatan grafik nilai kuat tekan rata-rata dan grafik nilai kuat tekan minimum yang dapat dilihat pada gambar 5.3 dan gambar 5.4 berikut.



**Gambar 5. 3 Grafik Nilai Kuat Tekan Rata-rata**



**Gambar 5. 4 Grafik Nilai Kuat Tekan Minimum**

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang dilakukan, mendapatkan grafik rata-rata, dan grafik minimum hasil pengujian kuat tekan, maka dapat dilakukan klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1966 yang dapat dilihat pada tabel 5.24 di bawah ini.

**Tabel 5. 24 Klasifikasi Mutu Kuat Tekan *Paving block***

| Variasi | Limbah Gypsum (%) | Sika Cim (%) | Kuat Tekan Rata-rata (Mpa) | Kuat Tekan Minimum (Mpa) | Standar SNI 03-0691-1996 |                          |                            | Fungsi Paving Block |
|---------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|
|         |                   |              |                            |                          | Mutu                     | Kuat Tekan Minimum (MPa) | Kuat Tekan Rata-rata (Mpa) |                     |
| PV1     | 0                 | 0            | 15,112                     | 12,828                   | C                        | 12,50                    | 15                         | Pejalan Kaki        |
| PV2     | 0                 | 0,5%         | 17,934                     | 16,331                   | C                        | 12,50                    | 15                         | Pejalan Kaki        |
| PV3     | 5                 | 0,5%         | 19,846                     | 16,664                   | C                        | 12,50                    | 15                         | Pejalan Kaki        |
| PV4     | 10                | 0,5%         | 21,273                     | 18,308                   | B                        | 17,00                    | 20                         | Peralatan Parkir    |
| PV5     | 15                | 0,5%         | 16,565                     | 13,662                   | C                        | 12,50                    | 15                         | Pejalan kaki        |

Hasil pengujian kuat tekan *paving block* sesuai pada Tabel 5.24 diperoleh nilai rata-rata kuat tekan benda uji pada variasi PV1 sebesar 15,112 MPa sehingga masuk ke dalam kategori mutu C sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-0691-1996 mengenai standar mutu *Paving block*. Hasil pengujian benda uji *paving block* variasi PV2 dengan penambahan SikaCim 0,5% mengalami kenaikan kuat tekan dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 17,934 MPa yang memenuhi kategori mutu C. Variasi PV3 masih mengalami kenaikan kuat tekan dengan substitusi 5% limbah *gypsum* terhadap semen, dan penambahan SikaCim sebesar 0,5% mendapatkan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 19,846 MPa yang memenuhi kategori mutu C. Variasi PV4 juga masih mengalami kenaikan kuat tekan dengan substitusi 10% limbah *gypsum* terhadap semen, dan penambahan SikaCim 0,5% nilai rata-rata kuat tekan yang didapat sebesar 21,273 MPa yang memenuhi kategori mutu B. Pada variasi PV 5 dengan substitusi 15% limbah *gypsum* dan penambahan 0,5% SikaCim mengalami penurunan kuat tekan dengan nilai kuat tekan rata-rata 16,565 MPa yang memenuhi kategori C. Peningkatan terbesar terdapat pada Variasi PV4 dengan kadar substitusi limbah *gypsum* sebesar 10% dan penambahan SikaCim sebesar 0,5% dengan nilai kuat tekan sebesar 21,273 MPa atau meningkat 41% dari *paving block* normal.

Adanya kenaikan nilai kuat tekan dari variasi PV1 ke PV2 dapat dipicu oleh dampak dari water-reducing agent yang sifatnya superplasticizer terdapat dalam SikaCim *Concrete Additive* digunakan sebagai bahan tambah pada penelitian ini

dengan cara kerja melapisi partikel semen sehingga menghasilkan gaya tolak (repulsion) (PT.Sika Indonesia,2022), sehingga partikel semen akan saling tolak menolak, menyebar, menyempurnakan kelekatan antar partikel dan meminimalisir terjadinya penggumpalan antar partikel. Selain kenaikan yang terjadi pada PV1 ke PV2 , kenaikan juga terjadi pada PV3 dan PV4 yang memakai bahan substitusi 5%, dan 10% limbah *gypsum* terhadap semen pada PV3 dan PV4 dengan tetap menggunakan SikaCim sebagai bahan tambah sebesar 0,5%. Sedangkan kenaikan pada PV3 dan PV4 dapat dipicu oleh substitusi yang dilakukan dengan mengurangi Semen dan digantikan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi. limbah *gypsum* dalam bentuk serbuk memiliki sifat bila terkena air akan berbentuk kristal-kristal (Lewry, A. J., dan Williamson. J,1994). Secara fungsi, *gypsum* juga sangat penting dalam industri semen karena berperan utama sebagai pengatur waktu ikat (setting time) semen, mencegah proses hidrasi yang terlalu cepat, Kristal pada *gypsum* yang berbentuk jarum disebut ettringite. Ettringite memblokir air dari permukaan C3A (Triokalsium Aluminat) yang terdapat pada semen (Muhammad Nugraha, 2008). Sehingga menunda hidrasi, selanjutnya pori-pori akan lebih padat lagi, dan diatasi oleh dua sifat terdapat pada semen dan SikaCim *Concrete Additive*. Calcium Silicate Hydrate ( $C - S - H$ ) yang terdapat pada semen menghasilkan Gel  $C - S - H$  yang terbentuk dari hidrasi semen (Widojoko, L., 2010) yang akan mengisi pori-pori di antara partikel semen dan kristal *gypsum* ,dan Penyempurnaan oleh SikaCim yang bekerja menyebarkan partikel semen dan kristal *gypsum* lebih merata dan saling merapat, menghasilkan partikel satu sama lain semakin dekat dan padat, dengan meminimalisir terjadinya gumpalan. *gypsum* juga berfungsi sebagai setting time yang memperlambat hidrasi pada saat pencampuran, efeknya akan menyempurnakan kerja SikaCim dalam kerjanya, memberikan waktu untuk partikel menyebar secara merata, menjadikan bahan uji *paving block* memiliki kerekatan dan kepadatan lebih maksimal.

Penurunan pada PV 5 bisa diakibatkan dengan berlebihnya kadar *gypsum* yang di substitusikan yakni 15% dari berat semen, juga berakibat semen berkurang 15% dari seharusnya. Berlebihnya *gypsum* cenderung menurunkan kuat tekan

beton akibat porositas yang meningkat. Hal ini karena *gypsum* menyerap air tinggi sehingga mengurangi air untuk hidrasi semen dan dapat menghambat reaksi hidrasi semen sehingga menurunkan kekuatan mekanik beton (Rambe, dkk). mengakibatkan kerusakan antar partikel karena adanya kandungan *gypsum* terlalu tinggi. Akibat banyaknya partikel kristal dari limbah *gypsum* berakibatkan semen dan SikaCim tidak bisa bekerja dengan maksimal, mengakibatkan banyaknya pori yang tidak tertutup.

#### 5.4.2 Ketahanan Aus *Paving block*

Untuk melakukan pengujian ketahanan aus pada *paving block*, *paving block* harus dipotong menjadi bentuk kubus dengan dimensi 5 cm × 5 cm × 2 cm sesuai dengan SNI 03-0691-1996 Jumlah benda uji yang digunakan pada pengujian ketahanan aus yaitu 5 buah pada setiap variasi. Contoh analisis perhitungan benda uji ketahanan aus *paving block* sampel 1.4 dengan kandungan limbah *gypsum* 0% sebagai substitusi semen adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat awal} = 140,21 \text{ gram}$$

$$\text{Berat akhir} = 139,61 \text{ gram}$$

$$\text{Lama pengujian} = 3 \text{ menit}$$

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

$$= \frac{140,21 - 139,61}{3}$$

$$= 0,200 \text{ gram/menit}$$

$$\text{Ketahanan aus (D)} = 1,2 \times G + 0,0246$$

$$= 1,2 \times 0,200 + 0,0246$$

$$= 0,265 \text{ mm/menit}$$

Setelah mendapatkan seluruh nilai ketahanan aus *paving block* pada variasi 1, kemudian menghitung rata-rata ketahanan aus pada variasi tersebut. Perhitungan rata-rata ketahanan aus pada variasi 1 adalah sebagai berikut.

$$\text{Ketahanan aus (D) rata-rata} = \frac{0,185+0,201+0,217+0,265+0,197}{5}$$

$$= 0,213 \text{ mm/menit}$$

Berikut adalah hasil analisis data yang didapatkan pada pengujian ketahanan aus, dimulai dari tabel 5.25 sampai dengan tabel 5.29 dengan total 5 variasi. Hasil analisis pengujian data adalah sebagai berikut.

**Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving block* Variasi 1**

| Kode Sampel            | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                        | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 1.1                    | 144,11      | 143,71       | 0,40           | 3             | 0,133                         | 0,185              |
| 1.2                    | 151,31      | 150,87       | 0,44           | 3             | 0,147                         | 0,201              |
| 1.3                    | 137,87      | 137,39       | 0,48           | 3             | 0,160                         | 0,217              |
| 1.4                    | 140,21      | 139,61       | 0,60           | 3             | 0,200                         | 0,265              |
| 1.5                    | 141,61      | 141,18       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |             |              |                |               |                               | <b>0,213</b>       |
| <b>Nilai Maksimum</b>  |             |              |                |               |                               | <b>0,265</b>       |

**Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving block* Variasi 2**

| Kode Sampel            | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                        | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 2.1                    | 116,43      | 116,22       | 0,21           | 3             | 0,070                         | 0,109              |
| 2.2                    | 124,25      | 123,92       | 0,33           | 3             | 0,110                         | 0,157              |
| 2.3                    | 124,37      | 123,97       | 0,40           | 3             | 0,133                         | 0,185              |
| 2.4                    | 136,09      | 135,59       | 0,50           | 3             | 0,167                         | 0,225              |
| 2.5                    | 129,88      | 129,36       | 0,52           | 3             | 0,173                         | 0,233              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |             |              |                |               |                               | <b>0,181</b>       |
| <b>Nilai Maksimum</b>  |             |              |                |               |                               | <b>0,233</b>       |

**Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving block* Variasi 3**

| Kode Sampel            | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                        | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 3.1                    | 115,97      | 115,63       | 0,34           | 3             | 0,113                         | 0,161              |
| 3.2                    | 143,81      | 143,42       | 0,39           | 3             | 0,130                         | 0,181              |
| 3.3                    | 133,24      | 132,81       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| 3.4                    | 107,68      | 107,42       | 0,26           | 3             | 0,087                         | 0,129              |
| 3.5                    | 139,16      | 138,85       | 0,31           | 3             | 0,103                         | 0,149              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |             |              |                |               |                               | <b>0,163</b>       |
| <b>Nilai Maksimum</b>  |             |              |                |               |                               | <b>0,197</b>       |

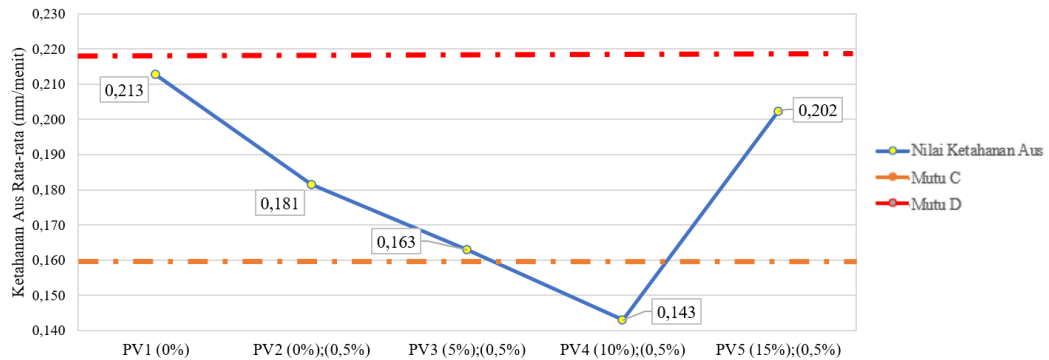
**Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving block* Variasi 4**

| Kode Sampel            | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                        | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 4.1                    | 132,28      | 132,10       | 0,18           | 3             | 0,060                         | 0,097              |
| 4.2                    | 123,16      | 122,81       | 0,35           | 3             | 0,117                         | 0,165              |
| 4.3                    | 120,04      | 119,82       | 0,22           | 3             | 0,073                         | 0,113              |
| 4.4                    | 123,22      | 122,83       | 0,39           | 3             | 0,130                         | 0,181              |
| 4.5                    | 111,96      | 111,62       | 0,34           | 3             | 0,113                         | 0,161              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |             |              |                |               |                               | <b>0,143</b>       |
| <b>Nilai Maksimum</b>  |             |              |                |               |                               | <b>0,181</b>       |

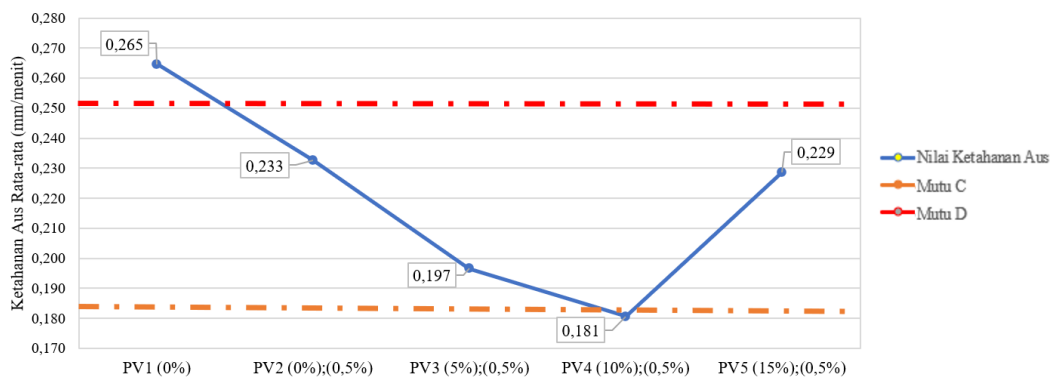
**Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving block* Variasi 5**

| Kode Sampel            | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                        | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 5.1                    | 125,73      | 125,22       | 0,51           | 3             | 0,170                         | 0,229              |
| 5.2                    | 150,46      | 149,96       | 0,50           | 3             | 0,167                         | 0,225              |
| 5.3                    | 126,29      | 125,92       | 0,37           | 3             | 0,123                         | 0,173              |
| 5.4                    | 121,08      | 120,67       | 0,41           | 3             | 0,137                         | 0,189              |
| 5.5                    | 137,55      | 137,12       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |             |              |                |               |                               | <b>0,202</b>       |
| <b>Nilai Maksimum</b>  |             |              |                |               |                               | <b>0,229</b>       |

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas pada pengujian ketahanan aus kemudian didapatkan grafik nilai ketahanan aus rata-rata dan nilai ketahanan aus maksimum, grafik dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.6 berikut



**Gambar 5. 5 Grafik Nilai Ketahanan Aus Rata-rata**



**Gambar 5. 6 Grafik Nilai Ketahanan Aus Maksimum**

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, grafik rata-rata, dan grafik maksimum pengujian ketahanan aus, maka dapat dilakukan klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996. Berikut adalah klasifikasi yang didapat, tabel 5.30 adalah sebagai berikut.

**Tabel 5. 30 Rekapitulasi Mutu Ketahanan Aus *Paving block***

| Variasi | Limbah Gypsum (%) | Sika Cim (%) | Ketahanan Aus (mm/menit) |       | Standar SNI 03-0691-1996 (mm/menit) |                               |                                    | Fungsi Paving Block       |
|---------|-------------------|--------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
|         |                   |              | Rata-rata                | maks. | Mutu                                | Ketahanan Aus maks (mm/menit) | Ketahanan Aus Rata-rata (mm/menit) |                           |
| PV1     | 0                 | 0            | 0,213                    | 0,265 | D                                   | 0,251                         | 0,219                              | Taman dan Penggunaan Lain |
| PV2     | 0                 | 0,5%         | 0,181                    | 0,233 | D                                   | 0,251                         | 0,219                              | Taman dan Penggunaan Lain |
| PV3     | 5                 | 0,5%         | 0,163                    | 0,197 | D                                   | 0,251                         | 0,219                              | Taman dan Penggunaan Lain |
| PV4     | 10                | 0,5%         | 0,143                    | 0,181 | C                                   | 0,184                         | 0,160                              | Pejalan Kaki              |
| PV5     | 15                | 0,5%         | 0,202                    | 0,229 | D                                   | 0,251                         | 0,219                              | Taman dan Penggunaan Lain |

Hasil pengujian ketahanan aus *paving block* sesuai pada Tabel 5.30 diperoleh nilai rata-rata ketahanan aus benda uji pada variasi PV1 sebesar 0,213 mm/menit sehingga masuk ke dalam kategori mutu D sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03 0691-1996 mengenai standar mutu *paving block*. Hasil pengujian benda uji *paving block* variasi PV2 dengan penambahan SikaCim 0,5% mengalami penurunan ketahanan aus dengan nilai rata-rata ketahanan aus sebesar 0,181 mm/menit yang memenuhi kategori mutu D. Variasi PV3 masih mengalami penurunan ketahanan aus dengan nilai rata-rata ketahanan aus sebesar 0,163 mm/menit yang memenuhi kategori mutu D. Variasi PV4 masih mengalami penurunan ketahanan aus dengan nilai rata-rata ketahanan aus sebesar 0,143 mm/menit yang memenuhi kategori mutu C. Variasi PV5 mulai mengalami peningkatan ketahanan aus dengan nilai rata-rata ketahanan aus sebesar 0,229 mm/menit yang memenuhi kategori mutu D. Penurunan terbesar terdapat pada variasi PV4 dengan kadar limbah *gypsum* 10% dengan nilai ketahanan aus sebesar 0,143mm/menit atau menurun 32,7% dari *paving block* normal. Kenaikan nilai ketahanan aus menandakan penurunan kualitas *paving block*, sedangkan penurunan nilai ketahanan aus menandakan peningkatan kualitas *paving block*.

Penurunan nilai ketahanan aus ini bisa disebabkan oleh limbah *gypsum* sebagai pengganti semen yang tidak berlebihan. Dengan menggunakan limbah

*gypsum* dan SikaCim dalam proporsi yang tepat, porositas atau ruang kosong pada *paving block* dapat terisi dengan baik karena partikel limbah *gypsum* ini memiliki ukuran yang sangat halus (lolos saringan 200 mesh / 0,075 mm.), sehingga dapat menjadi pengisi antara partikel-partikel semen tanpa membentuk ikatan tambahan yang tidak diinginkan, yang disempurnakan lagi oleh kerja SikaCim *Concrete additive*. Penurunan nilai ketahanan aus pada *paving block* tidak terjadi secara terus menerus seiring dengan variasi yang lebih besar, melainkan hanya mencapai nilai ketahanan aus optimum pada *paving block* dengan variasi PV4.

Setelah mencapai nilai ketahanan aus terendah pada variasi PV4, terjadi peningkatan nilai ketahanan aus pada variasi PV5. Peningkatan nilai ketahanan aus pada variasi PV5 dapat disebabkan oleh penggunaan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen yang berlebihan. Akibat banyaknya partikel kristal dari limbah *gypsum* berakibatkan semen dan SikaCim tidak bisa bekerja dengan maksimal, mengakibatkan banyaknya pori yang tidak tertutup. Dengan demikian ini memudahkan proses keausan *paving block*, sehingga nilai keausan *paving block* meningkat.

#### 5.4.3 Penyerapan Air *Paving block*

Benda uji yang digunakan pada pengujian penyerapan air *paving block* adalah dengan ukuran standar 20 cm × 10 cm × 6 cm tanpa pemotongan. Jumlah benda uji *paving block* yang digunakan pada pengujian ini adalah 5 buah dalam setiap variasinya, contoh analisis perhitungan benda uji penyerapan air *paving block* sampel variasi 1.1 dengan kandungan limbah *gypsum* dan SikaCim masing masing 0 %, dan 0%, berikut adalah uraiannya.

Berat basah = 2528 gram

Berat kering = 2365 gram

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\% \\ &= \frac{252 - 2365}{2365} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 6,892 \%$$

Setelah mendapatkan seluruh nilai penyerapan air *paving block* pada variasi 1, Langkah selanjutnya adalah menghitung rata-rata penyerapan air pada variasi selanjutnya. Perhitungan rata-rata penyerapan air variasi 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{ Nilai Penyerapan Air}}{\text{Jumlah Sampel}} \\ &= \frac{6,892+10,656+12,928+10,425+8,163}{5} \\ &= 9,813\% \end{aligned}$$

Hasil pengujian penyerapan air dapat dilihat pada tabel 5.31 sampai dengan tabel 5.35 sebagai berikut

**Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* Variasi 1**

| Kode Sampel            | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1.1                    | 2528               | 2365                | 6,892              |
| 1.2                    | 2513               | 2271                | 10,656             |
| 1.3                    | 2673               | 2367                | 12,928             |
| 1.4                    | 2627               | 2379                | 10,425             |
| 1.5                    | 2650               | 2450                | 8,163              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |                    |                     | <b>9,813</b>       |

**Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* Variasi 2**

| Kode Sampel            | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 2.1                    | 2568               | 2355                | 9,045              |
| 2.2                    | 2463               | 2260                | 8,982              |
| 2.3                    | 2531               | 2325                | 8,860              |
| 2.4                    | 2452               | 2263                | 8,352              |
| 2.5                    | 2546               | 2343                | 8,664              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |                    |                     | <b>8,781</b>       |

**Tabel 5. 33 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* Variasi 3**

| Kode Sampel            | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 3.1                    | 2598               | 2420                | 7,355              |
| 3.2                    | 2598               | 2393                | 8,567              |
| 3.3                    | 2636               | 2438                | 8,121              |
| 3.4                    | 2509               | 2395                | 4,760              |
| 3.5                    | 2576               | 2301                | 11,951             |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |                    |                     | <b>8,151</b>       |

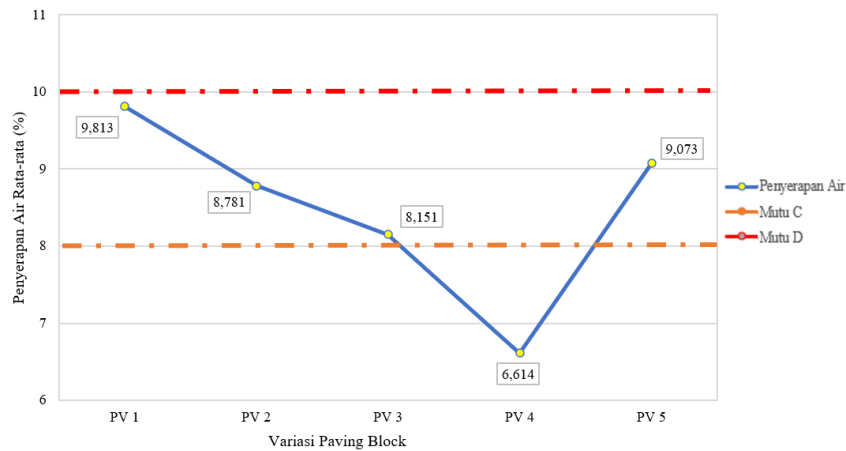
**Tabel 5. 34 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* Variasi 4**

| Kode Sampel            | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 4.1                    | 2676               | 2512                | 6,529              |
| 4.2                    | 2694               | 2527                | 6,609              |
| 4.3                    | 2664               | 2497                | 6,688              |
| 4.4                    | 2598               | 2438                | 6,563              |
| 4.5                    | 2682               | 2514                | 6,683              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |                    |                     | <b>6,614</b>       |

**Tabel 5. 35 Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving block* Variasi 5**

| Kode Sampel            | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 5.1                    | 2756               | 2528                | 9,019              |
| 5.2                    | 2731               | 2504                | 9,065              |
| 5.3                    | 2710               | 2483                | 9,142              |
| 5.4                    | 2652               | 2432                | 9,046              |
| 5.5                    | 2759               | 2529                | 9,095              |
| <b>Nilai Rata-Rata</b> |                    |                     | <b>9,073</b>       |

Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil pengujian penyerapan air di atas kemudian didapat grafik nilai penyerapan air rata-rata yang dapat dilihat pada gambar 5.7 sebagai berikut.



**Gambar 5. 7 Grafik Nilai Penyerapan Air Rata-rata**

Berdasarkan grafik nilai penyerapan air dapat dilakukan klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada tabel 5.36 berikut

**Tabel 5. 36 Rekapitulasi Mutu Penyerapan Air *Paving block***

| Variasi | Limbah Gypsum (%) | Sika Cim (%) | Penyerapan Air rata-rata | Syarat SNI 03-0961-1996 |                 | Fungsi                    |
|---------|-------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|
|         |                   |              |                          | Mutu                    | Rata-rata maks. |                           |
| PV1     | 0                 | 0            | 9,813                    | D                       | 10              | Taman dan Penggunaan lain |
| PV2     | 0                 | 0,5%         | 8,781                    | D                       | 10              | Taman dan Penggunaan lain |
| PV3     | 5                 | 0,5%         | 8,151                    | D                       | 10              | Taman dan Penggunaan lain |
| PV4     | 10                | 0,5%         | 6,614                    | C                       | 8               | Pejalan Kaki              |
| PV5     | 15                | 0,5%         | 9,073                    | D                       | 10              | Taman dan Penggunaan lain |

Hasil pengujian penyerapan air *paving block* sesuai pada Tabel 5.36 diperoleh nilai rata-rata penyerapan air benda uji pada variasi PV1 sebesar 9,813% sehingga masuk ke dalam kategori mutu D sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03 0691-1996 mengenai standar mutu *paving block*. Hasil pengujian benda uji *paving block* variasi PV2 dengan penambahan SikaCim concrete additive 0,5% mengalami penurunan penyerapan air dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 8,781% yang memenuhi kategori mutu D. Variasi PV3 dengan substitusi limbah *gypsum* dan

penambahan SikaCim *Concrete Additive* masih mengalami penurunan penyerapan air dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 8,151% yang memenuhi kategori mutu D. Variasi PV4 masih mengalami penurunan penyerapan air dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 6,614% yang memenuhi kategori mutu C. Variasi PV5 mulai mengalami peningkatan penyerapan air dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 9,073% yang memenuhi kategori mutu D. Penurunan terbesar terdapat pada variasi PV4 dengan kadar substitusi limbah *gypsum* 10% dan penambahan SikaCim *Concrete Additive* yaitu menurun 32,597% dari *paving block* normal (PV1). Peningkatan nilai penyerapan air menandakan penurunan kualitas *paving block*, sedangkan penurunan nilai penyerapan air menandakan peningkatan kualitas *paving block*.

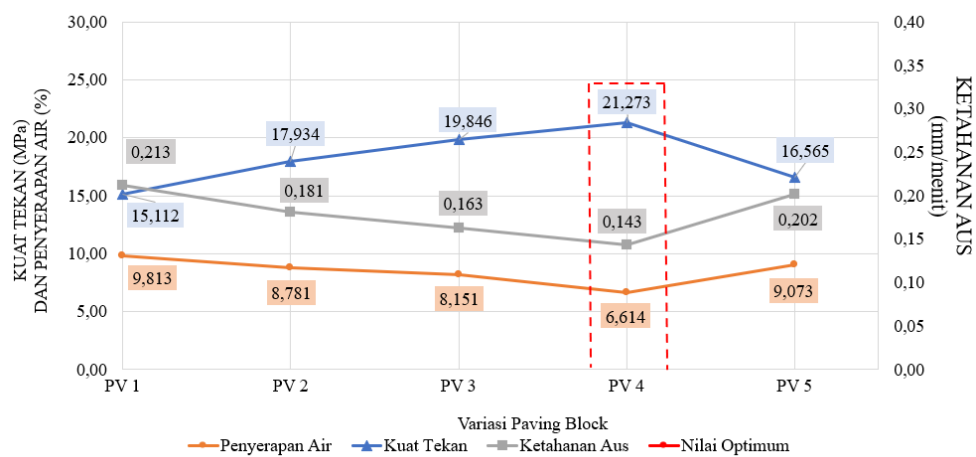
Pada *paving block* normal PV1, nilai penyerapan air rata-rata mencapai 9,813%, yang merupakan angka tertinggi dibandingkan dengan penyerapan air rata-rata *paving block* yang menggunakan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen dan SikaCim *Concrete Additive* sebagai bahan tambah. Hal tersebut dapat terjadi karena tanpa adanya limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen, mengakibatkan porositas atau ruang kosong pada *paving block* tetap besar. Dalam kondisi tersebut, ikatan antara material hanya terjadi antara semen, pasir dan batu. Karena tidak ada substitusi limbah *gypsum* dan penambahan SikaCim *Concrete Additive*, mengakibatkan ruang kosong di dalam *paving block* tidak terisi dengan padat, sehingga *paving block* memiliki kemampuan penyerapan air yang tinggi. Penurunan nilai penyerapan air pada variasi PV2 disebabkan oleh water-reducing agent yang sifatnya superplasticizer terdapat dalam SikaCim *Concrete Additive* digunakan sebagai bahan tambah pada penelitian ini dengan cara kerja melapisi partikel semen sehingga menghasilkan gaya gaya tolak (repulsion) (PT.Sika Indonesia, 2022) yang menjadi bahan tambah sebesar 0,5% pada penelitian ini. Sehingga kerapatan akan lebih maksimal karena partikel semen tersebar secara lebih rata dibandingkan *Paving* normal (PV1) yang menjadikan pori pada PV2 lebih sedikit, sehingga penyerapan air akan lebih kecil. Sedangkan penurunan yang terjadi pada PV3 dan PV4 disebabkan oleh adanya limbah *gypsum*, dan berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel semen karena ukurannya yang sangat kecil

(lolos saringan 200 mesh / 0,075 mm). Akibatnya, porositas atau ruang kosong dalam *paving block* berkurang, sehingga membuat *paving block* lebih kedap terhadap air. Akibatnya, nilai penyerapan air *paving block* menurun. Selain berperan sebagai pengisi antar partikel limbah *gypsum* juga memberikan tambahan kegunaan yaitu berperan utama sebagai pengatur waktu ikat (*setting time*) semen, mencegah proses hidrasi yang terlalu cepat (Muhammad Nugraha, 2008). Efeknya akan menyempurnakan kerja SikaCim dalam kerjanya, yang juga terdapat pada PV3 dan PV4. Memberikan waktu untuk partikel menyebar secara merata, menjadikan bahan uji *paving block* memiliki kerekatan dan kepadatan lebih maksimal dan minimnya penyerapan.

Penurunan nilai kuat tekan *paving block* tidak terjadi secara terus menerus seiring dengan variasi yang lebih besar, melainkan hanya mencapai nilai penyerapan air terendah pada *paving block* dengan variasi PV4. Setelah mencapai nilai penyerapan air terendah pada variasi PV4, terjadi peningkatan nilai penyerapan air pada variasi PV5. Peningkatan nilai penyerapan air pada variasi PV5 dapat disebabkan oleh penggunaan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen yang berlebihan. Penggunaan limbah *gypsum* yang terlalu banyak cenderung menurunkan kuat tekan beton akibat porositas yang meningkat. Hal ini karena *gypsum* menyerap air tinggi sehingga mengurangi air untuk hidrasi semen dan dapat menghambat reaksi hidrasi semen sehingga menurunkan kekuatan mekanik beton (Rambe, dkk) mengakibatkan kerusakan antar partikel karena adanya kandungan *gypsum* terlalu tinggi. Akibat banyaknya partikel kristal dari limbah *gypsum* berakibatkan semen dan SikaCim tidak bisa bekerja dengan maksimal, mengakibatkan banyaknya pori yang tidak tertutup, pembentukan partikel kristal dari limbah *gypsum* dalam jumlah besar berakibatkan semen dan SikaCim tidak bisa bekerja dengan maksimal, mengakibatkan banyaknya pori yang tidak tertutup dan nilai penyerapan juga meningkat.

#### 5.4.4 Pengaruh Serbuk Limbah *Gypsum* Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen dan SikaCim *Concrete Additive* Sebagai Bahan Tambah Terhadap Mutu *Paving block*

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh mutu *paving block* yang ditentukan melalui pengujian kuat tekan, ketahanan aus, serta penyerapan air pada setiap variasi campuran. Rekapitulasi lengkap dari hasil pengujian tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5. 8 Grafik Rekapitulasi Pengujian *Paving block***

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan beserta hasil yang diperoleh, diketahui bahwa pemanfaatan limbah *gypsum* sebagai bahan substitusi sebagian semen dan SikaCim *Concrete Additive* sebagai bahan tambah pada *paving block* memberikan pengaruh terhadap mutu *paving block*. Pengujian tersebut meliputi uji kuat tekan, ketahanan aus, dan daya serap air.

Secara umum, peningkatan nilai kuat tekan pada *paving block* berbanding terbalik dengan nilai penyerapan airnya, di mana semakin tinggi kuat tekan maka semakin rendah daya serap air. Hubungan tersebut dapat diamati pada grafik hasil pengujian *paving block* diatas yang menunjukkan korelasi antara kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air.

Tanpa menggunakan limbah *gypsum* sebagai substitusi sebagian semen, dan SikaCim *Concrete additive paving block* akan memiliki porositas atau ruang kosong yang besar. Selain itu, ikatan yang terbentuk hanya antara pasir, batu dan semen. limbah *gypsum*, yang juga digunakan sebagai bahan semen. berfungsi sebagai pengganti sebagian semen karena, limbah *gypsum* bertindak sebagai pengisi antara partikel pembentuk semen karena ukurannya yang halus. Hal ini mengakibatkan berkurangnya porositas atau ruang kosong dalam *paving block* yang membuatnya lebih padat, sehingga menyebabkan kekuatan *paving block* meningkat. Selain pengisi antar partikel, limbah *gypsum* sangat penting dalam industri semen karena berperan utama sebagai pengatur waktu ikat (*setting time*) semen, mencegah proses hidrasi yang terlalu cepat (Muhammad Nugraha, 2008). Sedangkan SikaCim *Concrete additive* berperan sebagai bahan tambah disini berfungsi sebagai water-reducing agent yang sifatnya superplasticizer terdapat dalam SikaCim *Concrete Additive* melapisi partikel semen sehingga menghasilkan gaya tolak (*repulsion*) (PT.Sika Indonesia, 2022), sehingga partikel semen dan *gypsum* akan saling tolak menolak, menyebar, menyempurnakan kelekatan antar partikel dan meminimalisir terjadinya penggumpalan antar partikel, akibatnya nilai kuat tekan *paving block* meningkat dan penyerapan air menurun sampai mencapai nilai optimum pada *paving block* dengan variasi PV4.

Setelah mencapai nilai kuat tekan optimum pada *paving block* dengan variasi PV4, terjadi penurunan nilai kuat tekan pada *paving block* dengan variasi Semakin banyak limbah *gypsum* yang digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan *paving block*, maka partikel kristal yang menyatu dengan material-material penyusun *paving block* juga semakin tinggi. Partikel kristal berlebih yang menyatu dengan material-material penyusun *paving block* ini dapat menyebabkan kerusakan pada material. Reaksi ini terjadi ketika kandungan kristal dengan semen mengalami hidrasi, kandungan kristal pada *gypsum* yang terlalu banyak mengakibatkan terjadinya penghalang pada saat proses hidrasi, mengakibatkan tidak sempurnanya proses hidrasi dan banyaknya porositas akibat dari proses hidrasi yang terhalang. Berlebihannya *gypsum* cenderung menurunkan kuat tekan beton akibat porositas yang meningkat. Hal ini karena *gypsum* menyerap

air tinggi sehingga mengurangi air untuk hidrasi semen dan dapat menghambat reaksi hidrasi semen sehingga menurunkan kekuatan mekanik beton (Imani dkk, 2020). mengakibatkan kerusakan antar partikel karena adanya kandungan *gypsum* terlalu tinggi. Akibat banyaknya partikel kristal dari limbah *gypsum* berakibatkan semen dan SikaCim tidak bisa bekerja dengan maksimal, mengakibatkan banyaknya pori yang tidak tertutup.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air *paving block* didapatkan nilai optimum pada variasi yang sama yaitu paving pada variasi PV4 dengan kadar substitusi limbah *gypsum* 10% dan kadar penambahan SikaCim *Concrete Additive* 0,5%. Rekapitulasi klasifikasi mutu *paving block* dengan limbah *gypsum* sebagai substitusi sebagian semen berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada Tabel 5.37 sebagai berikut.

**Tabel 5. 37 Klasifikasi Mutu *Paving block***

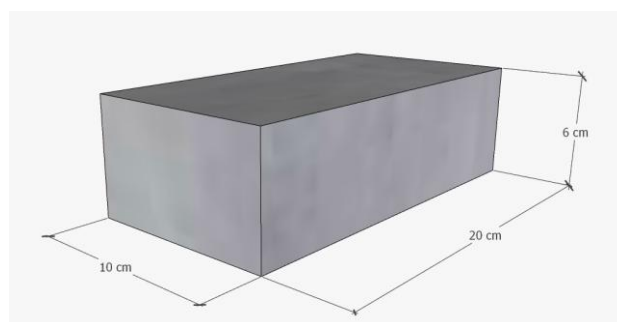
| Variasi     | Limbah <i>Gypsum</i> (%) | SikaCim (%) | Klasifikasi Mutu <i>Paving block</i> |               |                |
|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------------------|---------------|----------------|
|             |                          |             | Kuat Tekan                           | Ketahanan Aus | Penyerapan Air |
| PV 1        | 0                        | 0           | C                                    | D             | D              |
| PV 2        | 0                        | 0,5         | C                                    | D             | D              |
| PV 3        | 5                        | 0,5         | C                                    | D             | D              |
| <b>PV 4</b> | <b>10</b>                | <b>0,5</b>  | <b>B</b>                             | <b>C</b>      | <b>C</b>       |
| PV 5        | 15                       | 0,5         | C                                    | D             | D              |

Dapat dilihat pada Tabel 5.37 rekapitulasi mutu *paving block* menunjukkan bahwa kadar variasi substitusi limbah *gypsum* dan kadar penambahan SikaCim *Concrete Additive* mempengaruhi klasifikasi mutu yang dihasilkan oleh *paving block*. Mutu tertinggi yang dihasilkan berdasarkan pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air terdapat pada variasi PV4 dengan kandungan limbah *gypsum* 10% dan kadar penambahan SikaCim *Concrete Additive* 0,5% sebagai substitusi sebagian semen dan bahan tambah yaitu pengujian kuat tekan mencapai mutu B, pengujian ketahanan aus mencapai mutu C, dan pengujian penyerapan air mencapai mutu C, sehingga *paving block* dapat dinyatakan memenuhi mutu C yang merupakan mutu terendah dari variasi PV4 yang dapat digunakan untuk pejalan

kaki dan penggunaan lainnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan limbah *gypsum* yang tepat dan penambahan *SikaCim Concrete Additive* juga tepat. Tidak berlebihan sebagai substitusi sebagian semen dan bahan tambah pada *paving block*. Dengan demikian, tidak terjadi reaksi penggumpalan dari limbah *gypsum* dan semen dan juga hidrasi yang berlebihan yang dapat menurunkan mutu *paving block*.

### 5.5 Biaya Bahan Baku

Biaya bahan baku adalah biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh bahan baku yang dipergunakan dalam proses untuk memproduksi suatu produk sebagai obyek biayanya, seperti biaya papan dasar, dan biaya material yang digunakan (Nainggolan & Patimah, 2020) Pada dasarnya ini sangat berguna dalam penggunaan khalayak umum karena harga adalah nilai dari suatu barang atau jasa yang diungkapkan dalam bentuk uang, yang merupakan unsur penting dalam pemasaran dan pemasukan perusahaan (Samsul Ramli, 2013). Menjadi salah satu alasan yang kuat untuk pemilihan konsumen maupun pelaku usaha, baik pemilihan jenis Paving, dan juga bahan baku. Pada penelitian ini *paving block* yang diproduksi adalah Jenis *Holland* yang berdimensi 20 cm×10 cm×6 cm. gambar bisa dilihat pada Gambar 5.9 dibawah



**Gambar 5. 9 Dimensi *Paving block***

Pada penelitian terdapat bahan baku, bahan substitusi, dan bahan tambah yang terdapat pada produksi *paving block* diantaranya pasir, kerikil, semen, limbah *gypsum*, dan *SikaCim Concrete additive*. Pada semua bahan di dapatkan perhitungan sebagai berikut.

### 5.5.1 Pasir

Pasir pada penelitian ini berasal dari sungai progo, dibeli langsung dari warga setempat yang juga menjadi penambangnya. Harga yang didapat adalah Rp. 250.000 dalam 1 bak mobil. Untuk mencari biaya bahan baku dalam 1 buah *paving block* didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Bak Mobil} &= P \times L \times T \\
 &= 2,63 \times 1,6 \times 0,31 \\
 &= 1,304 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat volume gembur pasir} &= 1,521 \text{ gram/cm}^3 \approx 1521 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Berat Total} &= \text{Volume Bak Mobil} \times \text{Berat volume gembur pasir} \\
 &= 1,304 \times 1521 \\
 &= 1984,11 \text{ kg} \\
 \text{Harga pasir} &= \text{Rp. } 250.000,00 \\
 \text{Harga pasir /kg} &= \frac{\text{Harga Pasir}}{\text{Berat Total}} \\
 &= \frac{\text{Rp } 250.000}{1984,11} \\
 &= \text{Rp. } 126,00 \\
 \text{Kebutuhan Pasir 1 Paving block} &= 1465,62 \text{ gram} \approx 1,47 \text{ kg} \\
 \text{Biaya Bahan Baku Pasir 1 Paving block} &= \text{Kebutuhan Pasir 1 Paving} \\
 &\quad \text{Block} \times \text{Harga pasir (Kg)} \\
 &= 1,47 \times 126 \\
 &= \text{Rp. } 184,67
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan biaya bahan baku pasir diatas didapat pada 1 buah *paving block* adalah Rp. 184,67 angka tersebut adalah kebutuhan dalam 1 buah *paving block*.

### 5.5.2 Kerikil

Kerikil pada penelitian ini berasal dari daerah celereng, dibeli langsung dari daerahnya pada tempat tersebut juga menyediakan *crusher* yang bisa memecah batu sehingga menjadi ukuran yang dipesan, dalam penelitian ini ukuran yang dipesan

adalah 1×1. Harga yang didapat adalah Rp. 150.000 dalam 1/2 bak mobil. Untuk mencari biaya bahan baku dalam 1 buah *paving block* didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Bak Mobil} &= P \times L \times T \\
 &= 2,63 \times 1,6 \times 0,31 \\
 &= 1,304/2 = 0,652 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat volume gembur kerikil} &= 1,217 \text{ gram/cm}^3 \approx 1217 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Berat Total} &= \text{Volume Bak Mobil} \times \text{Berat volume gembur} \\
 &\quad \text{Kerikil} \\
 &= 0,652 \times 1217 \\
 &= 793,78 \text{ kg} \\
 \text{Harga Kerikil} &= \text{Rp. 150.000,00} \\
 \text{Harga Kerikil / Kg} &= \frac{\text{Harga Kerikil}}{\text{Berat Total}} \\
 &= \frac{\text{Rp 150.000}}{793,78} \\
 &= \text{Rp. 188,97} \\
 \text{Kebutuhan Kerikil 1 Paving block} &= 634,6 \text{ gram} \approx 0,635 \text{ kg} \\
 \text{Biaya Bahan Baku Keriki 1 Paving block} &= \text{Kebutuhan Kerikil 1 Paving} \\
 &\quad \text{Block} \times \text{Harga Kerikil (Kg)} \\
 &= 0,635 \times 188,97 \\
 &= \text{Rp. 120,00}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan biaya bahan baku Kerikil diatas didapat pada 1 buah *paving block* adalah Rp. 120,00 angka tersebut adalah kebutuhan dalam 1 buah *paving block*.

### 5.5.3 Semen

Semen pada penelitian ini menggunakan semen merek Dynamix. Harga yang didapat adalah Rp. 52.000,00 dalam 1 sak isi 40 Kg. Untuk mencari biaya bahan baku dalam 1 buah *paving block* didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Harga 1 Sak Semen} &= \text{Rp. 52.000,00} \\
 \text{Isi 1 Sak Semen} &= 40 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Semen / Kg} &= \frac{\text{Harga Semen}}{\text{Isi 1 Sak Semen}} \\
 &= \frac{\text{Rp.52.000,00}}{40 \text{ Kg}} \\
 &= \text{Rp. 1.300,00 / Kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan Semen 1 Paving block} = 366,41 \text{ gram} \approx 0,366 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan baku Semen 1 Paving block} &= \text{Kebutuhan Semen 1 Paving} \\
 &\quad \text{Block} \times \text{Harga Semen (Kg)} \\
 &= 0,366 \times 1.300 \\
 &= \text{Rp. 476,33}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan biaya bahan baku Semen diatas didapat pada 1 buah *paving block* adalah Rp. 476,33 angka tersebut adalah kebutuhan dalam 1 buah *paving block*.

#### 5.5.4 Limbah Gypsum

Limbah *gypsum* pada penelitian ini didapatkan secara sukarela pada salah satu toko *gypsum* yang berada di Sleman, Yogyakarta. Dengan menyampaikan maksud dan tujuan, diberikanya 1 karung Serbuk *gypsum* yang sudah tidak terpakai karena beberapa sudah menggumpal dan tidak baik untuk dipakai kembali. Menurut perajin akan rapuh bila serbuk *gypsum* sudah banyak yang menggumpal.

#### 5.5.5 SikaCim Concrete Additive

SikaCim *Concrete Additive* pada penelitian ini dibeli dari salah satu akun penjualan resmi PT.Sika Indonesia yang berharga Rp. 40.000,00 untuk 1 jerigen berisi 900 ml. Untuk mencari biaya bahan baku dalam 1 buah *paving block* didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Harga 1 Jerigen SikaCim} &= \text{Rp. 40.000,00} \\
 \text{Isi 1 Jerigen SikaCim} &= 900 \text{ ml} \\
 \text{Harga SikaCim / ml} &= \frac{\text{Harga SikaCim}}{\text{Isi 1 Jerigen SikaCim}} \\
 &= \frac{\text{Rp.40.000,00}}{900 \text{ ml}} \\
 &= \text{Rp. 44,44 / ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan SikaCim 1 Paving block} &= 1,83 \text{ gram} \approx 0,00183 \text{ Kg} \\
\text{Berat Jenis SikaCim} &= 1,17 \text{ Kg/L} \\
\text{Konversi SikaCim (L)} &= \frac{\text{Berat SikaCim}}{\text{Berat Jenis SikaCim}} \\
&= \frac{0,00183}{1,17} \\
&= 0,001564 \text{ L} \approx 1,564 \text{ ml} \\
\text{Biaya Bahan Baku SikaCim 1 Paving block} &= \text{Kebutuhan SikaCim 1} \\
&\quad \text{Paving block} \times \text{Harga} \\
&\quad \text{SikaCim (ml)} \\
&= 1,564 \times 44,44 \\
&= \text{Rp. 69,52}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan biaya bahan baku SikaCim *Concrete Additive* diatas didapat pada 1 buah *paving block* adalah Rp. 69,52 angka tersebut adalah kebutuhan dalam 1 buah *paving block*.

Dari semua analisis perhitungan terhadap biaya bahan baku *paving block* yang digunakan berikut adalah hasil perhitungan total harga bahan baku yang digunakan pada 1 buah *paving block* dan perhitungan  $1\text{m}^2$  dalam variasi 3.

Harga 1 buah *Paving block* =

$$\begin{aligned}
&\text{Harga Pasir} + \text{Harga Kerikil} + \text{Harga Semen} + \text{Harga Limbah Gypsum} + \\
&\text{Harga SikaCim} = \text{Harga 1 buah Paving block}
\end{aligned}$$

Harga 1 buah *Paving block* =

$$\begin{aligned}
&= \text{Rp. 184,67} + \text{Rp. 120,00} + \text{Rp. 425,51} + \text{Rp. 0,00} + \text{Rp. 69,52} \\
&= \text{Rp. 826,70}
\end{aligned}$$

Perhitungan Luas *Paving block*.

$$\text{Panjang Paving block} = 20 \text{ cm} \approx 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Paving block} = 10 \text{ cm} \approx 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Luas Paving block} = P \times L$$

$$= 0,2 \times 0,1$$

$$= 0,02 \text{ m}^2$$

Pehitungan kebutuhan *Paving block* pada  $1 \text{ m}^2$ .

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan } 1 \text{ m}^2 &= \frac{\text{Luas yang dicari}}{\text{Luas } Paving \text{ Block}} \\ &= \frac{1}{0,02} \\ &= 50 \text{ Buah } Paving \text{ block} \end{aligned}$$

Perhitungan harga  $1 \text{ m}^2$  *Paving block* dalam variasi 3

$$\begin{aligned} \text{Harga } 1 \text{ m}^2 &= \text{Harga 1 buah } Paving \text{ block} \times \text{Kebutuhan} \\ &\quad 1 \text{ m}^2 \\ &= \text{Rp. } 826,70 \times 50 \text{ Buah } Paving \text{ block} \\ &= \text{Rp. } 41.335,18 / \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat harga dari PV3  $1 \text{ m}^2$  adalah Rp. 41.335,18 harga tersebut adalah bahan baku untuk  $1 \text{ m}^2$  dan semua analisis perhitungan terhadap biaya bahan baku *paving block* yang digunakan berikut adalah hasil rekapitulasi total harga bahan baku yang digunakan pada 1 buah *paving block* dan harga  $1 \text{ m}^2$  dalam setiap variasi, dapat dilihat pada tabel 5.38 berikut.

**Tabel 5. 38 Biaya Bahan Baku**

| Harga                               | PV1           | PV2          | PV3           | PV4           | PV5           |
|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Pasir (Rp)</b>                   | Rp. 184,67    | Rp. 184,67   | Rp. 184,67    | Rp. 184,67    | Rp. 184,67    |
| <b>Kerikil (Rp)</b>                 | Rp. 120,00    | Rp. 120,00   | Rp. 120,00    | Rp. 120,00    | Rp. 120,00    |
| <b>Semen (Rp)</b>                   | Rp. 476,33    | Rp. 476,33   | Rp. 452,51    | Rp. 428,70    | Rp. 404,88    |
| <b>Limbah Gypsum (Rp)</b>           | -             | -            | -             | -             | -             |
| <b>SikaCim (Rp)</b>                 | -             | Rp. 69,52    | Rp. 69,52     | Rp. 69,52     | Rp. 69,52     |
| <b>Total (Rp)</b>                   | Rp. 781,00    | Rp. 850,52   | Rp. 826,70    | Rp. 802,89    | Rp. 779,07    |
| <b>1 m<sup>2</sup> Paving block</b> | Rp. 39.050,00 | Rp.42.526,00 | Rp. 41.335,18 | Rp. 40.144,35 | Rp. 38.953,53 |

Pada Tabel diatas dapat dilihat biaya bahan baku dari bahan penyusun *paving block*, disini harga pada PV1 totalnya adalah Rp. 781,00 dengan masuk pada mutu D, sedangkan dari semua variasi yang ada, didapat pada PV4 dengan harga Rp. 802,89 termasuk dalam mutu C. terjadi selisih harga Rp. 21,89 diantara PV1 dan PV4, ini diakibatkan adanya substitusi sebagian dan penambahan SikaCim *Concrete additive* pada PV4 sehingga lebih mahal Rp. 21,89 dibanding PV1 yang normal. Tapi PV4 memiliki keunggulan dalam klasifikasinya yaitu C dibandingkan dengan PV1 yang klasifikasinya adalah mutu D.

Pada variasi PV2 adalah yang termahal diantara variasi lainnya, dikarenakan pada variasi PV2 tidak adanya substitusi sebagian pada semen. Pada variasi PV2 hanya ditambahkan SikaCim *Concrete Additive* yang membuat PV2 lebih mahal dari variasi yang lainnya dengan harga Rp 850,52. Sedangkan yang termurah ada pada variasi PV5 dengan harga Rp 779,07 yang berselisih lebih murah Rp. 71,45 faktor yang membuat lebih murah adalah banyaknya 15% substitusi yang digunakan disini dengan menggunakan limbah *gypsum*, yang dimana nilai substitusi paling tinggi dari variasi yang lainnya.

Pada total harga PV1 hingga PV5 juga didapatkan harga 1 m<sup>2</sup> untuk biaya bahan bakunya sendiri, didapatkan yang paling murah adalah variasi PV5 yang harganya adalah Rp. 38.953,53 dengan selisih senilai Rp. 3.572,48 dari variasi yang paling mahal yaitu PV2 seharga Rp. 42.526,00, hal ini diakibatkan pada PV5 adanya substitusi limbah *gypsum* untuk sebagian semen sebesar 15%, paling besar diantara yang lainnya. Dan untuk PV2 karena hanya ditambahkan SikaCim *Concrete Additive* pada bahan bakunya. Terlihat juga PV4 yang cukup murah yang hanya berselisih Rp 1.190,83 lebih mahal dari PV5 yang termurah.

PV4 paling efektif dalam segi harga dan kualitas karena adanya mutu yang terbaik dari semua variasi yaitu mutu C, dibandingkan dengan variasi lainnya yang ada di mutu D. faktornya adalah adanya substitusi limbah *gypsum* terhadap berat semen sebesar 10% dan penambahan SikaCim *Concrete additive* sebesar 0,5%

menjadikan PV4 adalah variasi paling efektif dalam segi harga dengan harga Rp. 40.144,35/m<sup>2</sup> dan kualitas yang memenuhi mutu C.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan penggunaan limbah *gypsum* sebagai substitusi sebagian semen dan penggunaan SikaCim *Concrete additive* pada *paving block*, dengan ketentuan SNI 03-0691-1996, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemanfaatan limbah *gypsum* sebagai substitusi semen dalam campuran *paving block* dan penggunaan SikaCim *Concrete additive* pada *paving block* mampu menghasilkan kuat tekan tertinggi pada kadar substitusi limbah *gypsum* 10%, dan penambahan SikaCim *Concrete additive* 0,5% yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 21,273 MPa yang masuk pada mutu B yang bisa digunakan sebagai peralatan parkir.
2. Pemanfaatan limbah *gypsum* sebagai substitusi semen dalam campuran *paving block* mampu menurunkan nilai ketahanan aus *paving block*, nilai ketahanan aus terbaik terjadi pada kadar substitusi limbah *gypsum* 10%, dan penambahan SikaCim *Concrete additive* 0,5% yang memiliki nilai ketahanan aus rata-rata 0,143 mm/menit dan nilai maksimum ketahanan aus sebesar 0,181 mm/menit yang masuk pada mutu C yang bisa digunakan untuk pejalan kaki.
3. Pemanfaatan limbah *gypsum* sebagai substitusi semen dalam campuran *paving block* dapat menurunkan nilai penyerapan air *paving block*, nilai penyerapan air terbaik ada pada kadar substitusi limbah *gypsum* 10%, dan SikaCim *Concrete additive* sebanyak 0,5% dengan nilai 6,614% yang masuk pada mutu C dengan penggunaannya untuk pejalan kaki.
4. Pemanfaatan limbah *gypsum* sebagai substitusi semen dalam campuran *paving block* dan penggunaan SikaCim *Concrete additive* pada *paving block*

mampu menghasilkan biaya bahan baku yang efektif pada kadar substitusi limbah *gypsum* 10%, dan penambahan SikaCim *Concrete additive* 0,5%. Biaya bahan baku yang dikeluarkan adalah Rp. 40.144,35 /m<sup>2</sup> yang masuk pada mutu C difungsikan untuk pejalan kaki, yang berselisih hanya Rp. 1.094,35 dari paving normal yang masuk mutu D difungsikan untuk taman dan penggunaan lainnya.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan penggunaan limbah *gypsum* sebagai substitusi sebagian semen dan penggunaan SikaCim *Concrete additive* pada *paving block*, didapatkan saran yang bisa dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, diantara lain adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan memakai agregat kasar yang berukuran lebih kecil lagi, untuk penyempurnaan kerekatan.
2. Penambahan kerapatan variasi dibentang 8-15 % limbah *gypsum*, untuk mencari mutu *paving block* lebih baik lagi.
3. Variasi pada SikaCim *Concrete Additive* lebih bervariasi lagi, dengan bentang sesuai dengan lembar data teknis SikaCim *Concrete Additive*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfiona, V., Kromodiryo, J.B. and Yogyakarta, U.T. (2017) 'Pengaruh Penambahan Cangkang Keong (Fly Ash) Dengan Persentase 1%, 2% Dan 3% Dan Sikacim Concrete Additive Sebesar 0,7% Terhadap Kuat Tekan Beton', *Universitas Teknologi Yogyakarta*.
- Ardi, F., Carlo, N. and Veronika, V. (2020) 'Uji Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Pada *Paving block* Dengan Campuran Limbah Gypsum', *Universitas Bung Hatta*.
- Badan Standar Nasional (1996) *SNI 03-0691-1996*.
- Badan standarisasi Nasional (2004) *SNI 2049-2004*.
- Badan Standarisasi Nasional (1990) *SNI 03-1968-1990*.
- Badan Standarisasi Nasional (1991) *SNI 03-2495-1991*.
- Badan Standarisasi Nasional (1996) *SNI 03-4142-1996*.
- Badan Standarisasi Nasional (1998) *SNI 03-4804-1998*.
- Badan Standarisasi Nasional (2002) *SNI 03-2847-2002*.
- Badan Standarisasi Nasional (2002) *SNI 03-6821-2002*.
- Badan Standarisasi Nasional (2019) *SNI 2847-2019*.
- Hadi, M.F. (2023) 'Pengaruh Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Campuran Bahan Terhadap Sifat Mekanik *Paving block*', *Universitas Muhamadiyah Mataram*.
- Lewry, A. J., & Williamson, J. (1994). *The setting of gypsum plaster. Journal of Materials Science*.
- Muslimin, H.M. and Fauziah, M. (2022) 'Pengaruh Penambahan Gypsum Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Cbr (California Bearing Ratio) Dan Swelling Factor Pada Tanah Lempung', *Universitas Islam Indonesia*.
- Nainggolan, H., & Patimah, S. (2020). Pengaruh Biaya Bahan Baku, Biaya Tenaga Kerja, dan Biaya Overhead Pabrik Terhadap Omset Penjualan Pabrik Roti Gembung Kota Raja Km. 3 Balikpapan Kalimantan Timur. *Universitas*

*Methodist Indonesia*

- Nugraha, M. (2008). Pengaruh Konsentrasi Nitrat dan Waktu Pelindian Terhadap Kelarutan Nikel Pada Proses Pelindian Nikel Matte ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) Dalam Media Amonia–ammonium Nitrat, *Institut Teknologi Bandung*.
- PT. Sika Indonesia Head Office and Manufacturing (2022) *Lembar Data Teknis SikaCim Concrete Additive*.
- RAMADHAN, A.P. (2022) ‘Pemanfaatan Limbah Gypsum Board Untuk Substitusi Semen Pada Mortar Sebagai Bahan Dalam Pembuatan *Paving block*’, *Universitas Hasanudin*.
- Rambe, M. R., Pohan, R. F., Patriotika, F., Harahap, S., & Nasution, A. S. (2023). *Potential of gypsum waste as a substitution and filler material in concrete manufacturing*. *Politeknik Negeri Bandung*.
- Samsul Ramli. (2013). Telaah Teori Pemasaran dan Manajemen. *STIE LMII Medan*.
- Widojoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia Pada Unjuk Kerja Mortar, *Universitas Bandar Lampung*.
- Yanti, G. (2021) ‘Variasi Penambahan SikaCim Pada Beton Porous’, *Universitas Lancang Kuning*.

# LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar alat yang digunakan dalam pembuatan *Paving block*



**Gambar L-1. 1 Sekop**



**Gambar L-1. 2 Cetok**



**Gambar L-1. 3 Ember Material**



**Gambar L-1. 4 Timbangan**



**Gambar L-1. 5 Saringan Agregat**



**Gambar L-1. 6 Mesin *Press***



**Gambar L-1. 7 Mesin Pengaduk (*mixer*)**



**Gambar L-1. 8 Pemotong *Paving block***



**Gambar L-1. 9 Papan Kayu**



**Gambar L-1. 10 Oven**



**Gambar L-1. 11 Alat Uji Tekan Beton model ADR 3000**



**Gambar L-1. 12 Alat Uji Ketahanan Aus model BDM16**

Lampiran 2 Gambar Bahan



**Gambar L-2. 1 Pasir**



**Gambar L-2. 2 Kerikil**



**Gambar L-2. 3 Semen**



**Gambar L-2. 4 Limbah *Gypsum***



**Gambar L-2. 5 SikaCim**

Lampiran 3 gambar proses pengujian dan perawatan *paving block*



**Gambar L-3. 1** Penncampuran bahan baku *Paving block*



**Gambar L-3. 2** Proses Cetak *Paving block*



**Gambar L-3. 3** *Paving* Sudah Tercetak



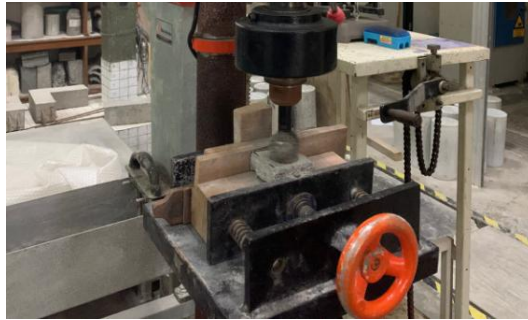
**Gambar L-3. 4 Perendaman *Paving block***



**Gambar L-3. 5 Pemotongan *Paving block***



**Gambar L-3. 6 Pengujian Kuat Tekan**





**Gambar L-3. 7 Pengujian Ketahanan Aus**




**Gambar L-3. 8 Pengujian Penyerapan Air**

## Lampian 4 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium

|  |  |  |
|--|--|--|
|   | <b>FAKULTAS<br/>TEKNIK SIPIL<br/>&amp; PERENCANAAN</b> | Gedung KH. Moh. Nohar<br>Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia<br>Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584<br>T : (0274) 808444 ext 1199, 1201<br>F : (0274) 891110<br>E : <a href="mailto:dekanat@uii.ac.id">dekanat@uii.ac.id</a><br>W : <a href="http://uii.ac.id">uii.ac.id</a> |
| <b><u>SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM</u></b>   |  |  |
| Nomor : 50 / Ka.Lab/60/LBKT/X/2025   |  |  |
| Bismillaahirrohmaanirrohiim  |  |  |
| Yang bertandatangan dibawah ini :  |  |  |
| Nama   | :  | Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.   |
| NIK  | :  | 165111301  |
| Jabatan Struktural   | :  | Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII   |
| Dengan ini menerangkan bahwa :   |  |  |
| Nama   | :  | Yudit Yustisiandi  |
| N I M  | :  | 19511266   |
| Program Studi  | :  | S1 Teknik Sipil  |
| Dosen Pembimbing TA  | :  | Anggit Mas Arifuddin, S. T., M. T.   |
| 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 <b>"PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH GYPSUM DAN PENAMBAHAN SIKASIM TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN SERAP AIR PAVING BLOCK"</b> serta sudah menyelesaikan semua administrasinya <sup>*)</sup> . |  |  |
| Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.   |  |  |
|  |  | Yogyakarta, 31 Oktober 2025  |
| Disahkan oleh :  |  | Didata oleh :  |
| Kepala Laboratorium BKT,   |  | PLP/Teknisi  |
|   |  |   |
| Astriana Hardawati, S. T., M. Eng  |  | Daru Salam, A.Md.  |
| <sup>*)</sup> Kwitansi/bukti transfer terlampir  |  |  |

Lampiran 5 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving block*



**UNIVERSITAS  
ISLAM  
INDONESIA**

**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kalijaga km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895130  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block**  
**(SNI 03-0691-1996)**

Nama : Yudit Yustisiandi  
NIM : 19511266  
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
Keperluan : Tugas Akhir

1. *Paving Block* Variasi PV1 (0% Limbah Gypsum dan 0% SikaCim)

| Kode Sampel                | Dimensi      |            |             | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal |           | Kuat Tekan             |        |        |
|----------------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------|--------|
|                            | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tinggi (mm) |                                   | Kgf            | Newton    | Newton/mm <sup>2</sup> | MPa    |        |
| 1.1                        | 61.90        | 60.26      | 62.58       | 3730,09                           | 5400           | 52974,000 | 14,202                 | 14,202 |        |
| 1.2                        | 63.71        | 64.78      | 61.79       | 4127,13                           | 6625           | 64991,250 | 15,747                 | 15,747 |        |
| 1.3                        | 64.34        | 62.87      | 63.13       | 4045,06                           | 6050           | 59350,500 | 14,672                 | 14,672 |        |
| 1.4                        | 61.15        | 60.50      | 62.04       | 3699,58                           | 5775           | 56652,750 | 15,313                 | 15,313 |        |
| 1.5                        | 63.79        | 63.60      | 63.33       | 4057,04                           | 5525           | 54200,250 | 13,360                 | 13,360 |        |
| 1.6                        | 60.10        | 62.75      | 60.08       | 3771,28                           | 6375           | 62538,750 | 16,583                 | 16,583 |        |
| 1.7                        | 62.23        | 64.21      | 62.41       | 3995,79                           | 5225           | 51257,250 | 12,828                 | 12,828 |        |
| 1.8                        | 60.45        | 60.27      | 63.88       | 3643,32                           | 5850           | 57388,500 | 15,752                 | 15,752 |        |
| 1.9                        | 61.61        | 62.68      | 61.89       | 3861,71                           | 6900           | 67689,000 | 17,528                 | 17,528 |        |
| 1.10                       | 60.33        | 60.18      | 61.29       | 3630,66                           | 5600           | 54936,000 | 15,131                 | 15,131 |        |
| rata-rata nilai kuat tekan |              |            |             |                                   |                |           |                        |        | 15,112 |

2. *Paving Block* Variasi PV2 (0% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel          | Dimensi      |            |             | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal |           | Kuat Tekan             |        |        |
|----------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------|--------|
|                      | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tinggi (mm) |                                   | Kgf            | Newton    | Newton/mm <sup>2</sup> | MPa    |        |
| 2.1                  | 59.50        | 60,02      | 61,66       | 3571,19                           | 6605           | 64795,050 | 18,144                 | 18,144 |        |
| 2.2                  | 62,12        | 62,59      | 63,65       | 3888,09                           | 7575           | 74310,750 | 19,112                 | 19,112 |        |
| 2.3                  | 60,91        | 61,92      | 62,54       | 3771,55                           | 7037,5         | 69037,875 | 18,305                 | 18,305 |        |
| 2.4                  | 60,78        | 62,59      | 62,44       | 3804,22                           | 6575           | 64500,750 | 16,955                 | 16,955 |        |
| 2.5                  | 60,88        | 61,63      | 63,40       | 3752,03                           | 6325           | 62048,250 | 16,537                 | 16,537 |        |
| 2.6                  | 59,74        | 60,24      | 62,56       | 3598,74                           | 6450           | 63274,500 | 17,582                 | 17,582 |        |
| 2.7                  | 60,69        | 58,85      | 60,49       | 3571,61                           | 7800           | 76518,000 | 21,424                 | 21,424 |        |
| 2.8                  | 62,33        | 61,68      | 64,51       | 3844,51                           | 6400           | 62784,000 | 16,331                 | 16,331 |        |
| 2.9                  | 60,52        | 61,49      | 62,66       | 3721,37                           | 6738           | 66094,875 | 17,761                 | 17,761 |        |
| 2.10                 | 59,85        | 60,56      | 62,61       | 3624,52                           | 6350           | 62293,500 | 17,187                 | 17,187 |        |
| Kuat Tekan Rata Rata |              |            |             |                                   |                |           |                        |        | 17,934 |



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kalitang 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

3. Paving Block Variasi PV3 (5% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel          | Dimensi      |            |             | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal |           | Kuat Tekan             |        |  |
|----------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------|--|
|                      | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tinggi (mm) |                                   | Kgf            | Newton    | Newton/mm <sup>2</sup> | MPa    |  |
| 3.1                  | 62,48        | 61,84      | 61,33       | 3863,76                           | 8825           | 86573,250 | 22,406                 | 22,406 |  |
| 3.2                  | 62,20        | 62,75      | 64,41       | 3903,05                           | 6675           | 65481,750 | 16,777                 | 16,777 |  |
| 3.3                  | 60,41        | 61,94      | 62,73       | 3741,80                           | 7425           | 72839,250 | 19,466                 | 19,466 |  |
| 3.4                  | 58,70        | 59,56      | 61,81       | 3496,17                           | 8380           | 82207,800 | 23,514                 | 23,514 |  |
| 3.5                  | 60,37        | 61,12      | 63,15       | 3689,81                           | 8100           | 79461,000 | 21,535                 | 21,535 |  |
| 3.6                  | 63,91        | 61,92      | 61,07       | 3957,31                           | 7250           | 71122,500 | 17,972                 | 17,972 |  |
| 3.7                  | 59,05        | 60,99      | 62,21       | 3601,46                           | 8275           | 81177,750 | 22,540                 | 22,540 |  |
| 3.8                  | 61,17        | 61,41      | 63,31       | 3756,45                           | 6500           | 63765,000 | 16,975                 | 16,975 |  |
| 3.9                  | 60,15        | 61,54      | 62,46       | 3701,63                           | 7775           | 76272,750 | 20,605                 | 20,605 |  |
| 3.10                 | 59,46        | 60,27      | 62,83       | 3583,65                           | 6087,5         | 59718,375 | 16,664                 | 16,664 |  |
| Kuat Tekan Rata Rata |              |            |             |                                   |                |           |                        | 19,846 |  |

4. Paving Block Variasi PV4 (10% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel          | Dimensi      |            |             | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal |           | Kuat Tekan             |        |  |
|----------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------|--|
|                      | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tinggi (mm) |                                   | Kgf            | Newton    | Newton/mm <sup>2</sup> | MPa    |  |
| 4.1                  | 61,47        | 60,42      | 62,22       | 3714,02                           | 8650           | 84856,500 | 22,848                 | 22,848 |  |
| 4.2                  | 61,44        | 61,15      | 63,81       | 3757,06                           | 7950           | 77989,500 | 20,758                 | 20,758 |  |
| 4.3                  | 60,02        | 57,66      | 63,46       | 3460,75                           | 6975           | 68424,750 | 19,772                 | 19,772 |  |
| 4.4                  | 62,11        | 59,95      | 61,81       | 3723,49                           | 9187,5         | 90129,375 | 24,206                 | 24,206 |  |
| 4.5                  | 60,59        | 61,71      | 63,10       | 3739,01                           | 8837,5         | 86695,875 | 23,187                 | 23,187 |  |
| 4.6                  | 63,66        | 62,32      | 61,47       | 3967,29                           | 7575           | 74310,750 | 18,731                 | 18,731 |  |
| 4.7                  | 61,92        | 61,44      | 62,21       | 3804,36                           | 7100           | 69651,000 | 18,308                 | 18,308 |  |
| 4.8                  | 62,90        | 62,07      | 62,74       | 3904,20                           | 8375           | 82158,750 | 21,044                 | 21,044 |  |
| 4.9                  | 62,20        | 62,36      | 63,33       | 3878,79                           | 8050           | 78970,500 | 20,360                 | 20,360 |  |
| 4.10                 | 61,55        | 60,83      | 62,68       | 3744,09                           | 8975           | 88044,750 | 23,516                 | 23,516 |  |
| Kuat Tekan Rata Rata |              |            |             |                                   |                |           |                        | 21,273 |  |

5. Paving Block Variasi PV5 (15% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel          | Dimensi      |            |             | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maksimal |           | Kuat Tekan             |        |  |
|----------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------|--|
|                      | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tinggi (mm) |                                   | Kgf            | Newton    | Newton/mm <sup>2</sup> | MPa    |  |
| 5.1                  | 62,49        | 63,20      | 63,80       | 3949,37                           | 5500           | 53955,000 | 13,662                 | 13,662 |  |
| 5.2                  | 63,67        | 61,26      | 61,58       | 3900,42                           | 7475           | 73329,750 | 18,800                 | 18,800 |  |
| 5.3                  | 62,14        | 63,09      | 61,49       | 3920,41                           | 6575           | 64500,750 | 16,453                 | 16,453 |  |
| 5.4                  | 62,72        | 63,24      | 62,34       | 3966,41                           | 6750           | 66217,500 | 16,695                 | 16,695 |  |
| 5.5                  | 63,95        | 60,58      | 61,56       | 3874,09                           | 5675           | 55671,750 | 14,370                 | 14,370 |  |
| 5.6                  | 63,17        | 61,92      | 62,52       | 3911,49                           | 7625           | 74801,250 | 19,123                 | 19,123 |  |
| 5.7                  | 63,22        | 61,72      | 62,94       | 3901,94                           | 7250           | 71122,500 | 18,227                 | 18,227 |  |
| 5.8                  | 60,92        | 60,76      | 63,75       | 3701,50                           | 5537,5         | 54322,875 | 14,676                 | 14,676 |  |
| 5.9                  | 63,08        | 63,56      | 63,52       | 4009,36                           | 7425           | 72839,250 | 18,167                 | 18,167 |  |
| 5.10                 | 62,41        | 62,22      | 61,08       | 3883,15                           | 6125           | 60086,250 | 15,474                 | 15,474 |  |
| Kuat Tekan Rata Rata |              |            |             |                                   |                |           |                        | 16,565 |  |

Mengetahui  
Kepala Lab. BKT

Astriana Hardawati, S.T., M. Eng

Diperiksa Oleh  
PLP/Teknisi

Daru salam, A.Md.

Lampiran 6 Hasil Uji Ketahanan Aus *Paving block*

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

### Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block*

(SNI 03-0691-1996)

Nama : Yudit Yustisiandi  
NIM : 19511266  
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
Keperluan : Tugas Akhir

#### 1. *Paving Block* Variasi PV1 (0% Limbah Gypsum dan 0% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                 | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 1.1             | 144,11      | 143,71       | 0,40           | 3             | 0,133                         | 0,185              |
| 1.2             | 151,31      | 150,87       | 0,44           | 3             | 0,147                         | 0,201              |
| 1.3             | 137,87      | 137,39       | 0,48           | 3             | 0,160                         | 0,217              |
| 1.4             | 140,21      | 139,61       | 0,60           | 3             | 0,200                         | 0,265              |
| 1.5             | 141,61      | 141,18       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| Nilai Rata-Rata |             |              |                |               |                               | 0,213              |

#### 2. *Paving Block* Variasi PV2 (0% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                 | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 2.1             | 116,43      | 116,22       | 0,21           | 3             | 0,070                         | 0,109              |
| 2.2             | 124,25      | 123,92       | 0,33           | 3             | 0,110                         | 0,157              |
| 2.3             | 124,37      | 123,97       | 0,40           | 3             | 0,133                         | 0,185              |
| 2.4             | 136,09      | 135,59       | 0,50           | 3             | 0,167                         | 0,225              |
| 2.5             | 129,88      | 129,36       | 0,52           | 3             | 0,173                         | 0,233              |
| Nilai Rata-Rata |             |              |                |               |                               | 0,181              |

#### 3. *Paving Block* Variasi PV3 (5% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                 | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 3.1             | 115,97      | 115,63       | 0,34           | 3             | 0,113                         | 0,161              |
| 3.2             | 143,81      | 143,42       | 0,39           | 3             | 0,130                         | 0,181              |
| 3.3             | 133,24      | 132,81       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| 3.4             | 107,68      | 107,42       | 0,26           | 3             | 0,087                         | 0,129              |
| 3.5             | 139,16      | 138,85       | 0,31           | 3             | 0,103                         | 0,149              |
| Nilai Rata-Rata |             |              |                |               |                               | 0,163              |



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

4. Paving Block Variasi PV4 (10% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                 | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 4.1             | 132,28      | 132,10       | 0,18           | 3             | 0,060                         | 0,097              |
| 4.2             | 125,16      | 122,81       | 0,35           | 3             | 0,117                         | 0,165              |
| 4.3             | 120,04      | 119,82       | 0,22           | 3             | 0,073                         | 0,113              |
| 4.4             | 125,22      | 122,83       | 0,39           | 3             | 0,130                         | 0,181              |
| 4.5             | 111,96      | 111,67       | 0,34           | 3             | 0,113                         | 0,161              |
| Nilai Rata-Rata |             |              |                |               |                               | 0,143              |

5. Paving Block Variasi PV5 (15% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat       |              | Selisih (gram) | Waktu (menit) | Kehilangan Berat (gram/menit) | Keausan (mm/menit) |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------|
|                 | Awal (gram) | Akhir (gram) |                |               |                               |                    |
| 5.1             | 125,73      | 125,22       | 0,51           | 3             | 0,170                         | 0,229              |
| 5.2             | 150,46      | 149,96       | 0,50           | 3             | 0,167                         | 0,225              |
| 5.3             | 126,29      | 125,92       | 0,37           | 3             | 0,123                         | 0,173              |
| 5.4             | 121,08      | 120,67       | 0,41           | 3             | 0,137                         | 0,189              |
| 5.5             | 137,55      | 137,12       | 0,43           | 3             | 0,143                         | 0,197              |
| Nilai Rata-Rata |             |              |                |               |                               | 0,202              |

Mengetahui  
Kepala Lab. BKT  
  
Astriana Hardawati, S.T., M. Eng

Diperiksa Oleh  
PLP/Teknisi  
  
Daru salam, A.Md.

Lampiran 7 Hasil Uji Penyerapan Air *Paving block*

FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. 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.uui.ac.id

### Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block*

(SNI 03-0691-1996)

Nama : Yudit Yustisiandi  
NIM : 19511266  
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
Keperluan : Tugas Akhir

#### 1. *Paving Block* Variasi PV1 (0% Limbah Gypsum dan 0% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1.1             | 2528               | 2365                | 6,892              |
| 1.2             | 2513               | 2271                | 10,656             |
| 1.3             | 2673               | 2367                | 12,928             |
| 1.4             | 2627               | 2379                | 10,425             |
| 1.5             | 2650               | 2450                | 8,163              |
| Nilai Rata-Rata |                    |                     | 9,813              |

#### 2. *Paving Block* Variasi PV2 (0% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)

| Kode Sampel     | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 2.1             | 2568               | 2355                | 9,045              |
| 2.2             | 2463               | 2260                | 8,982              |
| 2.3             | 2531               | 2325                | 8,860              |
| 2.4             | 2452               | 2263                | 8,352              |
| 2.5             | 2546               | 2343                | 8,664              |
| Nilai Rata-Rata |                    |                     | 8,781              |



**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

**3. Paving Block Variasi PV3 (5% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)**

| Kode Sampel     | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 3.1             | 2598               | 2420                | 7,355              |
| 3.2             | 2598               | 2393                | 8,567              |
| 3.3             | 2636               | 2438                | 8,121              |
| 3.4             | 2509               | 2395                | 4,760              |
| 3.5             | 2576               | 2301                | 11,951             |
| Nilai Rata-Rata |                    |                     | <b>8,151</b>       |

**4. Paving Block Variasi PV4 (10% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)**

| Kode Sampel     | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 4.1             | 2676               | 2512                | 6,529              |
| 4.2             | 2694               | 2527                | 6,609              |
| 4.3             | 2664               | 2497                | 6,688              |
| 4.4             | 2598               | 2438                | 6,563              |
| 4.5             | 2682               | 2514                | 6,683              |
| Nilai Rata-Rata |                    |                     | <b>6,614</b>       |

**5. Paving Block Variasi PV5 (15% Limbah Gypsum dan 0,5% SikaCim)**

| Kode Sampel     | Berat Basah (gram) | Berat Kering (gram) | Penyerapan Air (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 5.1             | 2756               | 2528                | 9,019              |
| 5.2             | 2731               | 2504                | 9,065              |
| 5.3             | 2710               | 2483                | 9,142              |
| 5.4             | 2652               | 2432                | 9,046              |
| 5.5             | 2759               | 2529                | 9,095              |
| Nilai Rata-Rata |                    |                     | <b>9,073</b>       |

Mengetahui  
Kepala Lab. BKT

Astriana Hardawati, S.T., M. Eng

Diperiksa Oleh  
PLP/Teknisi

Daru salam, A.Md.

## Lampiran 8 Surat Keterangan Hasil Cek 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.uui.ac.id

### SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2822872116/Perpus./10/Dir.Perpus/VII/2025

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Yudit Yustisiandi  
 Nomor Mahasiswa : 19511266  
 Pembimbing : Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.  
 Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil  
 Judul Karya Ilmiah : PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAHGYP SUM DAN PENAMBAHAN SIKACIM TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN SERAPAIR PAVING BLOCK (THE EFFECT OF SUBSTITUTION GYPSUM WASTE AND ADDITIONSIKACIM ON COMPRESSIVE STRENGTH, ABRASION RESISTANCE, AND WATER ABSORPTION PAVINGBLOCK)

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **10 (Sepuluh) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 11/21/2025

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.