TUGAS AKHIR

STUDI PENGARUH VARIASI ABU BATU SEBAGAI PENGGANTI PASIR DAN 10% ABU SEKAM PADI SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN PENYERAPAN AIR *PAVING BLOCK*

(STUDY OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF STONE ASH AS A SUBSTITUTE FOR SAND AND 10% RICE HUSK ASH AS A SUBSTITUTE FOR CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, WEAR RESISTANCE AND WATER ABSORPTION OF PAVING BLOCK)

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

Muhammad Reksa
17511073

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

TUGAS AKHIR

STUDI PENGARUH VARIASI ABU BATU SEBAGAI PENGGANTI PASIR DAN 10% ABU SEKAM PADI SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, KETAHANAN AUS, DAN PENYERAPAN AIR *PAVING BLOCK*

(STUDY OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF STONE ASH AS A SUBSTITUTE FOR SAND AND 10% RICE HUSK ASH AS A SUBSTITUTE FOR CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, WEAR RESISTANCE AND WATER ABSORPTION OF PAVING BLOCK)

Disusun oleh

Muhammad Reksa
17511073

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Elvis Saputra S.T., M.T	Jafar S.T. MURP., M.T.	Astriana Hardawati S.T., M.Eng
NIK: 205111302	NIK: 18511305	NIK: 16511301

15.08.24

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

19/8/2024

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan

Muhammad Reksa

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum,.Wr. Wb.,

Alhamdulillahi rabbi'alamin. Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesakan Tugas Akhir dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman. Tugas akhir merupakan salah satu syarat untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi dan tugas akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Jafar S.T, MURP., M.T. selaku Dosen Penguji I
3. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM selaku ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Kedua orang tua yang selalu mendoakan, mendidik dan selalu memotivasi dengan penuh kesabaran serta kasih sayang kepada penulis.
6. Yasmin Azzah Amalia yang selalu memberikan dukungan terhadap penulis.
7. Teman-teman penulis yang menemani selama perkuliahan di Teknik Sipil UII.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan kearah yang lebih baik. Semoga Allah SWT. Senantiasa melimpahkan rahmat dan Ridha-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 15 Agustus 2024
Penulis,

Muhammad Reksa
(17511073)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
ABSTRAK xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Malasah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu 6
2.2 Perbedaan Penelitian 8
2.3 Keaslian Penelitian 9
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Paving Block 13
3.2 Bahan Penyusun Paving Block 14
3.2.1 Agregat Halus 14
3.2.2 Semen Portland 16
3.2.3 Air 19
3.2.4 Abu Sekam Padi 19
3.2.4 Abu Batu 21
3.3 Proses Pencampuran 22
3.4 Perawatan Paving Block 23
3.5 Pengujian Paving Block 23
3.5.1 Kuat Tekan Paving Block 23
3.5.2 Ketahanan Aus 24

3.5.3 Penyerapan Air 25
BAB IV METODE PENELITIAN 26
4.1 Umum 26
4.2 Alat dan Bahan 27
4.2.1 Alat 27
4.2.2 Bahan 33
4.3 Pelaksanaan Penelitian 35
4.3.1 Persiapan 35
4.3.2 Proses Pencampuran 43
4.3.3 Pembuatan Benda Uji 44
4.3.4 Perawatan Benda Uji 46
4.3.5 Pemotongan Benda Uji 47
4.3.6 Pengujian Benda Uji 47
4.4 Diagram Alir Penelitian 50
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 52
5.1 Tinjauan Umum 52
5.2 Hasil Pengujian Bahan 52
5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus 52
5.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun *Paving Block* 64
5.3.1 Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus 65
5.3.2 Perhitungan Kebutuhan Semen 65
5.3.3 Perhitungan Kebutuhan Abu Batu (AB) 65
5.3.4 Perhitungan Kebutuhan Abu Sekam Padi (ASP) 66
5.4 Hasil Pengujian *Paving Block* 67
5.4.1 Pengujian Kuat Tekan 67
5.4.2 Pengujian Ketahanan Aus 78
5.4.3 Pengujian Penyerapan Air 85
5.5 Pembahasan Keseluruhan 93

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 95
6.1 Kesimpulan 95
6.2 Saran 96
DAFTAR PUSTAKA 97
LAMPIRAN 99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya 10
Tabel 3.1 Sifat-Sifat Fisika Paving Block 13
Tabel 3.2 Batas-batas Gradasi Untuk Agregat Halus 16
Tabel 3.3 Susunan Unsur Semen 18
Tabel 4.1 Jumlah Sampel Pengujian 26
Tabel 4.2 Ukuran Sampel Pengujian 27
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sample 1 53
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sample 2 54
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 56
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 57
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur 58
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu Sample 1 59
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu Sample 2 59
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu 62
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu Batu 63
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur 64
Tabel 5. 11 Kebutuhan Abu Batu dan Abu Sekam Padi 66
Tabel 5. 12 Komposisi Kebutuhan Campuran Paving Block 67
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0% 71
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 0%(AB) 71
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 10%(AB) 72
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 20%(AB) 73
Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 30%(AB) 73
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 40%(AB) 74
Tabel 5. 19 Penggolongan Mutu Kuat Tekan Paving Block 76
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0% 80
Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+0%(AB) 81
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+10%(AB) 81

Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+20%(AB) 82
Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+30%(AB) 82
Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+40%(AB) 82
Tabel 5. 26 Penggolongan Mutu Ketahanan Aus Paving Block 84
Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0% 88
Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP)+0%(AB) 89
Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP)+10%(AB) 89
Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP)+20%(AB) 89
Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP)+30%(AB) 90
Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP)+30%(AB) 90
Tabel 5. 33 Penggolongan Mutu Penyerapan Air Paving Block 92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Abu Gosok 20
Gambar 3.2 Abu Batu 21
Gambar 3.3 Proses Pencampuran Bahan 22
Gambar 3.4 Proses Perawatan Benda Uji 23
Gambar 4.1 Timbangan 28
Gambar 4.2 Sendok Semen (cetok) 28
Gambar 4.3 Oven 29
Gambar 4.4 Ember 29
Gambar 4.5 Tongkat Penumbuk 30
Gambar 4.6 Saringan 30
Gambar 4.7 Pan 31
Gambar 4.8 Mesin Press Paving Block 31
Gambar 4.9 Mesin Kuat Tekan 32
Gambar 4.10 Mesin Ketahanan Aus 32
Gambar 4.11 Agregat Halus 33
Gambar 4.12 Semen Portland 33
Gambar 4.13 Abu Sekam Padi 34
Gambar 4.14 Abu Batu 35
Gambar 4.15 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus 36
Gambar 4.16 Pengujian Berat Volume Agregat Halus 38
Gambar 4.17 Pengujian Kandungan Lumpur 39
Gambar 4.18 Pengujian Berat Volume Abu Batu 42
Gambar 4.19 Pengujian kandungan Lumpur Abu Batu 43
Gambar 4.20 Proses Pencampuran Bahan 44
Gambar 4.21 Proses Pembuatan Benda Uji 46
Gambar 4.22 Proses Perawatan Benda Uji 46
Gambar 4.23 Proses Pemotongan Benda Uji 47

Gambar 4.24 Pengujian Kuat Tekan 48
Gambar 4.25 Pengujian Penyerapan Air 49
Gambar 4.26 Pengujian Ketahanan Aus 50
Gambar 5.1 Grafik Analisa Saringan Halus Daerah II 55
Gambar 5.2 Grafik Analisa Saringan Halus Daerah II 61
Gambar 5.3 Grafik Box Plot Pengujian Kuat tekan 69
Gambar 5.4 Grafik Pengujian Kuat Tekan Paving Block 75
Gambar 5.5 Grafik Box Plot Pengujian Ketahanan Aus 79
Gambar 5.6 Grafik Pengujian Ketahanan Aus 83
Gambar 5.7 Grafik Box Plot Pengujian Penyerapan Air 87
Gambar 5.8 Grafik Pengujian Penyerapan Air Paving Block 91
Gambar 5.9 Grafik Keseluruhan Pengujian 94

ABSTRAK

Paving block adalah material bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air, dan agregat, dengan tambahan bahan lain yang tidak mengurangi kualitasnya. Paving block untuk perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996. Salah satu persyaratannya adalah paving block harus tahan terhadap gaya gesekan roda kendaraan dan memiliki daya tahan terhadap kondisi lingkungan seperti air hujan.Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, ketahanan aus dan penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dengan menggunakan abu sekam padi sebesar 10% sebagai pengganti sebagian semen dan abu batu sebagai pengganti sebagian pasir pada paving block.

Penelitian dimulai dari pembuatan paving block dengan material abu sekam padi (ASP) sebagai pengganti sebagian semen dan abu batu (AB) sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi sebesar 0%, 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB) dan 10%(ASP) + 40%(AB). Setelah pembuatan, paving block melalui proses perawatan selama 28 hari dan dikeringkan suhu ruangan 1 hari, dilakukan uji paving block sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai paling optimum didapatkan dari variasi 10% (ASP) + 10% (AB) dengan kenaikan nilai kuat tekan rerata sebesar 12,9%, nilai penyerapan air sebesar 10,9%, dan nilai ketahanan aus sebesar 28% dari paving normal. Nilai tersebut berturut turut adalah 24.5789 MPa, 6.8347%, dan 0.1204 mm/menit. Kandungan silika pada abu sekam padi dapat meningkatkan daya ikat pada paving block dan butiran abu batu yang lebih kecil dari agregat halus dapat mengisi rongga pada paving block. Hal ini menjadikan paving block lebih padat dan meningkatkan kekuatan tekan serta mengurangi penyerapan air dan ketahanan aus.

Kata Kunci : Paving block, Abu Sekam Padi, Abu Batu

ABSTRAK

Paving blocks are building materials made from a mixture of Portland cement or other hydraulic binders, water, and aggregates, with the addition of other materials that do not reduce their quality. Paving blocks for road pavement must meet the requirements of SNI 03-0691-1996. One of the requirements is that paving blocks must withstand the frictional force of vehicle wheels and have durability against environmental conditions such as rainwater. This study aims to determine the compressive strength, abrasion resistance, and water absorption values according to SNI 03-0691-1996 by using 10% rice husk ash as a partial replacement for cement and stone ash as a partial replacement for sand in paving blocks.

The study began with the production of paving blocks using rice husk ash (RHA) as a partial replacement for cement and stone ash (SA) as a partial replacement for sand with variations of 0%, 10% (RHA) + 0% (SA), 10% (RHA) + 10% (SA), 10% (RHA) + 20% (SA), 10% (RHA) + 30% (SA), and 10% (RHA) + 40% (SA). After production, the paving blocks were cured for 28 days and dried at room temperature for 1 day, followed by testing according to SNI 03-0691-1996.

Based on the test results, the most optimum values were obtained from the variation of 10% (RHA) + 10% (SA) with an increase in average compressive strength by 12.9%, water absorption value by 10.9%, and abrasion resistance value by 28% compared to normal paving. These values were 24.5789 MPa, 6.8347%, and 0.1204 mm/min, respectively. The silica content in rice husk ash can enhance the bonding in paving blocks, and the smaller particles of stone ash compared to fine aggregates can fill the voids in the paving blocks. This results in denser paving blocks, increasing compressive strength, reducing water absorption, and improving abrasion resistance.

Keyword : Paving blocks, Rice Husk Ash, Stone Ash

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving block adalah material bangunan yang terbuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis serupa, air, dan agregat, kadang-kadang dengan tambahan bahan lainnya yang tidak mengurangi kualitas paving block tersebut (SNI-03-0691-1996). Agregat ini biasanya terdiri dari pasir, kerikil, atau pecahan batu yang memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap beban serta tekanan. Bahan tambahan seperti serat atau pigmen juga dapat ditambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dari paving block, seperti kekuatan tarik atau estetika. Prinsipnya, komposisi ini dirancang untuk menghasilkan material yang kokoh dan tahan lama untuk digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi permukaan tanah.

Limbah abu sekam padi merupakan salah satu limbah pertanian yang melimpah di Indonesia, dan pemanfaatannya sebagai sumber silika dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut. Pada penelitian kandungan abu sekam padi dengan metode penelitian yang digunakan mencakup beberapa langkah, mulai dari pengambilan sampel sekam padi hingga karakterisasi hasil pembakaran. Karakterisasi Abu Sekam Padi (ASP) dilakukan menggunakan pengujian X-Ray Fluorescence (XRF), yang memungkinkan identifikasi komposisi kimia dari abu sekam padi yang dihasilkan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa abu sekam padi didominasi oleh kandungan silika (SiO2) sebesar 56,4%, serta beberapa senyawa oksida lainnya (Fatah, 2021). Pada penelitian pembuatan paving block dengan menggunakan bahan tambah abu sekam padi dan 2,5% kapur dengan variasi abu sekam padi sebesar 0%, 10%, dan 20% terhadap berat semen. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada umur paving block 28 hari didapat kesimpulan bahwa paving block dengan campuran abu sekam padi 10% degan 2,55 kapur diperoleh nilai kuat tekan paling tinggi dan nilai porositas optimal (Astri, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa limbah sekam padi dapat menjadi sumber silika yang potensial, dan penggunaannya dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan

dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan tambahan dalam pembuatan material bangunan seperti paving block.

Pasir alam merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui dan semakin sulit untuk diperoleh di masa mendatang. Abu batu, yang merupakan limbah dari industri pemecahan batu, merupakan salah satu opsi yang layak untuk digunakan sebagai pengganti pasir dalam campuran beton atau paving block. Agregat halus, seperti pasir, memiliki peran penting dalam campuran beton atau aspal sebagai pengisi. Ukurannya berkisar dari no. 4 hingga no. 100. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan-bahan seperti lempung, organik, atau partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100 yang dapat merusak campuran beton (Fitria, 2019). Pada penelitian pembuatan paving block dengan abu batu sebagai subtitusi agregat halus dengan variasi abu batu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% didapat nilai kuat tekan optimum sebesar 22,4 Mpa dengan kenaikan sebesar 2%, dari hasil tersebut abu batu dapat meningkatkan kuat tekan paving block. Dengan memanfaatkan limbah industri seperti abu batu sebagai pengganti pasir, tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada pasir alam yang semakin langka, tetapi juga memberikan solusi untuk penanganan limbah industri yang optimal. Ini adalah langkah yang cerdas dalam upaya menjaga lingkungan dan memperhatikan keberlanjutan dalam industri konstruksi.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan paving block dengan menambahkan abu sekam padi sebesar 10 % dan abu batu. Penulis memberikan penambahan abu sekam padi hanya sebesar 10% karena berdasarkan penelitian terdahulu nilai kenaikan mutu paving block dengan penambahan abu sekam padi paling optimum berada pada variasi 10%. Pada penelitian ini abu sekam padi yang digunakan berasal dari hasil dari limbah pembakaran sekam padi hingga halus yang mana mempunyai kandungan silika yang tinggi, sedangkan abu batu sendiri adalah limbah industri pemecahan batu. Saat ini limbah batu sangat banyak jumlahnya sehingga alangkah baiknya diupayakan penangannya secara optimal agar bermanfaat bagi bahan kontruksi. Kandungan silika yang tinggi dalam abu sekam padi dapat mengurangi penggunaan semen pada pembuatan paving block.

Penelitian ini juga dilakukan untuk mendapatkan variasai dan campuran pada paving block agar mendapatkan bahan pengganti tanpa mengurangi mutunya.

1.2 Rumusan Malasah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka permasalahan yang akan ditinjau dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh 10% abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dan abu batu sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat tekan, ketahanan aus,dan penyerapan air pada paving block.
2. Berapa presentase variasi optimum abu batu sebagai pengganti sebagian pasir dengan tambahan 10% abu sekam padi sebagai penggati sebagian semen.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, maka tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air terhadap paving block dengan menggunakan 10 % abu sekam padi sebagai pengganti semen dan abu batu sebagai pengganti sebagian pasir.
2. Mengetahui besaran variasi abu batu paling optimum sebagai pengganti sebagian pasir dengan penambahan 10% abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat maupun bagi penulis, yaitu :

1. Penulis memperoleh wawasan dan ilmu baru terkait dengan penelitian yang telah dilakukan.
2. Sebagai bahan masukan untuk pembuatan paving block menggunakan abu sekam padi dan abu batu sehingga mendapatkan paving block yang lebih ekonomis.

3. Mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang berupa abu sekam padi dan memanfaatkan abu batu sebagai bahan pengganti sebagian pasir pada paving block.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mempermudah analisis dalam penelitian, maka penelitian ini diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada uji daya serap air, kuat tekan, dan keausan pada paving block.
2. Abu sekam padi yang digunakan sebesar 10% pada tiap variasinya merujuk pada penelitian terdahulu dimana nilai kenaikan mutu paling optimum berada pada variasi 10%. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pasar Ketanggungan, Kabupaten Brebes.
3. Abu batu yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil pabrik pemecah batu yang berada di Cangkringan, Kabupaten Sleman.
4. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari gunung Merapi dengan kriteria lolos saringan berdiameter 10 mm.
5. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah PCC Merk Tiga Roda yang dibungkus dalam kemasan 50 kg.
6. Campuran paving block yang digunakan dengan perbandingan 1 pc : 6 ps, dengan campuran ini paving block diharapkan dapat difungsikan untuk lahan parkir
7. Pengujian ini menggunakan paving block tipe Holand dengan ukuran 200 x 100 x 60 mm yang kemudian dipotong menjadi ukuran yang berbeda sesuai pengujian paving block.

   Pengujian kuat tekan dengan ukuran 50 x 50 x50 mm

   Pengujian keausan dengan ukuran 50 x 50 x 20 mm

   Pengujian penyerapan air dengan ukuran paving block normal yaitu ukuran 200 x 100 x 60 mm

8. Pencampuran bahan dilakukan menggunakan mesin molen.
9. Uji paving block pada umur 28 hari dilakukan di laboratorium.
10. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam atau membasahi permukaan paving block.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Pada penulisan tugas akhir saya melampirkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi, informasi dan acuan dalam penelitian saya ini.

1. Pengaruh abu batu sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus dan semen terhadap kuat tekan paving block

   Penelitian tentang pengaruh abu batu sebagai pengganti sejumlah agregat halus dan semen terhadap kuat tekan paving block wahyudi et al (2017). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh kenaikan kuat tekan paving block dengan abu batu sebagai bahan pengganti serta membandingkan kuat tekan yang dihasilkan adukan 1 : 4 dan 1 : 6 yang biasa digunakan dari pabrik rumah tangga di Kota Bengkulu. Variasi penggantian abu batu yang digunakan yaitu 5%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat isi. Benda uji berbentuk persegi panjang dengan dimensi panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tebal 6 cm. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 5 benda uji. Nilai kuat tekan optimum paving block umur 28 hari masing-masing adukan terjadi pada variasi 30%. Pada adukan 1 : 4 yakni sebesar 30,66 MPa dengan peningkatan sebesar 4,11 MPa atau 15,47% dari paving block normal (0%), sedangkan pada adukan 1 : 6 yakni sebesar 21,56 MPa dengan peningkatan sebesar 4,98 MPa atau 30,07% dari paving block normal (0%). Hasil penelitian menunjukan bahwa penggantian abu batu yang terlalu banyak atau lebih dari 30% mengakibatkan kuat tekan paving block menurun.

2. Pemanfaatan limbah padat slag nikel, abu sekam padi, dan fly ash menjadi paving block

   Penelitian tentang pemanfaatan limbah padat slag nikel, abu sekam padi, dan fly ash sebagai pengganti pasir pada paving block dilakukan oleh Aprianto et al (2018). Pada penelitian ini paving block terdiri dari lima (5) sampel dengan kode

sampel menggunakan abjad A,B,C,D,dan E, dengan komposisi yang berbeda tiap sampel. Komposisi sampel A semen 25%, Slag 25%, abu sekam padi 25% dan Fly ash 25%. Komposisi sampel B semen 25%, Slag 45%, Abu sekam padi 15%, dan Fly ash 15%. Komposisi sampel C semen 25%, Slag 15%, Abu sekam padi 45%, dan Fly ash 15%. Komposisi sampel D semen 25%, Slag 15%, Abu sekam padi 15%, dan Fly ash 45%. Komposisi sampel E semen 25%, Slag 35%, Abu sekam padi 25%, dan Fly ash 15%. Paving block dengan kode sampel C campuran 45% abu sekam padi, 25% semen, 15 % slag nikel dan 15% ply ash dengan waktu perendaman selama 17 hari menghasilkan kuat tekan paving block sebesar 157,31 kg/$cm2$, begitu pula pada persentase paving block dengan kode sampel B campuran 25% semen, 45% slag, dan 15% fly ash dengan waktu perendaman yang sama selama 17 hari mengahasilkan kuat tekan paving block sebesar 157,31 kg/cm2, tetapi dua sampel ini menunjukan berat yang berbeda. Paving block dengan penambahan beberapa persentase abu sekam padi, slag nikel, dan ply ash menunjukkan hasil kuat tekan yang berbeda-beda. Kuat tekan terbaik ditunjukan pada kode sampel A dengan penambahan 25% abu sekam padi, 25% slag nikel, dan 25% ply ash menunjukkan perilaku kuat tekan yang cukup baik dimana nilainya kuat tekannya 222,38 kg/cm2.

3. Paving block berbasis abu gosok

   Penelitian tentang paving block berbasis abu gosok abu gosok digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dilakukan oleh Basuki (2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kuat tekan paving block yang akan di campur dengan abu gosok dengan persentasi 0%,5%,10%, dan 15% dengan menggunakan perbandingan 1 : 6. Dengan penambahan abu gosok didapatkan hasil pengujian paving block dengan persentasi tertentu didapatkan hasil kuat tekan yang dilakukan selama 28 hari adalah 0% sebesar 12,35Mpa, 5% sebesar 11,95Mpa, 10% sebesar 13Mpa, dan 15% sebesar 11,26Mpa. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan penambahan persentasi kuat tekan paving block berbasis abu gosok pada campuran 10%. Dan mengalami penurunan pada kuat tekan pada campuran 15% dan 5%.

4. Pengujian kuat tekan beton yang menggunakan angregat lokal dengan pemanfaatan abu sekam padi dan batu apung

   Penelitian tentang pengujian kuat tekan beton yang menggunakan agregat local dengan pemanfaatan abu sekam padi (ASP) dan batu apung (BA) sebagai subtitusi parsial semen dilakukan oleh Rajak et al (2020). Varian yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton normal, abu sekam padi 10%, abu sekam padi 10% + batu apung 2,5%, abu sekam padi 10% + batu apung 5%, abu sekam padi 10% + batu apung 10%, abu sekam padi 10% + batu apung 15%. Hasil penelitian beton dengan substitusi parsial semen menunjukan bahwa kuat tekan yang paling optimum terdapat pada beton dengan substitusi parsial abu sekam padi 10%, dengan hasil 19,46 MPa pada umur 14 hari dan 23,44 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton mengalami peningkatan dengan presentase sebesar 20,45%.
5. Pengaruh abu batu sebagai subtitusi agregat halus untuk pembuatan paving block

   Penelitian tentang pengaruh abu batu sebagai subtitusi agregat halus untuk pembuatan paving block dilakukan oleh Syarah (2022). Penelitian ini dilakukan pada paving block dengan mutu kuat tekan K225 kg/cm2 dengan subtitusi campuran abu batu sebagai pengganti agregat halus pasir. Varian yang dilakukan lima macam yaitu 0%,10%,20%,30% dan 40% dan benda uji paving block berukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm dengan jumlah sampel uji sebnayak 75. Pengujian material dan sampel paving block dilakukan dilaboratorium Teknologi beton Universitas Bung Hatta dan pembuatan sampel dilakukan di industry paving block Sinar Diamond Padang. Analis statistik digunakan untuk menganalisa daya kuat tekan karakteristik beton paving block ini. Hasil analisis menunjukan bahwa pada subtitusi 20% abu batu didapatkan nilai kuat tekan optimum sebesar 22,4 Mpa atau setara dengan K228 kg/cm2 .

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan kajian yang dilakukan sebelumnya yang telah dijelaskan diatas, maka dapat penulis simpulkan terdapat perbedaan penelitian yang akan diteliti. Berikut adalah perbedaan penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan diteliti sekarang yang akan ditampilkan pada Tabel 2.1 dihalaman selanjutnya.

2.3 Keaslian Penelitian

Perbedaan penelitian pada tugas akhir ini dengan penelitian-penelitian terdahulu yaitu penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian tersebut. Penelitian yang dilakukan penulis adalah melakukan studi eksperimental menggunakan abu sekam padi dan abu batu sebagai pengganti campuran bahan pembuat paving block dengan variasi persentase abu sekam padi (ASP) dan abu batu (AB) adalah (0%), 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) +10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) yang belum ada sebelumnya. Penelitian terdahulu terhadap paving block tidak murni hanya menambahkan abu sekam padi dan abu batu saja, melainkan ditambahkan berbagai jenis bahan tambah lainnya. Adapun beberapa tinjauan pustaka yang diperoleh dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	**Basuki**	**Aprianto**	**Syarah**	**Rajak**	**Wahyudi**	**Reksa**
Tahun	**(2019)**	**(2018)**	**(2022)**	**(2020)**	**(2017)**	**(2024)**
Judul Penelitian	Paving block berbasis abu gosok	Pemanfaatan limbah padat slag nikel, abu sekam padi, dan fly ash menjadi paving block	pengaruh abu batu sebagai subtitusi agregat halus untuk pembuatan paving block	Pengujian kuat tekan Beton yang menggunakan aggregat lokal dengan pemanfaatan abu sekam padi dan batu apung	Pengaruh abu batu sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus dan semen terhadap kuat tekan paving block	Studi pengaruh variasi abu batu sebagai pengganti pasir terhadap kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air paving block dengan penggunaan abu sekam padi sebesar 10% sebagai pengganti semen

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	**Basuki**	**Aprianto**	**Syarah**	**Rajak**	**Wahyudi**	**Reksa**
Tahun	**(2019)**	**(2018)**	**(2022)**	**(2020)**	**(2017)**	**(2024)**
Tujuan Penelitian	1. Mengetahui kandungan dalam abu gosok yang dapat digunakan untuk meminilisir pencampuran abu gosok. 2. Mengetahui campuran – campuran yang baik dalam pembuatan abu gosok. 3. mengetahui kuat tekan paving block yang menggunakan campuran abu gosok	Untuk mengetahui pengaruh kuat tekan pada paving block dengan menggunakan slag nikel, abu sekam padi, fly ash sebagai pengganti sebagian agregat kasar.	untuk mendapatkan peningkatan kekuatan tekan paving block dengan subtitusi abu batu, sampah dari pengolahan dari industry pemecah batu. Dengan varian yang dilakukan lima macam yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%.	1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan abu sekam padi dan batu apung sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton. 2. Untuk mengetahui seberapa besar nilai persentase penambahan abu sekam padi dan batu apung agar diperoleh kuat tekan yang maksimal. 3. Untuk mengetahui apakah abu sekam padi dan batu apung dapat menjadi bahan pengganti sebagian semen.	untuk mengetahui pengaruh kenaikan kuat tekan paving block dengan abu batu sebagai bahan pengganti serta membandingkan kuat tekan yang dihasilkan adukan 1 : 4 dan 1 : 6 yang biasa digunakan dari pabrik rumah tangga di Kota Bengkulu.	1. Mengetahui kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air terhadap paving block dengan menggunakan 10 % abu sekam padi sebagai pengganti semen dan abu batu sebagai pengganti sebagian pasir. 2. Mengetahui besaran variasi abu batu paling optimum sebagai pengganti sebagian pasir dengan penambahan 10% abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	**Basuki**	**Aprianto**	**Syarah**	**Rajak**	Wahyudi	**Reksa**
Tahun	**(2019)**	**(2018)**	**(2022)**	**(2020)**	**(2017)**	**(2022)**
Hasil Penelitian	Dengan penambahan abu gosok didapatkan hasil pengujian paving block dengan persentasi tertentu didapatkan hasil kuat tekan yang dilakukan selama 28 hari adalah 0% sebesar 12,35Mpa, 5% sebesar 11,95Mpa, 10% sebesar 13Mpa, dan 15% sebesar 11,26Mpa. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan penambahan persentasi kuat tekan paving block berbasis abu gosok pada campuran 10%. Dan mengalami penurunan pada kuat tekan pada campuran 15% dan 5%.	Paving block dengan penambahan beberapa persentase abu sekam padi, slag nikel, dan ply ash menunjukkan hasil kuat tekan yang berbeda-beda. Kuat tekan terbaik ditunjukan pada kode didapatkan nilai sampel A dengan penambahan 25% abu sekam padi, 25% slag nikel, dan 25% ply ash menunjukkan perilaku kuat tekan yang cukup baik dimana nilainya kuat tekannya 22238 kg/cm2.	Varian yang dilakukan lima macam yaitu 0%,10%,20%,30% dan 40%. Hasil analisis menunjukan bahwa pada subtitusi 20% abu batu optimum sebesar 22,4 Mpa atau setara dengan K228 kg/cm2.	Hasil penelitian beton dengan substitusi parsial semen menunjukan bahwa kuat tekan yang paling optimum terdapat pada beton dengan substitusi parsial abu sekam padi 10%, dengan hasil 19,46 MPa pada umur 14 hari dan 23,44 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton Mengalami peningkatan dengan presentase sebesar 20,45%.	Berdasarkan penelitian nilai kuat tekan optimum paving block umur 28 hari masing-masing adukan terjadi pada variasi 30%. Pada adukan 1 : 4 yakni sebesar 30,66 MPa dengan MPa dengan peningkatan sebesar 4,11 MPa atau 15,47% dari paving block normal (0%), sedangkan pada adukan 1 : 6 yakni sebesar 21,56 Mpa dengan peningkatan sebesar 4,98 MPa atau 30,07% dari paving block normal (0%). Hasil penelitian menunjukan bahwa penggantian abu batu yang terlalu banyak atau lebih dari 30% mengakibatkan kuat tekan paving block menurun.	

Sumber: Basuki (2019), Aprianto (2018), Syarah (2022), Rajak (2020), & Wahyudi (2017)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Paving Block

Menurut Badan Standarisasi Nasional *Paving Block* merupakan suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen *portland* atau bahan penyatu hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut.

Dari SNI 03-0691-1996 *Paving Block* terbagi menjadi beberapa kelas atau klasifikasi berdasarkan mutunnya,

a) Mutu A digunakan untuk jalan
b) Mutu B digunakan untuk lahan parkir
c) Mutu C digunakan untuk ruas pejalan kaki
d) Mutu D digunakan untuk lahan taman dan penggunaan lainnya.

Mutu *Paving Block* tersebut dibedakan berdasarkan nilai dari kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. Berikut adalah nilai-nilai dari kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Sifat-Sifat Fisika Paving Block

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks.
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber : SNI 03-0691-1996

Paving Block harus memiliki permukaan yang rata, tidak ada retak-retak cacat, serta pada bagian sudut dan rusuknya tidak mudah pecah ditekan menggunakan jari. Selain itu *Paving Block* juga harus memiliki ukuran tebal minimum 60 mm dengan dengan toleransi ±8 %.

3.2 Bahan Penyusun Paving Block

3.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil pelapukam alami batuan atau pasir yang diproduksi oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm. Berikut ini adalah syarat yang harus dimiliki oleh agregat halus menurut spesifikasi bahan bangunan bagian A.

1. Agegat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan angka kekerasan ±2,2.
2. Butiran agregat halus harus bersifat kuat, dengan kata lain tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca panas maupun hujan.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5%. Maksud dengan kandungan lumpur adalah bagian yang dapat lolos saringan 0,060 mm.
4. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuciterlebih dahulu.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organis terlalu banyak yang dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Harder*. Jika direndam larutan 3% NaOH, cairan diatas tidak boleh lebih gelap dari pada warna larutan pembanding.
6. Pasir laut tidak dapat dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang di anjurkan atau dibolehkan.
7. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan.

   Beberapa karakteristik pasir yang umum adalah sebagai berikut :

   1. Berat jenis pasir

      Berat jenis pasir merupakan rasio antara massa padat pasir dengan massa air yang mempunyai volume sama pada suhu yang sama. Berdasarkan berat jenisnya agregat secara umum dapat dibedakan menjadi 3 (Tjokrodimulio 1996) adalah sebagai berikut.

a. Agregat normal merupakan yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa.
b. Agregat berat merupakan yang jenisnya lebih dari 2,8 sebagai contoh magnetic (Fe3O4), barites (BaSO4) atau serbuk besi.
c. Agregat ringan merupakan yang berat jenisnya kurang dari 2 dan biasanya digunakan untuk bagian non structural.

2. Gradasi Pasir

Gradasi pasir merupakan distribusi ukuran butiran dan pasir, sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai presentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam ayakan. Gradasi agregat akan memberikan variasi ukuran butir yang bervariasi sehingga akan memberikan pengaruh pada penempatan yang tinggi sejalan dengan peningkatan kekuatan. Butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang besarr sehingga pori yang terbentuk akan menjadi sedikit.

Berdasarkan pengertian agregat halus diatas, maka susunan ayakan untuk mementukan gradasi pasir berturut turut adalah ayakan dengan lubang 10 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. Menurut SK SNI T-15-1990-03, kekerasan pasir dibedakan menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus, dan pasir halus. Berikut adalah batas-batas gradasi untuk agregat halus yang disajikan pada tabel 3.2 di halaman selanjutnya.

Tabel 3. 2 Batas-batas Gradasi Untuk Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat			
	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	0-10	0-15

Sumber: SK SNI T-15-1990-03

Dengan keterangan sebagai berikut :

a. Daerah I : Pasir kasar
b. Daerah II : Pasir agak kasar
c. Daerah III : Pasir agak halus
d. Daerah IV : Pasir halus

3.2.2 Semen Portland

Semen Portland merupakan bahan konstruksi yang paling banyak dalam pekerjaan beton. Menurut ASRMC C-150,1985 dalam Mulyono (2005), semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau terdiri dari kalsium sulfat sebagai bahan tambah yang telah dicampur Bersama dengan bahan utama.

Semen Portland merupakan bahan ikat yang banyak dipakai dalam pembangunan. Semen Portland mempunyai sifat hidrolisis dengan gips sebagai bahan tambahan (PBUI-1982). Dalam penyebarannya terdapat berbagai macam semen dan tiap macamnya mempunyai fungsi atau digunakan dalam kondisi tertentu dengan sifat yang khusus. Fungsi dari semen sendiri adalah sebagai bahan perekat yang dinartikan merekatkan butir agregat agar menjadi padat. Selain menjadi bahan perekat semen juga dapat difungsikan untuk mengisi rongga kosong

diantara butiran agregat, Terdapat 4 unsur penting dalam semen. Unsur tersebut adalah sebagai berikut (Tjokromulio,1992).

1. Trikalsium Silikat (C3S) atau (3CaO,SiO2)

   Bila terkena air, C3S segera berhidrasi dan menghasilkan panas, C3S juga sangat berpengaruh dalam pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari.

2. Dikalsium Silikat (C2S) atau 2CaO,SiO2

   C2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga dapat berpengaruh terhadap pengerasan setelah berumur lebih dari 7 hari.

3. Trikalsium Aluminat (C2A) atau 3CaO,AlO3

   Kandungan ini berhidrasi secara exothermic, dan beraksi dengan cepat dengan memberikan kekuatan sesudah 24 jam. C3A bereaksi dengan air sebanyak 40% tetapu dengan jumlah unsur yang sedikit makan pengaruhnya pada jumlah air sedikit.

4. Tetrakalsium Aluminoferit (C4AF) atau 4CaO.Al2O3.Fe2O3.

   Unsur C4AF tidak terlalu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton.

Perbedaan sifat jenis semen terjadi karena perbedaan unsur kimia ataupun kehalusan butir-butirnya. Bahan dasar yang terutama mengandung kapur, silika, alumunia, dan oksida besi yang menjadi bahan tersebut adalah unsur pokok utama semen. Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks. Berikut adalah susunan unsur semen yang disajikan pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Susunan Unsur Semen

Oksida	Persen (%)
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO_2	17-25
Oksida	Persen (%)
Alumunia, Al_2O_3	3-8
Besi, Fe_2O_3	0,5-8
Magnesia, MgO	0,5-4
Sulfur, SO_3	1-2
Soda/potash $Na_2O + K_2O$	0,5-1

(Sumber: Tjokrodimuljo, 1992)

Dari kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk jenis atau karakter dari semen tersebut. Peraturan beton 1998 (SKBI.1.4.53.1989) dihalaman 1, membagi semen *Portland* menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2). Berikut adalah jenis semen *Portland* :

1. Tipe I, semen *Portland* yang penggunaannya tidak memerlukan syarat khusus seperti jenis yang lain.
2. Tipe II, semen *Portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen *Portland* yang penggunaannya memerlukan kekuatan awal tinggi dalam fase permulaan setelah pengikat terjadi.
4. Tipe IV, semen *Portland* yang penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen *Portland* yang penggunaannnya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasr pembuatan beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta disajikan bahan pengantar butir agregat, Proses pengikatan berawal beberapa menit setelah pencampuran yang disebut *initial set* (pengikat awal). Waktu pengikatatan merupakan jangka waktu dari mulai mengikat setelah semen berhubungan dengan air sampai adukan, semen menunjukan kekentalan yang tidak memungkinkan lagi untuk dikerjakan lebih lanjut. Untuk bereaksi dengan semen,air yang diperlukan hanya ±25% berat semen, tetapi dalam kenyataan nilai factor semen yang kurang dari 0,35 sulit dilakukan. Penambahan air tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton, akan berkurang atau akan muculnya *bleending*. Hasil *bleeding* berupa lapisan tipis yang mengurangi lekatnya lapisan beton. Berikut adalah fungsi air dalam campuran beton.

1. Sebagai pelumas bagi agregat halus dan kasar
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta
3. Untuk mencairkan bahan/material semen keseluruh permukaan agregat
4. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan air yang diperlukan saat reaksi kimia
5. Memungkinkan campuran beton mengalir kedalam cetakan

3.2.4 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan produk samping dari pembakaran bata merah menggunakan sekam padi produk samping penggilingan gabah. Sisa pembakaran bata merah ini berupa abu, biasanya digunakan sebagai bahan untuk membersihkan barang rumah tangga. Murah dan melimpahnya abu sekam padi dapat diperhitungkan sebagai sumber silika, dibandingkan dengan abu sekam padi hasil furnace yang memerlukan energi tinggi. Silika adalah oksida paling melimpah di kerak bumi, selain besi oksida. Meskipun demikian, silika tetap disintesis untuk digunakan dalam aplikasi teknologi dan salah satu senyawa anorganik yang serbaguna. Silika alam terutama yang ditemukan dalam limbah pertanian dapat menyediakan sumber alternatif untuk menggantikan prekursor silika komersial. Abu sekam padi adalah salah satu limbah pertanian yang telah dipelajari secara luas

dan dikonversi menjadi produk akhir yang lebih berharga. Komponen utama dari abu sekam padi terdiri atas amorf alumina silikat dengan beberapa kristal. Hal ini menunjukkan bahwa abu sekam padi dapat dijadikan sebagai sumber silika.

Penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen didasarkan pada pertimbangan jurnal atau penelitian sebelumnya bahwa dikatakan penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti dapat berpengaruh lebih baik dari tanpa adanya abu sekam padi. Oleh karena itu bahan pengganti abu sekam padi untuk pembuatan *paving block* ini di harapkan mampu memberi efek positif sehingga harapannya ketika *paving block* yang dihasilkan lebih baik dari yang normal dapat membantu inovasi untuk pembuatan *paving block* tersebut. Gambar Abu Sekam Padi dapat dilihat pada Gambar 3.1berikut.

Gambar 3. 1 Abu Sekam Padi

(Sumber : Reksa, 2024)

3.2.4 Abu Batu

Abu batu merupakan abu yang di hasilkan oleh pabrik pemecah batu (stone crusher) dengan lolos ayakan diameter 4.75 mm dan tertahan ayakan 0,075 mm, dengan ukuran tersebut abu batu dapat menjadi pengganti agregat halus/pasir. Di Indonesia sudah banyak pabrik-pabrik pemecah batu / pabrik stone crusher beroperasi, oleh karena itu peneliti tidak memakai limbah abu batu untuk penelitian ini melainkan memakai abu batu hasil dari pabrik pemecah batu (stone crusher) yang bentuk atau produknya sudah halus tanpa adanya material yang lain didalamnya. Penggunaan abu batu sebagai bahan pengganti pasir didasarkan pada pertimbangan jurnal atau penelitian sebelumnya bahwa dikatakan penggunaan abu batu sebagai bahan pengganti dapat berpengaruh lebih baik dari tanpa adanya abu batu. Oleh karena itu bahan pengganti abu batu untuk pembuatan paving block ini di harapkan mampu memberi efek positif sehingga harapannya ketika paving block yang dihasilkan lebih baik dari yang normal dapat membantu inovasi untuk pembuatan paving block tersebut. Gambar Abu Batu dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

Gambar 3. 2 Abu Batu

(Sumber : Reksa, 2024)

3.3 Proses Pencampuran

Dalam proses pencampuran ini dipakai perbandingan 1 pc : 6 ps dengan variasi pengganti bahan abu sekam padi dan abu batu sebesar (0%), 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) dari berat semen dan pasir. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pencampuran.

1. Siapkan bahan penyusun *paving block* yang meliputi agregat halus (pasir), semen, dan abu batu dengan presentase yang sudah ditentukan sebelumya. Kemudian bahan tersebut di campurkan menjadi satu.
2. Bahan yang telah dicampur tadi kemudian diaduk menggunakan alat pencampur (mixer) selama ±10 menit.
3. Setelah ±10 menit melalui proses pengadukan sampai adukan tersebut termasuk adukan homogen serta tingkat kelacakannya sudah memenuhi target, maka bahan tersebut bisa untuk dimasukan ke dalam alat cetak.

   Berikut adalah gambar pada proses pencampuran yang dapat dilihat pada gambar 3.3.

Gambar 3. 3 Proses Pencampuran Bahan

(Sumber : Reksa, 2024)

3.4 Perawatan Paving Block

Pada tahap ini dilakukan perawatan pada benda uji yaitu dengan melakukan perendaman pada benda uji setelah satu hari dari pencetakan *paving block*. Pada umur satu hari benda uji sudah cukup keras untuk dilakukan perendaman untuk menjaga kelembaban selama 28 hari. Berikut adalah gambar perawatan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 3.4.

Gambar 3. 4 Proses Perawatan Benda Uji

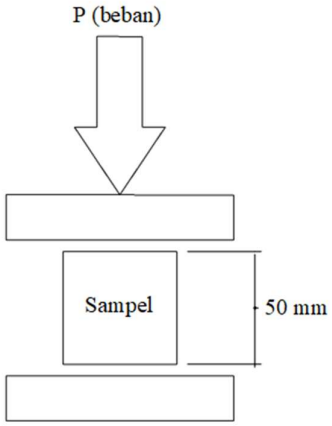
(Sumber : Reksa, 2024)

3.5 Pengujian Paving Block

Dalam SNI 03-0691-1996 *paving block* diharuskan memiliki sifat-sifat fisika yang berupa kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. Dengan itu peneliti juga melakukan pengujian sesuai dengan yang sudah ditetapkan SNI 03-0681-1996. Pengujian *paving block* disajikan pada sub bab berikut ini.

3.5.1 Kuat Tekan Paving Block

Kuat tekan *paving block* merupakan nilai beban yang mampu ditahan dalam suatu luasan bidang benda uji hingga benda uji tersebut hancur. Pada umumnya *paving block* adalah benda yang kuat tekannya paling baik, oleh karena itu peneliti berharap dengan adanya abu batu sebagai bahan pengganti agregat halus dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen dapat menambah kuat tekan pada *paving block.* berikut adalah sketsa pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan

Pada SNI 03-0691-1996 kuat tekan pada *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1) berikut ini.

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

Dengan:

F = kuat tekan (MPa),

P = beban Tekan (N), dan

A = luas Bidang Tekan (mm^2)

3.5.2 Ketahanan Aus

Ketahanan aus merupakan terkikisnya sejumlah lapisan permukaan material yang diakibatkan karena adanya gesekan antara suatu benda dengan benda lainnya. Gesekan dapat merupakan gaya yang terjadi dianatar dua benda yang saling bersentuhan (Sumarjono, 2005). Ketahanan aus pada *paving block* hal yang sangat dipertimbangkan, karena pada perkerasan jalan untuk terjadinya gesekan sangat sering terjadi maka dari itu ketahanan aus pada *paving block* suatu hal yang penting untuk diperhitungkan.

Untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada *paving block* menggunakan persamaan (3.2) berikut ini.

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

Dengan:

D = keausan (mm/menit) dan

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

3.5.3 Penyerapan Air

Penyerapan air pada *paving block* merupakan presentase berat air yang mampu di serap melalui perantara pori-pori pada *paving block*. Penyerapan air pada *paving block* didapatkan dengan cara merendam utuh benda uji *paving block* dalam air selama 24 jam, Ketika sudah 24 jam kemudian ditimbang sebagai berat basah. Kemudian dikeringkan di dalam mesin pengering selama 24 jam pada suhu ±105°C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2% penimbangan.

Untuk menghitung penyerapan air pada *paving block* dapat dilihat pada persamaan (3.3) berikut ini.

$$DSA = (A - B)/B \ x \ 100\% \quad (3.3)$$

Dengan :

DSA = Penyerapan Air (%)

A = Berat *Paving Block* Basah (gram)

B = Berat *Paving Block* Kering (gram)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan eksperimen. Metode ini dapat didefinisikan sebagai metode yang di dapat dari hasil penelitian benda uji yaitu paving block yang menggunakan bahan pengganti abu sekam padi sebagai pengganti semen dan abu batu sebagai pengganti agregat halus (pasir) dengan variasi (0%), 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) dari berat semen dan agregat halus (pasir). Benda uji yang dipakai yang berbentuk persegi atau jenis holand dengan ukuran 20 cm x 10 x 6 cm. Untuk setiap variasi terdapat tiga pengujian yaitu kuat tekan, ketahan aus, dan penyerapan air. Pada pengujian kuat tekan sebanyak 10 buah, pada pengujian ketahanan aus sebanyak 5 buah, dan pada pengujian peyerapan air sebanyak 5 buah. Pengujian ini akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah jumlah benda uji serta pengujiannya yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan pada tabel 4.2 adalah ukuran benda uji untuk masing-masing pengujian.

Tabel 4. 1 Jumlah Sampel Pengujian

Variasi	Presentase Abu Sekam Padi dan Abu Batu	Jumlah Sampel Pengujian			Jumlah
		Kuat Tekan	Ketahanan Aus	Penyerapan Air	
1.	0%	10	5	5	20
2.	10% (ASP) + 0%(AB)	10	5	5	20
3.	10% (ASP) + 10%(AB)	10	5	5	20
4.	10% (ASP) + 20%(AB)	10	5	5	20

Lanjutan Tabel 4.1 Jumlah Sampel Pengujian

5.	10% (ASP) + 30%(AB)	10	5	5	20
6.	10% (ASP) + 40%(AB)	10	5	5	20
Total Benda uji					**120**

Pada tabel diatas abu sekam padi disingkat menjadi ASP dan abu batu disingkat menjadi AB, dan selanjutnya dalam penulisan ini akan digunakan singkatan tersebut.

Tabel 4. 2 Ukuran Sampel Pengujian

Benda Uji	**Ukuran Sampel**		
	Kuat Tekan	**Ketahanan Aus**	**Penyerapan Air**
Dimensi (cm)	5 x 5 x 5	5 x 5 x 2	20 x 10 x 6

Tahap setelah dilakukan pengujian dan hasil dari pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air, selanjutnya data yang sudah didapat dihitung menggunakan rumus persamaan. Data hasil dari perhitungan tersebut lalu disimpulkan dengan tata cara pengujian mutu sesuai dengan yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996.

4.2 Alat dan Bahan

4.2.1 Alat

Sebelum penelitian dilaksanakan, diperlukan persiapan pada alat yang akan dipakai dalam penelitian ini. Berikut ini adalah alat yang dipakai dalam penelitian ini.

1. Timbangan

   Timbangan digunakan untuk menimbang berat suatu benda. Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk menimbang bahan pembuatan *paving block* sehingga bahan yang sudah disiapkan serta diperhitungkan tidak meleset. Berikut adalah gambar timbangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 pada halaman berikutnya.

Gambar 4. 1 Timbangan

(Sumber : Reksa, 2024)

2. Sendok semen (cetok)

   Sendok semen (cetok) digunakan untuk mengambil, memindahkan, serta menggabungkan bahan pembuatan *paving block*. Selain fungsi diatas sendok semen juga dapat digunakan untuk memasukan dan meratakan bahan yang didalam cetakan. Berikut adalah gambar sendok semen yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Gambar 4. 2 Sendok Semen (cetok)

(Sumber : Reksa, 2024)

3. Oven

   Oven digunakan untuk memanaskan atau mengeringkan benda uji yang akan diujikan serta juga digunakan untuk uji propertis bahan yang digunakan untuk pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar oven yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Gambar 4. 3 Oven

(Sumber : Reksa, 2024)

4. Ember

   Ember digunakan untuk tempat menaruh bahan yang sudah disiapkan sebelumnya untuk pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar ember yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

Gambar 4. 4 Ember

(Sumber : Reksa, 2024)

5. Tongkat Penumbuk

   Tongkat penumbuk merupakan batang besi yang digunakan untuk menumbuk pasir untuk menghitung berat isi pasir memiliki ujung yang bulat. Tongkat penumbuk memiliki diameter 16 mm dengan panjang 600 mm. Berikut adalah gambar tongkat penumbuk yang dapat dilihat pada gambar 4.5.

Gambar 4. 5 Tongkat Penumbuk

(Sumber : Reksa, 2024)

6. Saringan

   Saringan yang digunakan saringan berukuran 4,75 mm yang berguna untuk mememilah agregat halus yang akan dipakai supaya bergradasi seragam. Gradasi seragam akan mengurangi interlocking sehingga/1akan lebih banyak pori yang akan membuat bata ringan menjadi lebi ringan. Adapun saringan yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

Gambar 4. 6 Saringan

(Sumber : Reksa, 2024)

7. Pan

   Pan digunakan untuk menaruh pasir pada saat dikeringkan untuk mencari nilai modulus halus butir dan kandungan lumpur pada pengujian propertis agregat halus. Berikut adalah gambar pan yang dapat dilihat pada gambar 4.7.

Gambar 4. 7 Pan

(Sumber : Reksa, 2024)

8. Mesin press *Paving Block*

   Mesin press *paving block* digunakan untuk mencetak *paving block* yang memiliki dimensi 20 mm x 10 mm x 6 mm dengan bentuk persegi. Berikut adalah gambar mesin cetakan *paving block* yang dapat dilihat pada gambar 4.8.

Gambar 4. 8 Mesin Press Paving Block

(Sumber : Reksa, 2024)

9. Mesin Kuat Tekan

   Mesin kuat tekan digunakan untuk mendapatkan nilai beban maksimum yang dapat di tahan oleh *paving block*. Mesin kuat tekan memberikan beban dengan gaya tekan konstan sampai sampel *paving block* hancur. Berikut adalah gambar mesin kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 4.9.

Gambar 4. 9 Mesin Kuat Tekan

(Sumber : Reksa, 2024)

10. Mesin Ketahanan Aus

    Mesin ketahanan aus digunakan untuk menghitung ketahanan aus *paving block* dengan cara memutar benda uji dan menggosokan benda uji terhadap permukaan pada lainnya. Berikut adalah gambar mesin ketahanan aus yang dapat dilihat pada gambar 4.10.

Gambar 4. 10 Mesin Ketahanan Aus

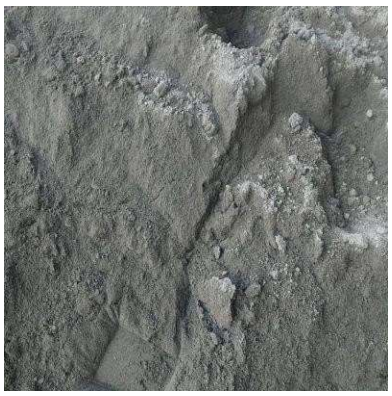
(Sumber : Reksa, 2024)

4.2.2 Bahan

Sebelum penelitian dilaksanakan, diperlukan persiapan pada bahan yang akan dipakai dalam penelitian ini. Berikut ini adalah bahan yang dipakai dalam penelitian ini.

1. Agregat halus

   Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini merupakan pasir yang berasal dari merapi yang lolos ayakan dengan diameter 4,75 mm. Berikut adalah gambar pasir yang dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Agregat Halus

(Sumber : Reksa, 2024)

2. Semen *Portland*

   Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah PCC Merk Tiga Roda. Berikut adalah gambar semen portland yang dapat dilihat pada gambar 4.12.

Gambar 4. 12 Semen Portland

(Sumber : Reksa, 2024)

3. Air

   Air yang digunakan pada penelitian ini merupakan air sumur yang berada di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Universitas Islam Indonesia.

4. Abu sekam padi

   Abu sekam padi merupakan produk samping dari pembakaran bata merah menggunakan sekam padi produk samping penggilingan gabah. Sisa pembakaran bata merah ini berupa abu, biasanya digunakan sebagai abu sekam padi. Murah dan melimpahnya abu sekam padi dapat diperhitungkan sebagai sumber silika, dibandingkan dengan abu sekam padi hasil furnace yang memerlukan energi tinggi. Berikut adalah gambar abu batu yang dapat dilihat pada gambar 4.13.

Gambar 4. 13 Abu Sekam Padi

(Sumber : Reksa, 2024)

5. Abu batu

   Abu batu yang digunakan pada penelitian ini merupakan berasal dari hasil pabrik pemecah batu (*stone crusher)* yang berada di Cangkringan, Sleman, Yogyakarta. Berikut adalah gambar abu batu yang dapat dilihat pada gambar 4.14.

Gambar 4. 14 Abu Batu

(Sumber : Reksa, 2024)

4.3 Pelaksanaan Penelitian

Proses pada penelitian ini diawali dengan tahap persiapan, pencampuran bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pemotongan benda uji dan pengujian benda uji.

4.3.1 Persiapan

1. Pasir

   Dalam persiapan pasir yang harus disiapkan meliputi pengujian modulus halus butis agregat, berat volume padat serta gembur, dan pengujian kandungan lumpur. Berikut adalah penjelasan tentang pengujian modulus halus butir agregat, pengujian berat volume agregat halus, dan pengujian kandungan lumpur.

   a. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

      Dalam pengujian ini bertujuan untuk mengetahui diameter butiran pasir dan modulus halus butir pasir yang akan digunakan pada penelitian ini. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan gradasi pasir

      1) Siapkan benda uji (pasir) yang telah sebelumnya di siapkan pada pan yang tersedia.
      2) Masukan benda uji pada oven dengan suhu (110±5) °C yang berfungsi untuk mengeringkan benda uji sampai dengan berat tetap.

3) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian ±0,5 gram.
4) Susun saringan dari lubang yang paling besar sampai lubang (9.52 mm) yang terkecil (0,15 mm). Kemudian masukan benda uji lalu langsung diayak dengan bantuan mesin pengguncang selama 10 menit.
5) Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukan dalam masing-masing pan. Kemudian benda uji tersebut ditimbang dan catat berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan.
6) Gradasi yang diperoleh dengan cara menghitung komulatif presentase butir yang lolos pada masing-masing saringan. Kemudian nilai tersebut dihiutng dengan cara menjumlahkan presentase yang tertahan lalu di bagi seratus. Berikut adalah gambar pengujian modulus halus butir agregat halus yang dapat dilihat pada gambar 4.15.

Gambar 4. 15 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

(Sumber : Reksa, 2024)

b. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Berat volume atau berat isi merupakan rasio antara berat agregat dan isi atau volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton, apabila jumlah bahan ditakar dengan ukuran volume. Berat volume agregat ditinjau dalam dua keadaan, yaitu berat volume gembur dan berat

volume padat. Berat volume gembur merupakan perbandingan berat agregat dengan volume literan, sedangkan berat volume padat adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume literan. Berikut adalah langkah-langkah pengujian berat volume pada agregat halus.

1) Siapkan silinder atau wadah dan agregat halus yang akan digunakan untuk pengujian berat volume.
2) Timbang wadah (W1) dan ukur dimensi wadah tersebut
3) Hitung volume wadah yang sudah disiapkan (V)
4) Untuk berat volume gembur masukan agregat halus kedalam wadah sampai menutupi seluruh wadah tanpa ditumbuk.
5) Untuk berat volume padat masukan agregat halus kedalam wadah sampai menutupi seluruh wadah dengan penumbukan setiap 1/3 bagian sebanyak 25 kali.
6) Timbang berat wadah yang sudah diisi dengan agregat halus (W2)
7) Hitung berat agregat (W3) dengan cara , W3 = W2 – W1
8) Hitung hasil penelitian setelah semua sudah selesai dilakukan menggunakan persamaan berikut.

   Berat Volume padat = $\frac{W3}{V}$ (4.1)

   Dengan :

   W3 = Berat agregat

   V = Volume wadah

Berikut adalah gambar pengujian berat volume agregat halus yang dapat dilihat pada gambar 4.16.

Gambar 4. 16 Pengujian Berat Volume Agregat Halus

(Sumber : Reksa, 2024)

c. Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian kandungan lumpur bertujuan untuk mengetahui kandungan lumpur yang berada dalam pasir. Berikut adalah langkah – langkah pengujian kandungan lumpur memakai saringan nomor 200 (kandungan lumpur) pasir sesuai SNI 03-4142-1996.

1) Ambil pasir yang sudah dikeringkan pada oven pada suhu (110 ± 5) ºC, kemudian timbang beratnya.
2) Selanjutnya letakkan pasir pada ayakan ukuran 0,075 mm lalu alirkan air diatasnya.
3) Lakukan pekerjaan tersebut berulang sampai lumpur hilang dan air ayakan menjadi jernih.
4) Pasir yang telah dialiri air tersebut kemudian dikeringkan dalam oven sampai berat tetap di suhu (110 ± 5) ºC selama ± 24 jam.
5) Keluarkan pasir yang telah dikeringkan dan ditimbang beratnya dengan ketelitian 0,1 gram.

6) Dari hasil penimbangan yang telah dicatat kemudian menghitung presentase kadar lumpur menggunakaan persamaan berikut

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \text{x } 100\% \quad (4.2)$$

Dengan :

W_1 = Berat agregat kering oven (gram)

W_2 = Berat agregat kering oven setelah dicuci (gram)

Berikut adalah gambar pengujian kandungan lumpur yang dapat dilihat pada gambar 4.17.

Gambar 4. 17 Pengujian Kandungan Lumpur

(Sumber : Reksa, 2024)

2. Semen Portland

   Persiapan yang dilakukan pada bahan semen Portland dilakukan dengan cara pemeriksaan *visual* yaitu denegan cara keadaan semen portland harus tertutup rapat kemudian ketika dibuka butirannya tidak terdapat yang bergumpal harus halus. Semen yang dipakai pada penelitian ini adalah PCC Merk Tiga Roda.

3. Abu sekam padi

   Pada penelitian ini peneliti mengganti semen dengan abu sekam padi yang diperoleh dari sisa pembakaran sekam padi dengan variasi 10%. Bahan ini didapat dari Pasar Ketanggungan Kabupaten Brebes.

4. Abu batu

Pada penelitian ini peneliti mengganti agregat halus dengan abu batu yang diperoleh dari hasil pabrik pemecah batu (*stone crusher)* dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%. Bahan ini terlebih dahulu dibeli pada pabrik pemecah batu (*stone crusher)* yang berada di sekitar daerah Yogyakarta. Dalam persiapan abu batu yang harus disiapkan meliputi pengujian modulus halus butis agregat, pengujian berat jenis pasir, dan pengujian kandungan lumpur. Berikut adalah penjelasan tentang pengujian modulus halus butir agregat, pengujian berat jenis pasir, dan pengujian kandungan lumpur.

a. Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu

Dalam pengujian ini bertujuan untuk mengetahui diameter butiran abu batu dan modulus halus butir pasir yang akan digunakan pada penelitian ini.

Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan gradasi pasir

1) Siapkan benda uji (abu batu) yang telah sebelumnya di siapkan pada pan yang tersedia.
2) Masukan benda uji pada oven dengan suhu (110±5)°C ysng berfungsi untuk mengeringkan benda uji sampai dengan berat tetap.
3) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian ±0,5 gram.
4) Susun saringan dari lubang yang paling besar sampai lubang (9.52 mm) yang terkecil (0,15 mm). Kemudian masukan benda uji lalu langsung diayak dengan bantuan mesin pengguncang selama 10-15 menit.
5) Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukan dalam masing-masing pan. Kemudian benda uji tersebut ditimbang dan catat berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan.
6) Gradasi yang diperoleh dengan cara menghitung komulatif presentase butir yang lolos pada masing-masing saringan. Kemudian nilai tersebut dihiutng dengan cara menjumlahkan presentase yang tertahan lalu di bagi seratus.

b. Pengujian Berat Volume Abu Batu

Berat volume atau berat isi merupakan rasio antara berat agregat dan isi atau volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton, apabila jumlah bahan ditakar dengan ukuran volume. Berat volume agregat ditinjau dalam dua keadaan, yaitu berat volume gembur dan berat volume padat. Berat volume gembur merupakan perbandingan berat agregat dengan volume literan, sedangkan berat volume padat adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume literan. Berikut adalah langkah-langkah pengujian berat volume pada agregat halus.

1) Siapkan silinder atau wadah dan agregat halus yang akan digunakan untuk pengujian berat volume.
2) Timbang wadah (W1) dan ukur dimensi wadah tersebut.
3) Hitung volume wadah yang sudah disiapkan (V)
4) Untuk berat volume gembur masukan agregat halus kedalam wadah sampai menutupi seluruh wadah tanpa ditumbuk.
5) Untuk berat volume padat masukan agregat halus kedalam wadah sampai menutupi seluruh wadah dengan penumbukan setiap 1/3 bagian sebanyak 25 kali.
6) Timbang berat wadah yang sudah diisi dengan agregat halus (W2)
7) Hitung berat agregat (W3) dengan cara , W3 = W2 – W1
8) Hitung hasil penelitian setelah semua sudah selesai dilakukan menggunakan persamaan berikut.

Berat Volume padat = $\frac{W3}{V}$ (4.3)

Dengan :

W3 = Berat agregat

V = Volume wadah

Berikut adalah gambar pengujian berat volume abu batu yang dapat dilihat pada gambar 4.18.

Gambar 4. 18 Pengujian Berat Volume Abu Batu

(Sumber : Reksa, 2024)

c. Pengujian Kandungan Lumpur Abu Batu

Pengujian kandungan lumpur bertujuan untuk mengetahui kandungan lumpur yang berada dalam pasir. Berikut adalah langkah – langkah pengujian kandungan lumpur memakai saringan nomor 200 (kandungan lumpur) pasir sesuai SNI 03-4142-1996.

1) Ambil abu batu yang sudah dikeringkan pada oven pada suhu (110 ± 5) ºC, kemudian timbang beratnya.
2) Selanjutnya letakkan abu batu pada ayakan ukuran 0,075 mm lalu alirkan air diatasnya.
3) Lakukan pekerjaan tersebut berulang sampai lumpur hilang dan air ayakan menjadi jernih.
4) Abu batu yang telah dialiri air tersebut kemudian dikeringkan dalam oven sampai berat tetap di suhu (110 ± 5) ºC selama ± 24 jam.
5) Keluarkan pasir yang telah dikeringkan dan ditimbang beratnya dengan ketelitian 0,1 gram.
6) Dari hasil penimbangan yang telah dicatat kemudian menghitungan presentase kadar lumpur menggunakaan permsamaan berikut.

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

Berikut adalah gambar pengujian kandungan lumpur abu batu abu batu yang dapat dilihat pada gambar 4.19.

Gambar 4. 19 Pengujian kandungan Lumpur Abu Batu

(Sumber : Reksa, 2024)

5. Air

   Air yang digunakan adalah air yang bersih, tidak mengandung lumpur atau jenis bahan lainnya (sesuai dengan persyaratan air minum).

4.3.2 Proses Pencampuran

Dalam proses pencampuran ini dipakai perbandingan 1 pc : 6 ps dengan variasi pengganti bahan abu sekam padi dan abu batu sebesar (0%), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) dari berat semen dan pasir. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pencampuran.

4. Siapkan bahan penyusun *paving block* yang meliputi agregat halus (pasir), semen, dan abu batu dengan presentase yang sudah ditentukan sebelumya. Kemudian bahan tersebut di campurkan menjadi satu.
5. Bahan yang telah dicampur tadi kemudian diaduk menggunakan alat pencampur (mixer) selama ±10 menit.

6. Setelah ±10 menit melalui proses pengadukan sampai adukan tersebut termasuk adukan homogen serta tingkat kelacakannya sudah memenuhi target, maka bahan tersebut bisa untuk dimasukan ke dalam alat cetak.

   Berikut adalah gambar pada proses pencampuran yang dapat dilihat pada gambar 4.20.

Gambar 4. 20 Proses Pencampuran Bahan

(Sumber : Reksa, 2024)

4.3.3 Pembuatan Benda Uji

Pada tahap pembuatan benda uji peneliti menggunakan mesin pres yang menggunakan sistem hidrolik yang dilengkapi dengan sistem vibrator yang membantu pada saat pemadatan agar agregat saling mengisi rongga. Benda uji yang dibuat harus sesuai dengan variasi pengganti bahan yang telah ditentukan sebelumnya yakni sebesar (0%), 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) dari berat semen dan pasir. Setiap variasi tersebut dibuat 20 sampel dengan total benda uji yang dibuat sebanyak 120 sampel.

Berikut perinciannya :

10 buah : untuk pengujian kuat tekan

5 buah : untuk pengujian keausan

5 buah : untuk pengujian penyerapan air

Tabel 4. 3 Pembagian Benda Uji Dari Masing-Masing komposisi

Persentase Abu Sekam Padi (ASP) dan Abu Batu (AB), (%)	Jumlah Sampel		
	Daya Serap (buah)	Keausan (buah)	Kuat Tekan (buah)
0	5	5	10
10(ASP) + 0(AB)	5	5	10
10(ASP) + 10(AB)	5	5	10
10(ASP) + 20(AB)	5	5	10
10(ASP) + 30(AB)	5	5	10
10(ASP) + 40(AB)	5	5	10

Berikut adalah langkah-langkah untuk pembuatan *paving block* dengan menggunakan mesin pres.

1. Letakan alas (triplek tebal 20 mm) pada meja mesin.
2. Pastikan mesin pada posisi vetak membuka sehingga campuran dapat dimasukan kedalam cetakan benda uji.
3. Masukan campuran bahan kedalam cetakan sampai penuh.
4. Nyalakan sistem getar pada mesin.
5. Isi kembali cetakan dengan campuran untuk menambah campuran yang turun akibat pergetaran mesin.
6. Tuas pemadat ditekan sampai sampel turun dan melakukan proses pemadatan sambil sistem getar mesin di jalankan.
7. Setelah di rasa di sudah cukup tekan tuas untuk mengangkat bagian cetakan Berikut adalah gambar proses pembuatan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.21.

Gambar 4. 21 Proses Pembuatan Benda Uji

(Sumber : Reksa, 2024)

4.3.4 Perawatan Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan perawatan pada benda uji yaitu dengan melakukan perendaman pada benda uji setelah satu hari dari pencetakan *paving block*. Pada umur satu hari benda uji sudah cukup keras untuk dilakukan perendaman untuk menjaga kelembaban selama 28 hari. Berikut adalah gambar perawatan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.22.

Gambar 4. 22 Proses Perawatan Benda Uji

(Sumber : Reksa, 2024)

4.3.5 Pemotongan Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pemotongan terhadap benda uji yang semula ukuran awal 20 cm x 10 cm x 6 cm dipotong menjadi bentuk kubus yang memiliki ukuran 5 cm x 5 cmx 5 cm dan menjadi bentuk bujur sangkar dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 2 cm. Pemotongan dilakukan untuk pengujian pada kuat tekan dan ketahanan aus sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Untuk pengujian penyerapan air tidak perlu dipotong karena untuk langkah pengujian pada penyerapan air tidak perlu untuk dipotong. Berikut adalah gambar pada saat pemotongan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.23.

Gambar 4. 23 Proses Pemotongan Benda Uji

(Sumber : Reksa, 2024)

4.3.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan setelah perawatan berumur 28 hari. Berikut adalah pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini.

1. Pengujian Kuat Tekan

   Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan *paving block*. Berikut adalah langkah-langkah pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

   a. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
   b. Benda uji ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,5 gram.

c. Dimensi benda uji diukur menggunakan jangka sorong.
d. Letakan benda uji di tengah alat uji.
e. Nyalakan mesin dengan memberikan beban yang terus meningkat.
f. Pembebanan dilakukan sampai beban turun dan catat hasil dari beban maksimum yang terjadi.

Berikut adalah gambar pada saat pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 4.24.

Gambar 4. 24 Pengujian Kuat Tekan

(Sumber : Reksa, 2024)

2. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dilakukan untuk mengetahui besar kemampuan *paving block* untuk menyerap air kedalam pori-porinya. Berikut adalah langkah-langkah pengujian penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

a. Rendam benda uji dalam air hingga jenuh selama 24 jam.
b. Timbang benda uji dalam keadaan basah menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,5 gram.
c. Keringkan benda uji dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam sampai berat pada dua kali penimbnagan yang selisihnya tidak lebih dari 0,2%
d. Timbang benda uji juga dalam keadaan kering
e. Catat semua hasil pengujian penyerapan air yang telah dilakukan.

Berikut adalah gambar pada saat pengujian penyerapan air yang dapat dilihat pada gambar 4.25.

Gambar 4. 25 Pengujian Penyerapan Air

(Sumber : Reksa, 2024)

3. Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus dilakukan setelah umur benda uji mencapai 28 hari. Berikut adalah langkah – langkah pengujian ketahanan aus sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

a. Bersihkan tiga benda uji dari kotoran yang menempel yang telah di angin-anginkan selama satu hari.
b. Benda uji di potong berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 20 mm.
c. Gunakan mesin aus dengan cara megaus – aus serta cari berat jenis yang dikerjakan sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
d. Catat semua hasil dari pengujian ketahanan aus yang telah dilakukan.

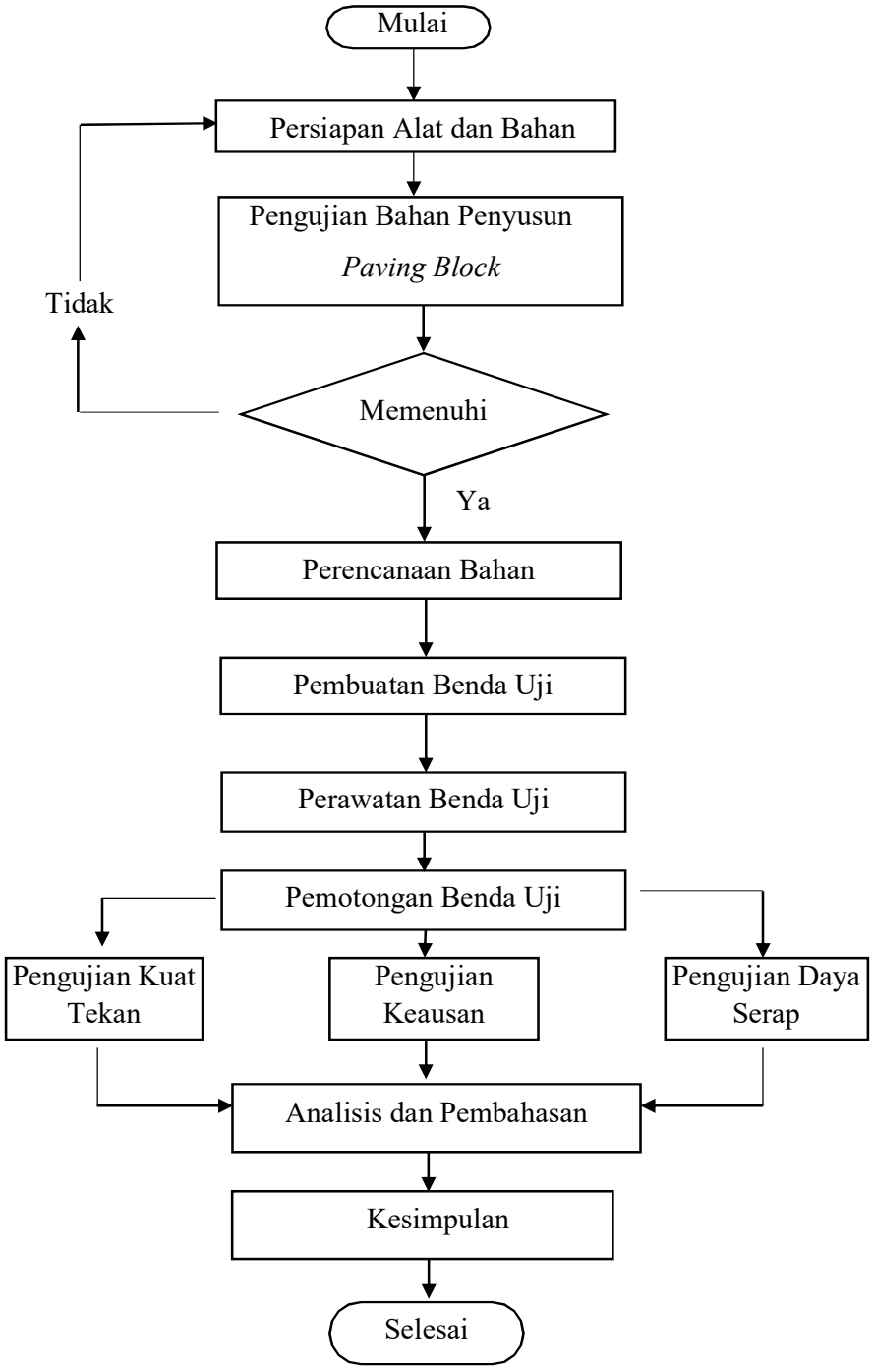
Berikut adalah gambar pada saat pengujian ketahanan aus yang dapat dilihat pada gambar 4.26 pada halaman selanjtnya.

Gambar 4. 26 Pengujian Ketahanan Aus

(Sumber : Reksa, 2024)

4.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang baik harus dilakukan secara sistematis atau dalam urutan kerja yang jelas dan teratur agar hasil yang diperoleh baik, maksimal dan dapat di pertanggung jawabkan. Berikut adalah gambar diagram alir flowchart yang dapat dilihat pada gambar 4.27 di halaman selanjutnya.



Gambar 4. 27 Diagram Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Hasil dan Pembahasan menguraikan hasil pengujian yang sebelumnya dilakukan peneliti. Data yang diperoleh harus dianalisis untuk mendapatkan hasil yang direncanakan sebelumnya.Pengujian yang dimaksud disini adalah pengujian untuk perencanaan *paving block* yang berupa pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air.

5.2 Hasil Pengujian Bahan

Hasil pengujian bahan penyusun paving block yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia mencakup data mengenai modulus halus butir, berat volume padat dan gembur, serta kandungan lumpur. Data tersebut dianalisis kembali untuk memastikan bahwa bahan tersebut memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk pembuatan paving block, sehingga paving block yang dihasilkan sesuai dengan rencana awal.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus menggunakan pasir dari Gunung Merapi. Pengujian mencakup modulus halus butir, volume padat dan gembur, serta kandungan lumpur. Berikut adalah hasil pengujian tersebut.

1. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

   Pada pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai modulus halus butir yang dilakukan berdasarkan metode dari SNI 03-1968-1990. Berikut adalah hasiil dari pengujian modulus halus butir dengan menggunakan rumus berikut.

Σ Berat Tertinggal Kumulatif Rata-rata $= \frac{243,5+238,5}{2}$

$= 241\ \%$

Modulus Halus Butir $= \frac{\Sigma\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif\ Rata-rata}{100}$

$= \frac{241}{100}$

$= 2,41$

Berikut adalah hasil dari pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2.

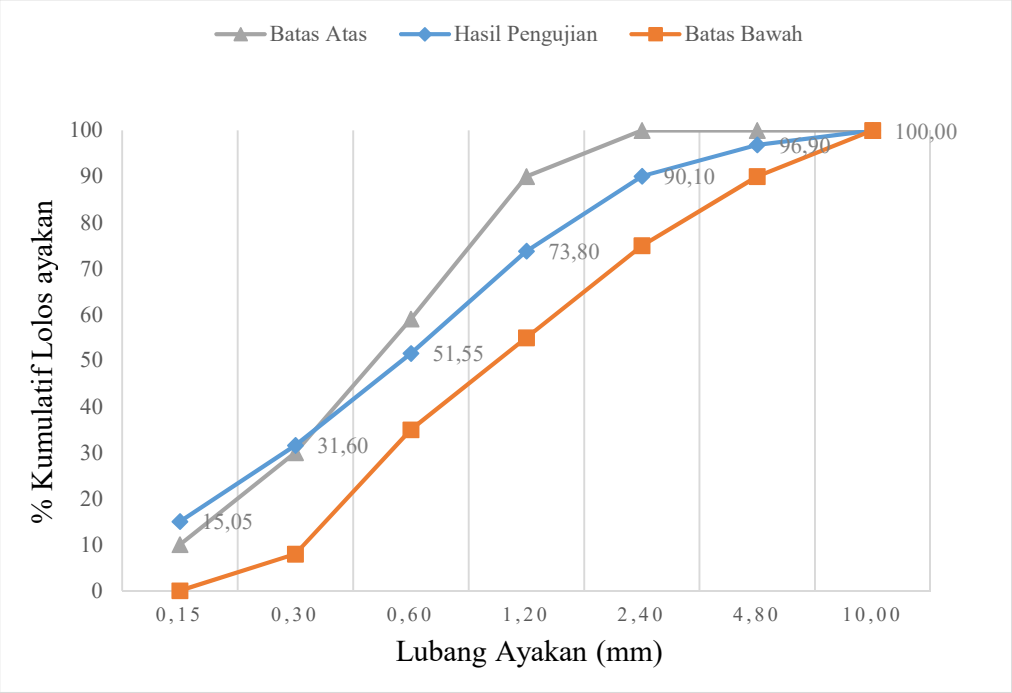
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sample 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	40	4,00	4,00	96,00
2,40	64	6,40	10,40	89,60
1,20	159	15,90	26,30	73,70
0,60	231	23,10	49,40	50,60
0,30	195	19,50	68,90	31,10
0,15	156	15,60	84,50	15,50
Sisa	155	15,50		
Jumlah	1000	100	243.5	

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sample 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	22	2,20	2,20	97,80
2,40	72	7,20	9,40	90,60
1,20	167	16,70	26,10	73,90
0,60	214	21,40	47,50	52,50
0,30	204	20,40	67,90	32,10
0,15	175	17,50	85,40	14,60
Sisa	146	14,60		
Jumlah	1000	100	238,5	

Menurut standar uji SNI 03-2461-1991, modulus agregat halus dibagi menjadi tiga kategori: pasir halus (2,20-2,60), pasir sedang (2,60-2,90), dan pasir kasar (2,90-3,20). Untuk gradasi pasir juga mengikuti pada standar uji SNI 03-2461-1991 dengan perincian untuk lubang ayakan 4,8 mm (90-100%), 2,40 mm (75- 100%), 1,20 mm (55-90%), 0,60 mm (35-59), 0,30 mm (8-30), 0,15 mm (0-10%).Pada perhitungan diatas didapatkan bahwa pasir yang digunakan pada bahan penyusun *paving block* merupakan pasir agak kasar dengan nilai 2,41. Untuk gradasi pasir yang didapatkan pada perhitungan diatas termasuk dalam gradasi pasir daerah 2. Berikut adalah grafik yang dihasilkan pada pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II

2. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

   Pada pengujian ini didapatkan hasil pengujian berat volume padat dengan menggunakan rumus berikut.

   Analisis Perhitungan :

   a. Berat tabung rata-rata $= \frac{5278+5278}{2}$

      $= 5278$ gr

   b. Berat tabung + agregat rata-rata $= \frac{8041+8077}{2}$

      $= 8059$ gr

   c. Berat agregat $= 8059 - 5278$

      $= 2781$ gr

   d. Volume tabung rata-rata $= \frac{1697,274+1697,274}{2}$

      $= 1697,274\ cm^3$

   e. Berat Volume $= \frac{2781}{1697,274}$

      $= 1,639$ gr/cm^3

Pada pengujian ini didapatkan berat volume padat pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, gram (W1)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, gram (W2)	8041	8077	8059
Berat Agregat Halus, gram (W3)	2763	2799	2781
Volume Tabung, cm^3 (V)	1697,274	1697,274	1697,274
Berat Volume, gr/cm^3	1,628	1,649	1,639

Berdasarkan hasil perhitungan diatas berat volume padat agregat halus didapat sebesar 1,639 gr/cm^3.

3. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pada pengujian ini didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat halus menggunakan rumus berikut.

Analisis Perhitungan :

a. Berat tabung rata-rata $= \frac{5278+5278}{2}$

$= 5278$ gr

b. Berat tabung + agregat rata-rata $= \frac{7597+7531}{2}$

$= 7564$ gr

c. Berat agregat $= 7564 - 5278$

$= 2286$ gr

d. Volume tabung rata-rata $= \frac{1697,274+1697,274}{2}$

$= 1697,274\ cm^3$

e. Berat Volume $= \frac{2286}{1697,274}$

$= 1,347$ gr/cm^3

Pada pengujian ini didapatkan berat volume gembur pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gram (W1)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, gram (W2)	7597	7531	7564
Berat Agregat, gram (W3)	2319	2253	2286
Volume Tabung, cm^3 (V)	1697,274	1697,274	1697,274
Berat Volume, gr/cm^3	1,366	1,327	1,347

Hasil perhitungan didapatkan berat volume gembur agregat halus dengan nilai rata-rata sebesar 1,347 gram/cm^3.

4. Pengujian Kandungan Lumpur

   Pada pengujian kandungan lumpur dilakukan untuk menentukan nilai presentasi kandungan lumpur pada agregat halus dengan menggunakan saringan ni 200. Pengujian ini dilakukan dengan standar SNI 03-4142-1996. Berikut adalah analisis perhitungan pengujian kandungan lumpur.

   Analisis Perhitungan :

   a. Berat agregat kering oven setelah dicuci rata-rata $= \frac{477+480}{2}$

      $= 478{,}5$ gr

   b. Berat yang lolos ayakan No. 200 rata-rata $= \frac{23+20}{2}$

      $= 21{,}5$ gr

   c. Presentase kandungan lumpur $= \frac{W1+W2}{W1}$ x 100%

      $= \frac{500+478{,}5}{500}$ x 100%

      = 4,30 %

   Pada pengujian ini didapatkan kandunga lumpur pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- Rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci, gram (W2)	477	480	478,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	23	20	21,5
Kadar Lumpur (%)	4,6	4	4,3

Menurut Pedoman Bahan Indonesia (PBI) tahun 1982, kandungan lumpur dalam pasir harus tetap di bawah 5%. Data yang ditemukan dalam Tabel 5.4 menunjukkan bahwa kandungan lumpur dalam pasir yang digunakan untuk pembuatan paving block adalah sebesar 4,30%.

5. Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu

   Pada pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai modulus halus butir yang dilakukan berdasarkan metode dari SNI 03-1968-1990. Berikut adalah hasiil dari pengujian modulus halus butir dengan menggunakan rumus berikut.

   Σ Berat Tertinggal Kumulatif Rata-rata $= \frac{228{,}2+223{,}5}{2}$

   $= 225{,}85\ \%$

   Modulus Halus Butir $= \frac{\Sigma\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif\ Rata-rata}{100}$

   $= \frac{225{,}85}{100}$

   $= 2{,}25$

   Berikut adalah hasiil dari pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada tabel 5.6 dan 5.7 berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu Sample 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00		0	0	100.00
20.00		0	0	100.00
10.00		0	0	100.00
4.80	1	0,10	0,10	99,90
2.40	54	5,40	5,50	94,50
1.20	217	21,70	27,20	72,80
0.60	217	21,70	48,90	51,10
0.30	168	16,80	65,70	34,30
0.15	151	15,10	80,80	19,20
Sisa	192	19,20		
Jumlah	1000	100	228,2	

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu Sample 2

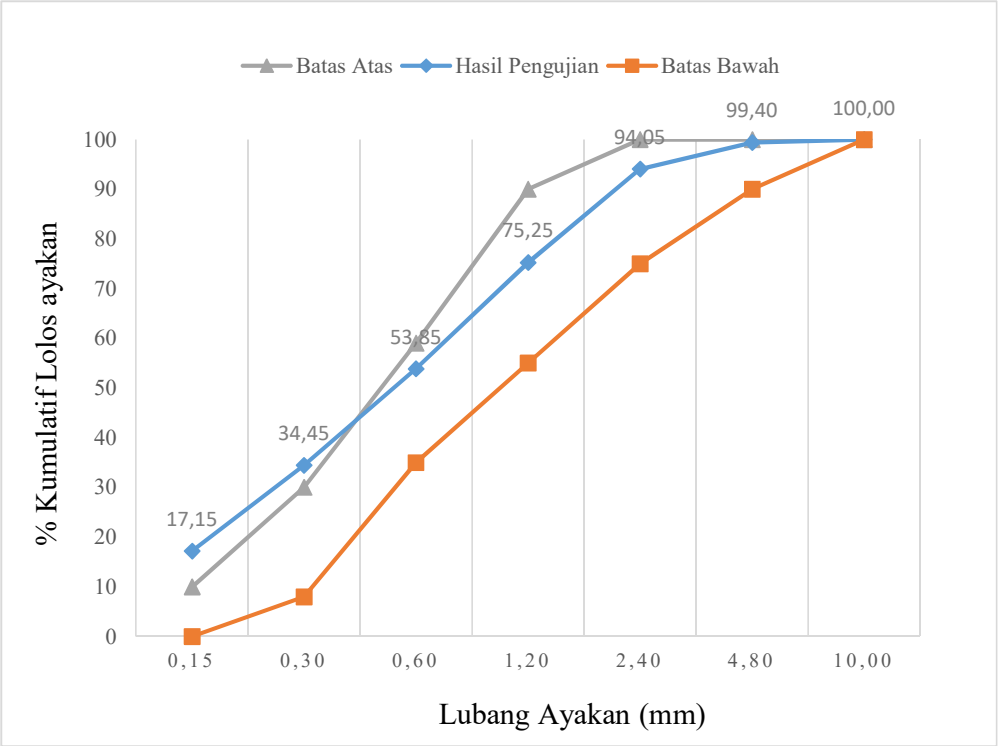
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100,00
20,00	0	0	0	100,00
10,00	0	0	0	100,00
4,80	11	1,10	1,10	98,90
2,40	53	5,30	6,40	93,60
1,20	159	15,90	22,30	77,70
0,60	211	21,10	43,40	56,60

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Abu Batu

Sample 2

0,30	220	22,00	65,40	34,60
0,15	195	19,50	84,90	15,10
Sisa	151	15,20		
Jumlah	1000	100	223,5	

Pada SNI 03-2461-1991 standar uji modulus agregat halus dikatakan bahwa untuk pasir halus (2,20-2,60), pasir sedang (2,60-2,90), dan pasir kasar (2,90- 3,20). Untuk gradasi pasir juga mengikuti pada standar uji SNI 03-2461-1991 dengan perincian untuk lubang ayakan 4,8mm (90-100%), 2,40mm (75-100%), 1,20mm (55-90%), 0,60mm (35-59), 0,30mm (8-30), 0,15mm (0-10%).Pada perhitungan diatas didapatkan bahwa pasir yang digunakan pada bahan penyusun *paving block* merupakan pasir agak kasar dengan nilai 2,25. Untuk gradasi pasir yang didapatkan pada perhitungan diatas termasuk dalam gradasi pasir daerah 2. Berukut adalah grafik yang dihasilkan pada pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada gambar 5.2



Gambar 5. 2 Grafik Analisa Saringan Halus Daerah II

6. Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu

   Pada pengujian ini didapatkan berat volume padat pada abu batu dengan menggunakan rumus berikut. yang dapat dilihat pada tabel 5.8 pada halaman selanjutnya.

   Analisis Perhitungan :

   a. Berat tabung rata-rata $= \frac{5278+5278}{2}$

      $= 5278$ gr

   b. Berat tabung + agregat rata-rata $= \frac{8102+8042}{2}$

      $= 8072$ gr

   c. Berat agregat $= 8072 - 5278$

      $= 2794$ gr

   d. Volume tabung rata-rata $= \frac{1697,274+1697,274}{2}$

      $= 1697,274\ cm^3$

e. Berat Volume $= \frac{2794}{1697,274}$

$= 1,646 \text{ gr}/cm^3$

Pada pengujian ini didapatkan berat volume padat pada abu batu yang dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gram (W1)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, gram (W2)	8102	8041	8072
Berat Agregat, gram (W3)	2824	2763	2794
Volume Tabung, cm^3 (V)	1697,274	1697,274	1697,274
Berat Volume, gr/cm^3	1,664	1,528	1,646

Hasil perhitungan berat volume padat abu batu didapat sebesar 1,646 gr/cm^3.

7. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Abu Batu

Pada pengujian ini didapatkan berat volume gembur pada abu batu menggunakan rumus berikut. yang dapat dilihat pada tabel 5.9.

Analisis Perhitungan :

a. Berat tabung rata-rata $= \frac{5278+5278}{2}$

$= 5278$ gr

b. Berat tabung + agregat rata-rata $= \frac{7845+7870}{2}$

$= 7858$ gr

c. Berat agregat $= 7858 - 5278$

$= 2580$ gr

d. Volume tabung rata-rata $= \frac{1697,274+1697,274}{2}$

$= 1697,274\ cm^3$

e. Berat Volume $= \frac{2580}{1697,274}$

$= 1,520 \text{ gr}/cm^3$

Pada pengujian ini didapatkan berat volume gembur pada abu batu yang dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, gram (W1)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, gram (W2)	7845	7870	7863
Berat Agregat, gram (W3)	2567	2592	2580
Volume Tabung, cm^3 (V)	1697,274	1697,274	1697,274
Berat Volume, gr/cm^3	1,512	1,527	1,520

Berdasarkan perhitungan diatas didapat berat volume gembur abu batu didapat sebesar 1,520 gr/cm^3.

8. Pengujian Kandungan Lumpur Abu Batu

   Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi persentase kandungan lumpur dalam agregat halus menggunakan saringan 200, sesuai dengan standar SNI 03-4142-1996. Pengujian ini dilakukan dengan standar SNI 03-4142-1996. Berikut adalah hasil dari pengujian kandungan lumpur yang dihitung menggunakan rumus berikut.

   Analisis Perhitungan :

   a. Berat agregat kering oven setelah dicuci rata-rata $= \frac{475+478}{2}$

      $= 476{,}5$ gr

   b. Berat yang lolos ayakan No. 200 rata-rata $= \frac{25+22}{2}$

      $= 23{,}5$ gr

   c. Presentase kandungan lumpur $= \frac{W1+W2}{W1}$ x 100%

      $= \frac{500+476{,}5}{500}$ x 100%

      $= 4{,}70$ %

Berikut adalah hasil dari pengujian kandungan lumpur yang dihitung menggunakan rumus berikut. dapat dilihat pada tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci, gram (W2)	475	478	476,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	25	22	23,5
Kandungan Lumpur (%)	5	4,4	4,7

Berdasarkan PBI 1982 dikatakan bahwa kandungan lumpur untuk pasir harus di bawah 5%. Hasil yang didapatkan berdasarkan pada tabel 5.8 kandungan lumpur pada pasir yang digunakan untuk bahan penyusun *paving block* memiliki kadar lumpur sebesar 4,70%.

5.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun *Paving Block*

Perhitungan kebutuhan bahan penyusun *paving block* pada pengujian ini merupakan perhitungan untuk membuat benda uji dengan variasi 0%, 10%(ASP) + 0%(AB), 10%(ASP) + 10%(AB), 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB). Bahan yang digunakan untuk membuat benda uji sebelumnya harus diperhitungkan agar benda uji sesuai dengan rencana yang sudah direncakan. Perhtiungan menggunakan perbandingan campuran 1pc : 6ps dengan kebutuhan abu batu menggunakan perbandingan terhadap pasir. Berikut adalah hasil perhitungan kebuthan bahan penyusun *paving block*.

Volume *paving block* = 20 cm x 10 cm x 6 cm

= 1200 cm^3

Berat volume padat pasir = 1,639 gr/cm^3

Faktor Pemadatan mesin hidrolis = 1,3

5.3.1 Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus

Berikut adalah kebutuhan agregat halus untuk bahan penyusun paving block.

Kebutuhan pasir $= \frac{6}{7}$ x Berat V. Padat Pasir x V. Paving x Faktor pemadatan mesin

$= \frac{6}{7}$ x 1,639 x 1200 x 1,3

= 2191,577 gr

Kebutuhan pasir untuk 20 buah = 20 x 2191,577

= 43831,54 gr

5.3.2 Perhitungan Kebutuhan Semen

Berikut adalah kebutuhan semen untuk bahan penyusun *paving Block.*

Kebutuhan Semen $= \frac{Kebutuha \quad Pasir}{Perbandingan\ Semen}$

$= \frac{2191,577}{6}$

= 365,263 gr

Kebutuhan semen untuk 20 buah = 20 x 365,263

= 7305,26 gr

5.3.3 Perhitungan Kebutuhan Abu Batu (AB)

Berikut adalah kebutuhan abu batu untuk bahan penyusun paving block pada tiap variasi yang dimana abu batu digunakan sebagai pengganti sebagian pasir. Contoh perhitungan kebutuhan abu batu pada variasi 10%(ASP) + 10% (AB):

10%(ASP) + 10%(AB)= $\frac{10}{100}$ x 43831,54 = 4383,154 gr

Hasil perhitungan kebutuhan abu batu untuk tiap variasi dapat dilihat pada tabel 5.11.

5.3.4 Perhitungan Kebutuhan Abu Sekam Padi (ASP)

Berikut adalah kebutuhan abu batu untuk bahan penyusun paving block pada tiap variasi yang dimana sekam padi digunakan sebagai pengganti sebagian semen.

Contoh perhitungan kebutuhan abu sekam padi pada variasi 10%(ASP) + 10% (AB):

10%(ASP) + 10%(AB)= $\frac{10}{100}$ x 7305,26 = 730,526 gr

Berikut adalah hasil perhitungan kebutuhan abu sekam padi untuk tiap variasi, dapat dilihat pada tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 11 Kebutuhan Abu Batu dan Abu Sekam Padi

No.	Variasi	Abu Sekam Padi, gram (ASP)	Abu Batu, gram (AB)
1	Normal	0	0
2	10%(ASP) + 0%(AB)	730,526	0
3	10%(ASP) + 10%(AB)	730,526	4383,154
4	10%(ASP) + 20%(AB)	730,526	8766,309
5	10%(ASP) + 30%(AB)	730,526	13149,463
6	10%(ASP) + 40%(AB)	730,526	17532,617
	Total	2922,103	43831,543

5.3.5 Kebutuhan Bahan Penyusun *Paving Block*

Berikut adalah kebutuhan bahan penyusun *paving block* yang terdiri atas agregat halus (pasir), semen, agregat halus (abu batu), dan abu sekam padi yang dapat dilihat pada tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Komposisi Kebutuhan Campuran Paving Block

Variasi	Semen	Pasir	Abu Sekam Padi	Abu Batu
(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)
Normal	7305,26	43831,543	0	0
10%(ASP) + 0%(AB)	6574,734	43831,543	730,526	0
10%(ASP) + 10%(AB)	6574,734	39448,389	730,526	4383,154
10%(ASP) + 20%(AB)	6574,734	35065,234	730,526	8766,309
10%(ASP) + 30%(AB)	6574,734	30682,080	730,526	13149,463
10%(ASP) + 40%(AB)	6574,734	26298,926	730,526	17532,617
Total	40178,91	219157,71	3652,63	43831,54

5.4 Hasil Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dilakukan sebanyak 3 kali pengujian yaitu pengujian kuat tekan, pengujian ketahanan aus, dan pengujian penyerapan air. Pengujian dilakukan setelah benda uji direndam selama 28 hari agar mencapai umur optimum kekuatan benda uji tersebut. Pengujian dilakukan pada setiap variasi dengan jumlah 10 buah untuk pengujian kuat tekan, 5 buah untuk pengujian ketahanan aus dan 5 buah penyerapan air.

5.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian ini untuk mempermudah peneliti, tiap benda uji diberikan kode untuk membedakan benda uji, dan pada pengujian kuat tekan diberikan kode KT (kuat tekan). Untuk mendeteksi apabila ada data yang timpang maka dilakukan uji outlier menggunakan metode box plot.

Box plot merupakan suatu box (kotak berbentuk bujur sangkar). Box plot adalah cara standar untuk menampilkan distribusi data berdasarkan lima rangkuman (minimum, kuartil pertama, median, kuartil ketiga, dan maksimum). Dalam box plot yang paling sederhana, persegi panjang tengah membentang kuartil pertama ke kuartil ketiga (interquartil range atau IQR). Nilai IQR dapat diperoleh menggunakan perhitungan sebagai berikut (Walpole, 1992:63). Gambar box plot pengujian kuat tekan dapat dilihat pada gambar 5.3.

Analisis perhitungan metode box plot variasi 0%:

Nilai Minimum = 12,282 MPa

Nilai Maksimum = 26,590 MPa

Jumlah Data (n) = 10

Kuartil ke-1 (Q_1) = data ke - $\left(\frac{n+2}{4}\right)$

= data ke - $\left(\frac{10+2}{4}\right)$

= data ke – 3

= 18,934 MPa

Kuartil ke-3 (Q_3) = data ke - $\left(\frac{3n+2}{4}\right)$

= data ke - $\left(\frac{(3\ x\ 10)+2}{4}\right)$

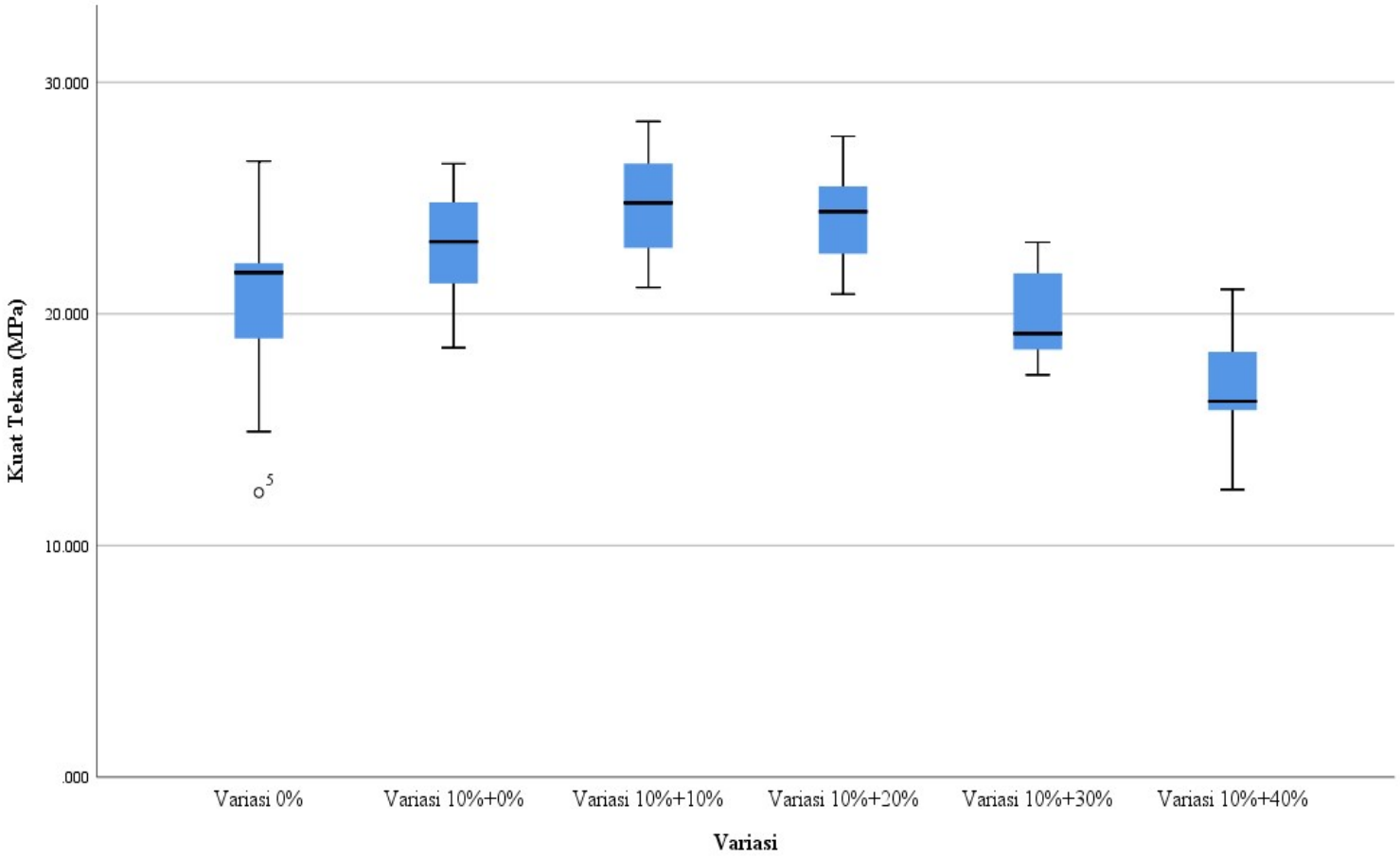
= data k – 8

= 22,112 MPa

IQR = Q_3 - Q_1

= 22,112 – 18,934

= 3,178



Gambar 5. 3 Grafik Box Plot Pengujian Kuat tekan

Pada gambar box plot diatas nilai pada kode sampel KT5 berada diluar jangkauan interkuartil yang mana nilai tersebut dapat dikatakan sebagai outlier.

Analisis perhitungan kuat tekan paving block:

Contoh perhitungan kuat tekan pada *paving block* kode KT1

Panjang = 49,2 mm

Lebar = 50,1 mm

Tebal = 50,5 mm

Luas = P x L

= 49,2 x 50,1

= 2464,9 mm²

Beban Maksimum = 53446,243 N

Kuat Tekan (f) $= \frac{P}{A}$

$= \frac{53446,243}{2464,9}$

= 21,683 MPa

Untuk perhitungan kode KT2, KT3, KT4, KT5, KT6, KT7, KT8, KT9, dan KT10 sama seperti perhitungan diatas, kemudian untuk memperoleh kuat tekan rata-rata dengan cara menjumlahkan kesepuluh hasil perhitungan kuat tekan kemudian dibagi dengan jumlah kode. Berikut adalah perhitungan hasil rata-rata kuat tekan.

Kuat Tekan rata-rata

$= \frac{21,683+14,915+\quad ,590+2\ ,878+1\ ,282+20,719+22,192+1\ ,934+2\ ,857+\quad ,903}{10}$

= 20,295 MPa

Berikut adalah hasil dari pengujian kuat tekan *paving block* yang dapat dilihat pada tabel 5.13, tabel 5.14, tabel 5.15, tabel 5.16, tabel 5.17, dan tabel 5.18 pada halaman selanjutnya.

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0%

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT1	49,2	50,1	50,5	53446,243	Bukan Outlier	21,683
KT2	**51,2**	**48,8**	**50**	**37265,27**	**Bukan Outlier**	**14,915**
KT3	49,1	49,2	49,5	64233,558	Bukan Outlier	26,590
KT4	48,9	49,5	49,5	52955,91	Bukan Outlier	21,878
~~KT5~~	~~50,5~~	~~50,2~~	~~49,8~~	~~31136,114~~	Outlier	~~12,282~~
KT6	50,2	49,5	49,8	51484,913	Bukan Outlier	20,719
KT7	49,5	49,1	49,6	53936,575	Bukan Outlier	22,192
KT8	49,6	49,6	50,2	46581,588	Bukan Outlier	18,934
KT9	48,7	49,8	49,6	57859,235	Bukan Outlier	23,857
KT10	50,2	49,5	49,6	54426,908	Bukan Outlier	21,903
Rerata						21,408

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 0%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT11	**51,4**	**51,2**	**50,2**	**48788,084**	**Bukan Outlier**	**18,539**
KT12	49,2	49,1	49,6	51484,913	Bukan Outlier	21,312
KT13	50,4	48,9	49,6	58349,568	Bukan Outlier	23,675
KT14	49,8	50,2	50	62027,061	Bukan Outlier	24,811
KT15	50,1	49,7	49,5	56143,071	Bukan Outlier	22,548
KT16	50,5	49,9	49,9	63498,059	Bukan Outlier	25,198

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 0%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT17	49,8	50,2	50,2	66194,888	Bukan Outlier	26,478
KT18	49,1	49,9	49,7	53691,409	Bukan Outlier	21,914
KT19	49,6	49,2	49,7	59820,565	Bukan Outlier	24,513
KT20	49,8	50,2	49,9	50013,915	Bukan Outlier	20,006
Rerata						22,900

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 10%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT21	51,4	52,5	50	58594,73375	Bukan Outlier	21,714
KT22	**49,2**	**49,5**	**50,2**	**51484,9125**	**Bukan Outlier**	**21,140**
KT23	50,4	50,1	49,6	68156,2175	Bukan Outlier	26,992
KT24	49,8	50,2	50	57123,73625	Bukan Outlier	22,850
KT25	50,1	49,7	50,2	65949,72125	Bukan Outlier	26,486
KT26	49,2	49,9	50,1	56633,40375	Bukan Outlier	23,068
KT27	49,3	49,9	49,8	69627,215	Bukan Outlier	28,303
KT28	50	49,5	49,7	63498,05875	Bukan Outlier	25,656
KT29	48,9	49,1	49,7	59820,565	Bukan Outlier	24,915
KT30	49,5	50,2	50,5	61291,5625	Bukan Outlier	24,666
Rerata						24,579

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 20%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT31	49,7	50	49,2	56143,071	Bukan Outlier	22,593
KT32	49,9	50,2	50,4	63252,893	Bukan Outlier	25,251
KT33	49,8	49,5	49,5	61291,563	Bukan Outlier	24,864
KT34	50	49,6	49,7	53691,409	Bukan Outlier	21,650
KT35	49,5	49,9	49,9	56388,238	Bukan Outlier	22,829
KT36	49,5	49,6	49,2	64233,558	Bukan Outlier	26,162
KT37	52,3	50	50,4	66685,220	Bukan Outlier	25,501
KT38	**50,1**	**49,3**	**49,9**	**51484,913**	**Bukan Outlier**	**20,845**
KT39	49,9	52,7	49,8	63007,726	Bukan Outlier	23,960
KT40	50,2	51,2	50,5	71098,213	Bukan Outlier	27,662
Rerata						24,132

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 30%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT41	50	48,9	49,1	47317,086	Bukan Outlier	19,353
KT42	50,2	49,2	49,6	45600,923	Bukan Outlier	18,463
KT43	49,5	50,2	50,4	57368,903	Bukan Outlier	23,087
KT44	49,6	49,5	49,9	44129,925	Bukan Outlier	17,974
KT45	50	49,9	49,8	46581,588	Bukan Outlier	18,670
KT46	**49,5**	**50,2**	**49,9**	**43149,260**	**Bukan Outlier**	**17,365**

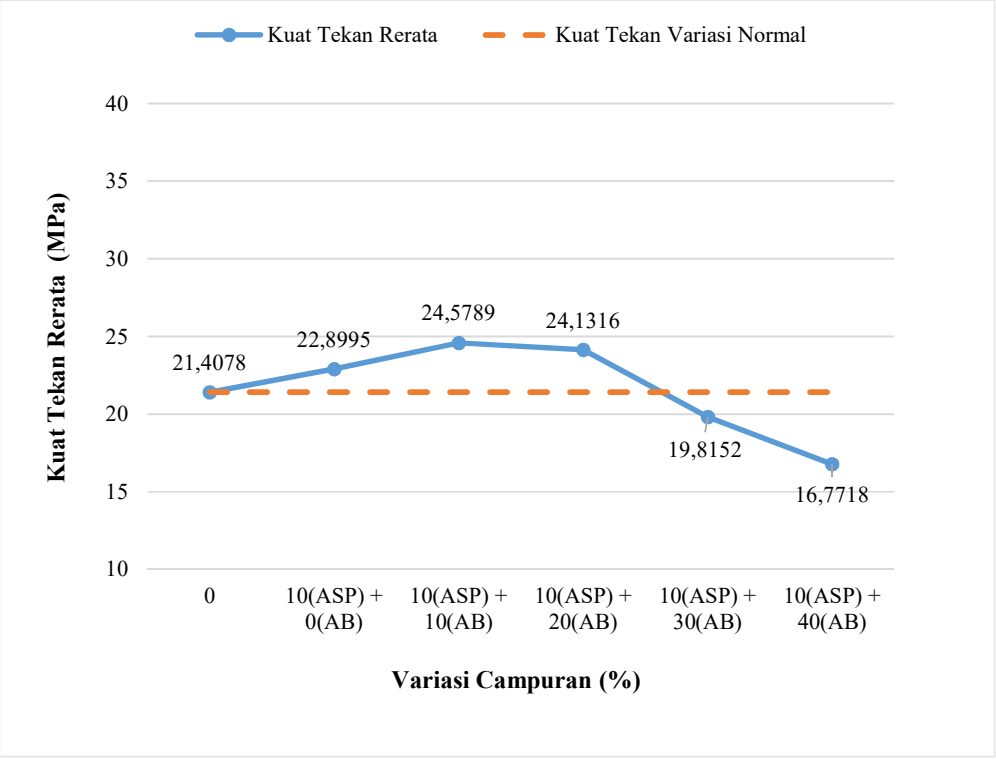
Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 30%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT47	49,9	49,9	49,5	55162,406	Bukan Outlier	22,153
KT48	49,2	49,2	49,1	45846,089	Bukan Outlier	18,940
KT49	50,4	50,1	49,6	54917,240	Bukan Outlier	21,749
KT50	49,8	50,2	49,8	50994,580	Bukan Outlier	20,398
Rerata						19,815

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%(ASP) + 40%(AB)

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Outlier	Kuat Tekan (MPa)
KT51	49,5	50	50,2	31626,446	Bukan Outlier	12,778
KT52	50,5	50,2	49,5	46091,255	Bukan Outlier	18,181
KT53	50,2	49,8	50,4	39962,099	Bukan Outlier	15,985
KT54	49,5	49,9	49,8	39471,766	Bukan Outlier	15,980
KT55	49,7	49,5	49,2	38981,434	Bukan Outlier	15,845
KT56	49,9	49,1	50,2	30400,615	Bukan Outlier	12,408
KT57	49,8	50,5	50,1	41433,096	Bukan Outlier	16,475
KT58	49,6	50,7	49,5	52955,910	Bukan Outlier	21,058
KT59	51,5	50,3	50,2	47562,253	Bukan Outlier	18,361
KT60	50	51,3	49,9	52955,910	Bukan Outlier	20,646
Rerata						16,772

Berdasarkan hasil tabel diatas dapat dibuat grafik untuk pengujian kuat tekan pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 5.4



Gambar 5. 4 Grafik Pengujian Kuat Tekan Paving Block

Berdasarkan hitungan serta grafik seluruh variasi pada pengujian kuat tekan pada paving block dapat dilakukan penggolongan mutu pada masing-masing variasi yang mengacu pada SNI 03-0691-1996. Berikut adalah penggolongan mutu pada paving block dan syarat mutu kuat tekan paving block pada SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Penggolongan Mutu Kuat Tekan Paving Block

No	Variasi	Kuat Tekan (MPa)		SNI 03-0691-1996 (MPa)		Mutu	Fungsi
		Min	Rerata	Min	Rerata		
1.	0%	14,915	21,408	12,5	15	C	Pejalan Kaki
2.	10%(ASP) +0%(AB)	18,539	22,900	17	20	B	Lahan Parkir
3.	10%(ASP) +10%(AB)	21,140	24,579	17	20	B	Lahan Parkir
4.	10%(ASP) +20%(AB)	20,845	24,132	17	20	B	Lahan Parkir
5.	10%(ASP) +30%(AB)	17,365	19,815	17	20	B	Lahan Parkir
6.	10%(ASP) +40%(AB)	12,408	16,772	8,5	10	D	Taman

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat mesin kuat tekan. Benda uji *paving block* ditekan sampai retak hingga hancur sehingga dapat mengetahui beban maksimum yang diterima oleh benda uji *paving block.* Benda uji yang digunakan sebelumnya sudah dilakukan perendaman selama 28 hari dan sudah dalam keadaan kering. Jumlah pengujian kuat tekan digunakan sebanyak 10 sampel setiap variasinya. Benda uji *paving block* untuk pengujian kuat tekan sebelumnya sudah terlebih dahulu dipotong dengan dimensi ±5cm x 5cm agar memudahkan waktu pengujian.

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengujian kuat tekan diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* normal dengan kuat tekan rerata sebesar 21,408 MPa. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 0%(AB) terjadi kenaikan nilai kuat tekan rerata sebesar 22,900 MPa yang mana hal ini membuktikan bahwa abu sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan. Pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) mengalami kenaikan kuat tekan rerata sebesar 24,579 MPa, terjadi kenaikan sebesar 12% dari nilai kuat tekan rerata *paving block* normal. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB) dan

10%(ASP) + 40%(AB) terjadi penurunan nilai kuat tekan rerata *paving block* dengan nilai berturut-turut sebesar 24,579 MPa, 19,815 MPa dan 16,772 MPa.

Kenaikan pada variasi 10%(ASP) + 0%(AB) terjadi karena terdapat kandungan silika pada abu sekam padi yang meningkatkan daya ikat pada paving block. Pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) terjadi kenaikan pada nilai kuat tekan, hal ini terjadi karena abu batu memiliki bentuk atau bulir yang lebih kecil dari pada pasir yang dapat dilihat pada pengujian modulus halus butir yang dimana hasil pengujian modulus halus pasir sebesar 2,41 sedangkan hasil pengujian modulus halus abu batu sebesar 2,25. Bentuk abu batu yang lebih kecil tersebut dapat berfungsi untuk mengisi rongga pada paving block sehingga paving block yang dihasilkan akan lebih padat dan mampu meningkatkan kuat tekan dari paving block.

Penurunan kuat tekan pada variasi 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan10%(ASP) + 40%(AB) disebabkan karena kadar abu batu yang berlebih. Abu batu memliki bentuk yang pipih dan tekstur yang tajam, berbeda dengan bentuk pasir yang bersudut dan bulat. Berdasarkan bentuk abu batu tersebut menyebabkan terjadinya kepatahan butiran pada saat pengujian sehingga terjadi penurunan nilai kuat tekan.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dan abu batu yang menggantikan sebagian semen dan pasir memiliki nilai kuat tekan yang optimum pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) dengan nilai kuat tekan minimum sebesar 18,539 MPa dan rerata sebesar 24,579 MPa. Pada SNI 03-0691-1996 nilai yang didapat termasuk kedalam mutu B yang dimana mutu tersebut difungsikan untuk lahan parkir.

5.4.2 Pengujian Ketahanan Aus

Pada pengujian ini untuk mempermudah peneliti, tiap benda uji diberikan kode untuk membedakan benda uji, dan pada pengujian ketahanan aus diberikan kode KA (ketahanan aus). Untuk mendeteksi apabila ada data yang timpang maka dilakukan uji outlier menggunakan metode box plot. Gambar box plot pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada gambar 5.5.

Analisis perhitungan uji outlier metode box plot pada uji ketahanan aus variasi 0%:

Nilai Minimum = 0,1254 mm/menit

Nilai Maksimum = 0,210 mm/menit

Jumlah Data (n) = 5

Kuartil ke-1 (Q_1) $= \frac{data\ ke-\left(\frac{n-1}{4}\right)+data\ ke\ \ \left(\frac{n+3}{4}\right)}{2}$

$= \frac{data\ ke\ \ \left(\frac{5-1}{4}\right)+data\ ke\ \ \left(\frac{5+3}{4}\right)}{2}$

= data ke - 1,5

= 0,138

Kuartil ke-3 (Q_3) $= \frac{data\ ke-\left(\frac{3n+1}{4}\right)+data\ ke\ \ \left(\frac{3n+5}{4}\right)}{2}$

$= \frac{data\ ke\ \ \left(\frac{(3x5)+1}{4}\right)+data\ ke-\left(\frac{(3x5)+5}{4}\right)}{2}$

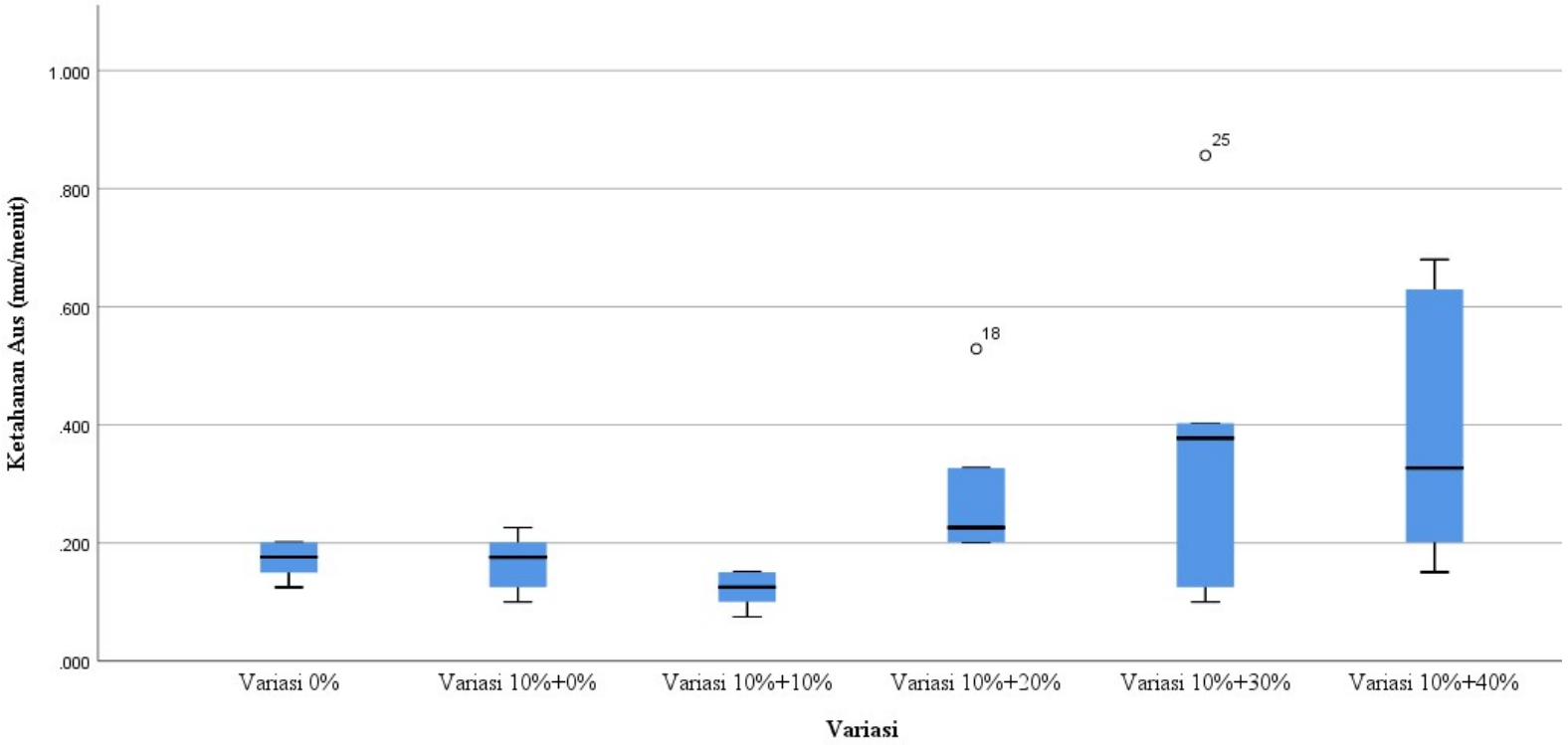
= data ke - 4,5

= 0,296

IQR = Q_3 - Q_1

= 0,296 – 0,138

= 0,158



Gambar 5. 5 Grafik Box Plot Pengujian Ketahanan Aus

Pada gambar box plot diatas nilai pada kode sampel KA18 dan KA25 berada diluar jangkauan interkuartil yang mana nilai tersebut dapat dikatakan sebagai outlier.

Contoh perhitungan pengujian penyerapan air pada sampel KA1

Berat awal (sebelum uji) = 1178,2 gr

Berat akhir (setelah uji) = 1177,8 gr

Waktu pengujian = 5 menit

Kehilangan (G) $= \frac{Berat\ awal - Bera\ \ akhi}{Waktu\ pengujian}$

$= \frac{1178,2 - 117\ \ ,8}{5}$

= 0,08 gram/menit

Ketahanan aus (D) = 1,2 x G + 0,0246

= 1,2 x 0,08 + 0,0246

= 0,1254 mm/menit

Untuk memperoleh ketahanan aus rata-rata dengan cara menjumlahkan kelima hasil perhitungan penyerapan air kemudian dibagi dengan jumlah kode.

Berikut adalah perhitungan hasil rata-rata ketahanan aus.

Ketahanan aus (D) rata-rata $= \frac{0,1254 + \ ,201\ \ \ ,1758 + \ ,201 + 0,1506}{5}$

= 0,1708 mm/menit

Berikut adalah hasil dari pengujian ketahanan aus yang dapat dilihat pada tabel 5.20, tabel 5.21, tabel 5.22, tabel 5.23, tabel 5.24, dan tabel 5.25 berikut.

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA1	1178,2	1177,8	0,08	Bukan Outlier	0,1254
KA2	**1154,8**	**1154,1**	**0,14**	**Bukan Outlier**	**0,201**
KA3	1102,3	1101,7	0,12	Bukan Outlier	0,1758

Lanjutan tabel 5.21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0%

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA4	1066,2	1065,5	0,14	Bukan Outlier	0,201
KA5	1221,4	1220,9	0,1	Bukan Outlier	0,1506
Rerata					0,171

Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+0%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA6	1112,2	1111,9	0,06	Bukan Outlier	0,1002
KA7	**1133,6**	**1132,8**	**0,16**	**Bukan Outlier**	**0,2262**
KA8	1175,4	1175	0,08	Bukan Outlier	0,1254
KA9	1161,5	1160,8	0,14	Bukan Outlier	0,201
KA10	1166,8	1166,2	0,12	Bukan Outlier	0,1758
Rerata					0,166

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+10%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA11	1127,4	1126,9	0,1	Bukan Outlier	0,1506
KA12	1108,3	1107,9	0,08	Bukan Outlier	0,1254
KA13	1177,6	1177,4	0,04	Bukan Outlier	0,075
KA14	**1166,8**	**1166,3**	**0,1**	**Bukan Outlier**	**0,1506**
KA15	1136,7	1136,4	0,06	Bukan Outlier	0,1002
Rerata					0,1204

Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+20%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA16	1181,4	1180,6	0,16	Bukan Outlier	0,2262
KA17	1144,3	1143,6	0,14	Bukan Outlier	0,201
~~KA18~~	~~1175,4~~	~~1173,4~~	~~0,4~~	Outlier	~~0,5286~~
KA19	1156,8	1156,1	0,14	Bukan Outlier	0,201
KA20	**1151,3**	**1150,1**	**0,24**	**Bukan Outlier**	**0,327**
Rerata					0,239

Tabel 5. 24 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+30%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA21	1121,2	1120,9	0,06	Bukan Outlier	0,1002
KA22	**1118,3**	**1116,8**	**0,3**	**Bukan Outlier**	**0,4026**
KA23	1141,3	1140,9	0,08	Bukan Outlier	0,1254
KA24	1163,7	1162,3	0,28	Bukan Outlier	0,3774
~~KA25~~	~~1164,1~~	~~1160,8~~	~~0,66~~	Outlier	~~0,8562~~
Rerata					0,251

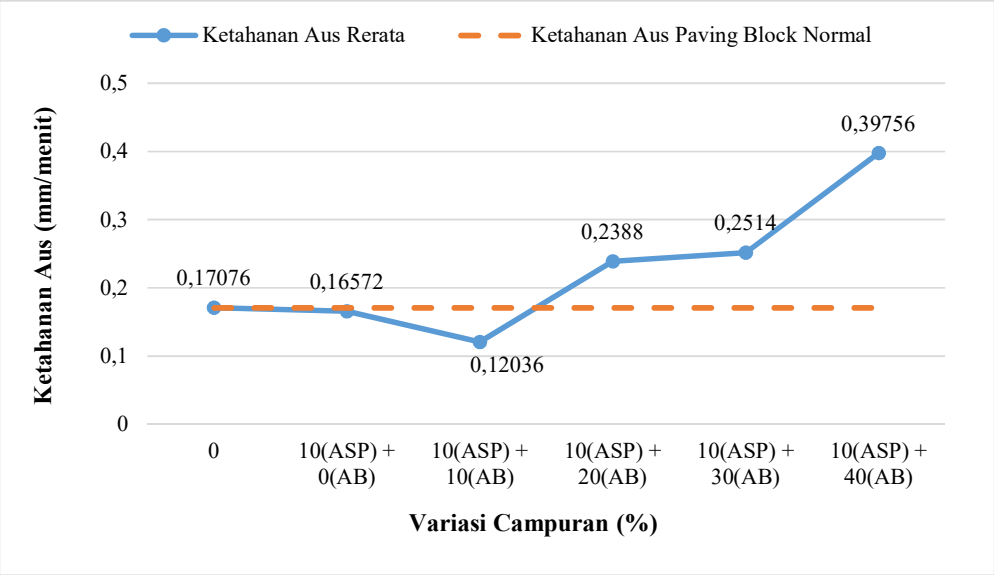
Tabel 5. 25 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+40%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA26	1053,3	1052,8	0,1	Bukan Outlier	0,1506
KA27	1144,6	1143,9	0,14	Bukan Outlier	0,201
KA28	1138,4	1137,2	0,24	Bukan Outlier	0,327

Lanjutan Tabel 2.26 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%(ASP)+40%(AB)

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Outlier	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA29	1171,5	1169,1	0,48	Bukan Outlier	0,6294
KA30	**1122,8**	**1120,2**	**0,52**	**Bukan Outlier**	**0,6798**
Rerata					0,398

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dibuat grafik untuk pengujian ketahanan aus pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian ketahanan aus yang dapat dilihat pada gambar 5.6 pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 6 Grafik Pengujian Ketahanan Aus

Berdasarkan hitungan serta grafik seluruh variasi pada pengujian ketahanan aus pada paving block dapat dilakukan penggolongan mutu pada masing-masing variasi yang mengacu pada SNI 03-0691-1996. Berikut adalah penggolongan mutu pada paving block dan syarat mutu paving block pada SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada tabel 5.26.

Tabel 5. 26 Penggolongan Mutu Ketahanan Aus Paving Block

No	Variasi	Hasil Pengujian (mm/menit)		SNI 03-0691-1996		Mutu	Fungsi
		Min	Rerata	Min	Rerata		
1.	0%	0,201	0,171	0,251	0,219	D	Taman
2.	10%(ASP)+ 0%(AB)	0,226	0,166	0,251	0,219	D	Taman
3.	10%(ASP)+ 10%(AB)	0,151	0,120	0,184	0,160	C	Pejalan Kaki
4.	10%(ASP)+ 20%(AB)	0,327	0,239	-	-	-	-
5.	10%(ASP)+ 30%(AB)	0,403	0,251	-	-	-	-
6.	10%(ASP)+ 40%(AB)	0,680	0,398	-	-	-	-

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

Pengujian ketahanan aus dilakukan dengan menggunakan alat ketahanan aus. Paving block diuji dengan menggeseknya menggunakan mesin selama 5 menit, untuk menentukan ketahanan ausnya. Sebelumnya, paving block telah direndam selama 28 hari dan dikeringkan. Setiap variasi pengujian menggunakan 5 sampel. Paving block untuk pengujian kuat tekan dipotong sesuai dengan dimensi standar SNI 03-0691-1996 sebesar ±5cm x 5cm. Semakin tinggi nilai ketahanan aus maka semakin rendah mutu paving block, sebaliknya semakin rendah nilai ketahanan aus maka semakin baik mutu paving block.

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengujian ketahanan aus diperoleh nilai minimum dan rata-rata pada benda uji *paving block* normal sebesar 0,201 mm/menit dan 0,171 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 0%(AB) diperoleh nilai minimum dan rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,226 mm/menit dan 0,166 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 10%(AB) diperoleh nilai minimum dan rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,151 mm/menit dan 0,120 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 20%(AB) diperoleh nilai minimum dan rata- rata pada

benda uji *paving block* sebesar 0,327 mm/menit dan 0,239 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 30%(AB) diperoleh nilai minimum dan rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,403 mm/menit dan 0,251 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 40%(AB) diperoleh nilai minimum dan rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,680 mm/menit dan 0,398 mm/menit.

Penurunan nilai ketahanan aus sebesar 3% pada variasi 10%(ASP) + 0%(AB) disebabkan oleh abu sekam padi yang meningkatkan daya ikat pada *paving block*. Penurunan nilai ketahanan aus sebesar 29% pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) disebabkan oleh meningkatnya daya ikat paving block dengan bahan tambah abu sekam padi dan abu batu yang mengisi rongga pada *paving block* sehingga meningkatkan kepadatannya. Pada variasi 10%(ASP) + 20%(AB), 10%(ASP) + 30%(AB), dan 10%(ASP) + 40%(AB) terjadi kenaikan nilai ketanahan aus, hal ini terjadi karena abu batu memiliki bentuk yang lebih halus dibanding pasir yang mana dapat mengurangi kekasaran pada paving block sehingga menaikan nilai ketahanan aus.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dan abu batu yang menggantikan sebagian semen dan pasir memiliki nilai ketanahan aus yang optimum pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) dengan nilai ketahanan aus minimum sebesar 0,151 mm/menit dan rerata sebesar 0,120 mm/menit. Pada SNI 03-0691-1996 nilai yang didapat termasuk kedalam mutu C yang dimana mutu tersebut difungsikan untuk pejalan kaki.

5.4.3 Pengujian Penyerapan Air

Pada pengujian ini untuk mempermudah peneliti, tiap benda uji diberikan kode untuk membedakan benda uji, dan pada pengujian penyerapan air diberikan kode A (air). Untuk mendeteksi apabila ada data yang timpang maka dilakukan uji outlier menggunakan metode box plot. Gambar box plot pengujian penyerapan air dapat dilihat pada gambar 5.6.

Analisis perhitungan uji outlier metode box plot pada uji penyerapan air variasi 0%:

Nilai Minimum = 7,114 %

Nilai Maksimum = 9,872 %

Jumlah Data (n) = 5

Kuartil ke-1 (Q_1) $= \frac{data\ ke\ \left(\frac{n-1}{4}\right) + data\ ke - \left(\frac{n+3}{4}\right)}{2}$

$= \frac{data\ ke - \left(\frac{5-1}{4}\right) + data\ ke\ \left(\frac{5+3}{4}\right)}{2}$

= data ke - 1,5

= 7,115

Kuartil ke-3 (Q_3) $= \frac{data\ ke\ \left(\frac{3n+1}{4}\right) + data\ ke\ \left(\frac{3n+5}{4}\right)}{2}$

$= \frac{data\ ke\ \left(\frac{(3x5)+1}{4}\right) + data\ ke\ \left(\frac{(3x5)+5}{4}\right)}{2}$

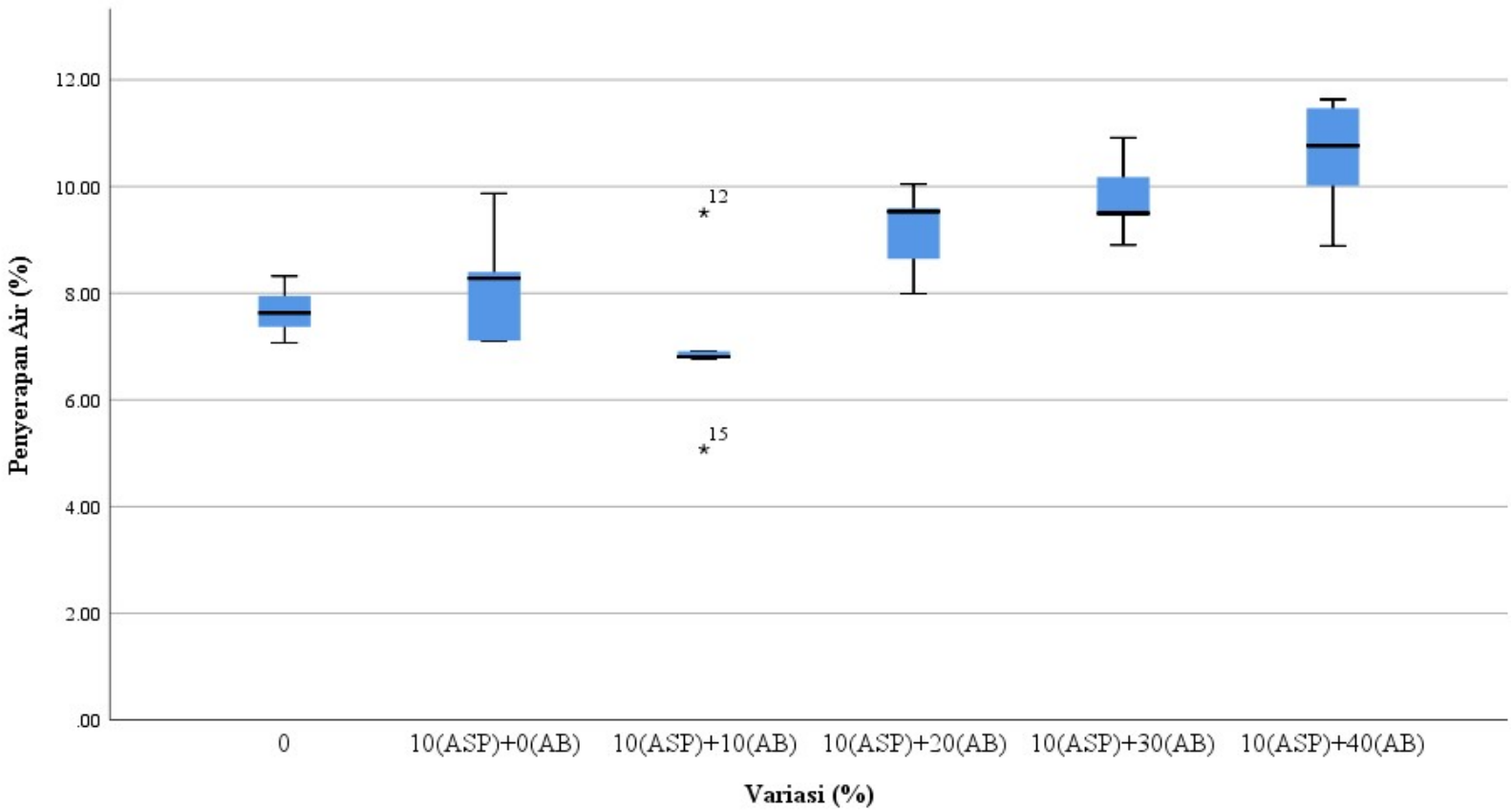
= data ke - 4,5

= 9,135

IQR = Q_3 - Q_1

= 9,315 – 7,115

= 2,2



Gambar 5. 7 Grafik Box Plot Pengujian Penyerapan Air

Pada gambar box plot diatas nilai pada kode sampel A12 dan A15 berada diluar jangkauan interkuartil yang mana nilai tersebut dapat dikatakan sebagai outlier.

Contoh perhitungan pengujian penyerapan air pada sampel A1

Berat basah = 2550 gr

Berat kering = 2355 gr

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

$= \frac{2550 - 2355}{2355}\ x\ 100\%$

= 8,280 %

Untuk memperoleh penyerapan air rata-rata dengan cara menjumlahkan kedua hasil perhitungan penyerapan air kemudian dibagi dengan jumlah kode. Berikut adalah perhitungan hasil rata-rata penyerapan air.

Penyerapan air rata-rata $= \frac{8{,}280+7{,}114+7{,}116+9{,}017+8{,}398}{5}$

= 7,985 %

Berikut adalah hasil dari pengujian penyerapan air yang dapat dilihat pada tabel 5.27, tabel 5.28, tabel 5.29, tabel 5.30, tabel 5.31, dan tabel 5.32.

Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0%

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A1	2596	2412	Bukan Outlier	7,629
A2	2538	2343	Bukan Outlier	8,323
A3	2444	2264	Bukan Outlier	7,951
A4	2563	2387	Bukan Outlier	7,373
A5	2499	2334	Bukan Outlier	7,069
Rerata				7,669

Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP) + 0%(AB)

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A6	2550	2355	Bukan Outlier	8,280
A7	2635	2460	Bukan Outlier	7,114
A8	2544	2375	Bukan Outlier	7,116
A9	2571	2340	Bukan Outlier	9,872
A10	2504	2310	Bukan Outlier	8,398
Rerata				8,156

Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP) + 10%(AB)

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A11	2491	2340	Bukan Outlier	6,910
~~A12~~	~~2545~~	~~2324~~	Outlier	~~9,509~~
A13	2526	2375	Bukan Outlier	6,808
A14	2536	2375	Bukan Outlier	6,779
~~A15~~	~~2485~~	~~2365~~	Outlier	~~5,074~~
Rerata				6,832

Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP) + 20%(AB)

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A16	2465	2240	Bukan Outlier	10,045
A17	2446	2265	Bukan Outlier	7,991
A18	2313	2129	Bukan Outlier	8,643
A19	2425	2214	Bukan Outlier	9,530
A20	2399	2189	Bukan Outlier	9,593
Rerata				9,160

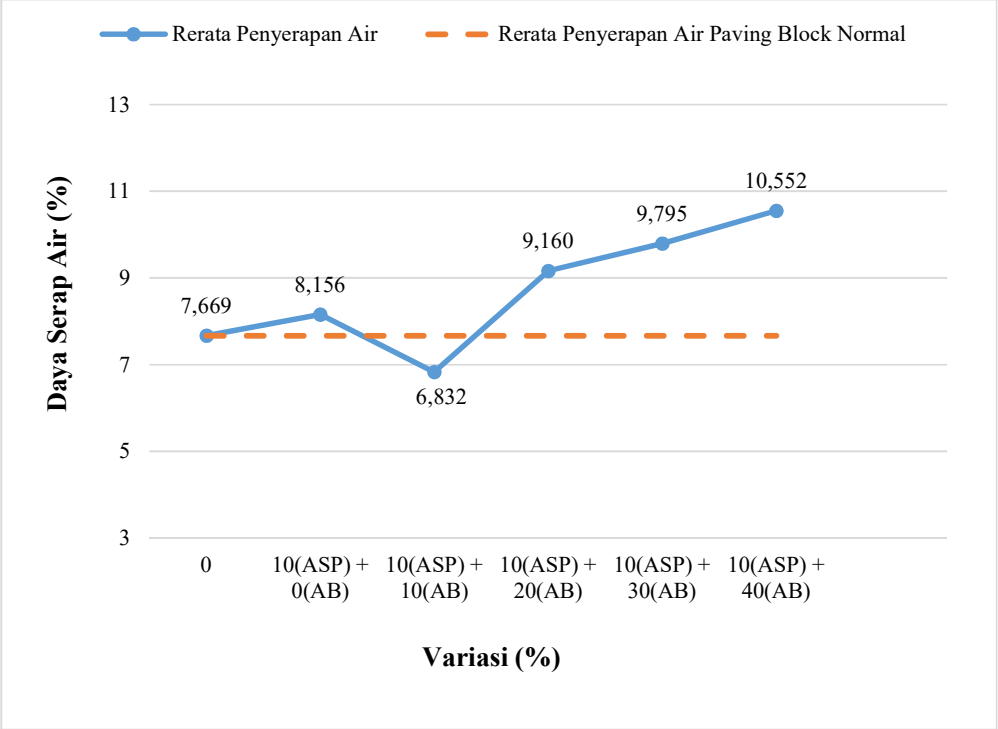
Tabel 5. 31 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP) + 30%(AB)

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A21	2398	2190	Bukan Outlier	9,498
A22	2349	2132	Bukan Outlier	10,178
A23	2391	2184	Bukan Outlier	9,478
A24	2368	2135	Bukan Outlier	10,913
A25	2360	2167	Bukan Outlier	8,906
Rerata				9,795

Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%(ASP) + 30%(AB)

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Outlier	Penyerapan Air
A26	2328	2138	Bukan Outlier	8,887
A27	2384	2167	Bukan Outlier	10,014
A28	2294	2055	Bukan Outlier	11,630
A29	2255	2023	Bukan Outlier	11,468
A30	2367	2137	Bukan Outlier	10,763
Rerata				10,552

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dibuat grafik untuk pengujian penyerapan air pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian penyerapan air yang dapat dilihat pada gambar 5.8 pada halaman selanjutnya.



Gambar 5. 8 Grafik Pengujian Penyerapan Air Paving Block

Berdasarkan hitungan serta grafik seluruh variasi pada pengujian penyerapan air pada paving block dapat dilakukan penggolongan mutu pada masing-masing variasi yang mengacu pada SNI 03-0691-1996. Berikut adalah penggolongan mutu pada paving block dan syarat mutu penyerapan air berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada tabel 5.33 pada halaman berikutnya.

Tabel 5. 33 Penggolongan Mutu Penyerapan Air Paving Block

No	Variasi	Hasil Pengujian	SNI 03-0691-1996	Mutu	Fungsi
		Rerata Penyerapan Air (%)	Rerata Penyerapan Air Maks. (%)		
1.	0%	7,669	8	C	Pejalan Kaki
2.	10%(ASP)+ 0%(AB)	8,156	10	D	Taman
3.	10%(ASP)+ 10%(AB)	6,832	8	C	Pejalan Kaki
4.	10%(ASP)+ 20%(AB)	9,160	10	D	Taman
5.	10%(ASP)+ 30%(AB)	9,795	10	D	Taman
6.	10%(ASP)+ 40%(AB)	10,552	-	-	-

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

Pengujian penyerapan air dilakukan dengan merendamnya kembali benda uji setelah melalui proses perawatan. Benda uji *paving block* setelah melalui perendaman selama 24 jam barulah benda uji melalui proses pemanasan di dalam oven selama 24 jam. Benda uji *paving block* yang sudah melalui pemanasan dapat ditimbang serta diketahui untuk pengujian penyerapan air yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengujian penyerapan air diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* normal sebesar 7,669%. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 0%(AB) nilai penyerapan air sebesar 8,156%. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 10%(AB) nilai penyerapan air sebesar 6,832%. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 20%(AB) nilai penyerapan air sebesar 9,160%. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 30%(AB) nilai penyerapan air sebesar 9,795%. Pada *paving block* dengan variasi 10%(ASP) + 40%(AB) nilai penyerapan air sebesar 10,552%.

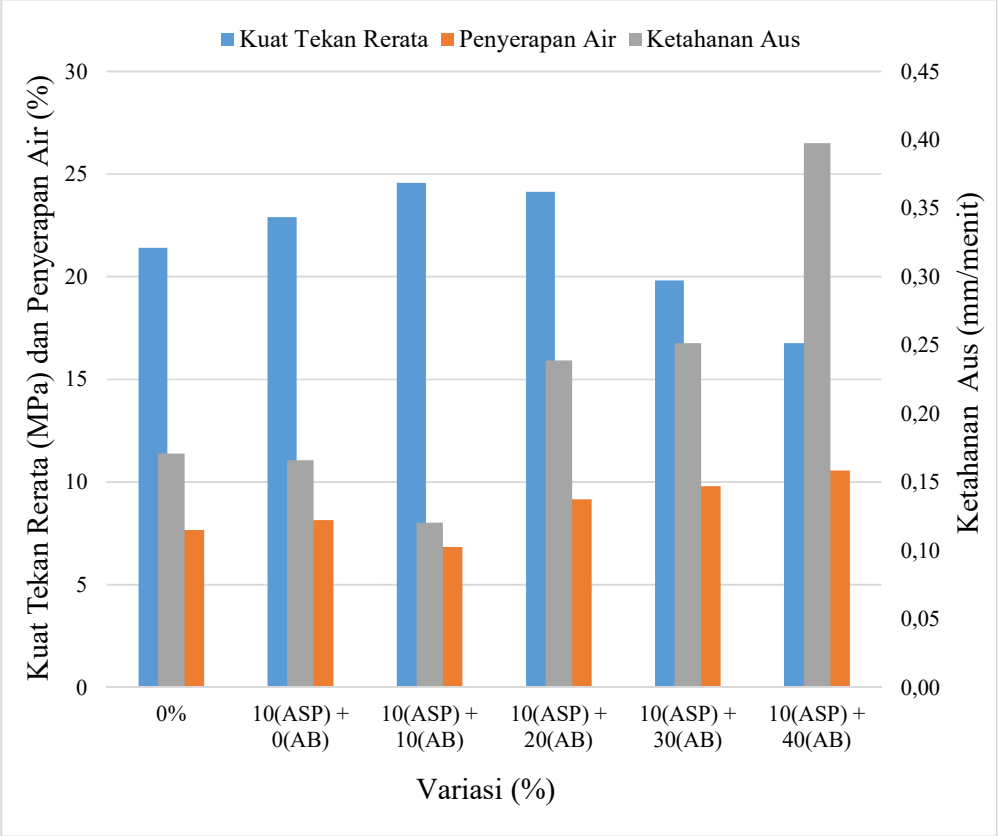
Penurunan nilai penyerapan air sebesar 6% dari paving block normal pada variasi 10%(ASP) + 0%(AB) terjadi karena abu sekam padi bersifat menyerap air. Penurunan nilai penyerapan air sebesar 10% terjadi pada variasi 10%(ASP) +

10%(AB), meskipun abu batu bersifat mudah menyerap air dibandingkan dengan pasir, hal ini dapat terjadi karena rongga-rongga pada *paving block* terisi oleh abu batu sehingga meningkatkan kepadatannya dan menurunkan nilai penyerapan air

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dan abu batu yang menggantikan sebagian semen dan pasir memiliki nilai penyerapan air yang rendah pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) dengan mutu C, yang dimana mutu C fungsinya untuk pejalan kaki.

5.5 Pembahasan Keseluruhan

Berdasarkan pembahasan diatas secara keseluruhan, dapat diketahui penambahan 10% abu sekam padi meningkatkan nilai kuat tekan rerata sebesar 6%, menaikan nilai penyerapan air rerata sebesar 6%, dan menurunkan nilai ketahanan aus sebesar 3% dari *paving block* normal. Nilai pengujian yang optimum didapat pada variasi 10%(ASP) + 10%(AB) dengan kenaikan nilai kuat tekan rerata sebesar 12%, menaikan nilai penyerapan air rerata sebesar 10%, dan menurunkan nilai ketahanan aus sebesar 29% dari *paving block* normal yang memiliki nilai berturut-turut sebesar 24,579 MPa , 6,832% dan 0,120 mm/menit. Dapat disimpulkan bahwa bahan pengganti abu sekam padi dan abu batu dapat meningkatkan mutu paving block normal. Hal ini dikarenakan abu sekam padi memiliki kandungan silika yang baik dan abu batu memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan pasir yang dapat berfungsi untuk mengisi rongga-rongga yang ada pada *paving block*. Pengujian kuat tekan berbanding terbalik dengan pengujian penyerapan air, karena semakin tinggi penyerapan air, semakin banyak rongga pada benda uji yang menyebabkan nilai kuat tekan menurun. Pada pengujian ketahanan aus tidak hanya dipengaruhi oleh kepadatan paving block saja, terdapat faktor lain yaitu kekasaran lapisan atas benda uji. Dari ketiga pengujian yang dilakukan, mutu yang dihasilkan pada paving block adalah C dimana mutu tersebut digunakan untuk pejalan kaki. Berikut adalah grafik pengujian keseluruhan yang dapat diliat pada gambar 5.9 berikut.



Gambar 5. 9 Grafik Keseluruhan Pengujian

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada *paving block* yang diberikan bahan pengganti abu batu yang menggantikan sebagian pasir yang dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dan abu batu sebagai pengganti sebagian pasir pada campuran paving block terhadap nilai kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air sebagai berikut :
   a. Kuat tekan

      Berdasarkan hasil diatas abu sekam padi dan abu batu dapat digunakan sebagai bahan tambah tanpa menurunkan mutu dengan presentase paling optimum sebesar 10%. Hal ini terjadi karena penambahan 10% abu sekam padi dapat meningkatkan daya ikat pada paving block, dan butiran abu batu yang lebih kecil dari agregat halus dapat mengisi rongga-rongga pada paving block sehingga meningkatkan kepadatannya.

   b. Ketahanan aus

      Hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan 10% abu sekam padi tidak begitu berpengaruh terhadap ketahanan aus, sedangkan abu batu semakin banyak kadar abu batu yang digunakan akan menaikan nilai ketahanan aus. Hal ini terjadi karena butiran abu batu yang lebih kecil dari agregat halus akan mengurangi kekasaran pada permukaan paving block, sehingga menaikan nilai ketehanan aus.

   c. Penyerapan air

      Hasil penelitian didapatkan bahwa paving block dengan bahan tambah abu sekam padi dan abu batu memiliki nilai penyerapan air yang tinggi dari paving block normal. Hal ini terjadi karena abu sekam padi dan abu batu bersifat mudah menyerap air.

2. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat nilai variasi optimum abu batu dengan penambahan 10% abu sekam padi pada pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air dihasilkan oleh variasi 10%(ASP) + 10%(AB) dengan nilai pengujian berturut turut sebesar 24,579 Mpa, 0,120 mm/menit, dan 6,832%. Hasil tersebut masuk kedalam mutu C yang dimana berfungsi sebagai pejalan kaki.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditinjau kekurangan yang terjadi pada penelitian ini yang perlu diperbaiki sehingga peneliti dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Untuk penelitian selanjutnya kadar abu sekam padi dapat dicoba menggunakan interval 5% sampai dengan 15% untuk memperoleh *paving block* dengan mutu kuat tekan yang tinggi.
2. Untuk penelitian selanjutnya pastikan pencampuran bahan merata dan pemotongan paving block dilakukan sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Hal ini bertujuan agar mendapatkan nilai pengujian yang baik

DAFTAR PUSTAKA

Aprianto, Yusril et al. 2018. Pemanfaatan Limbah Padat Slag Nikel, Abu Sekam Padi, Dan Fly Ash Menjadi Paving Block. *Jurnal Rekayasa Lingkungan* Vol. 18 No.1:1-12. Aceh.

Bakhtiar 2009, Studi Peningkatan Mutu Paving Block dengan Penambahan Abu Sekam Padi, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1, No: 2. Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Basuki, Indra. et al. 2019. Paving Block Berbasis Abu Gosok. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil.* Vol. 5 No.1:1-7. Tangerang.

Budi Waluyo 2013. Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi TerhadapKuat Tekan Paving Block Dengan Variasi 0%, 30%, 35%, dan 40% Pada Perbandingan 1 pc 10 ps, 1 pc 13 ps, dan 1 pc 15 ps, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Ghozali, Imam. (2018). Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 25. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

Hair et al., (1998), Multivariate Data Analysis, Fifth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River : New Jersey.

Rajak, F.S.A. et al. 2020. Pengujian Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Agregat Lokal Dengan Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dan Batu Apung Sebagai Subtitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik* Vol.8 No.2:147-154. Sulawesi.

Setiawan et al. 2010, Penggunaan Abu Sekam Padi dan Kapur Sebagai BahanPengganti Semen Komposit Pada Pembuatan Paving Block, Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Negeri Jakarta, Vol. 5 No: 1. Jakarta.

Sherliana et al. 2016. Studi Kuat Tekan Paving Block dari Campuran Tanah, Semen, dan Abu Sekam Padi Menggunakan alat Pemadat Modifikasi. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain, Edisi Maret 2016* Vol. 4 No.1:99-112. Lampung.

Syarah, May 2022. Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Untuk Pembuatan Paving Block. *Doctoral dissertation*, Universitas Bung Hatta.

Tjokrodimuljo, K. (1996). Teknologi Beton. Yogyakarta: Navitri.

Tjokrodimuljo, K. 2009. Teknologi Beton. Penerbit Teknik sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.

Sumarjono et al. 2005. *Fisika Dasar 1*. Universitas Negeri Malang.

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

SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-6861.1-2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 15-2049-2004. *Semen Portland.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat Yang Digunakan

Gambar L-1. 1 Timbangan

Gambar L-1. 2 Sendok Semen

Gambar L-1. 3 Oven

Gambar L-1. 4 Ember

Gambar L-1. 5 Tongkat penumbuk

Gambar L-1. 7 Saringan

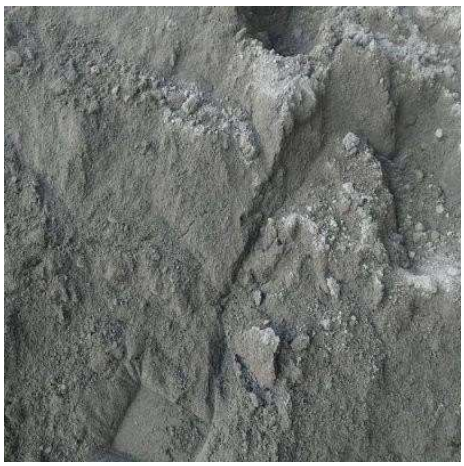
Gambar L-1. 6 Pan

Gambar L-1. 9 Mesin Press Paving Block

Gambar L-1. 8 Mesin Kuat Tekan

Gambar L-1. 10 Mesin Ketahanan Aus

Lampiran 2 Bahan Yang Digunakan



Gambar L-2. 1 Agregat Halus

Gambar L-2. 2 Semen

Gambar L-2. 3 Abu Sekam Padi

Gambar L-2. 4 Abu Batu

Lampiran 3 Proses Pengujian

Gambar L-3. 1 Perawatan Benda Uji

Gambar L-3. 2 Pemotongan Benda Uji

Gambar L-3. 3 Pengujian Kuat tekan

Gambar L-3. 4 Pengujian Penyerapan Air

Gambar L-3. 5 Pengujian Ketahanan Aus

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat halus

PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian		**Hasil Pengamatan**		
		Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, W1	(gr)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, W2	(gr)	8041	8077	8059
Berat Agregat, W3 = W2 - W1	(gr)	2763	2799	2781
Volume Tabung	(cm^3)	1697,27	1697,27	1697,27
Berat Volume Padat Pasir, W3 / V	(gr/cm^3)	1,628	1,649	1,639

PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian		**Hasil Pengamatan**		
		Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, W1	(gr)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, W2	(gr)	7597	7531	7564
Berat Agregat, W3 = W2 - W1	(gr)	2319	2253	2286
Volume Tabung	(cm^3)	1697,27	1697,27	1697,27
Berat Volume Gembur Pasir, W3 / V	(gr/cm^3)	1,366	1,327	1,347

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	40	4,00	4,00	96,00
2,40	64	6,40	10,40	89,60
1,20	159	15,90	26,30	73,70
0,60	231	23,10	49,40	50,60
0,30	195	19,50	68,90	31,10
0,15	156	15,60	84,50	15,50
Pan	155	15,50		
Jumlah	1000	100	243,50	

Modulus halus butir (MHB) = $\frac{243{,}50}{100}$ = 2,43

Ukuran Saringan (mm)	Presentase Berat Butir yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	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 - 10	0 - 15

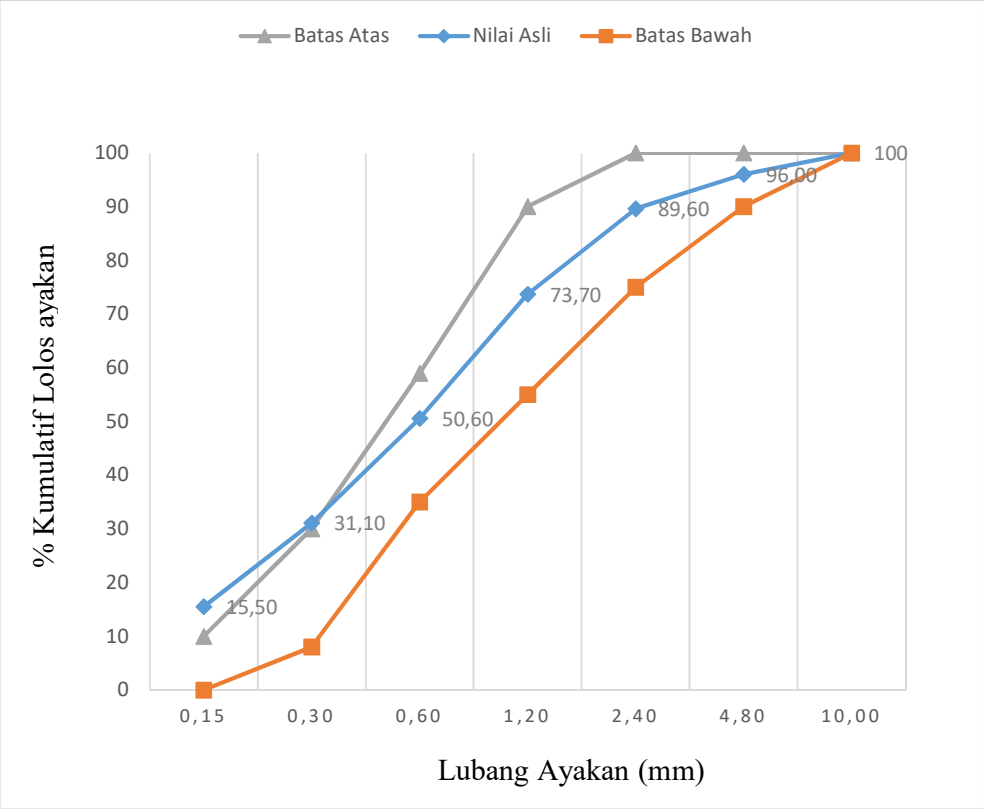
Keterangan:
Daerah I = Pasir Kasar
Daerah II = Pasir Agak Kasar
Daerah III = Pasir Agak Halus
Daerah IV = Pasir Halus

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	22	2,20	2,20	97,80
2,40	72	7,20	9,40	90,60
1,20	167	16,70	26,10	73,90
0,60	214	21,40	47,50	52,50
0,30	204	20,40	67,90	32,10
0,15	175	17,50	85,40	14,60
Pan	146	14,60		
Jumlah	1000	100	238,50	

Modulus halus butir (MHB) = $\frac{238{,}50}{100}$ = 2,38

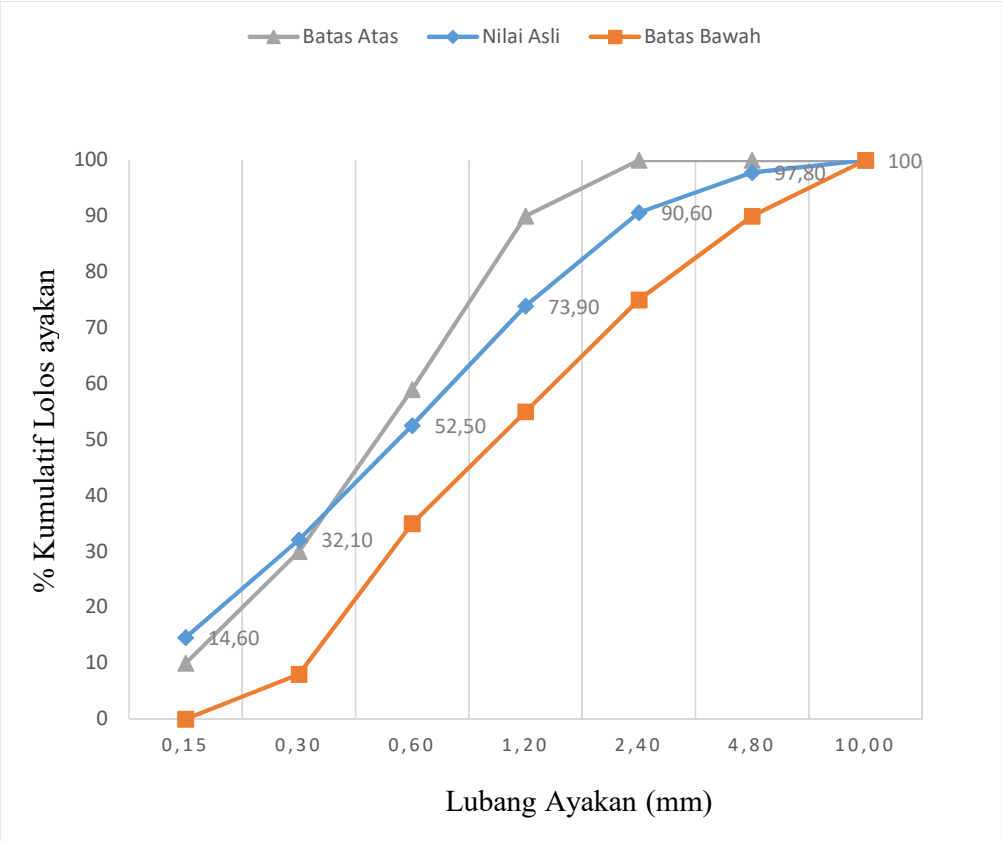
Ukuran Saringan (mm)	Presentase Berat Butir yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Keterangan:
Daerah I = Pasir Kasar
Daerah II = Pasir Agak Kasar
Daerah III = Pasir Agak Halus
Daerah IV = Pasir Halus

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

(SNI 03-4142-1996)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gr	Pasir
9,60 mm	1000 gr	Kerikil
19,20 mm	1500 gr	Kerikil
38,00 mm	2500 gr	Kerikil

Uraian		Hasil Pengamatan		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, W1	(gr)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci, W2	(gr)	477	480	478,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200, ((W1 - W2) / W1) x 100%	(%)	4,6	4	4,3

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), berat bagian yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm):

a. Untuk pasir maksimum 5% (lima persen)

b. Untuk kerikil maksimum 1% (satu persen)

PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT ABU BATU

(SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, W1 (gr)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	8102	8041	8072
Berat Agregat, W3 = W2 - W1 (gr)	2824	2763	2794
Volume Tabung (cm^3)	1697,274	1697,27	1697,27
Berat Volume Padat Abu Batu, W3 / V (gr/cm^3)	1,664	1,628	1,646

PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR ABU BATU

(SNI 03-4804-1998)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat Tabung, W1 (gr)	5278	5278	5278
Berat Tabung + Agregat SSD, W2 (gr)	7845	7870	7858
Berat Agregat, W3 = W2 - W1 (gr)	2567	2592	2580
Volume Tabung (cm^3)	1697,27	1697,27	1697,27
Berat Volume Gembur Abu Batu, W3 / V (gr/cm^3)	1,512	1,527	1,520

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100,00
20,00	0	0	0	100,00
10,00	0	0	0	100,00
4,80	1	0,10	0,10	99,90
2,40	54	5,40	5,50	94,50
1,20	217	21,70	27,20	72,80
0,60	217	21,70	48,90	51,10
0,30	168	16,80	65,70	34,30
0,15	151	15,10	80,80	19,20
Pan	192	19,20		
Jumlah	1000	100	228,2	

Modulus halus butir (MHB) = $\frac{228,2}{100}$ = 2,28

Ukuran Saringan (mm)	Presentase Berat Butir yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	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 - 10	0 - 15

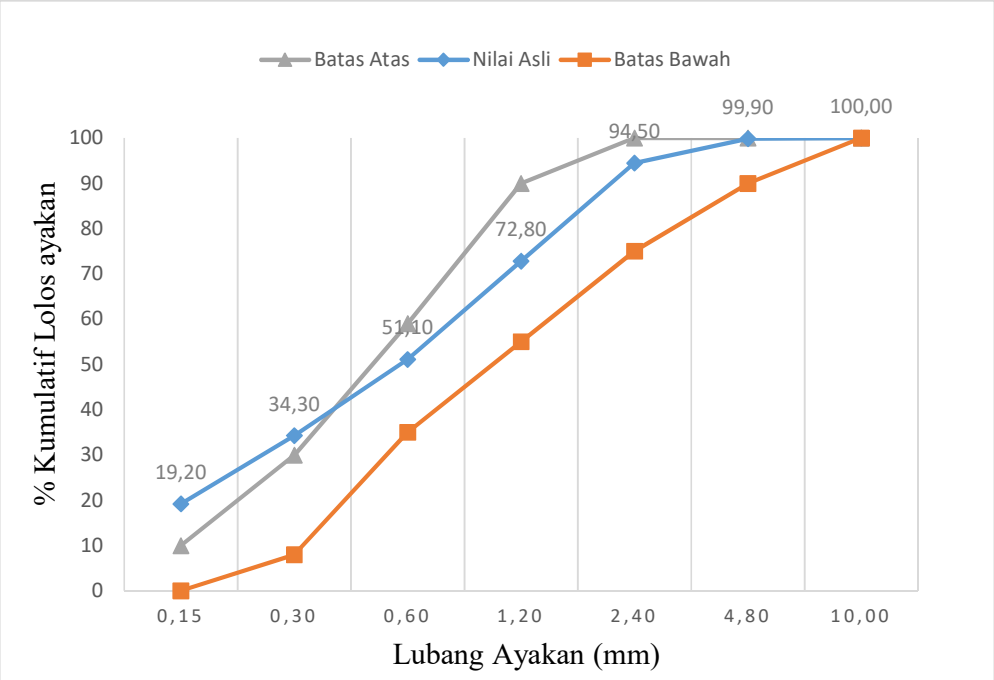
Keterangan:
Daerah I = Pasir Kasar
Daerah II = Pasir Agak Kasar
Daerah III = Pasir Agak Halus
Daerah IV = Pasir Halus

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

GAMBAR ANALISA SARINGAN ABU BATU



MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100,00
20,00	0	0	0	100,00
10,00	0	0	0	100,00
4,80	11	1,10	1,10	98,90
2,40	53	5,30	6,40	93,60
1,20	159	15,90	22,30	77,70
0,60	211	21,10	43,40	56,60
0,30	220	22,00	65,40	34,60
0,15	195	19,50	84,90	15,10
Pan	152	15,20		
Jumlah	1001	100,1	223,5	

Modulus halus butir (MHB) = $\frac{223,5}{100}$ = 2,235

Ukuran Saringan (mm)	Presentase Berat Butir yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	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 - 10	0 - 15

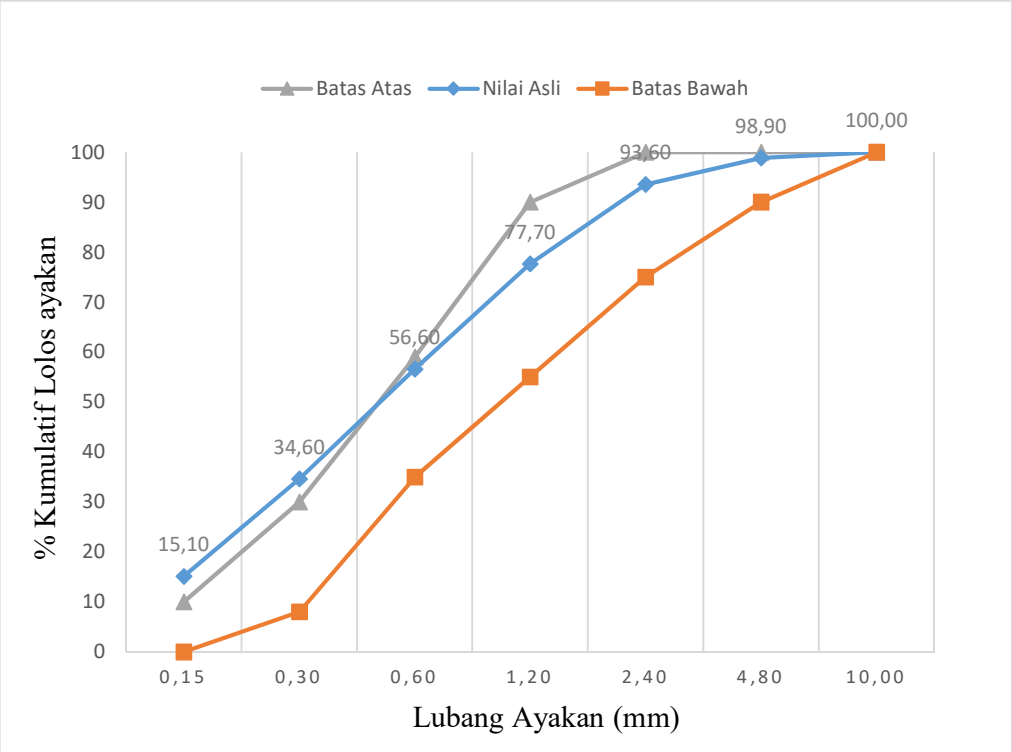
Keterangan:
Daerah I = Pasir Kasar
Daerah II = Pasir Agak Kasar
Daerah III = Pasir Agak Halus
Daerah IV = Pasir Halus

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

(SNI 03-1968-1990)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

GAMBAR ANALISA SARINGAN ABU BATU



PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM ABU BATU

(SNI 03-4142-1996)

Asal Agregat Halus	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gr	Pasir
9,60 mm	1000 gr	Kerikil
19,20 mm	1500 gr	Kerikil
38,00 mm	2500 gr	Kerikil

Uraian		Hasil Pengamatan		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, W1	(gr)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci, W2	(gr)	475	478	476,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200, ((W1 - W2) / W1) x 100%	(%)	5	4,4	4,7

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), berat bagian yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm):

c. Untuk pasir maksimum 5% (lima persen)

d. Untuk kerikil maksimum 1% (satu persen)