

TUGAS AKHIR

**PENGARUH CAMPURAN ABU BATUBARA (*FLY ASH*)
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP
KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*
(*THE EFFECT OF COAL ASH MIXTURE (FLY ASH) AS A
PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT ON THE
CHARACTERISTICS OF PAVING BLOCK*)**

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



Rival Jeneri

17511132

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

2023

**PENGARUH CAMPURAN ABU BATUBARA (*FLY ASH*)
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP
KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*
(*THE EFFECT OF COAL ASH MIXTURE (FLY ASH) AS A
PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT ON THE
CHARACTERISTICS OF PAVING BLOCK*)**

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



Rival Jeneri

17511132

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

2023

TUGAS AKHIR

**PENGARUH CAMPURAN ABU BATUBARA (*FLY ASH*)
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP
KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*
(*THE EFFECT OF COAL ASH MIXTURE (FLY ASH) AS A
PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT ON THE
CHARACTERISTICS OF PAVING BLOCK*)**

Disusun oleh :

**Rival Jeneri
17511132**

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

Diuji pada tanggal 28 Februari 2023

Oleh Dewan Penguji

Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing

Elvis Saputra S.T.,M.T.
NIK: 205111302

Muhammad Rifqi Abdurrozak S.T.,M.Eng.
NIK: 135111101

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

Mengesahkan,

Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunitia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan tugas akhir yang saya susun sebagai salah satu syarat penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain, telah ditulis dalam sumbernya dengan jelas sesuai dengan norma, aturan, dan etika penulisan karya tulis ilmiah. Apabila dikemudianseluruh atau Sebagian dari laporan saya sendiri atau terdapat plagiat pada bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik saya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 7 Maret 2023
Yang Membuat Pernyataan,



Rival Jeneri
(17511132)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,

Alhamdulillah rabbi'alamin. Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan 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.

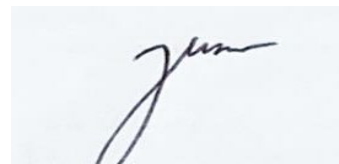
Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi dan tugas akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II.
4. Ibu Ir.Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng 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. Annisya Sarla Azzahra yang selalu memberikan dukungan terhadap penulis.
7. Teman-teman saya 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, 7 Maret 2023

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature is stylized and appears to be 'Rival Jeneri'.

Rival Jeneri
(17511132)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Perbedaan Penelitian.....	8
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
3.1 <i>Paving Block</i>	13
3.2 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	14
3.2.1 Agregat Halus.....	14
3.2.2 Semen <i>Portland</i>	16

3.2.3	Air	18
3.2.4	Abu Batubara	18
3.3	Pengujian <i>Paving Block</i>	20
3.3.1	Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	20
3.3.2	Ketahanan Aus	21
3.3.3	Penyerapan Air.....	22
BAB IV METODE PENELITIAN		23
4.1	Umum	23
4.2	Alat dan Bahan	25
4.2.1	Alat.....	25
4.2.2	Bahan.....	32
4.3	Pelaksanaan Penelitian	34
4.3.1	Persiapan	34
4.3.2	Proses Pencampuran Bahan Benda Uji	37
4.3.3	Pencetakan Benda Uji	37
4.3.4	Perawatan benda Uji	38
4.3.5	Pemotongan Benda Uji	39
4.3.6	Pengujian Benda Uji	40
4.4	Diagram Air Penelitian.....	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
5.1	Tinjauan Umum.....	43
5.2	Hasil Pengujian Bahan	43
5.2.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	43
5.3	Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	48
5.3.1	Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus.....	48

5.3.2	Perhitungan Kebutuhan Semen	48
5.4	Hasil Pengujian <i>Paving Block</i>	50
5.4.1	Pengujian Kuat Tekan	50
5.4.2	Pengujian Ketahanan Aus	56
5.4.3	Pengujian Penyerapan Air	61
5.5	Pembahasan Keseluruhan	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		68
6.1	Kesimpulan	68
6.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		70
LAMPIRAN		72

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Pembagian Benda Uji Dari Masing-Masing komposisi.....	4
Tabel 2. 1	Perbedaan Penelitian Sebelumnya	9
Tabel 3. 1	Sifat-Sifat Fisika <i>Paving Block</i>	13
Tabel 3. 2	Batas-batas Gradasi Untuk Agregat Halus	15
Tabel 3. 3	Susunan Unsur Semen	17
Tabel 4. 1	Jumlah Sampel Pengujian	23
Tabel 4. 2	Ukuran Sampel Pengujian.....	24
Tabel 5. 1	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus	44
Tabel 5. 2	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus.....	46
Tabel 5. 3	Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus.....	47
Tabel 5. 4	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur.....	47
Tabel 5. 5	Komposisi Kebutuhan Campuran <i>Paving Block</i>	49
Tabel 5. 6	Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0%.....	50
Tabel 5. 7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 5%.....	51
Tabel 5. 8	Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10%.....	51
Tabel 5. 9	Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 15%.....	52
Tabel 5. 10	Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 20%.....	52
Tabel 5. 11	Penggolongan Mutu Kuat Tekan Rata-Rata <i>Paving Block</i>	54
Tabel 5. 12	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0%.....	56
Tabel 5. 13	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 5%.....	56
Tabel 5. 14	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10%.....	57
Tabel 5. 15	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 15%.....	57
Tabel 5. 16	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 20%.....	57
Tabel 5. 17	Penggolongan Mutu Ketahanan Aus <i>Paving Block</i>	59
Tabel 5. 18	Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0%.....	61
Tabel 5. 19	Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 5%.....	62
Tabel 5. 20	Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10%.....	62
Tabel 5. 21	Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 15%.....	62

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 20%.....	63
Tabel 5. 23 Penggolongan Mutu Penyerapan Air Paving Block	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Abu Batubara.....	19
Gambar 3. 2	Sketsa Pengujian Kuat Tekan.....	20
Gambar 3. 3	Alat Pengujian Kuat Tekan Paving Block.....	21
Gambar 3. 4	Alat Uji Ketahanan Aus	22
Gambar 4. 1	Sketsa Benda Uji Kuat Tekan	24
Gambar 4. 2	Sketsa Benda Uji Ketahan Aus	24
Gambar 4. 3	Sketsa Benda Uji Penyerapan Air	24
Gambar 4. 4	Timbangan.....	25
Gambar 4. 5	Sendok Semen (Cetok).....	26
Gambar 4. 6	Oven	26
Gambar 4. 7	Ayakan	27
Gambar 4. 8	Ember	27
Gambar 4. 9	Batang Besi	28
Gambar 4. 10	Pan.....	28
Gambar 4. 11	Mesin Press Hidrolik.....	29
Gambar 4. 12	Mesin Mixer	29
Gambar 4. 13	Papan Triplek	30
Gambar 4. 14	Mesin Gerinda.....	30
Gambar 4. 15	Mesin Uji Kuat Tekan.....	31
Gambar 4. 16	Mesin Uji Ketahanan Aus	31
Gambar 4. 17	Agregat Halus.....	32
Gambar 4. 18	Semen Portland	32
Gambar 4. 19	Air.....	33
Gambar 4. 20	Abu Batubara.....	33
Gambar 4. 21	Pencampuran Bahan Benda Uji.....	37
Gambar 4. 22	Pencetakan Benda Uji	38
Gambar 4. 23	Perendaman Benda Uji.....	39
Gambar 4. 24	Pemotongan Benda Uji	39

Gambar 4.25 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 5. 1 Grafik Gradadi Daerah I.....	45
Gambar 5. 2 Grafik Gradadi Daerah II	45
Gambar 5. 3 Grafik Gradadi Daerah III.....	46
Gambar 5. 4 Grafik Pengujian Kuat Tekan Paving Block.....	54
Gambar 5. 5 Grafik pengujian ketahanan Aus	59
Gambar 5. 6 Grafik Pengujian Penyerapan Air Paving Block.....	64
Gambar 5. 7 Grafik Pengujian Keseluruhan	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat Yang Digunakan	73
Lampiran 2 Gambar Bahan Yang Digunakan.....	77
Lampiran 3 Hasil Pengujian.....	78
Lampiran 4 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium.....	90
Lampiran 5 Surat Keterangan Cek Plagiasi	91

ABSTRAK

Keberadaan batubara yang melimpah dan banyaknya industri yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya yang akan semakin terus berkembang. Proses pembakaran batubara menghasilkan produk sisa atau yang dikenal dengan limbah batubara. Salah satu limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara adalah abu terbang (*fly ash*). Abu batubara memiliki sifat yang sama dengan semen. Penggunaan abu batu bara (*fly ash*) sebagai pengganti semen didasari pada sifat material ini yang memiliki kemiripan dengan sifat semen.

Pada penelitian *paving block* ini dilakukan dengan memanfaatkan abu batubara sebagai pengganti sebagian semen, dengan komposisi substitusi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian *paving block* dilaksanakan setelah melewati proses perendaman selama 28 hari dan dikeringkan selama 1 hari. Analisa pengaruh pengganti bahan tersebut terhadap sifat *paving block* meliputi kuat tekan, ketahanan aus dan daya serap air *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Berdasarkan hasil penelitian *paving block*, pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) pada pengujian kuat tekan mendapatkan kadar optimum pada variasi 10% dengan nilai sebesar 22,125 MPa. Hasil penelitian ketahanan aus dengan pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) mendapatkan kadar optimum pada variasi 5% dengan nilai sebesar 0,136 mm/menit. Hasil penelitian daya serap air *paving block* dengan pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) memiliki kadar optimum pada variasi 10% dengan nilai sebesar 5,538%.

Kata Kunci: *paving block*, abu batubara, kuat tekan, daya serap air, ketahanan aus.

ABSTRACT

The abundant existence of coal and the many industries that use coal as an energy source will continue to grow. The process of burning coal produces waste products or what is known as coal waste. One of the wastes produced from burning coal is fly ash. Coal ash has the same properties as cement. The use of fly ash as a substitute for cement is based on the properties of this material which are similar to those of cement.

In this paving block research, it was carried out by utilizing coal ash as a partial replacement for cement, with a substitution composition of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. Paving block testing was carried out after passing through the soaking process for 28 days and drying for 1 day. Analysis of the effect of substituting these materials on the properties of paving blocks includes compressive strength, wear resistance and water absorption of paving blocks in accordance with SNI 03-0691-1996.

Based on the results of paving block research, the utilization of coal ash (fly ash) in the compressive strength test obtained the optimum content at 10% variation with a value of 22.125 MPa. The results of research on wear resistance by utilizing coal ash (fly ash) obtained optimum levels at a variation of 5% with a value of 0.136 mm/minute. The results of research on the water absorption capacity of paving blocks using coal ash (fly ash) have optimum levels at 10% variation with a value of 5.538%.

Keywords: *paving block, coal ash, compressive strength, water absorption, wear resistance*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi di Indonesia sekarang ini sudah mulai meningkat dari mutu bahan dan juga mutu bangunan. Peningkatan mutu dan kualitas bangunan harus dipertimbangkan. Dengan bertambahnya populasi manusia yang berarti meningkat pula tuntutan kebutuhan akan bahan-bahan bangunan yang relatif murah, namun tetap memenuhi syarat-syarat teknis konstruksi, seperti halnya industri *paving block*. Oleh karena itu industri *paving block* didorong agar mampu membuat suatu produk *paving block* yang bisa memenuhi standar mutu dengan biaya murah dan mudah dalam proses pembuatan.

Paving block merupakan produk bahan konstruksi yang ramah lingkungan, yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai perkerasan jalan, trotoar, carport dan lain-lain. Untuk mendapatkan mutu *paving block* yang baik diperlukan suatu material yang memenuhi syarat, serta alternatif bahan pengganti bahan susunnya tanpa mengurangi mutu yang dihasilkan.

Keberadaan batubara yang melimpah dan banyaknya industri yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya yang akan semakin terus berkembang. Selama ini bahan bakar fosil terutama batubara, selalu dikaitkan dengan masalah pencemaran lingkungan (Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (2012)). Proses pembakaran batubara menghasilkan produk sisa atau yang dikenal dengan limbah batubara. Salah satu limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara adalah abu terbang (*fly ash*).

Abu batubara merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Limbah padat ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar. Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup tahun 2020 (KLH) menyebutkan bahwa pembakaran tiap satu ton batubara akan menghasilkan abu batu bara (*fly ash*) sekitar 15% -17 %, dengan demikian produksi limbah batu bara pada industri tersebut antara 1,80 ton – 2,04 ton perhari. Sampai saat ini limbah

hasil pabrik ini belum dimanfaatkan secara optimal dikarenakan belum adanya solusi pemanfaatan yang tepat.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999, abu batubara (*fly ash*) diklasifikasikan sebagai limbah B-3 sehingga penanganannya pun harus memenuhi kaidah-kaidah dalam peraturan tersebut. Penanganan yang direkomendasikan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999 adalah solidifikasi dimana dengan proses tersebut sifat B-3 dalam abu batubara akan menjadi stabil dan dapat dimanfaatkan sebagai produk yang aman bagi kesehatan dan lingkungan.

Abu batubara memiliki sifat yang sama dengan semen. Penggunaan abu batubara (*fly ash*) sebagai pengganti semen didasarkan pada sifat material ini yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Kemiripan sifat ini dapat ditinjau dari dua sifat utama, yaitu sifat fisik dan kimiawi. Abu batubara (*fly ash*) mengandung silika oksida (SiO_2) yang merupakan salah satu bahan penyusun pembuatan semen. *Fly ash* memiliki sifat pozzoland dan dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan menggunakan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Secara fisik, abu batubara (*fly ash*) memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya.

Berdasarkan penjelasan di atas maka penelitian *paving block* ini dilakukan dengan memanfaatkan abu batubara sebagai pengganti sebagian semen, dengan komposisi substitusi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Analisa pengaruh pengganti bahan tersebut terhadap sifat *paving block* meliputi kuat tekan, ketahanan aus dan daya serap air *paving block*. Penelitian ini dilakukan agar mengetahui pengaruh penggunaan abu batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap karakteristik *paving block* itu sendiri, dan diharapkan dengan penggunaan abu batubara dapat menghasilkan mutu *paving block* yang lebih baik. Sehingga dapat memberikan efek positif dan membantu dalam inovasi untuk pembuatan *paving block*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu batubara terhadap kuat tekan pada *paving block* ?.
2. Bagaimana pengaruh penambahan abu batubara terhadap keausan pada *paving block* ?.
3. Bagaimana pengaruh penambahan abu batubara terhadap penyerapan air pada *paving block* ?.
4. Bagaimana mutu optimum yang dihasilkan oleh *paving block* dengan bahan campuran abu batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen sesuai dengan SNI 03-0691-1996 ?.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh penambahan abu batubara terhadap kuat tekan pada *paving block*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan abu batubara terhadap keausan pada *paving block*.
3. Mengetahui pengaruh penambahan abu batubara terhadap penyerapan air pada *paving block*.
4. Mengetahui mutu optimum yang dihasilkan oleh *paving block* dengan bahan campuran abu batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat maupun bagi penulis.

1. Penulis memperoleh wawasan dan ilmu baru terkait dengan penelitian yang telah dilakukan.
2. Memberikan inovasi bagi industri paving block untuk memanfaatkan abu

batubara sebagai bahan campuran pembuatan 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 kuat tekan, keausan dan penyerapan air pada *paving block*.
2. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari gunung Merapi dengan kriteria lolos saringan berdiameter 4,75 mm.
3. Semen yang digunakan adalah semen tipe 1 dengan merk Tiga Roda pada silo yang sudah tersedia di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII.
4. *Fly ash* yang digunakan berasal dari Malang. Abu batubara yang digunakan yang halus. Kelas *fly ash* yang digunakan adalah kelas f yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antasit dan bituminous.
5. Campuran paving block yang digunakan dengan perbandingan 1 pc : 6 ps. Syaiful (2012) berdasarkan penelitian yang digunakan sebagai standar, untuk *paving block* dengan ketebalan 60 mm menggunakan komposisi 1 : 6 dan untuk ketebalan 80 mm digunakan komposisi 1 : 5,5.
6. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 100 buah dengan kadar substitusi abu batubara dari berat total semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, dan untuk setiap variasi menggunakan 20 buah benda uji. Berikut ini table pembagian benda uji masing-masing komposisi dapat dilihat pada table 1.1.

Tabel 1.1 Pembagian Benda Uji Dari Masing-Masing komposisi

Persentase Abu Batubara (%)	Jumlah Sampel		
	Kuat Tekan (buah)	Keausan (buah)	Penyerapan Air (buah)
0 %	10	5	5
5%	10	5	5
10%	10	5	5
15%	10	5	5
20%	10	5	5

7. Pengujian benda uji menggunakan paving block dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm yang kemudian dipotong menjadi ukuran yang berbeda sesuai pengujian *paving block*.
Pengujian kuat tekan dengan ukuran 6 x 6 x 6 cm.
Pengujian keausan dengan ukuran 5 x 5 x 2 cm.
Pengujian penyerapan air dengan ukuran *paving block* normal yaitu ukuran 20 x 10 x 6 cm.
8. Uji paving block pada umur 28 hari dilakukan di laboratorium.

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. Karolina, N.L. (2017) melakukan penelitian tentang optimasi substitusi fly ash dan buttom ash terhadap pembuatan paving block sesuai SNI 03-0691-1996. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mutu paving block sesuai SK SNI 03-0691-1996 dengan optimasi penggunaan fly ash dan buttom ash. Pada penelitian ini menggunakan variasi sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan, paving block normal sebesar 25,50 MPa, 25% FA sebesar 25,28 MPa, 25% BA sebesar 27,61 MPa dan pada 25% FA-BA sebesar 26,00 MPa. Sedangkan untuk penyerapan air Pada uji ketahanan aus tidak ada yang memenuhi standar sesuai SK SNI 03-0691-1996.
2. Nursilawati, L.I. (2018) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah batubara (fly ash) sebagai pengganti Sebagian semen pada pembuatan paving block. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pendahuluan untuk menguji sifat fisik dan mekanik bahan. Variasi fly ash yang digunakan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dengan jumlah benda uji sebanyak 15 buah per variasi. Benda uji direndam 28 hari sebelum dilakukan pengujian. Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi 2,5% sebesar 22,5 MPa, lebih tinggi 8,87% bila dibandingkan dengan paving block variasi 0% yaitu 20,667 MPa. Sedangkan nilai daya serap air tertinggi didapatkan pada benda uji dengan variasi 0% sebesar 0,12% dan nilai daya serap air terendah didapatkan pada benda uji variasi 2,5% sebesar 0,03%.
3. Abdi, F.N. (2018) melakukan penelitian tentang Analisa kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan agregat halus pasir angkana.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan abu terbang batubara pada campuran mortar dengan menggunakan agregat halus Pasir Anggana terhadap kuat tekannya. Kuat tekan maksimal yang dihasilkan dari penambahan abu terbang batubara pada campuran mortar dengan menggunakan agregat halus pasir Anggana didapat pada umur 56 hari. Kuat tekan masing-masing persentase penambahan abu terbang batubara adalah 10% (12 MPa), 20% (14,86 MPa), 30% (13,5 MPa), 40% (13,66 MPa), dan 50% (9,83 MPa). Kuat tekan maksimal didapat pada penambahan abu terbang batubara terjadi pada persentase 20% sebesar 14,86 MPa.

4. Pratama, S.R. (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh substitusi fly ash pada bahan pengikat campuran paving block ditinjau dari kuat tekan, kehausan, dan penyerapan air.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi Semen, Limbah marmer, *Fly Ash*, Pasir, dan Air. Pada penelitian ini penggunaan substitusi fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap bahan pengikat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada paving block dengan menggunakan substitusi fly ash. Pada komposisi 3 penggunaan 10% substitusi fly ash memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu 19,69 Mpa dibandingkan dengan komposisi yang lain. Sedangkan penyerapan air terendah pada komposisi 3 yaitu sebesar 4,20 % dan keausan 0,124 mm/menit.

5. Shafwan, M.D. (2021) melakukan penelitian tentang optimalisasi kuat tekan paving block dengan menggunakan fly ash dan abu batu sebagai bahan pengganti semen dan pasir.

Pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan mutu dan kualitas paving block dengan variasi penambahan fly ash dan abu batu sebesar 0%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%. Dari hasil pengujian kuat tekan paving block diperoleh kuat tekan rata-rata dengan variasi 0 % campuran fly ash dan abu batu diperoleh kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 4.41 (MPa) untuk tipe I dan 4.04 (MPa) untuk tipe II, pada tahap percobaan kedua dengan penambahan 7,5 % fly ash dan abu batu diperoleh kenaikan nilai kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 9.13 (MPa) untuk tipe I dan 10.38 (MPa) untuk tipe II. pada tahap percobaan ketiga dengan

penambahan 10 % fly ash dan abu batu diperoleh kenaikan nilai kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 10.81 (MPa) untuk tipe I dan 12,14 (MPa) untuk tipe II. pada tahap percobaan keempat dengan penambahan 12,5 % fly ash dan abu batu diperoleh penurunan nilai kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 8.68 (MPa) untuk tipe I dan 15,12 (MPa) untuk tipe II mengalami kenaikan. Dan pada tahap percobaan terakhir dengan penambahan 15 % fly ash dan abu batu diperoleh penurunan nilai kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 7,02 (MPa) untuk tipe I dan 9.45 (MPa) untuk tipe II. Dengan adanya kenaikan nilai kuat tekan sebesar 30 % hal ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan dalam mutu Paving block tersebut.

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 dihalam selanjutnya.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	Lubis, N & Karolina, R	Nursilawati, L. I.	Abdi, F. N.	Pratama, S. R	Shafwan, M. D	Jeneri, R
Tahun	(2017)	(2018)	(2018)	(2019)	(2021)	(2022)
Judul Penelitian	Potensi limbah abu terbang (<i>fly ash</i>) batubara sebagai bahan substitusi dan bahan pengisi (filler) pada pembuatan beton	Pemanfaatan limbah batubara (<i>fly ash</i>) sebagai pengganti Sebagian semen pada pembuatan <i>paving block</i>	Analisa kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan agregat halus pasir anggana	Pengaruh substitusi <i>fly ash</i> pada bahan pengikat campuran <i>paving block</i> ditinjau dari kuat tekan, kehausan, dan penyerapan air	Optimalisasi kuat tekan <i>paving block</i> dengan menggunakan <i>fly ash</i> dan abu batu sebagai bahan pengganti semen dan pasir	Pengaruh campuran abu batubara terhadap kuat tekan <i>Paving Block</i> sebagai pengganti sebagian semen.

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	Lubis, N & Karolina, R	Nursilawati, L. I.	Abdi, F. N.	Pratama, S. R	Shafwan, M. D	Jeneri, R
Tahun	(2017)	(2018)	(2018)	(2019)	(2021)	(2022)
Tujuan Penelitian	Mengetahui mutu <i>paving block</i> sesuai SK SNI 03-0691-1996 dengan optimasi penggunaan FA dan BA	Mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan <i>fly ash</i> terhadap sifat mekanik dan fisik dari <i>paving block</i> serta untuk mengetahui berapa proporsi optimum penggantian semen dengan <i>fly ash</i> pada <i>paving block</i>	Mengetahui pengaruh penambahan abu terbang batubara pada campuran mortar dengan menggunakan agregat halus pasir	Untuk mengetahui pengaruh <i>fly ash</i> terhadap kuat tekan, keausan, penyerapan <i>paving block</i> .	Meningkatkan mutu dan kualitas, dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui nilai kuat tekan rata-rata dari berbagai variasi penambahan <i>fly ash</i> dan abu batu sebesar, 0 %, 7,5 %, 10 %, 12,5 %, 15 %	Mengetahui pengaruh penambahan abu batubara terhadap karakteristik <i>paving block</i> .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	Lubis, N & Karolina, R	Nursilawati, L. I.	Abdi, F. N.	Pratama, S. R	Shafwan, M. D	Jeneri, R
Tahun	(2017)	(2018)	(2018)	(2019)	(2021)	(2022)
Hasil Penelitian	Hasil terbaik penggunaan <i>fly ash</i> sebagai bahan substitusi didapat pada substitusi 10% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 671,667 kN dan kuat tekan sebesar 32,178 MPa yang cocok digunakan untuk beton bertulang, sedangkan sebagai	Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik terendah pada variasi 5% <i>fly ash</i> dan tertinggi pada variasi 15% <i>fly ash</i> . Sedangkan untuk penyerapan air didapatkan	Hasil uji kuat tekan umur 28 hari dengan campuran beton <i>fly ash</i> 15% mengalami peningkatan kuat tekan tertinggi sebesar 45,51 MPa, adapun persentase <i>fly ash</i> 5%, dan 10%, mengalami penurunan sebesar 9,23%, dan 10,91%, dari variasi <i>fly ash</i> 0%.	Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% <i>fly ash</i> , yaitu 404,03 Kg/cm ² pada umur 28 hari dengan persentase peningkatan 27,95%. Dapat disimpulkan	Hasil pengujian memperoleh nilai kuat tekan beton normal sebesar 10,37 MPa, dan nilai kuat tekan beton berturut-turut pada campuran 1 yaitu <i>fly ash</i> 15% dan limbah kaca 5%, campuran 2 yaitu <i>fly ash</i> 15% dan limbah	

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Nama	Lubis, N & Karolina, R	Nursilawati, L. I.	Abdi, F. N.	Pratama, S. R	Shafwan, M. D	Jeneri, R
Tahun	(2017)	(2018)	(2018)	(2019)	(2021)	(2022)
	bahan filler hasil terbaik didapat pada filler 50% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 790,667 kN dan kuat tekan sebesar 37,879 MPa yang cocok digunakan untuk beton prategang.	nilai penyerapan air terendah pada variasi 15% fly ash dan tertinggi pada variasi 5% fly ash.		bahwa pada awal umur beton, penggunaan <i>fly ash</i> mempengaruhi kekuatan beton. Persentase penggunaan <i>fly ash</i> 12,5% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum.	kaca 15%, campuran 3 yaitu <i>fly ash</i> 25% dan limbah kaca 5%, campuran 4 yaitu <i>fly ash</i> 25% dan limbah kaca 15% adalah sebesar 10,57 MPa, 11,61 MPa, 10,28 MPa, dan 9,53 MPa.	

Sumber: Nirwan Lubis (2017), Ika (2018), Fachriza Noor (2018), Sandhy rheza (2019), & Mochammad D (2021)

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 mutunya.

1. Mutu A digunakan untuk jalan.
2. Mutu B digunakan untuk lahan parkir.
3. Mutu C digunakan untuk ruas pejalan kaki.
4. 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	0,130	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 $\pm 8\%$.

3.2 Bahan Penyusun *Paving Block*

3.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil pelapukan 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. Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan angka kekerasan $\pm 2,2$.
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. 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 besar sehingga pori yang terbentuk akan menjadi sedikit.

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.

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 hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, 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 dinantikan 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 $(3\text{CaO},\text{SiO}_2)$

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 $2\text{CaO},\text{SiO}_2$

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

3. Trikalsium Aluminat (C2A) atau $3\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3$

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

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C4AF) atau $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$.

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
Alumunia, Al ₂ O ₃	3-8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-8
Magnesia, MgO	0,5-4
Sulfur, SO ₃	1-2
Soda/potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5-1

(Sumber: Tjokrodinuljo, 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 penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar 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 menunjukkan kekentalan yang tidak memungkinkan lagi untuk dikerjakan lebih lanjut. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya $\pm 25\%$ 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 munculnya *bleending*. Hasil *bleending* 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 Batubara

Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus dan abu tersebut merupakan bahan organik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral mineral karena proses pembakaran. Abu batubara dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap boiler akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang *fly ash* dan abu dasar *bottom ash*. Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10-20 abu dasar, sedangkan sisanya 80-90 berupa abu terbang.

Menurut ACI Committee 226, menjelaskan bahwa abu terbang fly ash memiliki butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No.325 45 mili mikro 5-27 dengan specific gravity antara 2,15-2,6 dan bewarna abu-abu kehitaman. Abu batu bara mengandung silika dan alumina sekitar 80 dengan Sebagian silika berbentuk

amorf. Sifat-sifat fisik abu batubara antara lain densitasnya $2,23 \text{ grcm}^3$, kadar air sekitar 4 dan komposisi mineral yang dominan adalah a-kuarsa dan mulite. Selain itu abu batubara mengandung $\text{SiO}_2 = 58,75$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30$, $\text{CaO} = 4,66$, alkali $= 1,36$, $\text{MgO} = 3,30$ dan bahan lainnya $= 0,81$. Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu batubara seperti tembaga Cu, timbal Pb, seng Zn, cadmium Cd, chrom Cr.

Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu batubara sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, abu batubara digolongkan menjadi 3 jenis.

1. Kelas F : abu terbang *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antasit dan bituminous.
2. Kelas C : abu terbang *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis lignite dan subbituminous.
3. Kelas N : Pozzolan alam, seperti tanah diatomi, shale, tufa, abu gunung berapi atau pumice.

Abu batubara (*fly ash*) mengandung silika oksida (SiO_2) yang merupakan salah satu bahan penyusun pembuatan semen. *Fly ash* memiliki sifat pozzoland dan dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan menggunakan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat Secara fisik, abu batubara (*fly ash*) memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya. Gambar Abu Batubara dapat dilihat pada Gambar 3.1.



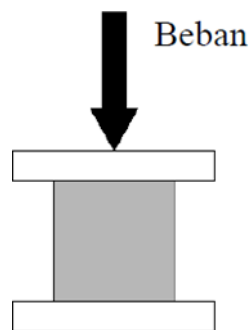
Gambar 3. 1 Abu Batubara

3.3 Pengujian *Paving Block*

Pada SNI 03-0691-1996 *paving block* diharuskan mempunyai sifat-sifat fisika yang berupa kuat tekan, keausan, dan penyerapan air. Dengan ini peneliti juga harus melakukan pengujian sesuai dengan yang sudah ditetapkan SNI 03-0681-1996. Pengujian *paving block* dijelaskan di bawah ini.

3.3.1 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 batubara sebagai bahan pengganti semen dapat menambah kuat tekan pada *paving block*. Berikut adalah sketsa pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sketsa Pengujian Kuat Tekan

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

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

Dengan :

f_c' = kuat tekan (MPa),

P = beban Tekan (N), dan

A = luas Bidang Tekan (mm²).

Adapun alat pengujian untuk kuat tekan pada *paving block* dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Alat Pengujian Kuat Tekan Paving Block

3.3.2 Ketahanan Aus

Ketahanan aus merupakan terkikisnya Sebagian lapisan permukaan material yang diakibatkan karena adanya gesekan antara suatu benda dengan benda lainnya. Gesekan dapat merupakan gaya yang terjadi diantara dua benda yang saling bersentuhan (Sumarjono, 2005). Ketahanan aus pada *paving block* merupakan hal yang sangat di pertimbangkan, karenan 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.

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

Dengan :

D = keausan (mm/menit)

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

Adapun alat pengujian untuk kuat tekan pada *paving block* dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Alat Uji Ketahanan Aus

3.3.3 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 didalam mesin pengering selama 24 jam pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ 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.

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

Dengan :

DSA = Penyerapan air (%)

A = Berat *Paving Block* (gram)

B = Berat *Paving Block* (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 batubara sebagai pengganti semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat semen. Benda uji yang dipakai yang berbentuk persegi panjang 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 penyerapan air sebanyak 5 buah.. Pengujian ini akan di lakukan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, 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.

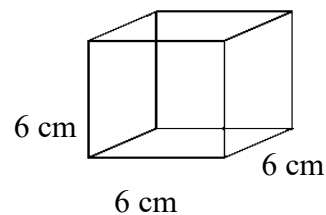
Tabel 4.1 Jumlah Sampel Pengujian

Variasi	Presentase Abu Batu	Jumlah Sampel Pengujian		
		Kuat Tekan	Ketahanan Aus	Penyerapan Air
1.	0%	10	5	5
2.	5%	10	5	5
3.	10%	10	5	5
4.	15%	10	5	5
5.	20%	10	5	5

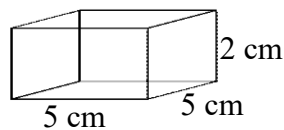
Tabel 4.2 Ukuran Sampel Pengujian

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

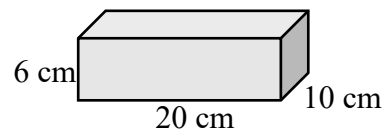
Uji kuat tekan dilakukan menggunakan benda uji dengan dimensi 6 cm x 6 cm x 6 cm. Benda uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

**Gambar 4. 1 Sketsa Benda Uji Kuat Tekan**

Uji ketahanan aus dilakukan menggunakan benda uji dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 2 cm. Benda uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.

**Gambar 4. 2 Sketsa Benda Uji Ketahan Aus**

Uji penyerapan air dilakukan menggunakan benda uji dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm. Benda uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

**Gambar 4. 3 Sketsa Benda Uji Penyerapan Air**

Tahap setelah melakukan pengujian dan mendapatkan 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 di perhitungkan tidak meleset Ketika pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar timbangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Timbangan

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 4.5.



Gambar 4. 5 Sendok Semen (Cetok)

3. Oven

Oven digunakan untuk memanaskan atau mengeringkan benda uji yang akan di ujikan serta juga digunakan untuk uji propertis bahan yang digunakan untuk pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar oven yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Oven

4. Ayakan

Ayakan berfungsi untuk memilah material disesuaikan dengan gradasinya. Peneliti menggunakan ayakan yang tertahan pada diameter 4,75 mm untuk agregat kasar dan menggunakan satu set ayakan dalam pengujian gradasi pasir.



Gambar 4. 7 Ayakan

5. Ember

Ember digunakan untuk tempat menaruh bahan yang sudah di siapkan sebelumnya untuk pembuatan *paving block*. Berikut adalah gambar ember yang dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Ember

6. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk merupakan batang besi yang digunakan untuk menumbuk pasir untuk menghitung berat isi pasir memiliki ujung yang bulat. Batang besi memiliki diameter 16 mm dengan panjang 600 mm. Berikut adalah gambar batang besi yang dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Batang Besi

7. Pan

Pan digunakan untuk menaruh pasir pada saat dikeringkan untuk mencari kadar air pasir. Berikut adalah gambar pan yang dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Pan

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. Berikut adalah gambar mesin cetakan *paving block* yang dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Mesin Press Hidrolik

9. Mesin *Mixer*

Mesin *mixer* berfungsi untuk mencampur material penyusun *paving block* seperti semen, pasir, air dan bahan tambah lain. Biasanya mesin *mixer* ini mengaduk bahan selama 5 - 10 menit hingga merata keseluruhan bagian. Berikut adalah gambar mesin mixer *paving block* yang dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Mesin Mixer

10. Papan Triplek

Papan triplek digunakan sebagai alas setelah *paving block* selesai diproduksi. Satu papan triplek dapat menampung 12 buah *paving block* sekaligus.



Gambar 4. 13 Papan Triplek

11. Mesin Gerinda

Mesin gerinda merupakan peralatan yang digunakan untuk memotong *paving block*. Berikut adalah gambar mesin gerinda yang dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Mesin Gerinda

12. Mesin uji kuat tekan

Mesin uji kuat tekan digunakan untuk mendapatkan nilai beban maksimum yang dapat di tahan oleh *paving block*. Mesin tekan memberikan beban dengan gaya tekan konstan sampai sampel *paving block* hancur. Berikut adalah gambar mesin tekan yang dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Mesin Uji Kuat Tekan

13. Mesin uji ketahanan Aus

Mesin ketahanan aus digunakan untuk menghitung ketahanan aus *paving block* dengan cara memutar benda uji dan menggosokkan benda uji terhadap permukaan pada lainnya. Berikut adalah gambar mesin ketahanan aus yang dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Mesin Uji Ketahanan Aus

4.2.2 Bahan

Sebelum dilakukan penelitian, diperlukan persiapan pada bahan yang akan dipakai dalam penelitian ini. Berikut bahan yang digunakan 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 agregat halus yang dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Agregat Halus

2. Semen *Portland*

Semen Portland yang dipakai pada penelitian adalah semen yang berasal dari silo pada Pusat Inovasi Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia dengan merk dagang Tiga Roda. Berikut adalah gambar semen portland yang dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Semen Portland

3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini merupakan air sumur yang berada di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah gambar air yang dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Air

4. Abu Batubara

Abu batubara yang digunakan berasal dari Malang. Abu batubara yang digunakan yang halus. Berikut adalah gambar *fly ash* yang dapat dilihat pada gambar 4.20 .



Gambar 4. 20 Abu Batubara

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

Pada tahap persiapan dilakukan bahan yang digunakan pada saat menyusun *paving block*. Berikut adalah bahan yang harus disiapkan sebelum pembuatan *paving block*.

1. Pasir

Dalam persiapan pasir yang harus disiapkan meliputi pengujian modulus halus butir 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 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) Masukkan benda uji pada oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 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 $\pm 0,5$ gram.
- 4) Susun saringan dari lubang yang paling besar sampai lubang (9.52 mm) yang terkecil (0,15 mm). Kemudian masukkan benda uji lalu langsung diayak dengan bantuan mesin pengguncang selama 10-15 menit.
- 5) Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukkan 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 Kadar 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) Siapkan benda uji (pasir) yang telah sebelumnya di siapkan pada pan yang tersedia.
- 2) Masukkan benda uji pada oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ysnng berfungsi untuk mengeringkan benda uji sampai dengan berat tetap. Kemudian rendam air selama 24 jam ± 4 jam.
- 3) Buang air rendaman pelan-pelan agar butiran pasir tidak ada yang terbang. Kemudian keringkan benda uji di udara yang panas sampai keadaan permukaan jenuh (SSD).
- 4) Masukkan benda uji sebanyak 500 gram kedalam piknometer, kemudian masukan air sampai 90% piknometer, kemudian putar dan guncangkan sampai gelembung didalamnya tidak terlihat.
- 5) Tambah air pada piknometer sampai penuh.
- 6) Timbang piknometer yang berisi benda uji dan air.
- 7) Keluarkan benda uji dari piknometer, lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji dalam desikator.
- 8) Timbang benda uji setelah dingin.
- 9) Kemudian timbang piknometer yang terisi penuh
- 10) Dari hasil penimbangan yang telah dicatat kemudian menghitung presentase kadar lumpur menggunakan permsamaan berikut

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W^1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (4.5)$$

W_1 = Berat agregat kering oven (gram)

W_2 = Berat agregat kering oven setelah dicuci (gram)

c. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume padat dan gembur dari pasir. Adapun tata cara pelaksanaan pengujian berat volume padat dan gembur pasir berdasarkan SNI 03-4804-1998 sebagai berikut.

- 1) Keringkan pasir dalam *oven* pada suhu (110 ± 5) °C sampai memiliki berat tetap.
- 2) Selanjutnya keluarkan pasir dari *oven* lalu dinginkan pada suhu ruangan selama 1 - 3 jam dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- 3) Ambil tabung silinder lalu timbang berat dan ukur dimensinya.
- 4) Setelah itu tabung silinder ditempatkan pada alas yang rata. Pada pengujian berat volume padat, masukkan 1/3 pasir ke dalam silinder kemudian tumbuk 25 kali lalu ratakan. Pengisian pasir dilakukan sampai volume silinder penuh.
- 5) Untuk pengujian berat volume gembur, masukkan pasir kedalam silinder tanpa tumbukan sampai penuh kemudian diratakan.
- 6) Timbang berat tabung silinder pasir tersebut dan hitung volumenya

2. Semen *Portland*

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

3. Abu Batubara

Persiapan yang dilakukan pada bahan abu batubara dilakukan dengan cara pemeriksaan *visual* yaitu dengan cara keadaan abu batubara harus tertutup rapat kemudian ketika di buka butirannya tidak terdapat yang bergumpal harus halus.

4. 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 Bahan Benda Uji

Dalam proses pencampuran ini dipakai perbandingan 1 pc : 6 ps dengan variasi pengganti bahan abu batubara sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pencampuran.

1. Siapkan bahan penyusun *paving block* yang meliputi agregat halus (pasir), semen, dan abu batubara dengan presentase yang sudah ditentukan sebelumnya. Kemudian bahan tersebut di campurkan menjadi satu.
2. Bahan yang telah di campur tadi kemudian di aduk 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 di masukan ke dalam alat cetak.

Berikut adalah gambar pencampuran bahan yang dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Pencampuran Bahan Benda Uji

4.3.3 Pencetakan Benda Uji

Pada tahap pencetakan benda uji menggunakan mesin pres yang menggunakan system 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%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat pasir. Setiap variasi tersebut dibuat 20 sampel dengan total benda uji yang dibuat sebanyak 100 sampel. 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. Masukkan 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 pencetakan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Pencetakan Benda Uji

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 perendaman benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.23 .



Gambar 4. 23 Perendaman Benda Uji

4.3.5 Pemotongan Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pemotongan terhadap benda uji yang semula ukuran awal 20cm x 10cm x 6cm dipotong menjadi bentuk kubus yang memiliki ukuran 6cm x 6cm x 6cm untuk pengujian kuat tekan dan 5cm x 5cm x 2cm untuk pengujian ketahanan aus. 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 pemotongan benda uji yang dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Pemotongan Benda Uji

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 dengan ketelitian 0,1 mm.
- 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.

2. 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.

3. Pengujian Penyerapan Air

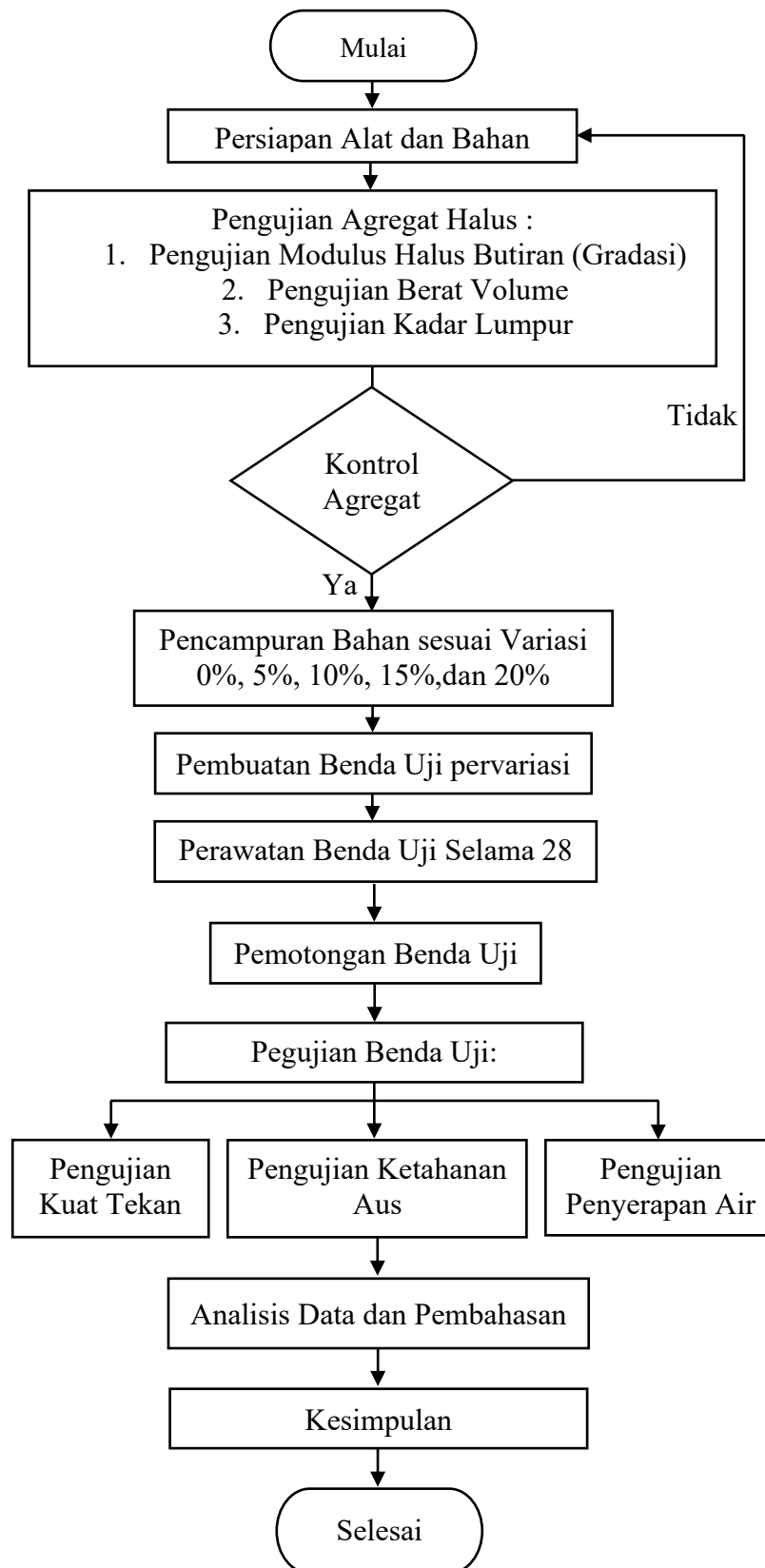
Pengujian penyerapan air dilakukan untuk mengetahui besar kemampuan *paving block* untuk menyerap air kedalam pori – porinya. Berikut adalah langkah – langkah pengujian penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

- 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 penimbangan 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.

4.4 Diagram Air 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 4.25 di halaman selanjutnya.



Gambar 4.25 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Hasil dan pembahasan menjelaskan tentang hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya oleh penguji. Data yang didapat perlu dilakukan analisis 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

Pada pengujian bahan penyusun *paving block* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia diperoleh beberapa data yang meliputi hasil pengujian modulus halus butir, pengujian berat volume padat dan gembur, dan pengujian kandungan lumpur. Data tersebut di analisa kembali agar dapat masuk dalam persyaratan bahan penyusun *paving block* sehingga *paving block* yang di buat sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus menggunakan pasir yang berasal dari Merapi. Pengujian yang dilakukan pada pengujian ini meliputi pengujian modulus halus butir, pengujian volume padat dan gembur, serta pengujian lumpur. Berikut adalah hasil dari 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 hasil dari pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

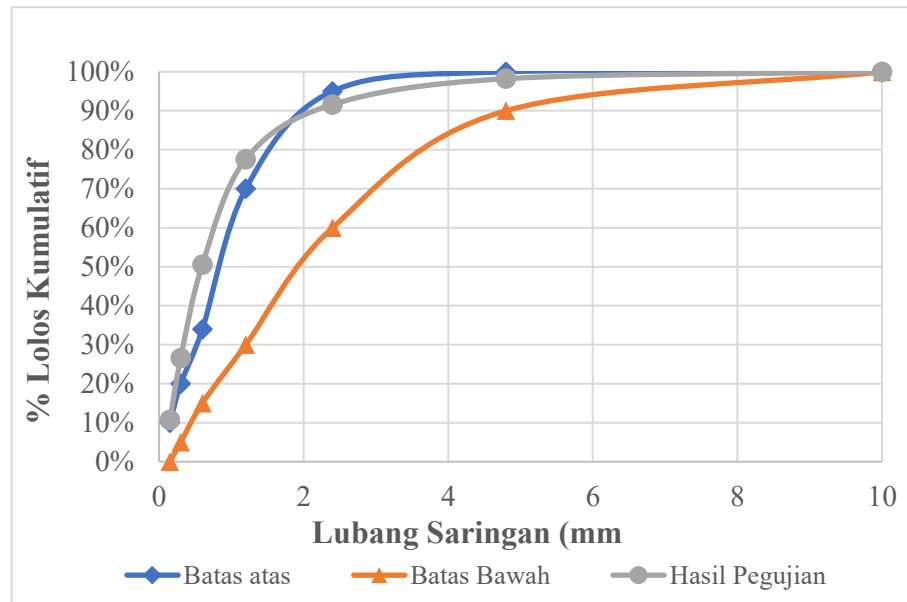
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	34	1,77	1,77	98,23
2,40	127	6,62	8,39	91,61
1,20	269	14,03	22,42	77,58
0,60	518	27,01	49,43	50,57
0,30	460	23,98	73,41	26,59
0,15	304	15,85	89,26	10,74
Sisa	206	10,74	100,00	0,00
Jumlah	1918,0	100	244,68	

Berdasarkan table diatas dapat mendapatkan nilai modulus halus butiran dengan persamaan berikut ini.

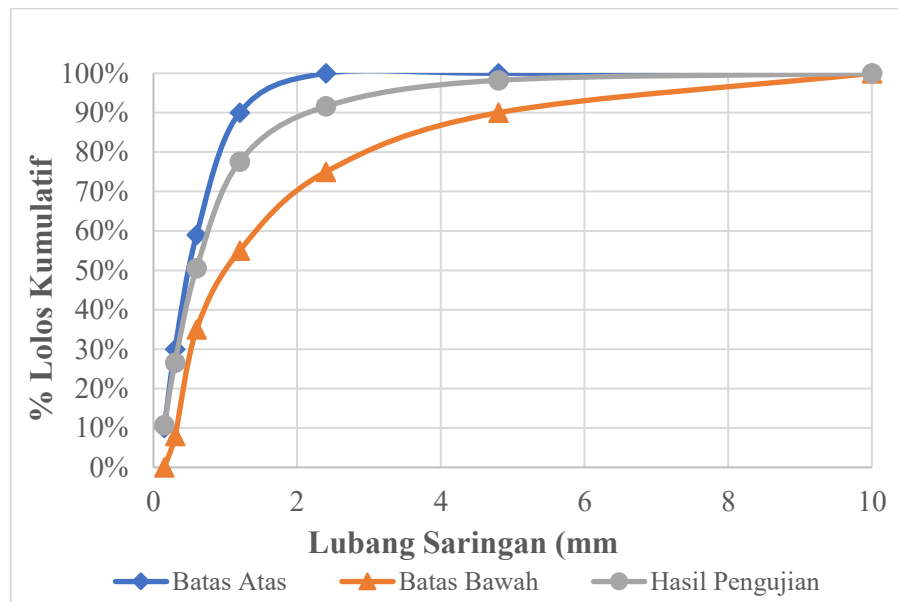
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butiran} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{244,68}{100} \\
 &= 2,447
 \end{aligned}$$

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%). Data diatas merupakan gradasi pasir daerah 2 .Pada perhitungan diatas diapatkan bahwan pasir yang digunakan pada bahan penyusun *paving block* merupakan pasir halus dengan nilai

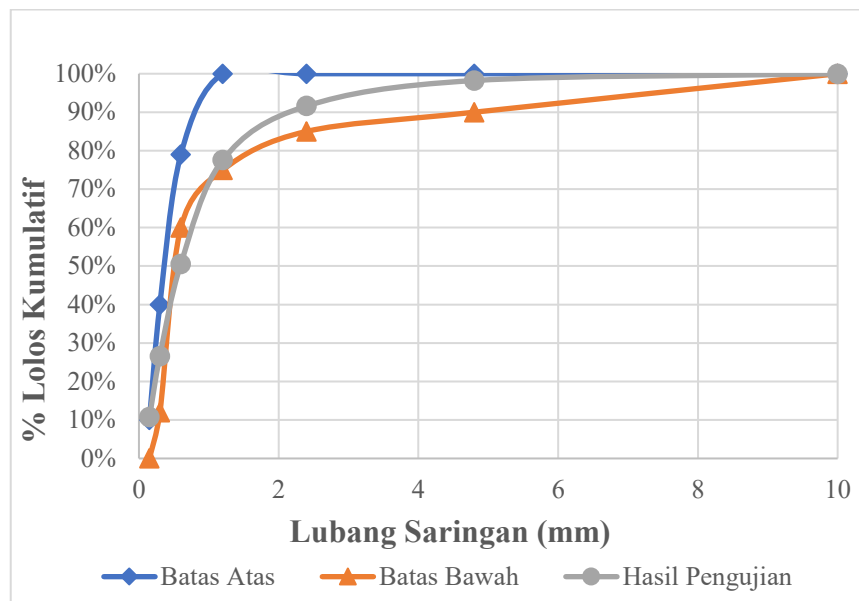
2,447. Untuk gradasi pasir yang didapatkan pada perhitungan diatas termasuk dalam gradasi pasir daerah 2. Berikut adalah grafik yang dihasilkan pada pengujian modulus halus butir yang dapat dilihat pada gambar 5.1, 5.2, 5.3.



Gambar 5. 1 Grafik Gradadi Daerah I



Gambar 5. 2 Grafik Gradadi Daerah II



Gambar 5. 3 Grafik Gradasi Daerah III

2. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Pada pengujian ini didapatkan berat volume padat pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	9,98	9,98	9,98
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18,53	18,37	18,45
Berat Agregat (W3), gram	8,56	8,39	8,48
Volume Tabung (V), cm ³	5943,30	5943,30	5943,30
Berat Volume Padat pasir W3/V gram/cm ³	1,440	1,412	1,426

Berdasarkan tabel 5.2 didapatkan berat volume padat agregat halus dengan nilai rata-rata sebesar 1,426 gram/cm³. Menurut SNI 03-1973-2008 batas minimum nilai berat vilume untuk agregat halus 0,4-1,9 gram/cm³, maka agregat halus dalam penelitian ini memenuhi syarat berat volume agregat halus.

3. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

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

Tabel 5. 3 Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	9,98	9,98	9,98
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	16,80	16,78	16,79
Berat Agregat (W3), gram	6,83	6,81	6,82
Volume Tabung (V), cm ³	5943,30	5943,30	5943,30
Berat Volume Gembur pasir, gram/cm ³	1,149	1,145	1,147

Berdasarkan tabel 5.3 didapatkan berat volume padat agregat halus dengan nilai rata-rata sebesar 1,147 gram/cm³. Menurut SNI 03-1973-2008 batas minimum nilai berat volume untuk agregat halus 0,4-1,9 gram/cm³, maka agregat halus dalam penelitian ini memenuhi syarat berat volume agregat halus.

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 hasil dari pengujian kandungan lumpur yang dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Agregat Kering Oven	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci	483	481	482
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3,40%	3,80%	3,60%

Berdasarkan PBI 1982 dikatakan bahwa kandungan lumpur untuk pasir harus dibawah 5%. Hasil yang didapatkan berdasarkan pada tabel 5.4 kandungan lumpur pada pasir yang digunakan untuk bahan penyusun *paving block* memiliki kadar lumpur sebesar 3,60%.

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%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Bahan yang digunakan untuk membuat benda uji sebelumnya harus diperhitungkan agar benda uji sesuai dengan rencana yang sudah direncanakan. Perhitungan menggunakan perbandingan campuran 1pc : 6ps dengan kebutuhan semen menggunakan perbandingan terhadap pasir. Berikut adalah hasil perhitungan kebutuhan bahan penyusun *paving block*.

$$\begin{aligned} \text{Volume paving block} &= 20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \\ &= 1200 \text{ cm}^3 \\ \text{Berat volume padat pasir} &= 1,426 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Faktor Pemadatan mesin hidrolis} &= 1,3 \end{aligned}$$

5.3.1 Perhitungan Kebutuhan Agregat Halus

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

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir} &= \frac{6}{7} \times \text{B.V.padat pasir} \times \text{V.Paving} \times \text{Faktor pemadatan mesin} \\ &= \frac{6}{7} \times 1,426 \times 1200 \times 1,3 \\ &= 1906,766 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir untuk 24 buah} &= 24 \times 1906,766 \\ &= 45762,377 \text{ gr} \end{aligned}$$

5.3.2 Perhitungan Kebutuhan Semen

Berikut adalah kebutuhan semen untuk bahan penyusun *paving Block*

$$\text{Kebutuhan Semen} = \frac{\text{Kebutuhan Pasir}}{\text{Perbandingan semen}}$$

$$= \frac{1906,766}{6}$$

$$= 317,794 \text{ gr}$$

$$\text{Kebutuhan semen untuk 24 buah} = 317,794 \times 24$$

$$= 7627,063 \text{ gr}$$

5.3.3 Perhitungan Kebutuhan Abu Batubara

Berikut adalah kebutuhan abu batu untuk bahan penyusun *paving block* yang menggunakan variasi 5%, 10%, 15%, dan 20% sebagai pengganti sebagian dari berat semen.

$$5\% = \frac{5}{100} \times 7627,063 = 381,353 \text{ gr}$$

$$10\% = \frac{10}{100} \times 7627,063 = 762,706 \text{ gr}$$

$$15\% = \frac{15}{100} \times 7627,063 = 1144,059 \text{ gr}$$

$$20\% = \frac{20}{100} \times 7627,063 = 1525,413 \text{ gr}$$

Berikut adalah kebutuhan bahan penyusun *paving block* yang terdiri atas agregat halus (pasir), semen, dan abu batubara (semen) yang dapat dilihat pada tabel 5.5 pada halaman selanjutnya.

Tabel 5. 5 Komposisi Kebutuhan Campuran Paving Block

Variasi	Semen	Pasir	Abu Batubara	Jumlah Benda Uji
(%)	(gr)	(gr)	(gram)	(buah)
0	7627,063	45762,377	0,000	24
5	7245,710	45762,377	381,353	24
10	6864,357	45762,377	762,706	24
15	6483,003	45762,377	1144,059	24
20	6101,650	45762,377	1525,413	24
Total	34321,783	228811,886	3813,531	120

5.4 Hasil Pengujian *Paving Block*

Pada *paving block* dilakukan sebanyak 3 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 ini dilakukan dengan jumlah 10 buah untuk pengujian kuat tekan, 5 buah untuk pengujian ketahanan aus dan 5 buah penyerapan air pada setiap variasinya.

5.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan *paving block* dilaksanakan setelah umur *paving block* mencapai 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 10 buah untuk tiap variasinya. *Paving block* dipotong dengan bentuk kubus sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-0691-1996 yaitu 60 mm x 60 mm x 60 mm. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi Universitas Islam Indonesia. Berikut ini adalah hasil dari pengujian kuat tekan *paving block* yang bisa dilihat pada tabel 5.6, tabel 5.7, tabel 5.8, tabel 5.9, dan tabel 5.10 dibawah ini.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 0% *Fly Ash*

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT1	60	60	62	66194,888	18,387
KT2	57	60	61	62517,394	18,280
KT3	60	61	62	64478,724	17,617
KT4	60	57	60	60310,898	17,635
KT5	58	60	60	62762,560	18,035
KT6	59	58	62	61046,396	17,839
KT7	60	59	62	62272,228	17,591
KT8	57	60	61	63007,726	18,423
KT9	61	58	60	64233,558	18,155
KT10	60	58	61	63498,059	18,247
Rerata					18,021

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 5% Fly Ash

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT11	59	60	61	77717,701	21,954
KT12	61	60	62	73549,875	20,096
KT13	60	59	60	75020,873	21,192
KT14	59	58	60	76491,870	22,353
KT15	60	60	62	73304,709	20,362
KT16	59	58	59	72569,210	21,207
KT17	60	60	60	78698,366	21,861
KT18	60	60	61	72078,878	20,022
KT19	60	61	62	72814,376	19,895
KT20	58	60	62	76982,203	22,121
Rerata					21,106

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 10% Fly Ash

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT21	60	61	60	76737,036	20,966
KT22	59	58	62	78943,533	23,069
KT23	60	60	60	77962,868	21,656
KT24	61	57	60	75020,873	21,576
KT25	60	58	62	78453,200	22,544
KT26	60	57	61	77717,701	22,724
KT27	60	61	62	77472,535	21,167
KT28	58	60	62	80169,364	23,037
KT29	60	59	61	80659,696	22,785
KT30	60	60	62	78208,034	21,724
Rerata					22,125

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 15% *Fly Ash*

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT31	57	61	62	71098,213	20,448
KT32	60	59	61	68401,384	19,322
KT33	60	61	62	69627,215	19,024
KT34	60	60	62	73795,041	20,499
KT35	58	60	63	73059,543	20,994
KT36	59	58	61	72324,044	21,135
KT37	61	60	61	68156,218	18,622
KT38	60	59	60	67665,885	19,115
KT39	57	59	61	70853,046	21,068
KT40	60	60	62	72078,878	20,022
Rerata					20,025

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi 20% *Fly Ash*

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
KT41	61	60	60	70607,880	19,292
KT42	58	60	62	71343,379	20,501
KT43	60	59	60	69382,049	19,599
KT44	57	60	62	68156,218	19,929
KT45	61	58	59	70117,548	19,818
KT46	58	60	61	66440,054	19,092
KT47	60	60	62	69872,381	19,409
KT48	60	61	62	66194,888	18,086
KT49	58	60	61	66685,220	19,162
KT50	57	60	60	68891,716	20,144
Rerata					19,503

Analisis perhitungan :

Contoh perhitungan kuat tekan pada *paving block* kode KT 22

$$\text{Panjang} = 59 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar} = 58 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 62 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= P \times L \\ &= 59 \times 58 \\ &= 3422 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

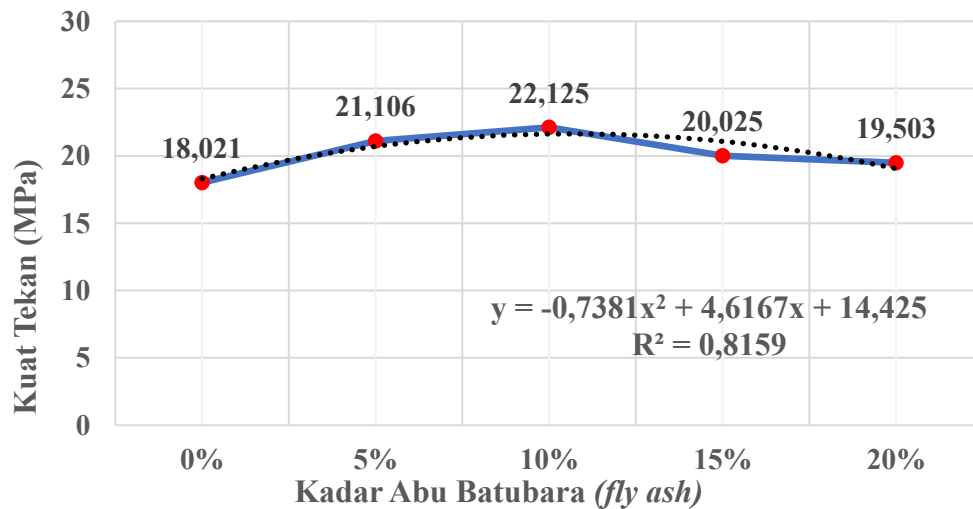
$$\text{Beban Maksimum} = 78943,53 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan (f'c)} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{78943,53}{3422} \\ &= 23,069 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kode KT21, KT22, KT23, KT24, KT25, KT26, KT27, KT28, KT29, KT30 sama seperti perhitungan diatas, kemudian untuk memperoleh kuat tekan rata-rata dengan cara menjumlahkan kelima hasil perhitungan kuat tekan kemudian dibagi dengan jumlahkode. Berikut adalah perhitungan hasil rata-rata kuat tekan.

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan (f'c) rata-rata} &= \\ &= \frac{20,966+23,069+21,656+21,576+22,544+22,724+21,167+23,037+22,785+21,724}{10} \\ &= 22,125 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan 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

Analisa regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variable bebas dan variable terikat (Hosmer and Lemeshow, 2000). Berdasarkan grafik diatas di peroleh R square sebesar 0,81 atau 81%. Hal ini menunjukkan korelasi antar kadar *fly ash* dan kuat tekan sebesar 81%. Jadi, kecocokan data bisa dibilang baik karna semakin mendekati 1.

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* yang dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Penggolongan Mutu Kuat Tekan Rata-Rata Paving Block

No	Variasi	Hasil Pengujian (MPa)		Syarat SNI (MPa)		Mutu	Fungsi
		Rerata	Min.	Rerata	Min.		
1.	0%	18,021	17,591	15	12,5	C	Pejalan Kaki
2.	5%	21,106	19,895	20	17	B	Lahan Parkir
3.	10%	22,125	20,966	20	17	B	Lahan Parkir
4.	15%	20,025	18,622	20	17	B	Lahan Parkir
5.	20%	19,503	18,086	15	12,5	C	Pejalan Kaki

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 $\pm 6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ agar memudahkan waktu pengujian.

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengujian kuat tekan diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* normal sebesar 18,021 MPa. Pada *paving block* dengan variasi 5% dan 10% pengganti semen mengalami kenaikan sebesar 21,106 MPa dan 22,125 MPa. Pada *paving block* dengan variasi 15% dan 20% pengganti semen mengalami penurunan sebesar 20,025 MPa dan 19,503 MPa.

Pada variasi 5% dan 10% mengalami kenaikan pada kuat tekannya, hal ini terjadi karena penambahan kandungan silika dari abu batubara. Dengan penambahan abu batubara, kandungan silika di dalam semen akan meningkat. Silika dari abu batubara tersebut berikatan dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen pada saat bereaksi dengan air. Secara garis besarnya kandungan kimia dalam *fly Ash* adalah : Kalsium Oksida (CaO) 3,54%, Silika (SiO₂) 56,42%, Alumina (Al₂O₃) 27,32%, Ferioksida (Fe₂O₃) 5,39%, Magnesium Oksida (MgO) 1,36%, Natrium Oksida (Na₂O) 0,13%, Sulfur (SO₃) 3,16% (PT. Superintending Company Of Indonesia (SUCOFINDO)2002). Jadi semakin banyak penambahan abu batubara maka silika yang berikatan dengan kalsium hidroksida semakin banyak, sehingga kuat tekan meningkat.

Pada variasi 15% dan 20% penambahan abu batubara nilai kuat tekannya mengalami penurunan. Hal ini karena semen yang berfungsi sebagai perekat jumlahnya semakin sedikit. Selain itu jumlah kalsium hidroksida hasil reaksi hidrasi semen lebih sedikit, sehingga banyak silika yang tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Silika abu batubara banyak yang tidak bereaksi, sehingga silika pada abu batubara banyak yang mengendap.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa abu batubara sebagai pengganti sebagian semen memiliki nilai kuat tekan yang tinggi pada variasi 10%. Pada SNI

03-0691-1996 mutu yang didapat pada pengujian kuat tekan pada *paving block* dengan variasi 0%, dan 20% yaitu mutu C dengan fungsinya sebagai pejalan kaki. Pada variasi 5%, 10%, dan 15% memperoleh mutu B yang fungsinya untuk parkir.

5.4.2 Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus air *paving block* dilaksanakan setelah umur *paving block* mencapai 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah untuk tiap variasinya. *Paving block* dipotong dengan bentuk balok sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-0691-1996 yaitu 50 mm x 50 mm x 20 mm. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah hasil dari pengujian ketahanan aus yang dapat dilihat pada tabel 5.12, tabel 5.13, tabel 5.14, tabel 5.15, dan tabel 5.16.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 0% Fly Ash

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA1	93,82	93,23	0,118	0,173
KA2	92,40	91,77	0,126	0,183
KA3	108,25	107,64	0,122	0,178
KA4	101,30	100,67	0,126	0,183
KA5	91,79	91,19	0,120	0,176
Rata-rata				0,179

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 5% Fly Ash

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA6	92,38	91,96	0,084	0,130
KA7	89,88	89,43	0,090	0,138
KA8	87,15	86,71	0,088	0,135
KA9	92,73	92,27	0,092	0,141
KA10	95,14	94,69	0,090	0,138
Rata-rata				0,136

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 10% Fly Ash

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA11	98,72	98,15	0,114	0,168
KA12	103,66	103,12	0,108	0,161
KA13	100,81	100,25	0,112	0,166
KA14	80,21	79,68	0,106	0,158
KA15	75,21	74,66	0,110	0,163
Rata-rata				0,163

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 15% Fly Ash

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA16	98,61	97,80	0,162	0,229
KA17	85,71	84,82	0,178	0,249
KA18	84,80	83,94	0,172	0,241
KA19	98,35	97,50	0,170	0,239
KA20	98,46	97,65	0,162	0,229
Rata-rata				0,237

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Variasi 20% Fly Ash

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA21	89,70	88,62	0,216	0,297
KA22	94,26	93,17	0,218	0,299
KA23	98,49	97,38	0,222	0,304
KA24	95,11	94,03	0,216	0,297
KA25	91,88	90,75	0,226	0,309
Rata-rata				0,301

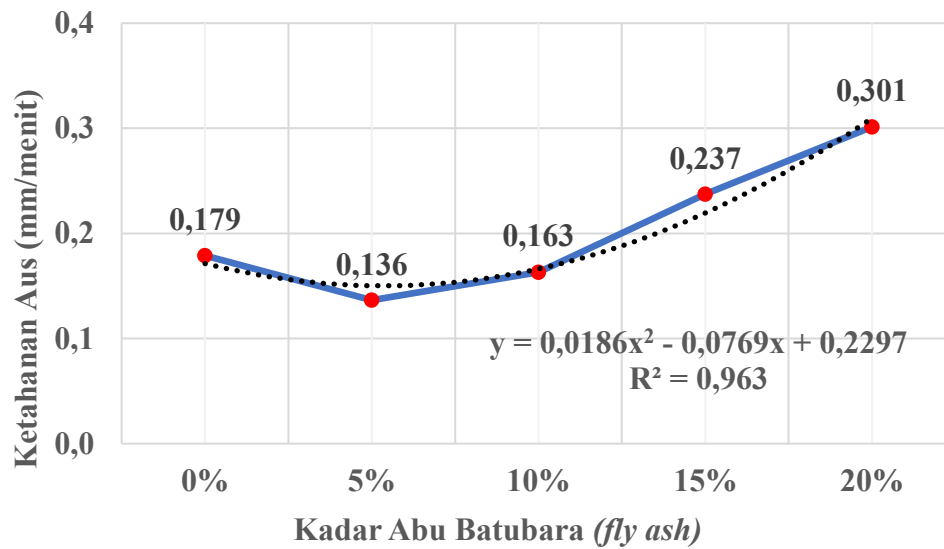
Sebagai contoh perhitungan ketahanan aus paving block, diambil data pengujian pada variasi 5% dengan kode sampel KA6. Analisis perhitungan dapat lihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat awal (sebelum uji)} &= 92,38 \text{ gr} \\
 \text{Berat akhir (setelah uji)} &= 91,96 \text{ gr} \\
 \text{Waktu pengujian} &= 5 \text{ menit} \\
 \text{Kehilangan (G)} &= \frac{\text{Berat awal}-\text{Berat akhir}}{\text{waktu pengujian}} \\
 &= \frac{92,38-91,96}{5} \\
 &= 0,084 \\
 \\
 \text{Ketahanan aus (D)} &= 1,2 \times G + 0,0246 \\
 &= 1,2 \times 0,084 + 0,0246 \\
 &= 0,130 \text{ mm/detik}
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 \text{Ketahanan aus (D) rata-rata} &= \frac{0,168+0,161+ 0,166+ 0,158+ 0,163}{5} \\
 &= 0,163 \text{ mm/detik}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dibuat grafik untuk pengujian ketahanan aus pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian ketahanan aus yang dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Grafik pengujian ketahanan Aus

Analisa regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variable bebas dan variable terikat (Hosmer and Lemeshow, 2000). Berdasarkan grafik diatas di peroleh R square sebesar 0,96 atau 96%. Hal ini menunjukkan korelasi antar kadar *fly ash* dan ketahanan aus sebesar 96%. Jadi, kecocokan data bisa dibilang baik karna semakin mendekati 1.

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* yang dapat dilihat pada tabel 5.23. pada halaman selanjutnya

Tabel 5. 17 Penggolongan Mutu Ketahanan Aus Paving Block

No	Variasi	Hasil Pengujian (mm/menit)		Syarat SNI (mm/menit)		Mutu	Fungsi
		Rerata	Min.	Rerata	Min.		
1.	0%	0,179	0,183	0,160	0,184	C	Pejalan Kaki
2.	5%	0,136	0,141	0,130	0,149	B	Lahan Parkir
3.	10%	0,163	0,168	0,160	0,184	C	Pejalan Kaki
4.	15%	0,237	0,249	0,219	0,251	D	Lahan Taman
5.	20%	0,301		-	-	-	-

Pengujian ketahanan aus dilakukan dengan menggunakan alat ketahanan aus. Benda uji *paving block* digesek dengan menggunakan mesin selama 5 menit. Dari penggesekan itu dapat kita ketahui berapa ketahanan aus yang dimiliki oleh *paving block*. Benda uji yang digunakan sebelumnya sudah dilakukan perendaman selama 28 hari dan sudah dalam keadaan kering. Jumlah pengujian ketahanan aus digunakan sebanyak 5 sampel setiap variasinya. Benda uji *paving block* untuk pengujian kuat tekan sebelumnya sudah terlebih dahulu dipotong dengan dimensi $\pm 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada pengujian ketahanan aus diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* normal sebesar 0,179 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 5% pengganti semen diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,136 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 10% pengganti semen diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,163 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 15% pengganti semen diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,237 mm/menit. Pada *paving block* dengan variasi 20% pengganti semen diperoleh rata-rata pada benda uji *paving block* sebesar 0,301 mm/menit.

Pada variasi 5% mengalami penurunan pada nilai ketahanan aus, hal itu dipengaruhi oleh kasarnya permukaan pada *paving bock* dibandingkan dengan *paving block* pada variasi lainnya. Menurut Sulistyو (2019) semakin kasar permukaan pada *paving block* maka semakin sedikit nilai ketahanan aus yang berarti semakin baik. Penambahan pada variasi ini membuktikan bahwa abu batubara berdampak pada benda uji yang lebih tahan aus dan memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan dengan *paving block* pada variasi 10%, 15% dan 20%.

Pada variasi 10%, 15% dan 20% mengalami peningkatan pada nilai ketahanan aus, hal itu dipengaruhi oleh air yang berlebihan pada saat pecampuran bahan susun yang menyebabkan permukaan memiliki banyak rongga. Banyaknya rongga pada permukaan yang menjadikannya tidak padat mengakibatkan mudah terkikisnya permukaan *paving block* pada saat penggesekan oleh mesin ketahanan aus.

Berdasarkan data-data yang telah dianalisis dapat diketahui bahwa abu batubara sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan *paving block* memiliki nilai ketahanan aus yang lebih rendah pada variasi 5% dibandingkan dengan *paving block* pada variasi 0%. Berlandaskan SNI 03-0691-1996 dapat disimpulkan pada variasi 5% masuk dalam klasifikasi mutu B yang berfungsi untuk peralatan parkir. Sedangkan pada variasi 0%, dan 10% dikategorikan sebagai klasifikasi mutu C yang berfungsi untuk perjalanan kaki. Pada variasi 20% dikategorikan sebagai klasifikasi mutu C yang berfungsi untuk taman.

5.4.3 Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air *paving block* dilaksanakan setelah umur *paving block* mencapai 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah untuk tiap variasinya. *Paving block* diuji dengan bentuk utuh atau aslinya sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-0691-1996 yaitu 200 mm x 100 mm x 60 mm. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah hasil dari pengujian penyerapan air yang dapat dilihat pada tabel 5.18, tabel 5.19, tabel 5.20, tabel 5.21, dan tabel 5.22.

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 0% *Fly Ash*

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2640	2487	6,1520
P2	2620	2463	6,3743
P3	2587	2396	7,9716
P4	2622	2470	6,1538
P5	2660	2471	7,6487
Rata - Rata			6,860

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 5% Fly Ash

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P6	2669	2504	6,5895
P7	2704	2547	6,1641
P8	2702	2553	5,8363
P9	2717	2566	5,8846
P10	2630	2479	6,0912
Rata – Rata			6,113

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 10% Fly Ash

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P11	2682	2530	6,0079
P12	2777	2638	5,2691
P13	2571	2408	6,7691
P14	2688	2547	5,5359
P15	2737	2629	4,1080
Rata – Rata			5,538

Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 15% Fly Ash

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P16	2632	2437	8,0016
P17	2661	2465	7,9513
P18	2636	2430	8,4774
P19	2660	2471	7,6487
P20	2735	2520	8,5317
Rata – Rata			8,122

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Variasi 20% Fly Ash

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P21	2652	2448	8,3333
P22	2515	2330	7,9399
P23	2529	2314	9,2913
P24	2663	2443	9,0053
P25	2622	2418	8,4367
Rata - Rata			8,601

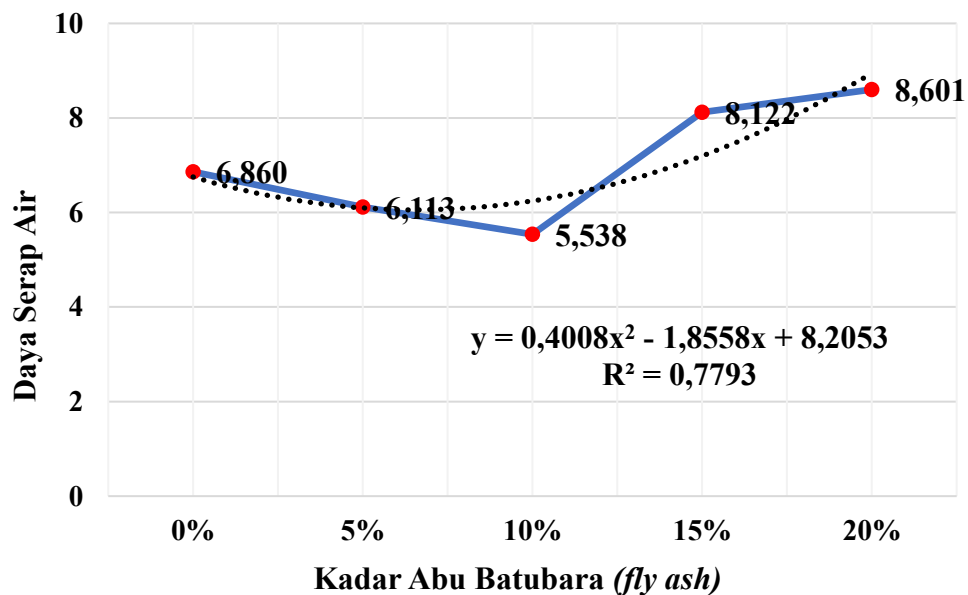
Sebagai contoh perhitungan daya serap air paving block, diambil data pengujian pada variasi 5% dengan kode sampel P6. Analisis perhitungan dapat lihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat basah} &= 2669 \text{ gr} \\
 \text{Berat kering} &= 2504 \text{ gr} \\
 \text{Penyerapan air} &= \frac{\text{Berat basah}-\text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\% \\
 &= \frac{2669-2504}{2504} \times 100\% \\
 &= 6,589 \%
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air rata-rata} &= \frac{6,589+6,164+5,836+5,885+6,091}{5} \\
 &= 6,113 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dibuat grafik untuk pengujian penyerapan air pada *paving block*. Berikut adalah grafik dari pengujian penyerapan air yang dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Grafik Pengujian Penyerapan Air Paving Block

Analisa regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variable bebas dan variable terikat (Hosmer and Lemeshow, 2000). Berdasarkan grafik diatas di peroleh R square sebesar 0,77 atau 77%. Hal ini menunjukkan korelasi antar kadar *fly ash* dan penyerapan air sebesar 77%. Jadi, kecocokan data bisa dibilang baik karna semakin mendekati 1.

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* yang dapat dilihat pada tabel 5.23.

Tabel 5. 23 Penggolongan Mutu Penyerapan Air Paving Block

No	Variasi	Hasil Pengujian (%)	Syarat SNI rata-rata maks.	Mutu	Fungsi
1.	0%	6,860	6	B	Lahan Parkir
2.	5%	6,113	6	B	Lahan Parkir
3.	10%	5,538	6	B	Lahan Parkir
4.	15%	8,122	8	C	Pejalan Kaki
5.	20%	8,601	8	C	Pejalan Kaki

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 6,8601%. Pada *paving block* dengan variasi 5% pengganti semen diperoleh rata-rata benda uji penyerapan air sebesar 6,1131%. Pada *paving block* dengan variasi 10% pengganti semen diperoleh rata-rata benda uji penyerapan air sebesar 5,5380%. Pada *paving block* dengan variasi 15% pengganti pasir diperoleh rata-rata benda uji penyerapan air sebesar 8,1222%. Pada *paving block* dengan variasi 20% pengganti semen diperoleh rata-rata benda uji penyerapan air sebesar 8,6013%

Pada variasi 5% dan 10% mengalami penurunan pada nilai daya serap air, hal itu dipengaruhi oleh bentuk paving block yang dihasilkan lebih padat dibandingkan dengan paving block pada variasi lainnya. Baiknya nilai daya serap air bergantung pada kepadatan dan jumlah pori paving block. Kepadatan yang dimiliki pada variasi ini tentunya mendapati mutu yang lebih baik dari pada paving block normal.

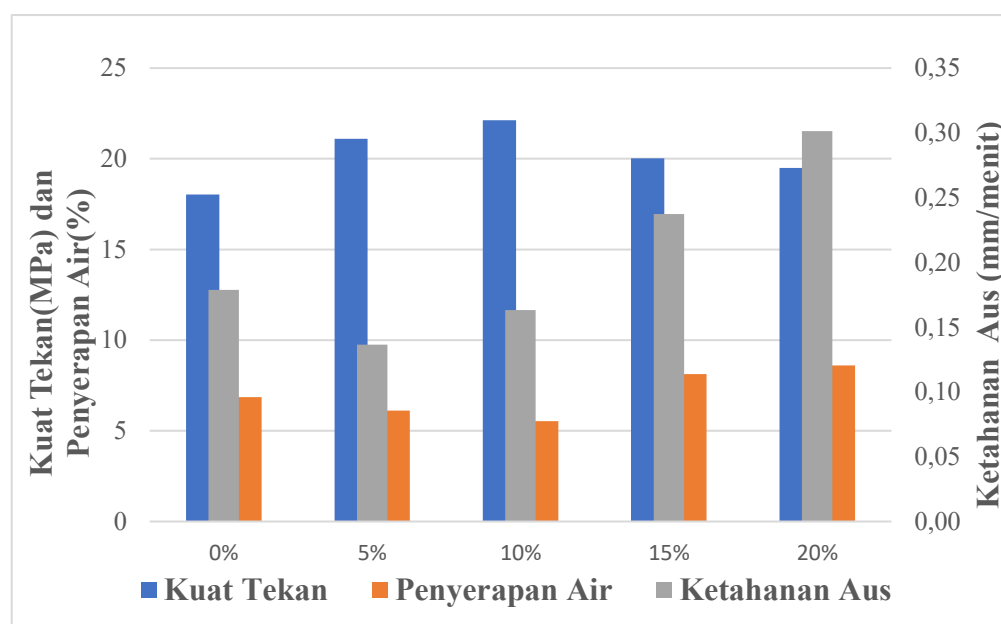
Pada variasi 15% dan 20% mengalami naik pada grafik nilai daya serap air, hal itu dipengaruhi oleh banyaknya rongga pada paving block yang mengakibatkan rongga tersebut terisi oleh air. Proses pencampuran yang kurang baik dan proses pencetakan paving block yang kurang maksimal juga menjadi faktor hasil nilai daya serap air yang naik turun atau tidak menentu.

Berdasarkan data-data yang telah dianalisis, maka alternatif bahan tambah yaitu abu batubara sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan paving block mendapati nilai yang cukup baik pada sisi daya serap air paving block. Abu batubara pada paving block mampu menurunkan nilai daya serap air dengan syarat penggunaan abu batubara dengan variasi 5%, dan 10% karena keduanya memiliki nilai daya serap yang lebih rendah dibanding dengan paving block lainnya. Menurut SNI 03-0691-1996 paving block tipe bata atau holland dengan tebal 6 cm pada

variasi 0%, 5%, dan 10% diklasifikasi pada mutu B yaitu berfungsi untuk lahan parkir, Dan pada variasi 15% dan 20% diklasifikasikan pada mutu C yaitu berfungsi untuk ruas pejalan kaki.

5.5 Pembahasan Keseluruhan

Berdasarkan pembahasan diatas secara keseluruhan, dapat diketahui nilai pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. Berikut adalah grafik pengujian keseluruhan yang dapat dilihat pada gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Grafik Pengujian Keseluruhan

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui nilai pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air yang optimum pada variasi 5%, yang memiliki nilai kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air sebesar 21,106 MPa, 0,136% dan 6,113%. Dapat disimpulkan bahwa bahan pengganti abu batubara (*fly ash*) dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan penyerapan air dari *paving block* normal. Hal ini dikarenakan abu batubara (*fly ash*) memiliki kandungan silika yang cukup banyak di dibandingkan dengan kandungan silika pada semen. Dengan penambahan abu batubara, kandungan silika di dalam semen akan meningkat. Silika dari abu batubara tersebut berikatan dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen pada saat bereaksi dengan air. Akan tetapi jika terlalu banyak penggunaan abu batubara (*fly ash*) sebagai pengganti sebagian semen dapat mengakibatkan

menurunnya nilai kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. Hal ini karena jumlah kandungan silika menjadi terlalu banyak dan jumlah kalsium hidroksida hasil reaksi hidrasi semen lebih sedikit, sehingga banyak silika yang tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Silika abu batubara banyak yang tidak bereaksi menyebabkan daya ikat antar agregat menjadi berkurang.

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. Hasil penelitian pada nilai kuat tekan rata-rata pada paving block variasi 0% didapati nilai sebesar 18,021 MPa, selanjutnya nilai kuat tekan rata-rata pada paving block variasi 5%, 10%, 15% dan 20% secara berurutan yaitu sebesar 21,106 MPa, 22,125 MPa, 20,025 MPa dan 19,503 MPa. Dari hasil penelitian tersebut penambahan abu batubara pengganti sebagian semen meningkatkan nilai kuat tekan dari variasi 0%. Nilai tertinggi kuat tekan paving block berada pada variasi 10% dan nilai terendah kuat tekan paving block berada pada 0%.
2. Hasil penelitian pada nilai ketahanan aus rata-rata pada paving block variasi 0% didapati nilai sebesar 0,179 mm/menit, selanjutnya nilai ketahanan aus rata-rata pada paving block variasi 5%, 10%, 15% dan 20% secara berurutan yaitu sebesar 0,136 mm/menit, 0,163 mm/menit, 0,257 mm/menit dan 0,301 mm/menit. Dari hasil penelitian tersebut penambahan abu batubara sebagai pengganti sebagian semen pada variasi 5%, dan 10% menurunkan nilai ketahanan aus dari variasi 0%. Nilai optimum ketahanan aus paving block berada pada variasi 5% dan nilai tertinggi ketahanan aus paving block berada pada 20%.
3. Hasil penelitian pada nilai penyerapan air rata-rata pada paving block variasi 0% didapati nilai sebesar 6,860%, selanjutnya nilai daya serap air rata-rata pada paving block variasi 5%, 10%, 15% dan 20% secara berurutan yaitu sebesar 6,113%, 5,538%, 8,122% dan 8,601%. Dari hasil penelitian tersebut penambahan abu batubara sebagai pengganti sebagian semen pada variasi 5%, dan 10% menurunkan nilai penyerapan air dari variasi 0%. Nilai terendah daya serap air paving block berada pada variasi 10% dan nilai tertinggi daya serap air paving block berada pada 20%.

4. Dari hasil yang telah didapatkan, dapat dikategorikan untuk masing-masing benda uji *paving block* untuk mutu serta fungsinya. Dari hasil pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan didapatkan campuran yang optimum pada variasi 5%. Untuk nilai kuat tekan yang didapatkan sebesar 21,106 MPa, sedangkan untuk nilai ketahanan aus sebesar 0,136 mm/menit. Berdasarkan dari pengujian tersebut mutu yang dihasilkan menurut SNI 03-0691-1996, paving block termasuk dalam mutu B (digunakan untuk lahan parkir).

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. Dalam penelitian pemanfaatan abu batubara sebagai bahan substitusi sebagian semen selanjutnya diharapkan menggunakan campuran yang lebih bervariasi seperti 2,5%, 7,5%, 12,5% dan lainnya untuk mengetahui nilai optimum dari seluruh pengujian.
2. Dalam pembuatan sampel paving block perlu diperhatikan kembali dalam proses pencampuran bahan susun khususnya pada saat penuangan air kedalam mixer. Air yang berlebihan menyebabkan bahan susun tercampur menjadi lebih basah dan encer seperti yang terjadi pada penelitian ini sehingga dalam hal tersebut sangat perlu diperhatikan agar mendapatkan nilai daya serap yang lebih valid.
3. Dalam menentukan komposisi perbandingan antara semen : pasir sebaiknya peneliti selanjutnya menggunakan komposisi yang lebih variatif untuk mendapatkan mutu paving block terbaik sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
4. Untuk penelitian selanjutnya dipastikan pada saat pemotongan paving block harus dengan luas penampang yang rata jangan ada yang gompal atau rekah- rekah sehingga ketika pengujian benda uji dapat rata mendapat bebannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, F. N. (2018). Analisa kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang batubara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan agregat halus pasir anggana.
- Arifiana. (2018). Pengaruh *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen terhadap karakteristik mortar dan pengujian kuat lentur pada balok hollow ferosemen.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). Badan Standarisasi Nasional. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1970-1990).Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990). Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan 200 (0,0075 mm).Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional;. (1996). Bata Beton (*Paving Block*) (SNI 03-0691-1996). Badan Standarisasi Nasional.
- Karolina, N. L. (2017). Potensi limbah abu terbang (*fly ash*) batubara sebagai bahan substitusi dan bahan pengisi (filler) pada pembuatan beton.
- Keumala. (2018). Substitusi *fly ash* pada semen terhadap kuat tekan beton mutu tinggi.
- Muharram. (2021). Pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton.
- Nursilawati, L. I. (2018). Pemanfaatan limbah batubara (*fly ash*) sebagai pengganti Sebagian semen pada pembuatan *paving block*.
- Pratama, S. R. (2019). Pengaruh substitusi *fly ash* pada bahan pengikat campuran paving block ditinjau dari kuat tekan, kehausan, dan penyerapan air.
- Setiawati. (2019). *Fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton.
- Shafwan, M. D. (2021). Optimalisasi kuat tekan *paving block* dengan menggunakan *fly ash* dan abu batu sebagai bahan pengganti semen dan pasir.
- Tjokrodimulyo, K. (1996). Teknologi Beton. Yogyakarta.

Usman. (2017). Potensi Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Bahan Substitusi dan Bahan Pengisi (*Filler*) pada Pembuatan Beton.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat Yang Digunakan



Gambar L-1.1 Timbangan Digital



Gambar L-1.2 Cetok



Gambar L-1.3 Oven



Gambar L-1.4 Saringan



Gambar L-1.5 Ember



Gambar L-1.6 Pan



Gambar L-1.7 Mesin Cetak *Paving Block*



Gambar L-1.8 Mesin *Mixer*



Gambar L-1.9 Papan Alas *Paving Block*



Gambar L-1.10 Mesin Potong



Gambar L-1.11 Alat Uji Kuat Tekan



Gambar L-1.12 Alat Uji Ketahanan Aus

Lampiran 2 Gambar Bahan Yang Digunakan



Gambar L-2.1 Pasir Merapi (Agregat Halus)



Gambar L-2.2 Semen Portland



Gambar L-2.3 Abu Batubara (*fly ash*)

Lampiran 3 Hasil Pengujian



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kalidewi Km 14,5 Telpun (0274) 858444 cks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00		0	0	100
20.00		0	0	100
10.00		0	0	100
4.80	34	1,77	1,77	98,23
2.40	127	6,62	8,39	91,61
1.20	269	14,03	22,42	77,58
0.60	518	27,01	49,43	50,57
0.30	460	23,98	73,41	26,59
0.15	304	15,85	89,26	10,74
Sisa	206	10,74	100	0,00
Jumlah	1918	100	244,682	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{244,682}{100}$$

$$= 2,447$$

Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	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

Keterangan:

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



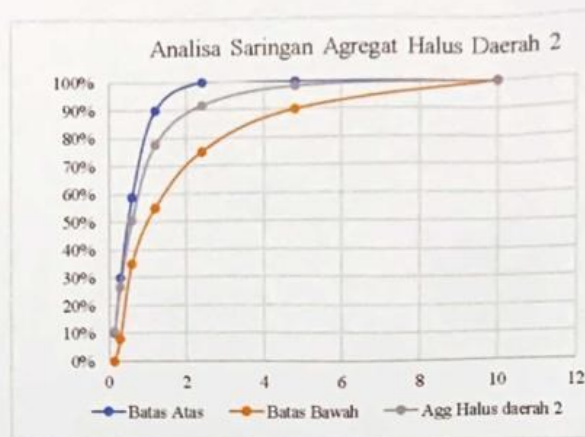
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirejo Km 14,5 Telpun (0274) 858444 s.d. 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah 2
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km.14.5 Telpun (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200 / UJI KANDUNGAN
 LUMPUR DALAM PASIR
 (SNI 03-4142-1996)**

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	483	481	482
Persentase yang lolos ayakan No. 200 $[(W1-W2/W1)] \times 100$	3,40%	3,80%	3,60%



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirejo Km 14,5 Telpun (0274) 858441 cks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15.7 cm
Tinggi Silinder	30.7 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	9,975	9,975	9,975
Berat Tabung + Agregat SSD	16,801	16,783	16,792
Berat Agregat	6,826	6,808	6,817
Volume Tabung	5943,299	5943,299	5943,299
Berat Volume Gembur	1,149	1,145	1,147

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{6817}{5943,299} \\
 &= 1,147 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirejo Km.14.5 Talpon (0274) 858441 s.d. 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15.7 cm
Tinggi Silinder	30.7 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	9,975	9,975	9,975
Berat Tabung + Agregat SSD	18,534	18,366	18,450
Berat Agregat	8,559	8,391	8,475
Volume Tabung	5943,299	5943,299	5943,299
Berat Volume Padat	1,440	1,412	1,426

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{8475}{5943,299} \\
 &= 1,426 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km.14,5 Telpun. (0274) 858444 ckt. 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Nama : Rival Jeneri

NIM : 17511132

Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
KT1	60	60	62	66194,888	18,387
KT2	57	60	61	62517,394	18,280
KT3	60	61	62	64478,724	17,617
KT4	60	57	60	60310,898	17,635
KT5	58	60	60	62762,560	18,035
KT6	59	58	62	61046,396	17,839
KT7	60	59	62	62272,228	17,591
KT8	57	60	61	63007,726	18,423
KT9	61	58	60	64233,558	18,155
KT10	60	58	61	63498,059	18,247
Rerata					18,021

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
KT11	59	60	61	77717,701	21,954
KT12	61	60	62	73549,875	20,096
KT13	60	59	60	75020,873	21,192
KT14	59	58	60	76491,870	22,353
KT15	60	60	62	73304,709	20,362
KT16	59	58	59	72569,210	21,207
KT17	60	60	60	78698,366	21,861
KT18	60	60	61	72078,878	20,022



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliburang Km 14,5 Telpun (0274) 858444 s.d. 3250 & 3259 Yogyakarta

KT19	60	61	62	72814,376	19,895
KT20	58	60	62	76982,203	22,121
Rerata					21,106

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
KT21	60	61	60	76737,036	20,966
KT22	59	58	62	78943,533	23,069
KT23	60	60	60	77962,868	21,656
KT24	61	57	60	75020,873	21,576
KT25	60	58	62	78453,200	22,544
KT26	60	57	61	77717,701	22,724
KT27	60	61	62	77472,535	21,167
KT28	58	60	62	80169,364	23,037
KT29	60	59	61	80659,696	22,785
KT30	60	60	62	78208,034	21,724
Rerata					22,125

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
KT31	57	61	62	71098,213	20,448
KT32	60	59	61	68401,384	19,322
KT33	60	61	62	69627,215	19,024
KT34	60	60	62	73795,041	20,499
KT35	58	60	63	73059,543	20,994
KT36	59	58	61	72324,044	21,135
KT37	61	60	61	68156,218	18,622
KT38	60	59	60	67665,885	19,115
KT39	57	59	61	70853,046	21,068
KT40	60	60	62	72078,878	20,022
Rerata					20,025



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliburang Km. 14,5 Telpun (0274) 858444 cks 3250 & 3259 Yogyakarta

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
KT41	61	60	60	70607,880	19,292
KT42	58	60	62	71343,379	20,501
KT43	60	59	60	69382,049	19,599
KT44	57	60	62	68156,218	19,929
KT45	61	58	59	70117,548	19,818
KT46	58	60	61	66440,054	19,092
KT47	60	60	62	69872,381	19,409
KT48	60	61	62	66194,888	18,086
KT49	58	60	61	66685,220	19,162
KT50	57	60	60	68891,716	20,144
Rerata					19,503

Diperiksa,
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui,
 Kepala Laboratorium



(Malik Muhsintha, S.T., M.Eng)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpom (0274) 858444 s.d. 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Nama : Rival Jeneri
NIM : 17511132
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2640	2487	6,1520
P2	2620	2463	6,3743
P3	2587	2396	7,9716
P4	2622	2470	6,1538
P5	2660	2471	7,6487
Rata – Rata			6,8601

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2669	2504	6,5895
P2	2704	2547	6,1641
P3	2702	2553	5,8363
P4	2717	2566	5,8846
P5	2630	2479	6,0912
Rata – Rata			6,1131

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2682	2530	6,0079
P2	2777	2638	5,2691
P3	2571	2408	6,7691
P4	2688	2547	5,5359
P5	2737	2629	4,1080
Rata – Rata			5,5380



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliburang Km 14,5 Telpun (0274) 858441 cks 3250 & 3259 Yogyakarta

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2632	2437	8,0016
P2	2661	2465	7,9513
P3	2636	2430	8,4774
P4	2660	2471	7,6487
P5	2735	2520	8,5317
Rata - Rata			8,1222

Kode sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan Air
P1	2652	2448	8,3333
P2	2515	2330	7,9399
P3	2529	2314	9,2913
P4	2663	2443	9,0053
P5	2622	2418	8,4367
Rata - Rata			8,6013

Diperiksa,
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui,
 Kepala Laboraturium

LABORATORIUM
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirung Km 14,5 Telpon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Pengirim : Rival Jeneri

NIM : 17511132

Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA1	93,82	93,23	0,118	0,173
KA2	92,40	91,77	0,126	0,183
KA3	108,25	107,64	0,122	0,178
KA4	101,30	100,67	0,126	0,183
KA5	91,79	91,19	0,120	0,176
Rata-rata				0,179

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA6	92,38	91,96	0,084	0,130
KA7	89,88	89,43	0,090	0,138
KA8	87,15	86,71	0,088	0,135
KA9	92,73	92,27	0,092	0,141
KA10	95,14	94,69	0,090	0,138
Rata-rata				0,136

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA11	98,72	98,15	0,114	0,168
KA12	103,66	103,12	0,108	0,161
KA13	100,81	100,25	0,112	0,166
KA14	80,21	79,68	0,106	0,158
KA15	75,21	74,66	0,110	0,163
Rata-rata				0,163



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpun (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA16	98,61	97,80	0,162	0,229
KA17	85,71	84,82	0,178	0,249
KA18	84,80	83,94	0,172	0,241
KA19	98,35	97,50	0,170	0,239
KA20	98,46	97,65	0,162	0,229
Rata-rata				0,237

Kode Sampel	Berat Awal (mm)	Berat Akhir (mm)	G (gram/menit)	Ketahanan Aus (mm/menit)
KA21	89,70	88,62	0,216	0,297
KA22	94,26	93,17	0,218	0,299
KA23	98,49	97,38	0,222	0,304
KA24	95,11	94,03	0,216	0,297
KA25	91,88	90,75	0,226	0,309
Rata-rata				0,301

Diperiksa,
 Laboran

Darussalam


(Darussalam, A.Md.)

Disetujui,
 Kepala Laboratorium



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

Lampiran 4 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Kampus Terpadu Jalan Sekeloa Kidul No. 164 Sekeloa Kidul Yogyakarta

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 010 /Ka.Lab/60/L.BKT/1/2023

Bismillahirrohmaanirrohim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Malik Mushthofa, S.T., M.Eng
 NIK : 185111302
 Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :


Nama : RIVAL JENERI
 N I M : 17511132
 Program Studi : Teknik Sipil
 Dosen Pembimbing TA : Elvis Saputra, S.T, M.T.
 Instansi : Universitas Islam Indonesia


Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "PENGARUH CAMPURAN ABU BATUBARA SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK PAVING BLOCK MENURUT SNI – 03 -0691 - 1996" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya^{*)}.

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 11 Januari 2023
 Kepala Laboratorium BKT,

Administrasi Laboratorium


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



Daru Salam, AMd

^{*)} Nota/Kwitansi terlampir

Lampiran 5 Surat Keterangan Cek Plagiasi



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

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 1999040674/Perpus./10/Dir.Perpus/I/2023

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Rival Jeneri
Nomor Mahasiswa : 17511132
Pembimbing : Elvis Saputra S.T., M.T.
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ TEKNIK SIPIL
Judul Karya Ilmiah : PENGARUH CAMPURAN ABU BATUBARA SEBAGAI
PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK
PAVING BLOCK MENURUT SNI-03-0691-1996

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **20 (Dua Puluh) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 1/25/2023

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.