

TUGAS AKHIR

**ESTIMASI KEBUTUHAN ABU BATU UNTUK
MEMINIMALKAN RONGGA UDARA DALAM PAVING
BLOCK
(ESTIMATION OF THE STONE ASH CONTENT
REQUIRED TO MINIMIZE VOIDS RATIO IN
PAVING BLOCK)**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Krisna Adhi Nugroho

18511147

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

2023

TUGAS AKHIR

ESTIMASI KEBUTUHAN ABU BATU UNTUK MEMINIMALKAN RONGGA UDARA DALAM PAVING BLOCK (ESTIMATION OF THE STONE ASH CONTENT REQUIRED TO MINIMIZE VOIDS RATIO IN PAVING BLOCK)

Disusun oleh

Krisna Adhi Nugroho
18511147

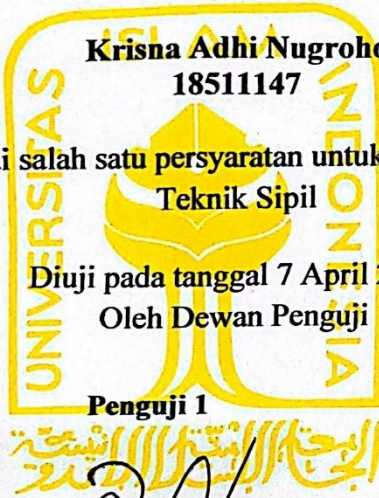
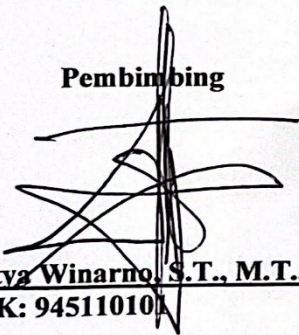
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 7 April 2023
Oleh Dewan Penguji

Penguji 1

Penguji 2 14/4/23

Pembimbing



Setya Winarno, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 945110101

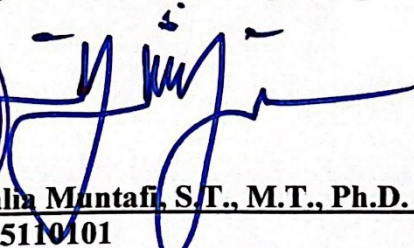
Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIK: 005110101

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana




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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 16 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular postage stamp. The stamp is yellow and features the Garuda Pancasila emblem, the text '3000', and 'METERAI TEMPEL'. Below the stamp, the number '394265564' is printed.

Krisna Adhi Nugroho

(18511147)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta’ala atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Estimasi Kebutuhan Abu Batu untuk Meminimalkan Rongga Udara dalam Paving Block”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan jenjang studi tingkat Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan dan rintangan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dan selalu memberikan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng). selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Setya Winarno, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bimbingan, nasihat, saran, dan dukungan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini
3. Ibu Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Dosen Penguji I pada Sidang Tugas Akhir
4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II pada Sidang Tugas Akhir

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, diperlukan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar Tugas Akhir ini dapat lebih baik lagi.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi segenap pembaca dan sebagai bekal untuk pengembangan pengetahuan penulis di masa mendatang.
Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 16 Maret 2023

Penulis,

Krisna Adhi Nugroho

18511147

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Tinjauan Penelitian	9
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan	12
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Paving block	15
3.2 Material (Bahan Penyusun) Paving block	19
3.3 Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi (Filler)	26
3.4 Pengujian Paving block	27
3.5 Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat	31

3.6	Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga dalam Beton yang telah Mengeras	32
3.7	Harga Pokok Produksi	33
3.8	Break Even Point (BEP)	35
BAB IV METODE PENELITIAN		37
4.1	Tinjauan Umum	37
4.2	Lokasi Penelitian	37
4.3	Metode Penelitian	38
4.4	Peralatan Penelitian	38
4.5	Pelaksanaan Penelitian	47
4.6	Harga Pokok Produksi dan Analisis Kelayakan Investasi Paving block Dengan Filler Abu Batu	61
4.7	Analisis Data dan Pembahasan Hasil Pengujian	62
4.8	Bagan Alir Penelitian	63
BAB V ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN		66
5.1	Tinjauan Umum	66
5.2	Pengujian Properties Bahan	66
5.3	Perhitungan Kebutuhan Campuran	77
5.4	Data Hasil Pengujian	81
5.5	Perhitungan Harga Pokok Produksi dan Analisis Kelayakan Investasi Paving block	108
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		118
6.1	Kesimpulan	118
6.2	Saran	119
DAFTAR PUSTAKA		120
LAMPIRAN		123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan	12
Tabel 3.1	Sifat-Sifat Fisika Paving block	19
Tabel 3.2	Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	25
Tabel 3.3	Hubungan Antara Komposisi Campuran dengan Kuat Tekan	29
Tabel 4.1	Variasi Perbandingan Campuran Paving block	38
Tabel 5.1	Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Pasir	67
Tabel 5.2	Analisis Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Abu Batu	70
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir	72
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir	72
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu	73
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu Batu	73
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu	74
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Batu	75
Tabel 5.9	Berat Volume Gembur Abu Batu	75
Tabel 5.10	Kadar Rongga Udara Dalam Abu Batu	75
Tabel 5.11	Kebutuhan Benda Uji Paving block Untuk Pengujian	78
Tabel 5.12	Kebutuhan Campuran Paving block	80
Tabel 5.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block	82
Tabel 5.14	Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving Block	86
Tabel 5.15	Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving Block	88
Tabel 5.16	Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving Block	91
Tabel 5.17	Hasil Pengujian Keausan Paving Block	93
Tabel 5.18	Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving Block	96
Tabel 5.19	Massa Benda Uji	98
Tabel 5.20	Hasil Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras	100
Tabel 5.21	Rekapitulasi Klasifikasi Mutu Paving block	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Jenis-Jenis Paving Block	17
Gambar 3.2	Merek-merek Semen Portland di Pasaran	21
Gambar 3.3	Agregat Halus Pasir	24
Gambar 3.4	Abu Batu	27
Gambar 4.1	Ayakan	39
Gambar 4.2	Sekop	40
Gambar 4.3	Timbangan	40
Gambar 4.4	Gelas Ukur	41
Gambar 4.5	Mixer	41
Gambar 4.6	Mesin Press Paving Block	42
Gambar 4.7	Cetakan Silinder Beton	43
Gambar 4.8	Saringan Agregat Halus dan Mesin Penggetar	43
Gambar 4.9	Piknometer	44
Gambar 4.10	Kaliper atau Jangka Sorong	44
Gambar 4.11	Oven	45
Gambar 4.12	Gerinda Potong	45
Gambar 4.13	Mesin Uji Keausan	46
Gambar 4.14	Mesin Uji Kuat Tekan (UTM)	47
Gambar 4.15	Ember dan Papan Kayu	47
Gambar 4.16	Semen	48
Gambar 4.17	Pasir	49
Gambar 4.18	Air	49
Gambar 4.19	Abu Batu	50
Gambar 4.20	Tumpukan Paving Setelah Pencetakan	55
Gambar 4.21	Penumpukan dan Penutupan Paving	55
Gambar 4.22	Uji Kuat Tekan	57
Gambar 4.23	Uji Keausan	59

Gambar 4.24	Bagan Alir (Flowchart) Pelaksanaan Penelitian	65
Gambar 5.1	Gradasi Daerah III Material Pasir Agak Halus	69
Gambar 5.2	Gradasi Daerah IV Material Pasir Halus	71
Gambar 5.3	Grafik Kuat Tekan Rata-rata Paving Block	86
Gambar 5.4	Grafik Penyerapan Air Rata-rata Paving Block	90
Gambar 5.5	Grafik Keausan Rata-rata Paving Block	95
Gambar 5.6	Grafik Volume Rongga Permeabel Rata-rata Paving Block	105
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Hasil Uji Kuat Tekan dengan Volume Rongga Permeabel Paving Block	106
Gambar 5.8	Grafik Persentase Perubahan Pengujian Terhadap Paving block Normal	107

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Paving Block	124
Lampiran 2 Proses Pembuatan Benda Uji Paving Block	132
Lampiran 3 Proses Pengujian Paving Block	135
Lampiran 4 Benda Uji Hasil Pengujian Paving Block	138
Lampiran 5 Hasil Survei Harga Mesin Press Hidrolik dan Mixer Paving Block Melalui Marketplace (Situs Jual Beli Online)	140

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Berat paving block basah (gram)
B	= Berat paving block kering (gram)
Bk	= Berat benda uji kering oven (gram)
Bt	= Berat piknometer berisi air (gram)
°C	= Derajat Celsius
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
D	= Keausan (mm/menit)
G	= Kehilangan berat/lama pengausan (gram/menit)
gr	= Gram
Kg	= Kilogram
L	= Luas penampang (cm ²)
l	= lebar (cm)
MPa	= Megapascal
N	= Newton
P	= Beban maksimum (N)
p	= Panjang (cm)
PC	= Portland Cement
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= Saturated Surface Dry
V	= Volume (cm ³)
σ	= kuat tekan (N/mm ²)

ABSTRAK

Paving block adalah material beton yang dipergunakan untuk lapis perkerasan permukaan tanah pada jalan ataupun trotoar. Agar memiliki kekuatan yang tinggi, rongga udara di dalam paving block ini harus dikurangi. Pengurangan rongga udara di dalam paving block dapat dilakukan dengan penambahan filler dalam campuran adukan betonnya. Filler adalah material yang lebih halus dibandingkan pasir, misal: abu batu yang berasal dari limbah penggergajian batu andesit. Abu batu ini belum banyak dimanfaatkan dan menjadi limbah yang mengganggu saluran irigasi dan tanaman di sawah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi filler dengan abu batu yang optimal untuk meminimalkan rongga udara dalam paving block yang ditinjau dari karakteristik teknis dan harga pokok produksinya.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen menggunakan abu batu sebagai filler dalam campuran paving. Metode ini mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang Paving Block dan SNI 03-6433-2016 tentang Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga dalam Beton yang telah Mengeras. Terdapat 9 variasi campuran antara semen, pasir, dan abu batu. Proporsi semen dan pasir dibuat konstan sebesar 1 semen dan 7 pasir dalam satuan volume dan kemudian terdapat 9 proporsi abu batu yang dimulai dari 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; dan 4.

Diperoleh hasil pengujian nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi 1 Semen : 7 Pasir : 2 Filler dengan nilai kuat tekan sebesar 23,422 MPa, meningkat 99,29% dari campuran normal. Penambahan abu batu menurunkan nilai penyerapan air sebesar 35,73%, dengan nilai rata-rata 6,79%. Dari hasil uji kuat tekan, penyerapan air serta uji keausan seluruhnya memenuhi klasifikasi mutu SNI 03-0691-1996. Penambahan 150% abu batu mempengaruhi penurunan persentase volume rongga permeabel sebesar 40,80% dari paving block normal, dengan nilai 9,66%. Didapatkan harga pokok produksi lapangan sebesar Rp576,80,- dan harga jual sebesar Rp1.001,38,- per paving. Nilai BEP (Break Even Point) diperoleh pada penjualan 675.026 paving atau dalam waktu 1 tahun 5 bulan. Harga jual paving block abu batu lebih rendah 44,43% dari paving block di pasaran dengan jenis dan ketebalan yang sama.

Kata kunci : Paving block, abu batu, kuat tekan, penyerapan air, rongga udara

ABSTRACT

Paving block is a concrete material used for pavement layers on roads or sidewalks. In order to have high strength, the air voids in the paving block must be reduced. Reducing air voids in paving blocks can be done by adding filler to the concrete mix. Filler is a material that is finer than sand, for example: stone ash derived from andesite stone sawmill waste. Stone ash has not been widely used and is a waste that interferes with irrigation canals and crops in rice fields. This study aims to determine the optimal composition of filler with stone ash to minimize air voids in paving blocks in terms of technical characteristics and cost of production.

The method used is an experimental method using stone ash as a filler in the paving mixture. This method refers to SNI 03-0691-1996 concerning Paving Blocks and SNI 03-6433-2016 concerning Methods for Testing Density, Absorption and Cavities in Hardened Concrete. There are 9 variations of the mixture between cement, sand, and stone ash. The proportions of cement and sand are kept constant at 1 cement and 7 sand in unit volume and then there are 9 proportions of stone ash starting from 0; 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 3.5; and 4.

variation 1 Cement: 7 Sand: 2 Filler with a compressive strength value of 23.422 MPa, an increase of 99.29% from the normal mixture. The addition of stone ash reduced the water absorption value by 35.73%, with an average value of 6.79%. From the results of the compressive strength test, water absorption and wear test all comply with the quality classification of SNI 03-0691-1996. The addition of 150% stone ash reduced the percentage of permeable cavity volume by 40.80% from normal paving blocks, with a value of 9.66%. The cost of field production was Rp. 576.80 and the selling price was Rp. 1,001.38 per paving. The BEP (Break Even Point) value was obtained on the sale of 675,026 paving stones or within 1 year and 5 months. The selling price of stone ash paving blocks is 44.43% lower than paving blocks on the market with the same type and thickness.

Keywords : *Paving block, stone ash, compressive strength, water absorption, air voids*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut SNI 03-0691-1996, paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu paving itu. Paving block memiliki banyak variasi, mulai dari variasi bentuk, ukuran, tekstur permukaan, warna, hingga variasi kekuatan. Secara umum, faktor-faktor tersebut mampu meningkatkan minat konsumen terhadap penggunaan paving block.

Pada dunia konstruksi, penggunaan paving block sebagai salah satu alternatif perkerasan jalan atau trotoar semakin sering dijumpai dalam proyek-proyek infrastruktur. Aplikasi paving block sebagai perkerasan dapat berupa perkerasan jalan di wilayah perumahan atau kampus. Jenis perkerasan dari paving block yang lain adalah untuk tempat parkir, perkerasan untuk pedestrian, serta perkerasan untuk taman dan penggunaan yang lain. Apabila dibandingkan dengan perkerasan kaku maupun perkerasan lentur, paving block merupakan salah satu produk industri konstruksi yang ramah lingkungan yang cukup baik dalam proses penyerapan air ke dalam tanah, sehingga dapat membantu konservasi air tanah. Selain itu, dalam proses pelaksanaannya di lapangan, paving block juga lebih cepat dan mudah dalam pemasangan maupun pemeliharaan, serta memiliki harga yang lebih terjangkau. Perkerasan paving dapat dipasang, dibongkar, dan dipasang lagi dengan mudah. Berdasarkan keunggulan-keunggulan tersebut, paving block dapat menjadi alternatif bahan konstruksi yang berwawasan lingkungan.

Pada umumnya, bahan susun paving block adalah semen, pasir, dan air dengan perbandingan 1 semen dan 6-8 pasir, serta air secukupnya dengan atau tanpa bahan tambah. Terdapat banyak variasi bentuk paving yang tergantung dari bentuk cetaknya, misalnya paving persegi, paving segi enam, paving kotak, dan paving

kipas. Biasanya, paving memiliki ketebalan 6 cm atau 8 cm, dan pada kasus khusus untuk kebutuhan perkerasan gudang, diperlukan paving dengan ketebalan 10 cm. Kuat desak paving bervariasi tergantung kualitas bahan susun, metode pembuatan, dan metode pemeliharannya. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang Paving Block, kuat desak paving minimum memiliki rentang dari 10 MPa sampai 40 MPa. Paving dapat dicetak secara manual atau secara sederhana tanpa mesin cetak, namun saat ini produk paving banyak diproduksi dengan mesin cetak sehingga kemampuan produksinya dapat lebih tinggi.

Paving yang lebih padat dengan pori-pori rongga udara yang kecil akan memberikan kuat desak yang lebih tinggi, yang berimplikasi dengan kualitas paving yang semakin baik. Paving yang semakin padat memiliki berat volume yang semakin besar pula. Pengurangan pori-pori rongga udara di dalam unit paving dapat dilakukan dengan penambahan material filler dalam bahan susun paving, sedemikian rupa sehingga volume pori-pori rongganya dapat menjadi minimum.

Jones, et al (2003) telah meneliti tentang optimasi filler dari bubuk batu kapur (lime stone powder) untuk campuran beton. Campuran antara filler, semen, dan air membentuk pasta semen dan pasta ini yang akan mengisi pori-pori rongga udara di dalam unit beton. Jadi, volume pori-pori rongga udara akan semakin berkurang apabila volume pasta semen semakin banyak. Karena adukan beton (campuran agregat, pasir, semen, filler, dan air) bersifat kental dan tidak cair seperti air, pori-pori rongga udara di dalam unit beton tersebut sangat sulit untuk ditiadakan secara total. Pada penelitian ini, apabila jumlah berat semen sebesar 250 kg pada setiap 1 m³ adukan beton, pori-pori rongga udara akan minimum apabila ditambahkan filler sebesar 125 kg. Penelitian ini tidak mengkaji pengaruh volume pori-pori rongga udara terhadap kuat desak betonnya. Sementara itu, penelitian serupa seperti ini belum pernah dikaji pada paving. Gencel et al., (2012) telah mengungkapkan tentang karakteristik paving block dengan tambahan limbah penggergajian batu marmer.

Untuk itu, perlu dikaji berapa komposisi penambahan material filler yang akan memberikan volume pori-pori udara yang minimum di dalam unit paving. Standar yang dipakai adalah SNI 03-6433-2016 tentang Metode Pengujian

Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga dalam Beton yang telah Mengeras. Penambahan filler juga akan berdampak pada harga produksi paving yang berbeda dengan paving konvensional yang tanpa filler.

Salah satu bahan filler yang dapat digunakan dalam bahan susun paving adalah abu batu yang berasal dari limbah penggergajian batu andesit atau batu candi. Industri penggergajian batu andesit banyak terdapat di Kapanewon Cangkringan, Kabupaten Sleman. Batu andesit yang besar digergaji agar menjadi lempengan-lempengan persegi untuk bahan lantai atau material ornamen yang unik. Saat ini, limbah abu batu ini belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat dan hanya menjadi limbah semata yang sering dibuang ke saluran irigasi sehingga mengganggu kelancaran aliran air dan tanaman di sawah.

Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi (PIMVM), Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia telah memanfaatkan filler dari abu batu untuk pembuatan paving blok, paving block, dan produk berbasis semen lainnya. Pemakaian filler abu batu dalam proses produksi ini hanya didasarkan pada kemudahan proses produksi saja, tanpa ada kajian mendalam: berapa kadar filler yang paling optimum. Saat ini, proses produksi paving di PIMVM menggunakan komposisi campuran 1 semen : 7 pasir : 1 abu batu. Produk paving block dengan komposisi ini akan memiliki kuat desak sekitar 15 MPa sampai 22 MPa.

Berdasarkan latar belakang di atas, perlu dikaji komposisi penambahan material filler dengan material limbah abu batu yang optimum dalam bahan susun paving agar diperoleh volume pori-pori rongga udara yang minimum, yang kemudian juga akan dilanjutkan dengan kajian terhadap karakteristik teknis dan biaya pokok produksinya. Penelitian ini juga dalam rangka untuk membantu PIMVM untuk mengoptimalkan produk yang dihasilkannya, sehingga analisis terhadap harga pokok produksinya pun perlu dikaji dengan mendalam. Pemanfaatan limbah abu batu juga merupakan sebuah langkah strategis dalam rangka pengurangan dampak lingkungan terhadap limbah industri hasil penggergajian batu andesit yang ada di sekitar Kapanewon Cangkringan atau daerah lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, selanjutnya rumusan masalah yang akan dibahas pada penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh komposisi filler dari abu batu terhadap karakteristik teknis paving?
2. Bagaimana komposisi filler dari abu batu yang optimal untuk meminimalkan rongga udara dalam paving?
3. Bagaimana perbandingan harga pokok produksi paving konvensional dengan paving yang menggunakan filler abu batu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang akan dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh komposisi filler dari abu batu terhadap karakteristik teknis paving.
2. Mengetahui komposisi filler dari abu batu yang optimal untuk meminimalkan rongga udara dalam unit paving.
3. Mengetahui perbandingan harga pokok produksi antara paving konvensional dengan paving yang menggunakan filler abu batu.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membantu PIMVM UII dan industri paving untuk memanfaatkan abu batu sebagai bahan alternatif untuk memproduksi paving block dengan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh abu batu sebagai bahan pengisi (filler).
2. Membantu industri penggergajian batu dalam rangka pengurangan dampak lingkungan terhadap limbah industri hasil penggergajian batu andesit dan menambah nilai ekonomi limbah abu batu ini.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian yang akan datang serta menambah wawasan dalam pengembangan ilmu teknologi bahan konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan pada penelitian ini, dapat ditentukan batasan-batasan penelitian agar penelitian yang akan dilaksanakan berjalan sistematis dan tidak terjadi penyimpangan analisis ataupun pembahasan. Adapun batasan-batasan penelitian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Paving block yang digunakan sebagai benda uji dalam penelitian ini adalah tipe holland dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen tipe I merk Tiga Roda.
3. Pasir yang digunakan adalah pasir vulkanis dari Gunung Merapi.
4. Abu batu yang digunakan berasal dari limbah penggergajian batu andesit di wilayah Kapanewon Cangkringan, Kabupaten Sleman.
5. Campuran yang digunakan untuk membuat paving yaitu menggunakan perbandingan volume semen dengan pasir yang konstan, yaitu sebesar 1 semen : 7 pasir, dan volume filler yang bervariasi. Besaran komposisi ini mengikuti tradisi proses produksi material paving block di PIMVM yang telah berjalan saat ini. Berikut adalah perbandingan pada 9 variasi bahan susun paving, yaitu semen : pasir : abu batu pada penelitian ini, yaitu:
 - a. Variasi I = 1 semen : 7 pasir : 0 filler
 - b. Variasi II = 1 semen : 7 pasir : 0,5 filler
 - c. Variasi III = 1 semen : 7 pasir : 1 filler
 - d. Variasi IV = 1 semen : 7 pasir : 1,5 filler
 - e. Variasi V = 1 semen : 7 pasir : 2 filler
 - f. Variasi VI = 1 semen : 7 pasir : 2,5 filler
 - g. Variasi VII = 1 semen : 7 pasir : 3 filler
 - h. Variasi VIII = 1 semen : 7 pasir : 3,5 filler
 - i. Variasi IX = 1 semen : 7 pasir : 4 filler
6. Jumlah benda uji yang dibuat adalah sebanyak 216 benda uji. Untuk tiap-tiap variasi penambahan abu batu menghasilkan 24 sampel benda uji paving block.

7. Pembuatan benda uji dilaksanakan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia.
8. Pengujian bahan penyusun dan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia.
9. Pengujian bahan (pasir dan abu batu) menggunakan panduan dari Laboratorium Bahan Konstruksi UII serta SNI 03-4804-1998 tentang Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat
10. Pengujian benda uji paving block dilakukan menggunakan standar SNI 03-0691-1996 untuk pengujian kuat tekan, keausan, dan penyerapan air serta SNI 03-6433-2000 tentang Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga Udara dalam Beton yang telah Mengeras.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Pada BAB II ini akan dibahas penelitian terkait paving block dan bahan pengisi abu batu yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Tinjauan pustaka mengenai penelitian-penelitian terdahulu akan dibahas sebagai referensi serta pertimbangan untuk penelitian ini. Tujuan dari penjelasan bab ini adalah untuk menunjukkan bahwa penelitian yang akan dilaksanakan berbeda dengan penelitian-penelitian yang dicantumkan dengan tujuan menghindari adanya plagiasi.

Pada Sub Bab Tinjauan Umum ini akan dilampirkan beberapa jurnal penelitian internasional yang berkaitan dengan teori dan metode penggunaan abu batu sebagai material konstruksi serta mengenai paving block di beberapa negara.

1. Recycling of Stone Cutting Waste for Heavy Metals Removal

Al-Zboon (2018) melakukan studi yang bertujuan untuk mempelajari kemungkinan pemanfaatan limbah pemotongan batu sebagai slurry untuk menghilangkan nikel dari larutan. Daur ulang limbah pemotongan batu memiliki efek positif dalam menghindari kerusakan lingkungan akibat dampak material tersebut. Mulandi (2014) menemukan bahwa kuat tekan dan kuat tarik pada beton meningkat secara signifikan pada campuran dengan 20% kandungan limbah pemotongan batu. Penelitian dilakukan dengan menambahkan limbah stone crusher yang berbeda konsentrasi pada air limbah industri yang mengandung nikel dalam jumlah tertentu. Setelah itu dilakukan pengamatan dampak limbah stone crusher terhadap efisiensi penyisihan kandungan logam. Efisiensi penyisihan meningkat seiring dengan peningkatan dosis slurry hingga 315 ml dan konsentrasi logam awal menurun seiring meningkatnya dosis slurry. Hasil yang diperoleh memperkuat penggunaan slurry dari industri pemotongan batu untuk menghilangkan logam berat yang kemudian akan mengurangi dampak limbah terhadap lingkungan, mengurangi

biaya penyimpanan dan pembuangan limbah, serta mendorong strategi zero-waste.

2. Determination of the Optimal Replacement Content of Portland Cement by Stone Powder Using Particle Packing Methods and Analysis of the Influence of the Excess Water on the Consistency of Pastes.

Campos et al., (2019) melaksanakan studi mengenai penentuan kadar semen portland yang optimal dengan menambahkan abu batu menggunakan metode particle-packing. Studi ini bertujuan untuk menentukan kepadatan pengepakan maksimum dalam pasta semen portland, silika fume, dan abu batu untuk menentukan kandungan substitusi semen yang optimal apabila menggunakan abu batu. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa substitusi semen dengan abu batu yang lebih tinggi diperoleh kepadatan pengepakan yang lebih tinggi, kemampuan kerja yang lebih tinggi, serta memungkinkan untuk keuntungan ekonomi dan lingkungan. Dengan demikian, substitusi semen dengan abu batu muncul sebagai alternatif pilihan yang menarik menuju produksi beton yang sustainable.

3. Feasibility of Sustainable Construction Materials for Concrete Paving Blocks : A Review on Waste Foundry Sand and Other Materials.

Patil et al., (2020) mengkaji kelayakan penggunaan berbagai material limbah pada paving block beton untuk mereduksi konsumsi sumber daya alam, peningkatan pemanasan global dan produksi bahan limbah berbahaya. Produksi semen mencapai 337,32 juta ton pada tahun 2018–2019 dengan kontribusi 7–8% emisi CO₂ secara global. Statistik ini menunjukkan parahnya peningkatan pemanasan global, permintaan sumber daya dan perampasan lingkungan. Oleh karena itu, peneliti mencari alternatif bahan konstruksi dengan mempertimbangkan kebutuhan dan ruang lingkup pengembangan masa depan keberlanjutan. Material yang dipelajari dalam makalah ini adalah: Limbah pengecoran pasir, fly ash, dan GGBS sebagai pengganti semen dan agregat pada paving block beton. Hasil studi menunjukkan bahwa semen dapat digantikan dengan 100% fly ash dalam beton geopolimer. Dengan limbah pengecoran pasir sebesar 30–50%, 25% fly ash dan 75% GGBS memperoleh

hasil kekuatan yang lebih baik, kemudian pemanfaatan 45% limbah pengecoran pasir dan 34% fly ash memberikan hasil kuat tekan yang lebih baik. Pemanfaatan ulang dari bahan-bahan ini akan mendukung pembangunan berkelanjutan.

2.2 Tinjauan Penelitian

Penelitian mengenai penggunaan material abu batu serta paving block sebelumnya sudah pernah dilakukan. Beberapa penelitian memiliki metode yang sama dengan penelitian yang akan dilakukan tetapi memiliki perbedaan pada beberapa aspek, seperti objek penelitian, aspek yang diteliti, serta hasil penelitian. Penelitian-penelitian tersebut dapat dijadikan pertimbangan dan referensi bagi penelitian ini untuk dapat dilaksanakan. Adapun penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan abu batu dan paving block adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh Butiran Keramik sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan dan Harga Produksi Paving block.

Wibowo (2018) melaksanakan penelitian tentang pengaruh butiran keramik sebagai pengganti semen pada paving block. Komposisi campuran yang dipakai adalah 1pc:6ps dengan fas 0,35. Untuk variasi penambahan butiran keramik yang digunakan adalah sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan paving block, menunjukkan penggunaan butiran keramik mampu meningkatkan nilai kuat tekan paving block, dengan nilai rata-rata optimum diperoleh pada penambahan variasi butiran keramik 2,5% yaitu sebesar 244,45 kg/cm², dengan kenaikan sebesar 14,92% dari paving block normal yang mempunyai nilai kuat tekan rata-rata sebesar 212,72 kg/cm². Semakin besar variasi penambahan butiran keramik juga mengakibatkan semakin besar nilai daya serap air pada paving block, secara berurutan didapatkan nilai sebesar 5,677%, 6,422%, 7,55%, 7,899%, dan 8,528%. Harga produksi paving block butiran keramik memiliki harga pokok total sebesar Rp909,10 per buah, lebih murah apabila dibandingkan dengan paving block standar di pasaran dan mempunyai keuntungan sebesar 26,03% per buah.

2. Potensi Ekonomi Limbah Arang Tempurung Kelapa Sawit Untuk Bahan Tambah Paving Block

Setiawan (2018) melakukan penelitian untuk mengetahui persentase penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit yang optimal untuk bahan tambah paving block. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan adalah limbah arang tempurung kelapa sawit. Penelitian ini menggunakan komposisi campuran 1:6 dengan perbandingan berat. Variasi penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit pada paving block sebesar 0%; 10%; 15%; 20%; 25%: dari berat semen. Pembuatan paving block dibuat dari pasir merapi, semen holcim, dan limbah arang tempurung kelapa sawit dari Kalimantan Barat Kabupaten Sintang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata paving block dengan penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit variasi 0%; 10%; 15%; 20%; 25%; yaitu 13,277 MPa; 11,569 MPa; 12,249 MPa; 10,060 MPa; 8,909 MPa. Nilai ketahanan aus rata-rata paving block dengan penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit variasi 0%; 10%; 15%; 20%; 25%; yaitu 0,3606 mm/menit; 0,7638 mm/menit; 0,5874 mm/menit; 0,8898 mm/menit; 1,6626 mm/menit. Nilai penyerapan air rata-rata paving block dengan penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit variasi 0%; 10%; 15%; 20%; 25%; yaitu 9,45%; 9,07%; 8,10%; 8,72%; 8,15%. Harga pokok produksi limbah arang tempurung kelapa sawit memiliki harga pokok produksi sebesar Rp. 2445,1 per buah dan memiliki keuntungan sebesar 2,196 % perbuah.

3. Optimalisasi Kuat Tekan Paving block dengan Menggunakan Fly Ash dan Abu Batu sebagai Bahan Pengganti Semen dan Pasir.

Shafwan (2021) melaksanakan penelitian untuk mengetahui nilai kuat tekan rata-rata paving block dari berbagai variasi penambahan fly ash dan abu batu sebagai bahan pengganti semen dan pasir. Variasi penambahan Fly ash dan abu batu adalah sebesar 0%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan rata-rata optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 12,30 MPa pada paving block tipe I dan pada paving block tipe II

variasi optimum berada pada variasi 12,5% dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 15,12 MPa.

4. Pengaruh Serbuk Batu Kapur Ponjong sebagai Bahan Tambah terhadap Kuat Tekan Paving block.

Prihhanta (2022) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh serbuk batu kapur ponjong sebagai bahan tambah paving block terhadap nilai kuat tekannya. Pada penelitian ini, digunakan perbandingan volume semen dan pasir sebesar 1:4 dengan variasi penambahan serbuk batu kapur Ponjong sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Jumlah sampel untuk tiap variasi adalah 15 buah dengan pengujian berupa kuat tekan, keausan, dan penyerapan air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan paving block meningkat sebesar 65,558% pada variasi 30% daripada paving block normal variasi 0%. Sementara keausan dan penyerapan air menurun sebesar 73,319% pada variasi 30%. Klasifikasi kuat tekan tertinggi berada pada variasi 25% dan 30% yang masuk pada kelas mutu A dengan penggunaan sebagai jalan. Sementara klasifikasi keausan tertinggi berada pada variasi 20%, 25%, dan 30% yang masuk pada mutu A dengan peruntukan sebagai jalan. Selanjutnya klasifikasi penyerapan air tertinggi berada pada variasi 20%, 25%, dan 30% yang masuk dalam mutu C dengan penggunaan untuk pejalan kaki.

5. Pengaruh Abu Batu sebagai Substitusi Agregat Halus untuk Pembuatan Paving block.

Syarah (2022) melaksanakan penelitian mengenai pengaruh abu batu sebagai substitusi agregat halus untuk pembuatan paving block. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan peningkatan kuat tekan paving block dengan substitusi abu batu yang merupakan sampah dari industri pemecah batu. Terdapat 5 variasi penambahan abu batu, yaitu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm serta jumlah benda uji sebanyak 75 buah. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan optimum berada pada variasi 20% abu batu dengan nilai kuat tekan sebesar 22,4 MPa atau 2228 kg/cm².

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

Dari beberapa penelitian di atas disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan Dilaksanakan
Nama	Wibowo	Setiawan	Shafwan	Prihhanta	Syarah	Krisna
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2022)	(2022)	(2022)
Judul Penelitian	Pengaruh Butiran Keramik Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Harga Produksi Paving block.	Potensi Ekonomi Limbah Arang Tempurung Kelapa Sawit Untuk Bahan Tambah Paving Block	Optimalisasi Kuat Tekan Paving block dengan Menggunakan Fly Ash dan Abu Batu sebagai Bahan Pengganti Semen dan Pasir.	Pengaruh Serbuk Kapur Ponjong sebagai Tambah Kuat Terhadap Paving block.	Pengaruh Abu Batu sebagai Substitusi Agregat Halus untuk Pembuatan Paving block.	Estimasi Kebutuhan Abu Batu Untuk Meminimalkan Rongga Udara Dalam Paving block
Jenis Bahan Tambah	Butiran keramik	Limbah Arang Tempurung Kelapa Sawit	Fly ash dan Abu batu	Batu kapur Ponjong	Abu batu	Abu batu
Persamaan	Menggunakan paving block ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm	Menggunakan paving block ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm	1. Menggunakan paving block ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm	Menggunakan paving block ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm	1. Menggunakan paving block ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan Dilaksanakan
Nama	Wibowo	Setiawan	Shafwan	Prihhanta	Syarah	Krisna
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2022)	(2022)	(2022)
Persamaan			2. Menggunakan material abu batu.		2. Menggunakan material abu batu.	
Perbedaan	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan dan daya resapan air paving block dengan penambahan pecahan keramik. Komposisi campuran menggunakan 1 semen : 6 pasir, dengan persentase butiran keramik sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Butiran keramik digunakan sebagai pengganti semen. 	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan aus paving block dengan penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit. Komposisi campuran menggunakan 1pc : 6 ps. Mengetahui harga pokok produksi sebuah paving block dengan penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit 	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan dan paving block dengan penambahan fly ash dan abu batu. Menggunakan variasi campuran fly ash dan abu batu sebesar 0%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%. Fly ash dan abu batu digunakan sebagai pengganti semen dan pasir. 	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan, keausan, dan penyerapan air pada paving block. Menggunakan serbuk kapur ponjong sebagai bahan tambah dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat semen. 	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan pada paving block. Menggunakan abu batu sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. 	<ol style="list-style-type: none"> Menguji kuat tekan, keausan dan penyerapan air paving block Menguji bobot isi dan rongga udara dalam campuran agregat yang digunakan untuk paving block serta uji rongga dalam beton paving yang telah mengeras. Komposisi campuran menggunakan 1 semen : 7 pasir, dengan penambahan abu batu sebanyak 9 variasi. Abu batu digunakan sebagai bahan pengisi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				
Nama	Wibowo	Setiawan	Shafwan	Prihhanta	Syarah
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2022)	(2022)
Hasil Penelitian	<p>1. Paving block dengan variasi 1 semen : 6 pasir : 2,5% pecahan keramik memiliki kuat tekan yang paling tinggi sebesar 244,45 kg/cm²</p> <p>2. Daya serap air pada paving block mengalami peningkatan setiap penambahan variasi pecahan keramik.</p> <p>3. Didapat harga produksi sebesar Rp909,10 per buah, lebih murah dengan paving block pasaran dan mempunyai keuntungan sebesar 26,03% per buah.</p>	<p>1. Penambahan limbah arang tempurung kelapa sawit pada campuran paving block secara umum belum dapat meningkatkan kuat tekan paving block.</p> <p>2. Uji ketahanan aus tidak memenuhi SNI 03-0961-1996.</p> <p>3. Diperoleh harga pokok produksi sebesar Rp2445,1,- per buah, maka paving block dengan penambahan limbah arang cangkang sawit belum dapat dikatakan menguntungkan bagi pengusaha paving block yang masih menggunakan alat secara manual.</p>	<p>1. Penggunaan variasi campuran fly ash dan abu batu pada paving block dapat meningkatkan kuat tekan serta masuk pada klasifikasi mutu C dan D.</p> <p>2. Kadar optimum variasi campuran fly ash dan abu batu untuk paving block tipe I terdapat pada variasi 10% yaitu dengan nilai kuat tekan 12,30 MPa. Untuk paving block tipe II, kadar optimum campuran berada pada variasi 12,5% dengan nilai kuat tekan sebesar 15,12 MPa.</p>	<p>1. Penambahan serbuk batu kapur Ponjong meningkatkan kuat tekan paving block dengan peningkatan sebesar 65,558% dari paving block normal, terdapat pada variasi 30% dengan nilai kuat tekan sebesar 37,910 MPa.</p> <p>2. Keausan paving block mengalami penurunan sebesar 73,319% dari paving block normal, terdapat pada variasi 30% dengan nilai keausan sebesar 0,055 mm/menit.</p> <p>3. Nilai penyerapan air menurun sebesar 17,299% dari paving block normal, terdapat pada variasi 30% dengan nilai penyerapan air sebesar 7,367%.</p>	<p>Nilai kuat tekan optimum paving block dengan penambahan abu batu terdapat pada variasi 20% sebesar 22,4 MPa atau setara dengan K228 kg/cm².</p>

Sumber : Wibowo (2018), Setiawan (2018), Shafwan (2019), Prihhanta (2022), Syarah(2022)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Paving block

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). Selanjutnya menurut Kusmara (1997) dalam Jurnal Penelitian Pemukiman, paving block adalah batu cetak berbentuk tertentu yang dipakai sebagai bahan penutup halaman tanpa memakai adukan pasangan (mortar), pengikatan terjadi karena masing-masing batu cetak saling mengunci satu sama lain, sehingga daya serap air dari tanah di bawahnya tetap terjamin dan kemungkinan menggenangnya air di halaman dapat dikurangi.

Paving block merupakan produk bahan bangunan semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif perkerasan permukaan tanah (Nurzal & Taufik, 2016). Paving block mulai dikenal dan dipakai di Indonesia mulai tahun 1977 yaitu pada pembangunan trotoar di Jalan Thamrin dan Terminal Bis Pulo Gadung, DKI Jakarta. Paving block dapat digunakan untuk pengerasan dan memperindah trotoar jalan di kota-kota, pengerasan jalan di komplek perumahan atau kawasan pemukiman, memperindah taman, pekarangan dan halaman rumah, pengerasan areal parkir, areal perkantoran, pabrik, taman dan halaman sekolah, serta kawasan hotel dan restoran (Khoirunnisa, 2015).

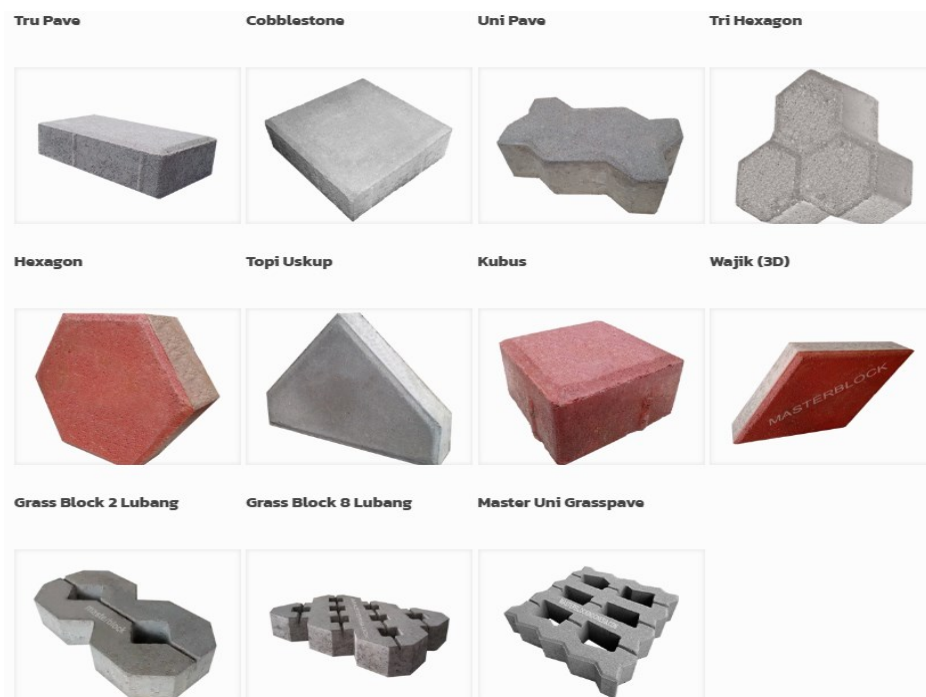
Menurut Sianturi JR (Istiwarni, 2000), menyebutkan bahwa paving block muncul dengan membawa sifat yang unik. Jika paving block dipasang hanya satu buah, maka akan bersifat seperti perkerasan kaku dan bila dipasang secara interlocking atau saling mengunci akan bersifat seperti perkerasan lentur. Kekuatan paving block yang terpasang di atas permukaan tanah ditentukan oleh dua hal, yakni:

1. Kuat tekan masing-masing elemen paving block yang terbuat dari beton dengan mutu tertentu.
2. Gesekan antar elemen paving block yang dapat terjadi dengan adanya pasir sebagai bahan pengisi di antara sela-sela paving block.

Dalam dinamika produksi, pemasangan, hingga pemakaian paving block tentunya memiliki kelebihan maupun kekurangan. Kelebihan dan kelemahan paving block tersebut adalah sebagai berikut.

1. Kelebihan paving block.
 - a. Dapat diproduksi secara massal.
 - b. Menghasilkan sampah produksi yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan penggunaan pelat beton.
 - c. Tidak mudah rusak pada kondisi pembebanan normal.
 - d. Pemasangan yang cukup mudah dan biaya perawatan yang ekonomis.
 - e. Tidak menimbulkan gangguan debu maupun kebisingan pada saat proses pemasangan.
 - f. Memiliki daya serap air yang tinggi sehingga dapat menjamin ketersediaan air tanah serta mengurangi genangan air di permukaan.
 - g. Memiliki tekstur, warna, dan motif yang beraneka ragam sehingga cocok untuk dijadikan sebagai aksen penguat eksterior rumah, taman, maupun jalan.
 - h. Adanya pori-pori yang dapat meminimalisir aliran permukaan dan mempercepat serta memperbanyak infiltrasi dalam tanah.
2. Kelemahan paving block.
 - a. Tidak dapat diaplikasikan untuk jalan raya yang dilalui untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi.
 - b. Pasangan paving block berpotensi bergelombang apabila perkerasan struktur dasar dan pelevelannya tidak cukup padat dan kuat.
 - c. Segmen yang mudah bergeser dari susunan awal pemasangan menyebabkan regang dan tidak rata, dikarenakan pemasangan yang tidak teliti.

Dalam perkembangannya, bahan penyusun paving block tidak hanya terdiri atas semen dan pasir, namun terdapat berbagai variasi penambahan yang telah dilakukan dalam berbagai penelitian. Paving block berkualitas bagus dan layak dipasang adalah yang mempunyai permukaan rata, tidak retak-retak atau cacat, serta bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dihancurkan dengan kekuatan tangan (SNI 03-0691-1996).



Gambar 3.1 Jenis-Jenis Paving block

3.1.1 Klasifikasi Paving block

SNI 03-0691-1996 mengklasifikasikan paving block menurut mutu dan peruntukannya menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
2. Bata beton mutu B : digunakan untuk pelataran parkir
3. Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
4. Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya

Dalam Specifications for Precast Concrete Paving block (1980), disebutkan persyaratan ketebalan paving block pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan dengan frekuensi terbatas seperti pejalan kaki dan sepeda motor.
2. 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas sedang atau berat dan padat frekuensinya, misalnya: mobil, pick up, truk, dan bus.
3. 10 cm, digunakan untuk beban lalu lintas super berat, misalnya: truk tronton, loader, dan crane.

Berdasarkan mutu beton, paving block dibagi menjadi beberapa kelas seperti berikut :

1. Paving block dengan mutu beton I, nilai kuat tekan, $\sigma = 34 - 40$ MPa.
2. Paving block dengan mutu beton II, nilai kuat tekan, $\sigma = 25,5 - 30$ MPa.
3. Paving block dengan mutu beton III, nilai kuat tekan, $\sigma = 17 - 20$ MPa.

3.1.2 Syarat Mutu Paving block

Syarat mutu paving block diatur dalam SNI 03-0691-1996 dan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Sifat tampak

Bata beton (paving block) harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapuhkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Bentuk dan ukuran

Bentuk dan ukuran paving block untuk lantai bergantung dari persetujuan antara konsumen dan produsen. Dimana produsen akan memberikan penjelasan mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi pemasangan paving block untuk lantai. Bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

3. Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Sifat-Sifat Fisika Paving block

Mutu	Kegunaan	Kuat Tekan (MPa)		Keausan (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks, (%)
		Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	Perkerasan jalan	40	35	0,09	0,103	3
B	Tempat parkir mobil	20	17	0,13	0,149	6
C	Pejalan kaki	15	12,5	0,16	0,184	8
D	Taman kota	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber: SNI 03-0691-1996

4. Ketahanan terhadap natrium sulfat

Apabila diuji dengan larutan natrium sulfat, bata beton tidak boleh cacat dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

3.2 Material (Bahan Penyusun) Paving block

Secara umum, bahan penyusun pada paving block antara lain adalah semen portland (PC), agregat halus, dan air.

3.2.1 Semen Portland (PC)

Menurut Standar Industri Indonesia (SII 0013-1981), definisi dari semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) bersama bahan-bahan yang biasa digunakan seperti gypsum. Semen merupakan bahan pengikat yang mempengaruhi kualitas suatu paving block.

Semen dibedakan menjadi 2 jenis menurut sifatnya, yakni semen hidraulis serta semen non-hidraulis. Semen hidraulis adalah semen yang akan mengeras apabila bereaksi dengan air, tahan terhadap air (water resistance) dan stabil di dalam air setelah mengeras. Sedangkan semen non-hidraulis adalah semen yang dapat

mengeras namun tidak stabil di dalam air. Semen portland merupakan salah satu semen hidraulis yang biasa dipakai dalam dunia konstruksi.

Semen portland dibuat dengan memanaskan suatu campuran yang terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, oksida besi, dan oksida-oksida lain secara baik dan merata (Samekto & Rahmadiyanto, 2001:1). Fungsi dari semen adalah untuk bereaksi dengan air dan kemudian menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu pasta semen juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat (Indriyanto, 2008).

Dalam SNI 03-2834-2000 disebutkan bahwa jumlah kandungan semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika jumlah semen terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit, sehingga adukan beton sulit dipadatkan dan kuat tekan beton rendah. Akan tetapi jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebih, sehingga beton mempunyai banyak pori dan berakibat pada kuat tekan beton rendah.

Pada dasarnya semen Portland terdiri atas 4 senyawa yang paling penting, yaitu:

1. Trikalsium Silikat (C_3S)

Memiliki sifat yang hampir sama dengan semen, apabila bercampur dengan air akan menjadi kaku dan mengeras. Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas. C_3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.

2. Dikalsium Silikat (C_2S)

Senyawa C_2S mempengaruhi proses peningkatan kekuatan yang terjadi mulai 14 sampai 28 hari dan seterusnya. C_2S memiliki ketahanan terhadap agresi yang relatif tinggi serta penyusutan kering yang relatif rendah.

3. Trikalsium Aluminat (C_3A)

Senyawa C_3A mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas yang menyebabkan pengerasan awal, namun kontribusinya kurang pada kekuatan batas. Apabila senyawa ini bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi sebesar 212 kalori/gram setelah 3 hari.

Peningkatan kekuatan terjadi satu hingga dua hari namun sangat rendah. Senyawa ini kurang tahan terhadap agresi kimiawi, mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah paling banyak, serta sangat mungkin untuk retak-retak oleh perubahan volume.

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF)

Waktu reaksi senyawa ini dengan air berlangsung sangat cepat dan membentuk pasta dalam beberapa menit serta menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Senyawa ini menyebabkan warna abu-abu pada semen. Silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen apabila bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat dan membentuk massa yang keras. Senyawa C_4AF ini kurang tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen.



Gambar 3.2 Merek-merek Semen Portland di Pasaran

Penggunaan semen di Indonesia menurut SK-SNI S-04-1989-F dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut :

1. Tipe I adalah semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.
2. Tipe II adalah semen Portland umum dengan modifikasi (modified portland cement). Memiliki sifat setengah tipe IV dan setengah tipe V (moderat). Semen ini memiliki panas hidrasi lebih rendah dan lebih lambat keluar panasnya daripada tipe I. Panas hidrasi yang agak rendah dapat mengurangi retak-retak

dalam proses pengerasan. Semen tipe ini digunakan untuk bangunan tebal seperti pilar dengan ukuran besar, dinding penahan tanah, dan sebagainya. Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti semen tipe IV.

3. Tipe III adalah semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi (high early strength Portland cement). Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Tipe semen ini mendapatkan kekuatan besar dalam waktu yang singkat, sehingga cocok untuk digunakan dalam perbaikan bangunan beton yang perlu segera untuk digunakan. Semen tipe ini biasanya digunakan ketika bekisting harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.
4. Tipe IV adalah semen dengan panas hidrasi yang rendah (low heat Portland cement), dipakai pada kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Pertumbuhan kekuatan semen tipe ini lebih lambat daripada semen tipe I. Semen tipe ini merupakan semen khusus untuk penggunaan yang membutuhkan panas hidrasi yang serendah-rendahnya. Semen tipe IV dapat digunakan pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar.
5. Tipe V adalah semen Portland yang tahan sulfat, digunakan untuk menghadapi aksi sulfat yang keras. Umumnya diaplikasikan di daerah yang tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi. Proses pengerasan lebih lambat daripada semen Portland biasa.

3.2.2 Agregat Halus

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan terak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolik atau adukan (SNI 03-1750-1990). Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam suatu campuran beton. Agregat menempati sekitar 70% volume mortar atau beton. Walaupun sebagai bahan pengisi, agregat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton. Agregat yang memiliki ukuran lebih dari 4,8 mm disebut dengan agregat kasar, apabila memiliki ukuran kurang dari 4,8 mm disebut agregat halus, ukuran kurang dari 1,2

mm disebut pasir halus, dan ukuran kurang dari 0,002 mm disebut clay (Tjokrodinuljo, 1996).

Dengan penggunaan agregat berkualitas baik, beton dapat dikerjakan (workable), tahan lama (durable), kuat, dan ekonomis. Meski kerap dianggap sebagai material pasif karena berperan sebagai pengisi saja, lambat laun kini mulai disadari kontribusi agregat pada sifat beton, seperti ketahanan abrasi, stabilitas volume, serta ketahanan umum (durability). Bahkan disebutkan beberapa sifat fisik beton tergantung secara langsung pada sifat agregat seperti modulus elastis, panas jenis, dan kepadatan (Nugroho & Antoni, 2007).

Menurut SNI 03-1750-1990, agregat halus atau pasir adalah butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat, tajam, dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak antara 0,07 – 5 mm. Dalam campuran paving block, agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi agar dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan, serta mengurangi pemakaian semen atau bahan pengikat.

Selanjutnya menurut Tjokrodinuljo (1996), pasir digolongkan menjadi 3 macam seperti berikut:

1. Pasir galian, diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan menggali dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam.
2. Pasir sungai, didapatkan langsung dari dasar sungai. Umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan, sehingga daya lekat antar butir berkurang. Pasir ini paling baik dipakai untuk memplester tembok.
3. Pasir laut, diperoleh dengan mengambil langsung dari pantai. Butirannya halus dan bulat akibat gesekan. Banyak mengandung garam yang dapat menyerap air dan udara. Pasir jenis ini tidak baik digunakan sebagai bahan bangunan.

Mutu dari agregat halus sebagai bahan pengisi paving block akan sangat menentukan mutu paving block yang dihasilkan. Persyaratan agregat halus agar dapat menghasilkan paving block yang baik diatur dalam SNI 03-1750-1990 sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, keras dan gradasinya menerus. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
2. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 1,50 – 3,80.
3. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 0,07 mm maksimal 5%.
4. Kadar zat organik ditentukan dengan larutan natrium hidroksida 3%. Jika dibandingkan dengan warna standar atau pembanding, tidak lebih tua daripada warna standar (sama).
5. Kekerasan butir, jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka, memberikan angka hasil bagi tidak lebih besar dari 2,20.



Gambar 3.3 Agregat Halus Pasir

SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran pasir menjadi empat zona atau daerah, yaitu zona I (kasar), zona II (sedang), zona III (agak halus), dan zona IV (halus). Klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (Ayakan)				% Lolos Saringan/Ayakan				ASTM C-33 Fine Aggregate Sieve Analysis
				SNI 03-2834-2000				
mm	SNI	ASTM	inch	Pasir Kasar Gradasi No. 1	Pasir Sedang Gradasi No. 2	Pasir Agak Halus Gradasi No. 3	Pasir Halus Gradasi No. 4	
9,50	9,6	% in	0,3750	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,75	4,8	no. 4	0,1870	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
2,36	2,4	no. 8	0,0937	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100	80 - 100
1,18	1,2	no. 16	0,0469	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100	50 - 85
0,60	0,6	no. 30	0,0234	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100	25 - 60
0,30	0,3	no. 50	0,0117	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50	5 - 30
0,15	0,15	no. 100	0,0059	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 10

Tabel Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33)

The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve

Sumber: SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33

3.2.3 Air

Dalam proses produksi paving block, air merupakan bahan dasar yang sangat penting. Air dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen dan menjadi bahan pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Peran air dalam campuran paving block adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya proses pengikatan.

Perlu diperhatikan bahwa tambahan air pada campuran tidak boleh terlalu banyak karena akan menimbulkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai sehingga kekuatan paving block berkurang. Namun jika air yang digunakan terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan paving block yang dihasilkan.

Agar dapat bereaksi dengan semen, air yang dibutuhkan hanya sekitar 25 - 30% dari berat semen. Namun pada proses di lapangan apabila nilai faktor air semen (fas) yang merupakan berat air dibagi berat semen kurang dari 0,35 maka adukan beton akan sulit dikerjakan. Faktor air semen (fas) yang biasa digunakan dalam produksi paving block adalah 0,2 – 0,35 dari berat semen. Apabila lebih dari nilai tersebut atau terlalu encer maka proses pencetakan paving block akan lebih sulit.

Persyaratan air untuk campuran beton telah diatur dalam SK-SNI-S-04-1989-F sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
2. Air harus bersih.
3. Derajat keasaman (pH) normal ± 7 .
4. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.

Selain sebagai bahan penyusun untuk campuran paving block, air juga digunakan untuk perawatan setelah pencetakan. Paving block yang sudah dicetak akan direndam atau disiram secara berkala. Proses perawatan tersebut biasa dikenal dengan istilah curing.

3.3 Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi (Filler)

Filler adalah sekumpulan mineral agregat yang lolos saringan no. 200 dan mengisi rongga diantara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga serta meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan agregat lolos saringan no. 200, membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar (Tunncliff, D.G., 1962 dalam Shell 1990).

Filler dapat berupa kapur, abu batu (stone dust) maupun semen abu batu (Portland cement). Apabila digunakan dalam campuran maka filler harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu (SKBI-2.4.26.1987, Dept. PU). Penggunaan bahan pengisi (filler) diperlukan untuk meningkatkan viskositas beton guna menghindari terjadinya bleeding dan segregasi, untuk tujuan tersebut dapat digunakan fly ash, serbuk batu kapur, silica fume atau bahan pengisi yang lain (Persson, 2000).

Filler atau bahan pengisi pada campuran paving block bertujuan untuk mengisi rongga (pori) pada paving block agar paving block yang dihasilkan semakin padat dan dapat menambah kekuatan. Dalam penelitian ini, filler yang digunakan adalah abu batu hasil limbah penggergajian batu andesit yang banyak terdapat di Kapanewon Cangkringan, Kabupaten Sleman. Penggunaan abu batu ini

disebabkan sifat abu batu yang mengikat dan akan semakin mengeras bila terkena air. Belum banyaknya pemanfaatan material buangan seperti abu batu ini dapat selaras dengan isu lingkungan yang saat ini banyak menjadi tantangan bagi peneliti untuk memanfaatkannya. Filler dari abu batu yang dipakai untuk membuat paving block menjadi lebih padat dan untuk meningkatkan kuat desak dan juga menghemat penggunaan semen.



Gambar 3.4 Abu Batu

3.4 Pengujian Paving block

Pada proses produksi paving block, diperlukan pengujian untuk menentukan mutu paving block yang sudah dicetak. Pengujian yang dilaksanakan adalah pengujian kuat tekan, keausan dan penyerapan air pada paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996. Pengujian selanjutnya adalah uji kerapatan, penyerapan dan rongga dalam beton yang telah mengeras berdasarkan SNI 03-6433-2016.

3.4.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton, dalam hal ini paving block adalah properti mekanik utama dan penting yang umumnya diperoleh dengan mengukur spesimen beton setelah curing standar 28 hari (Ni & Wang, 2000). Kuat tekan merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan per satuan luas. Nilai kuat tekan menunjukkan

mutu dari suatu struktur, semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi pula mutu yang didapatkan (Imastuti, 2017).

Kuat tekan paving block adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji paving block hancur akibat dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan (Universal Testing Machine dalam Hambali dkk., 2013). Berdasarkan SNI 03-0691-1996, kuat tekan paving block dirumuskan pada Persamaan 3.1 seperti berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan:

- σ = kuat tekan (N/mm²)
- P = beban tekan (N)
- A = luas bidang tekan (mm²)

Kuat tekan rata-rata dari sampel paving block dihitung dari jumlah nilai kuat tekan masing-masing sampel yang dibagi dengan jumlah sampel paving block yang diuji. Pada hakikatnya, faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan paving block sama seperti kuat tekan beton, diantaranya sebagai berikut:

1. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen yang digunakan dalam pembuatan campuran. Nilai fas yang tinggi akan membuat campuran beton memiliki banyak pori-pori yang berisi air, yang berakibat menimbulkan rongga-rongga setelah beton mengeras sehingga menyebabkan kekuatan akan rendah. Sementara nilai fas yang rendah akan membuat campuran sulit dikerjakan dan dipadatkan serta menyebabkan banyak rongga udara, hal tersebut mengakibatkan beton berkualitas rendah. Nilai fas yang umum digunakan adalah 0,45 (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Pramuji, 2007).

2. Kepadatan

Tujuan dari pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal (Murdock & Brook,

1991). Kepadatan campuran beton akan mempengaruhi kekuatan beton setelah mengeras (Tjokrodinuljo, 1996).

3. Umur beton

Kekuatan beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton dan umur beton dihitung sejak beton tersebut diproduksi. Pada umur awal, kenaikan mutu beton akan naik secara signifikan, tetapi setelah umur 28 hari akan berangsur-angsur mengecil. Pada umumnya beton mencapai kekuatan tekan karakteristik rencananya pada umur 28 hari. Namun umur tersebut dapat bervariasi (lebih atau kurang dari 28 hari), yang disebabkan oleh jenis material ataupun bahan tambah dari suatu campuran.

4. Jenis semen

Setiap tipe semen memiliki karakteristik masing-masing sesuai bahan penyusunnya, yang akan menyebabkan laju kenaikan yang berbeda-beda.

5. Jumlah semen

Jumlah kandungan semen akan mempengaruhi kuat tekan beton. Pada jumlah semen yang sedikit dan jumlah air yang juga sedikit akan membuat beton sulit dipadatkan sehingga kekuatan beton akan rendah. Sedangkan jika jumlah semen berlebihan dan jumlah air yang berlebihan juga, akan membuat beton menjadi berpori dan mengakibatkan kekuatan tekan beton rendah (Tjokrodinuljo, 1996, dalam Suwarni, 2010).

Korelasi antara komposisi campuran beton dengan kuat tekan beton ditunjukkan dengan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Hubungan Antara Komposisi Campuran dengan Kuat Tekan

No.	Komposisi campuran semen:pasir	Kuat tekan rata – rata umur 28 hari (kg/cm ²)
1	1:6	70
2	1:7	57
3	1:8	36
4	1:9	26

Sumber: Data Teknis Hasil Percobaan (Puslitbang DPU Semarang, 1985)

3.4.2 Penyerapan Air

Penyerapan air pada paving block adalah persentase berat air yang mampu diserap melalui pori-pori paving block. Nilai penyerapan air dapat diperoleh dengan membandingkan berat paving block basah yang telah melalui perendaman selama 24 jam di dalam air dengan paving block kering yang didapat melalui proses oven benda uji pada suhu $\pm 105^{\circ}$ C dalam waktu 24 jam.

Semakin kecil nilai penyerapan air pada paving block maka semakin baik mutu yang diperoleh dan berlaku sebaliknya. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, daya serap air dapat dicari melalui Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$Pa = \frac{Bb - Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan:

Pa = penyerapan air (%)

Bb = berat basah (gram)

Bk = berat kering (gram)

3.4.3 Keausan

Keausan adalah kemampuan sebuah benda uji untuk menahan gaya gesek yang terjadi pada permukaan benda uji yang terkena gesekan terus menerus oleh mesin pengaus. Uji keausan akan menentukan kualitas sebuah paving block, semakin kecil nilai keausan yang diperoleh maka semakin baik mutu paving block dan berlaku sebaliknya. Nilai keausan paving block diperoleh dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$D = 1,26G + 0,0246 \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan:

D = keausan (mm/menit)

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

3.5 Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat per satuan isi. Sedangkan rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat. Metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat telah diatur dalam SNI 03-4804-1998.

Agregat yang akan diuji berupa abu batu dalam keadaan kering oven. Jumlah benda uji yang disiapkan mendekati 125% - 200% dari jumlah yang diuji.

3.5.1 Berat Isi

Pada perhitungan dari pengujian berat isi agregat mencakup agregat dalam keadaan kering oven serta agregat dalam keadaan kering permukaan.

1. Berat isi agregat dalam keadaan kering oven dihitung menurut Persamaan 3.4 dan 3.5 sebagai berikut.

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots (3.4)$$

atau

$$M = (G - T) \times F \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan:

M = berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dan penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar (m^3)

F = faktor penakar (m^{-3})

2. Berat isi agregat dalam keadaan kering permukaan dapat dicari dengan Persamaan 3.6 seperti berikut.

$$M_{SSD} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan :

M_{SSD} = berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m^3)

M = berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

3.5.2 Kadar Rongga Udara

Perhitungan kadar rongga udara dalam agregat telah diatur dalam SNI 03-4804-1998 dengan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\text{Rongga udara} = \frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan :

- M = berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)
- s = berat jenis agregat dalam kondisi kering oven dihitung menurut SNI 1969-1990-F dan SNI 1970-1990-F
- w = kerapatan air (998 kg/m^3)

3.6 Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga dalam Beton yang telah Mengeras

Pengujian rongga dalam beton dilaksanakan menurut SNI 03-6433-2016. Metode pengujian ini mencakup penentuan kerapatan, persentase penyerapan, dan persentase rongga dalam beton yang telah mengeras. Metode uji ini berfungsi dalam pengembangan data yang diperlukan untuk konversi antara massa dengan volume beton. Data tersebut dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian dengan spesifikasi beton dan untuk menunjukkan tingkat keseragaman dalam suatu massa beton.

Perhitungan untuk menentukan rongga dalam beton yang telah mengeras diperoleh melalui Persamaan 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, dan 3.14 sebagai berikut:

1. Penyerapan Setelah Perendaman, $\% = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots (3.8)$

2. Penyerapan Setelah Perendaman dan Pendidihan, $\% = \frac{C-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots (3.9)$

3. Kerapatan Massa Kering, $g_1 = \frac{A}{(C-D)} \rho \dots\dots\dots (3.10)$

4. Kerapatan Massa Setelah Perendaman $= \frac{B}{(C-D)} \rho \dots\dots\dots (3.11)$

$$5. \text{ Kerapatan Massa Setelah Perendaman dan Pendidihan} = \frac{C}{(C-D)} \rho \dots\dots\dots (3.12)$$

$$6. \text{ Kerapatan Semu, } g_2 = \frac{A}{(A-D)} \rho \dots\dots\dots (3.13)$$

$$7. \text{ Volume Rongga Permeabel, \%} = \frac{g_2 - g_1}{g_2} \times 100 \dots\dots\dots (3.14)$$

dengan :

A = massa benda uji kering-oven di udara (gram)

B = massa benda uji kering-permukaan di udara setelah perendaman (gram)

C = massa benda uji kering-permukaan di udara setelah perendaman dan pendidihan (gram)

D = massa benda uji semu dalam air setelah perendaman dan pendidihan (gram)

g_1 = kerapatan massa kering (gram/cm³)

g_2 = kerapatan semu (gram/cm³)

ρ = kerapatan air (1 gram/cm²)

3.7 Harga Pokok Produksi

Supriyono (2011) menyebutkan, penggolongan biaya sesuai fungsi pokok dari kegiatan atau aktivitas perusahaan. Fungsi pokok dari kegiatan perusahaan-perusahaan digolongkan menjadi fungsi produksi, fungsi pemasaran, fungsi administrasi dan umum, serta fungsi keuangan. Pada fungsi produksi dikelompokkan menjadi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik.

Menurut Winwin dan Ilham (2008) harga pokok produksi adalah biaya barang yang telah diselesaikan selama satu periode. Selanjutnya Haryono (2005) menyatakan bahwa harga pokok produksi adalah biaya untuk menghasilkan produk pada perusahaan manufaktur. Sedangkan Hansen dan Mowen (2004:48) menyebutkan harga pokok produksi adalah mewakili jumlah biaya barang yang diselesaikan pada periode tertentu.

Mulyadi (2003) menyebutkan unsur-unsur harga pokok produksi adalah sebagai berikut :

1. Biaya bahan baku

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan bahan baku yang akan digunakan untuk proses produksi suatu produk, dalam hal penelitian ini adalah bahan baku paving block. Biaya yang termasuk antara lain biaya material yang digunakan seperti air, semen dan agregat.

2. Biaya tenaga kerja langsung

Biaya yang dibayarkan kepada tenaga kerja yang berperan secara langsung dalam proses produksi suatu produk. Dalam penelitian ini, biaya tenaga kerja langsung dibayarkan kepada tenaga kerja yang memproduksi paving block.

3. Biaya overhead pabrik

Disebut juga biaya produk tidak langsung, adalah komponen biaya produksi yang tidak memiliki hubungan langsung dengan suatu produk tertentu. Contoh dari biaya overhead adalah biaya pengiriman, biaya konsumsi, dan margin keuntungan.

Mulyadi (2009) menyatakan bahwa metode penentuan harga produksi adalah cara perhitungan unsur-unsur biaya ke dalam harga pokok produksi. Dalam memperhitungkan unsur-unsur biaya ke dalam harga pokok produksi terdapat dua pendekatan, yakni full costing dan variable costing.

Full costing merupakan metode penentuan harga pokok yang membebankan seluruh biaya produksi baik yang berperilaku tetap maupun variabel kepada produk, seperti biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, biaya overhead pabrik tetap, serta biaya overhead pabrik variabel (Rodes, 2008). Sedangkan metode variable costing adalah metode penentuan harga pokok produksi yang menghitung biaya produksi yang berperilaku variabel saja, seperti biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, serta biaya overhead pabrik variabel.

Pada penelitian ini, digunakan metode variable costing untuk menentukan harga pokok produksi paving block abu batu. Dengan demikian harga pokok produksi menurut metode variable costing terdiri atas unsur biaya produksi sebagai berikut (Mulyadi, 2009:18) :

Biaya bahan baku	xxx
Biaya tenaga kerja variabel	xxx

Biaya overhead pabrik variabel	<u>xxx</u> +
Harga pokok produksi variabel	xxx

Penentuan terkait variable costing adalah suatu konsep penentuan harga pokok yang didalamnya hanya memasukkan biaya produksi variabel sebagai elemen harga pokok produk. Biaya produksi ini akan tetap dianggap sebagai biaya periode atau biaya waktu yang langsung dibebankan di dalam laba rugi terjadinya dan tidak diperlakukan sebagai biaya produksi.

Sistem harga pokok proses (process cost method) adalah sistem pengumpulan harga pokok produk dimana biaya dikumpulkan untuk setiap waktu tertentu, misalnya bulan, triwulan, semester, dan tahun (Supriyono, 2011). Pada metode harga pokok proses, perusahaan menghasilkan produk yang homogen, bentuk produk bersifat standar, dan tidak tergantung spesifikasi yang diminta oleh konsumen.

Fungsi dari penetapan harga pokok menurut Adikoesoemah (1982) adalah sebagai berikut :

1. Harga pokok sebagai penetapan harga jual
2. Harga pokok sebagai penetapan biaya yang diserap
3. Harga pokok sebagai dasar penilaian efisiensi kerja dan efektifitas biaya
4. Harga pokok sebagai dasar pengambilan berbagai keputusan manajemen

3.8 Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) adalah titik dimana total biaya produksi sama dengan pendapatan. BEP memberikan petunjuk bahwa tingkat produksi telah menghasilkan pendapatan yang sama besarnya dengan biaya produksi yang dikeluarkan (Soeharto, 1997).

BEP adalah salah satu teknik analisis untuk mempelajari hubungan antara biaya tetap, biaya variabel, keuntungan, dan volume penjualan serta merupakan teknik untuk menggabungkan, mengkoordinasi, menafsirkan data dan distribusi untuk membantu manajemen dalam pengambilan keputusan.

Perhitungan BEP untuk 1 produk dapat dilakukan dalam Rupiah maupun dalam unit dengan persamaan sebagai berikut (Purwanti, 2013:247) :

$$\text{BEP}_{(\text{Rp})} = \frac{\text{Fixed Cost}}{\text{Contribution Margin Ratio}} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\text{BEP}_{(\text{Unit})} = \frac{\text{Fixed Cost}}{\text{Contribution Margin per Unit}} \dots\dots\dots (3.16)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian memiliki tujuan untuk merencanakan langkah-langkah kerja suatu penelitian, mulai dari pengenalan masalah, pengumpulan data, pembuatan benda uji, pengujian pada benda uji, analisis data, sampai dengan memperoleh hasil dari analisis data dan pada akhirnya diperoleh kesimpulan serta saran. Menurut Sugiyono (2013), metode penelitian adalah suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu.

Pada penelitian ini, yang menjadi objek penelitian adalah paving block dengan bahan tambah untuk pengisi (filler) menggunakan abu batu. Benda uji yang digunakan dalam penelitian berupa paving block jenis Holland yang berbentuk segiempat dengan dimensi 20 x 10 x 6 cm. Prosedur pelaksanaan dan pengujian untuk penelitian ini menggunakan Panduan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua lokasi, yang pertama adalah di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi (PIMVM) Universitas Islam Indonesia untuk pembuatan benda uji paving block. Selanjutnya untuk pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta.

4.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel terikat dan variabel bebas yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel terikat, yaitu perbandingan campuran semen dengan pasir. Perbandingan yang digunakan adalah 1 semen : 7 pasir
2. Variabel bebas, yaitu variasi perbandingan abu batu yang digunakan sebagai bahan tambah. Terdapat 9 variasi perbandingan volume antara semen, pasir, dan abu batu yang digunakan. Besaran komposisi ini mengikuti tradisi proses produksi material paving block di PIMVM yang telah berjalan saat ini, seperti dapat dilihat pada Tabel 4.1 seperti berikut.

Tabel 4.1 Variasi Perbandingan Campuran Paving block

Variasi	Semen	Pasir	Abu batu
I	1	7	0
II	1	7	0,5
III	1	7	1
IV	1	7	1,5
V	1	7	2
VI	1	7	2,5
VII	1	7	3
VIII	1	7	3,5
IX	1	7	4

3. Variabel kontrol, yaitu nilai yang akan diketahui dari setiap komposisi atau variasi. Variabel kontrol dari penelitian ini diantaranya adalah berat isi dan rongga udara dalam agregat, nilai kuat tekan, penyerapan air, keausan serta harga pokok produksi.

4.4 Peralatan Penelitian

Sebelum penelitian dimulai, perlu disiapkan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian. Pada penelitian ini akan digunakan beberapa peralatan sebagai

sarana mencapai tujuan penelitian. Alat-alat yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengayak atau menyaring agregat halus sebelum proses pencampuran. Ayakan yang digunakan berukuran 5 mm untuk mengayak pasir serta ukuran 2 mm digunakan untuk mengayak abu batu.



Gambar 4.1 Ayakan

2. Cetok dan Sekop

Cetok digunakan mengambil semen dan abu batu untuk dimasukkan pada ember yang selanjutnya ditimbang dan dimasukkan ke dalam mixer. Sekop digunakan untuk memasukkan semen ke dalam mixer serta memasukkan dan meratakan mortar pada cetakan paving block.



Gambar 4.2 Sekop

3. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menimbang bahan penyusun yang digunakan dalam pembuatan paving block. Timbangan yang dipakai menggunakan merk Milli dengan ketelitian 0,01 kg, timbangan merk Ohaus dengan ketelitian 1 gram, serta timbangan merk Ohaus dengan ketelitian 0,01 gram untuk proses uji keausan.



Gambar 4.3 Timbangan

4. Gelas ukur

Gelas ukur dengan volume 500 ml digunakan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan untuk campuran.



Gambar 4.4 Gelas Ukur

5. Mixer

Mesin pengaduk campuran atau mixer berfungsi untuk mencampur bahan penyusun paving block. Mixer yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 1,5 m.



Gambar 4.5 Mixer

6. Mesin press dan cetakan paving block

Mesin yang digunakan untuk mencetak paving block berupa mesin press dengan sistem hidrolik dan vibrator (penggetar). Sistem hidrolik berguna untuk menekan dan mengangkat cetakan, sedangkan vibrator berfungsi untuk menggerakkan campuran agar bergerak mengisi rongga-rongga yang belum terisi. Untuk cetakan paving block sudah terpasang pada mesin tersebut dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm.



Gambar 4. 6 Mesin Press Paving block

7. Cetakan silinder beton

Cetakan silinder dibutuhkan untuk pengujian berat volume pasir.



Gambar 4.7 Cetakan Silinder Beton

8. Saringan dan Mesin Penggetar

Saringan beserta mesin penggetar digunakan untuk memisahkan material berdasarkan gradasinya pada pengujian Analisa saringan agregat halus. Saringan yang digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus menggunakan satu set saringan mulai dari no. 3/8' hingga saringan no. 100.



Gambar 4.8 Saringan Agregat Halus dan Mesin Penggetar

9. Piknometer

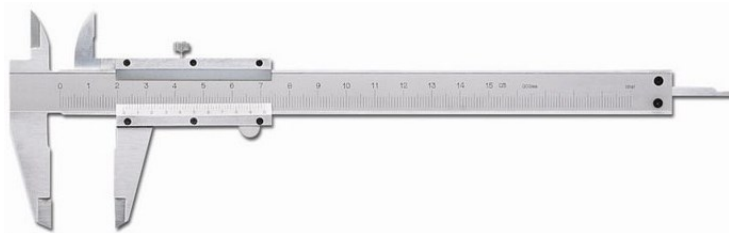
Piknometer berfungsi untuk mengukur berat air serta berat air dan agregat yang diperlukan pada pengujian berat jenis agregat halus. Piknometer yang digunakan memiliki kapasitas 500 ml.



Gambar 4.9 Piknometer

10. Jangka sorong

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur dimensi benda uji paving block secara akurat sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Jangka sorong merupakan alat ukur dimensi benda dengan ketelitian 0,05 mm.



Gambar 4.10 Kaliper atau Jangka Sorong

11. Oven

Oven diperlukan untuk mengeringkan agregat yang akan diuji berat jenisnya serta mengeringkan paving yang akan diuji penyerapan air.



Gambar 4.11 Oven

12. Gerinda potong

Gerinda potong digunakan untuk memotong benda uji paving block sebelum dilakukan uji kuat tekan maupun uji keausan. Pada uji kuat tekan, paving block dipotong menjadi kubus berukuran 6 x 6 x 6 cm sedangkan untuk uji keausan dipotong menjadi ukuran 5 x 5 x 2 cm.



Gambar 4.12 Gerinda Potong

13. Mesin uji keausan

Mesin uji keausan dilengkapi dengan motor penggerak, gerigi besi serta besi pemberat untuk menekan benda uji. Mesin uji keausan digunakan pada uji keausan paving untuk selanjutnya diperoleh nilai keausan paving block.



Gambar 4.13 Mesin Uji Keausan

14. Mesin uji kuat tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji universal (Universal Testing Machine) dengan pembacaan jarum dengan kapasitas tekan 30.000 kg. Alat ini beroperasi dengan menggunakan sistem hidrolis.



Gambar 4.14 Mesin Uji Kuat Tekan (UTM)

15. Peralatan pendukung lainnya

Peralatan pendukung yang digunakan antara lain ember, karung, selang, papan kayu, serta bak perendaman.



Gambar 4.15 Ember dan Papan Kayu

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Proses penelitian ini diawali dengan persiapan bahan, pengujian bahan, pembuatan campuran untuk benda uji, pembuatan benda uji, perawatan benda uji hingga pengujian benda uji.

4.5.1 Persiapan Bahan

Persiapan bahan merupakan tahapan dimana semua yang berkaitan dengan pembuatan benda uji harus disiapkan. Bahan-bahan yang perlu disiapkan untuk pembuatan benda uji paving block adalah sebagai berikut :

1. Semen Portland

Semen Portland yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen curah Tipe I merk Tiga Roda yang berada di silo Pusat Inovasi Material Vulkanis Universitas Islam Indonesia. Pemeriksaan terhadap semen dilakukan dengan cara visual untuk memastikan semen dalam keadaan baik, butirannya halus dan tidak menggumpal.



Gambar 4.16 Semen

2. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan paving block ini adalah pasir vulkanik yang berasal dari aliran erupsi Gunung Merapi. Pasir yang digunakan untuk campuran menggunakan pasir lolos ayakan ukuran 5 mm.



Gambar 4.17 Pasir

3. Air

Air yang digunakan untuk pembuatan campuran adalah air sumur yang berada di Pusat Inovasi Material Vulkanis Universitas Islam Indonesia. Pemeriksaan air dilakukan secara visual untuk memastikan air yang digunakan dalam kondisi jernih, tidak berwarna, tidak berbau, serta tidak mengandung lumpur.



Gambar 4.18 Air

4. Abu batu

Abu batu yang digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran paving block adalah abu batu yang lolos ayakan nomor 16" dengan diameter 1,18 mm. Abu batu diperoleh dari limbah industri penggergajian batu yang berada di wilayah Cangkringan, Sleman.



Gambar 4.19 Abu Batu

4.5.2 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan penyusun paving block dengan bahan tambah abu batu. Bahan penyusun yang diteliti pada pengujian ini adalah pasir dan abu batu yang merupakan bahan pengisi utama paving block. Pengujian bahan menggunakan panduan dari Buku Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi.

1. Pengujian Analisis Saringan atau Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi diameter butiran agregat halus (pasir) dan abu batu serta modulus halus butir (MHB) agregat halus yang digunakan dalam campuran. Langkah-langkah pemeriksaan gradasi agregat halus adalah sebagai berikut :
 - a. Keringkan agregat dalam oven pada suhu $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - b. Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan timbangan ketelitian 0,5 gram.
 - c. Susun saringan dari ukuran lubang terbesar (4,75 mm), sampai lubang terkecil (0,15 mm). Masukkan benda uji kemudian hidupkan mesin pengguncang ayakan selama 10 menit.
 - d. Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukkan masing-masing benda uji ke dalam wadah, kemudian ditimbang dan dicatat berat

benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan. Dalam membersihkan saringan digunakan sikat untuk lubang besar dan kuas untuk lubang kecil.

- e. Gradasi pasir yang diperoleh dengan menghitung kumulatif persentase butir-butir yang lolos pada masing-masing saringan. Nilai modulus halus butir diperoleh dengan menjumlahkan persentase kumulatif butir yang tertahan kemudian dibagi seratus.

2. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Agregat Halus

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui berat volume padat dan gembur agregat halus (pasir) dan abu batu yang akan digunakan. Langkah-langkah pengujian berat volume agregat halus sesuai dengan SNI 03-4804-1998 sebagai berikut :

- a. Keringkan agregat halus hingga mencapai keadaan jenuh kering permukaan (SSD).
- b. Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan pasir per 1/3 bagian dan pada tiap bagian ditumbuk merata 25 kali, lalu diratakan dan dilanjutkan hingga volume agregat halus dalam silinder penuh. Sedangkan untuk pengujian berat volume gembur, agregat halus dimasukkan dalam silinder hingga penuh tanpa dilakukan pemadatan, lalu diratakan.
- c. Timbang berat silinder yang berisi benda uji dan dicatat beratnya.
- d. Hitung volume silinder.
- e. Untuk mendapatkan nilai berat volume, diperoleh dengan menghitung berat agregat dibagi dengan volume silinder.

3. Pengujian Berat Jenis Abu Batu

Pengujian berat jenis dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, serta nilai penyerapan air pada abu batu yang digunakan sebagai filler. Pengujian ini dilakukan untuk selanjutnya digunakan dalam mencari kadar rongga udara pada pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat. Langkah-langkah pengujian berat jenis abu batu adalah sebagai berikut:

- a. Masukkan air hingga penuh ke dalam piknometer lalu ditimbang dan dicatat beratnya.
 - b. Keluarkan air dari piknometer, lalu masukkan abu batu keadaan jenuh kering permukaan (SSD) sebanyak 500 gram ke dalam piknometer. Selanjutnya masukkan air hingga mencapai 90% volume piknometer, putar dan guncangkan piknometer sampai gelembung udara di dalamnya hilang. Tambahkan kembali air sampai penuh dan tutup piknometer.
 - c. Timbang piknometer yang berisi abu batu dan air lalu dicatat beratnya.
 - d. Keluarkan benda uji dari piknometer, kemudian keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji.
 - e. Setelah benda uji dingin, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya.
4. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat isi serta rongga udara dalam abu batu yang digunakan untuk paving block. Langkah-langkah pengujian dilaksanakan menurut SNI 03-4804-1998 sebagai berikut :

a. Kondisi Padat

Pada kondisi padat, pengujian dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Mengisi penakar berupa silinder besi sepertiga dari volume penuh dan meratakan dengan batang Perata
- 2) Menusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan menggunakan batang penusuk.
- 3) Mengisi agregat lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh, kemudian ratakan dan tusuk kembali seperti langkah 1) dan 2).
- 4) Mengisi penakar sampai berlebih dan ditusuk lagi.
- 5) Meratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Menimbang berat penakar beserta isinya menggunakan timbangan hingga ketelitian 0,05 kg. Dilanjutkan menimbang berat penakar sendiri.
- 7) Menghitung nilai berat isi agregat sesuai dengan persamaan 3.3 di atas.

8) Menghitung kadar rongga udara sesuai dengan persamaan 3.6.

b. Kondisi Gembur

- 1) Mengisi penakar dengan agregat menggunakan sekop atau sendok hingga berlebih dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- 2) Meratakan permukaan dengan batang Perata.
- 3) Menimbang berat penakar beserta isinya menggunakan timbangan hingga ketelitian 0,05 kg. Dilanjutkan menimbang berat penakar sendiri.
- 4) Menghitung nilai berat isi agregat sesuai dengan persamaan 3.3 di atas.
- 5) Menghitung kadar rongga udara sesuai dengan persamaan 3.6.

4.5.3 Pembuatan Campuran

1. Perhitungan dan Penimbangan Campuran

Pada tahap ini semua bahan yang diperlukan dihitung dan selanjutnya ditimbang sesuai kebutuhan dari masing-masing variasi campuran. Komposisi campuran menggunakan perbandingan volume, sehingga kebutuhan bahan ditentukan dengan takaran volume sesuai kebutuhan masing-masing variasi. Perbandingan volume semen dengan pasir yang digunakan adalah konstan 1 semen : 7 pasir dengan kebutuhan air menyesuaikan kondisi pada tiap campuran. Untuk komposisi abu batu bervariasi sesuai dengan 9 variasi campuran, seperti pada Tabel 4.1.

2. Pencampuran Bahan

Pencampuran dilakukan terpisah untuk setiap variasi. Langkah – Langkah pencampuran bahan paving block adalah sebagai berikut :

- a. Bahan penyusun yang sudah dihitung masing-masing dimasukkan ke dalam ember.
- b. Setelah semua bahan siap, campuran dimasukkan ke dalam mixer. Dilanjutkan menghidupkan mixer agar campuran teraduk. Saat campuran

sudah cukup homogen, air dimasukkan secara perlahan hingga tercampur secara merata.

- c. Setelah adukan homogen, tercampur, dan tingkat kelacakannya sesuai dengan yang dibutuhkan, maka campuran siap dimasukkan ke dalam alat pencetak.
- d. Pencampuran diulangi untuk tiap variasi berikutnya hingga selesai.

4.5.4 Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan mencetak campuran yang sudah diaduk ke dalam mesin press paving block. Langkah-langkah pencetakan paving block menggunakan mesin press adalah sebagai berikut :

1. Meletakkan alas cetakan berupa papan kayu tebal 2 cm pada meja kerja mesin.
2. Mengatur mesin pada posisi cetakan terbuka agar campuran dapat dimasukkan ke dalam cetakan.
3. Memasukkan campuran yang sudah siap ke dalam cetakan sampai penuh.
4. Menyalakan sistem penggetar pada mesin agar campuran memadat dan mengisi rongga-rongga yang kosong.
5. Memasukkan kembali campuran ke dalam cetakan yang turun akibat penggetaran dengan campuran yang sama.
6. Menyalakan sistem pemadat pada mesin agar terjadi proses pemadatan pada campuran dengan sistem penggetar juga dijalankan agar pemadatan berlangsung maksimal.
7. Setelah dirasa sudah padat, mesin dihentikan dan cetakan diangkat untuk selanjutnya paving block diletakkan pada tempat penumpukan.



Gambar 4.20 Tumpukan Paving Setelah Pencetakan

4.5.5 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji paving block dilakukan satu hari setelah proses pencetakan. Pada umur 1 hari setelah benda uji dirasa cukup keras dilakukan penyiraman menggunakan selang air. Penyiraman dilakukan 2 kali sampai benda uji berumur 2 hari. Setiap selesai dilakukan penyiraman, tumpukan benda uji ditutup menggunakan penutup berupa plastik atau terpal agar terjaga kelembabannya sampai paving block berumur 28 hari. Penutupan pada benda uji dimaksudkan agar proses pengerasan dan pengeringan benda uji berjalan sempurna serta untuk mencegah terjadinya retak atau pecah pada benda uji paving block.



Gambar 4.21 Penumpukan dan Penutupan Paving

4.5.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian pada benda uji paving block dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas paving block yang dihasilkan pada tiap variasi campuran. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Pengujian yang akan dilakukan berupa uji kuat tekan, penyerapan air, uji keausan serta pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras.

1. Pengujian Kuat Tekan

Setelah paving block berumur 28 hari, dapat dilakukan pengujian kuat tekan untuk mengetahui kuat tekan maksimum paving block. Langkah-langkah pengujian berdasarkan SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

- a. Memotong masing-masing sampel utuh menjadi bentuk kubus dengan ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm.
- b. Setelah benda uji dipotong, dibersihkan dari kotoran yang menempel.
- c. Menimbang benda uji menggunakan timbangan ketelitian 0,5 gram.
- d. Mengukur dimensi dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm.
- e. Meletakkan benda uji tepat di tengah alas alat uji.
- f. Menyalakan mesin dengan pemberian beban yang terus meningkat.
- g. Pembebanan dilakukan sampai beban yang diberikan menurun dan mencatat beban maksimum yang terjadi.
- h. Menghitung nilai kuat tekan dengan Persamaan 4.2 sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan, } \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan :

σ = kuat tekan

P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

- i. Kuat tekan rata-rata dari sampel paving block dihitung dengan jumlah kuat tekan dibagi jumlah sampel benda uji.



Gambar 4.22 Uji Kuat Tekan

2. Pengujian Penyerapan Air

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

- a. Merendam benda uji dalam air hingga jenuh selama 24 jam, kemudian menimbang beratnya dalam keadaan basah menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,5 gram.
- b. Mengeringkan benda uji pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam sampai berat pada dua kali penimbangan selisihnya tidak lebih dari 0,2%.
- c. Menimbang benda uji dalam keadaan kering oven.
- d. Menghitung nilai penyerapan air dengan Persamaan 4.3 sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan :

A = berat paving block basah

B = berat paving block basah

3. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan suatu benda uji paving block dalam menahan gaya gesek yang terjadi pada permukaan benda uji yang terkena gesekan terus menerus oleh mesin pengaus. Semakin kecil nilai keausan paving block maka semakin baik mutu paving block tersebut dan berlaku sebaliknya. Langkah-langkah pengujian keausan paving block adalah sebagai berikut :

- a. Memotong masing-masing sampel utuh menjadi bentuk balok dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 2 cm.
- b. Setelah benda uji dipotong, dibersihkan dari kotoran yang menempel.
- c. Menimbang benda uji menggunakan timbangan ketelitian 0,01 gram.
- d. Meletakkan benda uji tepat di tengah alas alat uji dan dipasang dengan kencang agar tidak bergeser pada saat pengujian berlangsung.
- e. Menyalakan mesin pengaus selama 10 menit.
- f. Setelah 10 menit, lepaskan benda uji dari mesin dan bersihkan dengan menggunakan sikat.
- g. Timbang benda uji yang sudah dilakukan pengujian dan catat hasilnya. S
- h. Menghitung nilai keausan dengan Persamaan 4.4 sebagai berikut.

$$D = 1,26 G + 0,0246 \dots\dots\dots (4.4)$$

Dengan :

D = keausan (mm/menit)

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

(Sumber : Laboratorium Bahan Bangunan, Universitas Gadjah Mada)



Gambar 4.23 Uji Keausan

4. Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga dalam Beton yang Telah Mengeras

Pada pengujian ini menggunakan SNI 03-6433-2000 Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton yang Telah Mengeras sebagai acuan. Pengujian ini dilaksanakan untuk mendapatkan persentase rongga dalam beton yang telah mengeras berupa paving block. Metode dalam pengujian ini mencakup penentuan kerapatan, persentase penyerapan, dan persentase rongga dalam beton yang telah mengeras. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui persentase rongga yang paling minimum dari variasi campuran abu batu pada paving block. Langkah-langkah pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras adalah sebagai berikut.

a. Menyiapkan benda uji

Benda uji yang digunakan dapat berupa potongan-potongan silinder, beton inti, atau balok dengan bentuk dan ukuran yang dikehendaki. Syarat volume masing-masing benda uji tidak boleh kecil dari 350 cm^3 (atau untuk berat beton normal sekitar 800 gram) dan harus bebas dari retak-retak, celah-celah, atau sisi yang hancur.

b. Massa kering oven

Menimbang massa benda uji, dilanjutkan dengan memasukkan benda uji ke dalam oven pada suhu 100 hingga 110°C selama tidak kurang dari 24 jam. Setelah selesai proses oven, benda uji dikeluarkan dan didiamkan hingga dingin dalam udara kering dengan suhu 20 sampai 25°C. Selanjutnya benda uji ditimbang kembali untuk mendapatkan massa kering oven, hasil penimbangan didefinisikan dengan notasi A.

c. Massa jenuh setelah perendaman

Setelah selesai proses massa kering oven, selanjutnya melakukan perendaman benda uji di dalam air pada temperatur $\pm 21^\circ\text{C}$ selama tidak kurang dari 48 jam. Setelah mencapai waktu perendaman, mengangkat dan mengeringkan benda uji dengan handuk atau sejenisnya untuk menghilangkan kelembaban permukaan. Selanjutnya menimbang benda uji untuk memperoleh massa jenuh setelah perendaman, yang didefinisikan dengan notasi B.

d. Massa jenuh setelah pendidihan

Menempatkan benda uji dalam wadah yang sesuai dan menuangkan air bersih hingga terendam. Selanjutnya mendidihkan benda uji selama 5 jam. Setelah itu mendiamkan benda uji agar dingin secara alamiah selama tidak kurang dari 14 jam hingga mencapai temperatur 20 sampai 25°C. Menghilangkan kelembaban permukaan dengan handuk dan menimbang massa benda uji untuk mendapatkan massa jenuh setelah pendidihan. Hasil penimbangan benda uji didefinisikan dengan C.

e. Massa perendaman semu

Menggantungkan benda uji yang telah melalui proses oven, perendaman, dan pendidihan pada alat timbangan berat semu yang terdapat di laboratorium. Alat penimbangan berat semu terdiri dari ember yang terisi air, wadah saringan untuk menempatkan benda uji, serta kawat yang digantungkan pada timbangan digital di atasnya. Mencatat hasil penimbangan yang didefinisikan dengan D

- f. Melakukan olah data dan analisis perhitungan hasil pengujian menggunakan Persamaan 3.8 hingga 3.14 di atas.

4.6 Harga Pokok Produksi dan Analisis Kelayakan Investasi Paving block Dengan Filler Abu Batu

4.6.1 Data yang Diperlukan

Data yang diperlukan untuk menentukan harga pokok produksi adalah sebagai berikut:

1. Data biaya produksi yang meliputi :
 - a. Menghitung biaya material seperti semen, pasir, dan abu batu,
 - b. Menghitung biaya upah tukang,
 - c. Menghitung biaya konsumsi,
 - d. Menghitung biaya alat,
 - e. Menghitung biaya perawatan alat,
 - f. Menghitung biaya bangunan,
 - g. Menghitung biaya THR,
 - h. Menghitung biaya pengeluaran per hari.
2. Produktivitas tenaga kerja (tukang)
3. Data harga paving block yang ada di pasaran

4.6.2 Penentuan Harga Pokok Produksi

Menentukan harga pokok produksi adalah bagaimana memperhitungkan seluruh biaya yang diperlukan untuk membuat suatu produk. Dapat memasukkan seluruh biaya produksi atau hanya memasukkan unsur biaya variabel saja. Dalam penelitian ini, digunakan unsur biaya produksi variabel (variable costing) untuk menentukan harga pokok produksi paving block dengan bahan tambah abu batu.

Pengumpulan data melalui analisis harga pokok produksi dilakukan dengan beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut.

1. Studi Pustaka

Dilakukan dengan mencari literatur yang berhubungan dengan penelitian tentang analisis harga pokok produksi paving block.

2. Wawancara

Melakukan wawancara dengan pihak yang berkompeten sesuai dengan data yang dibutuhkan. Pihak yang berkompeten pada hal ini adalah pengurus PIMVM UII serta pemilik took bangunan di sekitar Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia.

3. Survei

Untuk membandingkan harga paving block di pasaran dengan paving block abu batu hasil penelitian maka perlu dilakukan survei langsung ke produsen paving block yang ada di wilayah Kabupaten Sleman.

4.6.3 Analisis Kelayakan Investasi Paving block

Pada tahap ini dilakukan analisis kelayakan investasi dengan menghitung Break Even Point (BEP). BEP adalah ketika semua biaya yang dikeluarkan untuk operasi produksi dapat dipenuhi oleh pendapatan dari penjualan produk. Pada penelitian ini, penentuan BEP berfungsi untuk menghitung berapa lama perusahaan produsen paving block mencapai titik impas atau balik modal dan menghasilkan keuntungan. BEP dapat diketahui setelah diperoleh nilai modal awal serta harga pokok produksi paving block.

4.7 Analisis Data dan Pembahasan Hasil Pengujian

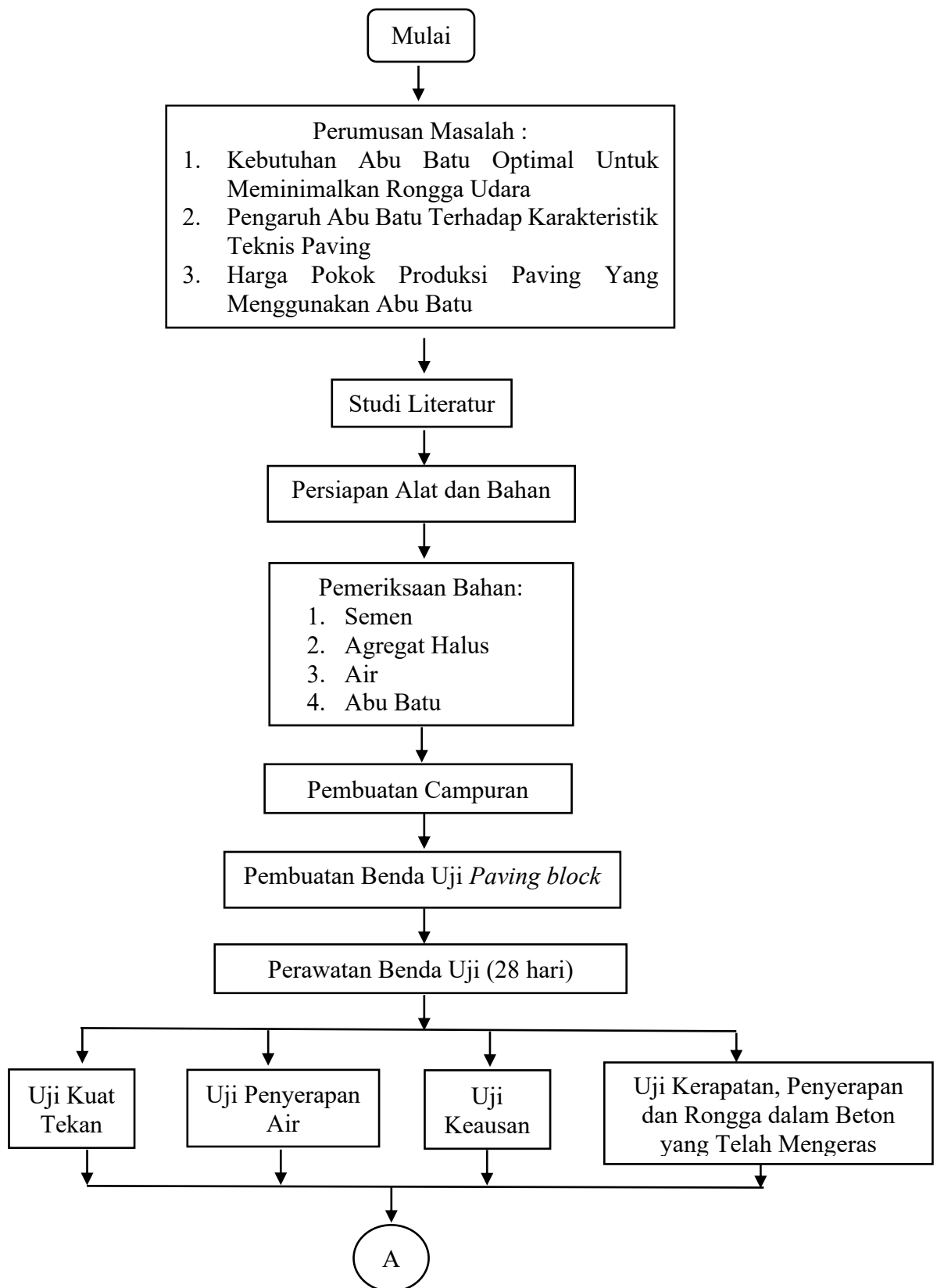
Setelah seluruh tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan, dilanjutkan dengan analisis data atas hasil pengujian yang sudah diperoleh. Langkah-langkah analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

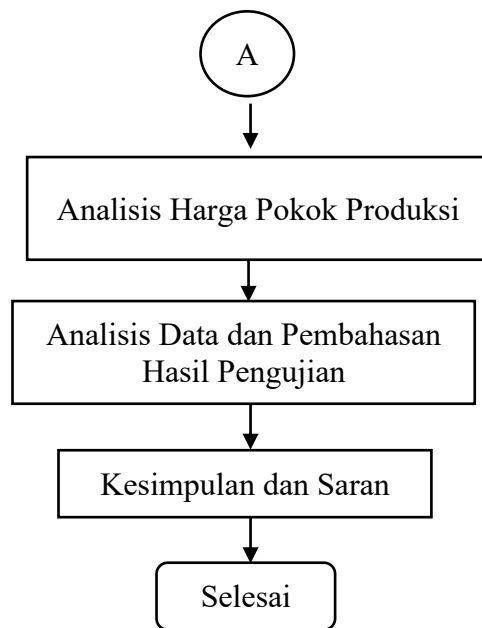
1. Menghitung dan menyusun data-data hasil pengujian bahan penyusun paving block, dengan membuat tabel dan grafik yang memuat hasil pencatatan dari masing-masing pengujian bahan penyusun.
2. Membandingkan data-data hasil pengujian antar variasi paving block dengan membuat tabel dan grafik. Tabel dan grafik tersebut memuat hasil pencatatan dari uji masing-masing variasi campuran paving block.

3. Menyusun pembahasan dari hasil pengujian paving block yang dilakukan dengan klasifikasi mutu SNI 03-0691-1996 yaitu persentase penyerapan air, nilai kuat tekan, nilai keausan, selanjutnya persentase rongga dalam beton yang telah mengeras serta hasil perhitungan harga pokok produksi paving block.
4. Membuat kesimpulan dan saran mengenai tugas akhir berdasarkan hasil pengujian yang sudah diperoleh.

4.8 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan uraian-uraian di atas dapat disusun bagan alir (flow chart) penelitian. Berikut Gambar 4.1 di bawah ini adalah flow chart pelaksanaan penelitian pembuatan paving block dengan bahan pengisi abu batu yang dimulai dari persiapan peralatan dan bahan, pengujian bahan penyusun, pengujian benda uji, hingga kesimpulan dan saran penelitian.





Gambar 4.24 Bagan Alir (Flowchart) Pelaksanaan Penelitian

BAB V

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari proses produksi paving block dan pengujian-pengujian yang telah dilaksanakan di laboratorium. Hasil penelitian meliputi pengujian karakteristik bahan penyusun, pengujian sampel benda uji paving block yang berupa kuat tekan, penyerapan air, dan keausan serta pengujian kerapatan, penyerapan dan rongga dalam beton yang telah mengeras. Selanjutnya akan ditentukan harga pokok produksi dan analisis kelayakan investasi paving block sesuai dengan campuran yang paling optimal.

5.2 Pengujian Properties Bahan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan untuk campuran pembuatan paving block. Bahan yang digunakan untuk campuran adalah pasir pasir yang lolos saringan ukuran 4,80 mm serta abu batu lolos saringan ukuran 1,20 mm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian analisa saringan agregat halus, pengujian berat isi padat dan gembur, serta pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat.

5.2.1 Pengujian Analisa Saringan dan Modulus Halus Butir (MHB) Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai Modulus Halus Butir (MHB) serta gradasi pasir yang digunakan sebagai agregat halus dalam pembuatan paving block. Pengujian analisa saringan menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Melalui pengujian ini akan diperoleh penggolongan pasir pada daerah tertentu. Hasil dari pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		Rata-rata
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,6	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
4,8	28	24	1,40	1,20	1,40	1,20	98,60	98,80	98,70
2,4	145	125	7,26	6,25	8,66	7,45	91,34	92,55	91,94
1,2	260	227	13,01	11,36	21,67	18,81	78,33	81,19	79,76
0,6	509	518	25,48	25,91	47,15	44,72	52,85	55,28	54,07
0,3	383	403	19,17	20,16	66,32	64,88	33,68	35,12	34,40
0,15	339	344	16,97	17,21	83,28	82,09	16,72	17,91	17,31
Sisa	334	358	16,72	17,91	100	100	0,00	0,00	0,00
Jumlah	1998	1999	100	100	228,48	219,16			

1. Analisis Perhitungan

a. Berat tertinggal sampel 1, gram (diperoleh dari pengujian)

b. Berat tertinggal sampel 1, % = $\frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$

$$\text{Lubang ayakan 9,6 mm} = \frac{0}{1998} \times 100\% = 0,00\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{28}{1998} \times 100\% = 1,40\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{145}{1998} \times 100\% = 7,26\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{260}{1998} \times 100\% = 13,01\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = \frac{509}{1998} \times 100\% = 25,48\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = \frac{383}{1998} \times 100\% = 19,17\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{339}{1998} \times 100\% = 16,97\%$$

c. Berat tertinggal kumulatif sampel 1, % =

Lubang ayakan 9,6 mm	= 0%	
Lubang ayakan 4,8 mm	= 0 + 1,40	= 1,40%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 1,40 + 7,26	= 8,66%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 8,66 + 13,01	= 21,67%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 21,67 + 25,48	= 47,15%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 47,15 + 19,17	= 66,32%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 66,32 + 16,97	= 83,28%

d. Berat lolos kumulatif sampel 1, % =

Lubang ayakan 9,6 mm	= 100 - 0	= 100%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100 - 1,40	= 98,60%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100 - 8,66	= 91,34%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100 - 21,67	= 78,33%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100 - 47,15	= 52,85%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100 - 66,32	= 33,68%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100 - 83,28	= 16,72%

e. Perhitungan berat lolos kumulatif dari 2 sampel, % =

Lubang ayakan 9,6 mm	= $\frac{100+100}{2}$	= 100%
Lubang ayakan 4,8 mm	= $\frac{98,60+98,80}{2}$	= 98,70%
Lubang ayakan 4,8 mm	= $\frac{91,34+92,55}{2}$	= 91,94%
Lubang ayakan 1,2 mm	= $\frac{78,33+81,19}{2}$	= 79,76%
Lubang ayakan 0,6 mm	= $\frac{52,85+55,28}{2}$	= 54,07%
Lubang ayakan 0,3 mm	= $\frac{33,68+35,12}{2}$	= 34,40%
Lubang ayakan 0,15 mm	= $\frac{16,72+17,91}{2}$	= 17,31%

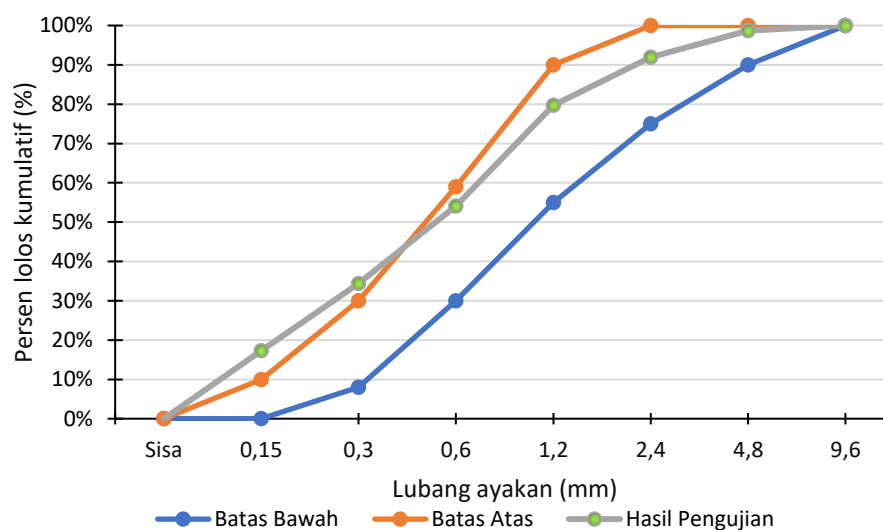
f. Modulus Halus Butir (MHB) rata-rata =

$$\frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{200} = \frac{228,48+219,16}{200}$$

$$= 2,238$$

g. Penggolongan daerah gradasi

Penggolongan daerah gradasi diperoleh dengan memasukkan hasil perhitungan lolos kumulatif dengan batas-batas gradasi agregat halus yang terdapat pada Tabel 3.2. Daerah gradasi pasir ditunjukkan dengan grafik seperti pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Gradasi Daerah III Material Pasir Agak Halus

2. Pembahasan

Dari hasil analisis perhitungan diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) pasir sebesar 2,238. Berdasarkan SII. 0052-80 agregat halus normal memiliki nilai MHB sebesar 1,5 – 3,8. Hal tersebut menunjukkan pasir yang digunakan untuk campuran benda uji telah memenuhi nilai MHB. Pada penggolongan daerah gradasi, pasir yang digunakan termasuk dalam kategori gradasi III yaitu daerah gradasi dengan jenis pasir agak halus.

5.2.2 Pengujian Analisa Saringan dan Modulus Halus Butir (MHB) Abu Batu

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai Modulus Halus Butir (MHB) abu batu yang akan digunakan dalam campuran paving block. Metode pengujian yang digunakan untuk pengujian ini sama dengan pengujian analisa

saringan yang dilakukan pada pasir. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.2 seperti berikut.

Tabel 5.2 Analisis Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Abu Batu

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
9,6	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100
4,8	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100
2,4	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100
1,2	3	4	0,15	0,20	0,15	0,20	99,85	99,80	99,82
0,6	24	37	1,20	1,85	1,35	2,05	98,65	97,95	98,30
0,3	33	35	1,65	1,75	3,01	3,80	96,99	96,20	96,59
0,15	164	1113	8,22	55,71	11,23	59,51	88,77	40,49	64,63
Sisa	1771	809	88,77	40,49	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Jumlah	1995	1998	100	100	15,74	65,57			

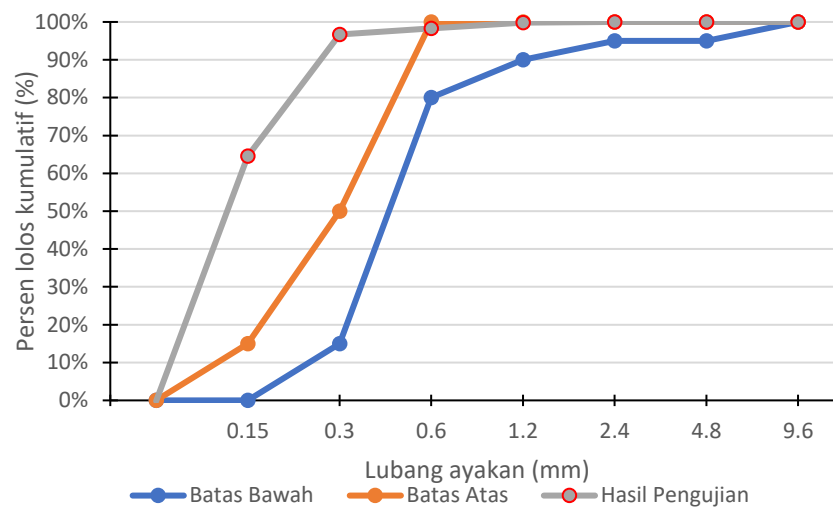
1. Analisis Perhitungan

Langkah-langkah analisis perhitungan untuk analisa saringan pada abu batu sama dengan analisa saringan untuk pasir. Perhitungan nilai MHB untuk abu batu adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Modulus Halus Butir (MHB) rata-rata} &= \\
 &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{200} \\
 &= \frac{15,74+65,57}{200} \\
 &= 0,406
 \end{aligned}$$

b. Penggolongan daerah gradasi

Daerah gradasi abu batu ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Gradasi Daerah IV Material Pasir Halus

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan di atas, diperoleh nilai MHB abu batu sebesar 0,406 dan penggolongan daerah gradasi abu batu. Syarat nilai MHB dari agregat halus adalah sebesar 1,5 – 3,8, maka abu batu yang diuji tidak termasuk pada golongan agregat halus. Selanjutnya untuk penggolongan daerah gradasi, abu batu tidak memenuhi syarat gradasi daerah IV karena bagian yang lolos ayakan ukuran 0,15 dan 0,3 lebih dari batas persentase lolos kumulatif yang ditentukan sehingga tidak termasuk pada gradasi daerah IV.

5.2.3 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Pasir

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai berat volume pasir saat kondisi padat maupun gembur. Pasir yang diuji dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3 serta 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pasir

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Tabung (W1), gram	7384
2	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2), gram	16189
3	Berat Agregat (W3), gram	8805
4	Volume Tabung (V), cm ³	5289,447
5	Berat Isi Padat, gram/cm ³	1,664

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Tabung (W1), gram	7384
2	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2), gram	14016
3	Berat Agregat (W3), gram	6632
4	Volume Tabung (V), cm ³	5289,448
5	Berat Isi Gembur, gram/cm ³	1,254

1. Analisis Perhitungan

Contoh analisis perhitungan menggunakan hasil pengujian berat volume padat pasir seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat pasir (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 16189 - 7384 \\
 &= 8805 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,93^2 \times 30,20 \\
 &= 5289,447 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8805}{5289,447} \\
 &= 1,664 \text{ gram/ cm}^3
 \end{aligned}$$

2. Pembahasan

Dari hasil analisis perhitungan diperoleh nilai berat volume padat pasir sebesar 1,664 gram/ cm³ dan berat volume gembur pasir sebesar 1,254 gram/ cm³.

5.2.4 Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Abu Batu

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai berat volume padat dan gembur abu batu yang akan digunakan dalam campuran paving block. Metode pengujian yang digunakan untuk pengujian ini sama dengan pengujian berat volume yang dilakukan pada pasir. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan 5.6 seperti berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Tabung (W1), gram	7376
2	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2), gram	14982
3	Berat Agregat (W3), gram	7606
4	Volume Tabung (V), cm ³	5289,448
5	Berat Isi Padat, gram/cm ³	1,438

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu Batu

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Tabung (W1), gram	7376
2	Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2), gram	13749
3	Berat Agregat (W3), gram	6373
4	Volume Tabung (V), cm ³	5289,448
5	Berat Isi Gembur, gram/cm ³	1,205

1. Analisis Perhitungan

Langkah-langkah analisis perhitungan untuk berat volume padat dan gembur pada abu batu sama dengan berat volume untuk pasir. Perhitungan nilai berat volume untuk abu batu adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7606}{5289,448} \\
 &= 1,438 \text{ gram/ cm}^3 \\
 \text{b. Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6373}{5289,448} \\
 &= 1,205 \text{ gram/ cm}^3
 \end{aligned}$$

2. Pembahasan

Dari hasil analisis perhitungan diperoleh nilai berat volume padat abu batu sebesar 1,438 gram/ cm³ dan berat volume gembur abu batu sebesar 1,205 gram/ cm³.

5.2.5 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Abu Batu

Pengujian ini terdiri atas pengujian berat volume padat serta berat jenis abu batu untuk selanjutnya diperoleh persentase rongga udara pada abu batu yang akan digunakan untuk campuran paving block. Abu batu yang diuji dalam keadaan kering oven. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.7 hingga 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu Kering Oven

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Agregat dan Penakar (G), kg	14,859
2	Berat Penakar (T), kg	6,571
3	Volume Penakar (V), m ³	0,006966
4	Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (M), kg/m ³	1189,783153

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat abu batu kering mutlak, gram (Bk)	483
Berat abu batu kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi abu batu dan air (Bt), gram	1041
Berat piknometer berisi air (B), gram	733
Berat Jenis Curah	2,5156
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6042
Berat Jenis semu	2,76
Penyerapan Air	3,52%

Tabel 5.9 Berat Volume Padat Abu Batu Kondisi Kering Permukaan

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (M), kg/m ³	1189,783153
2	Absorpsi (A), %	3,52%
3	Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Permukaan (Mssd), kg/m ³	1190,201917

Tabel 5.10 Kadar Rongga Udara Dalam Abu Batu

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1	Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (M), kg/m ³	1189,7832
2	Berat Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (S)	2515,63
3	Kerapatan Air (w), 998 kg/m ³	998
4	Rongga Udara, %	52,7043%

1. Analisis Perhitungan

Langkah-langkah analisis perhitungan untuk pengujian berat isi dan rongga udara dalam abu batu menggunakan persamaan 3.4 sampai dengan 3.7.

a. Berat volume padat dalam kondisi kering oven (M)

1) Berat agregat dan penakar (G) = 14,859 kg

2) Berat penakar (T) = 6,571 kg

$$3) \text{ Volume Tabung (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (0,14787)^2 \times 0,4056$$

$$= 0,00696 \text{ cm}^3$$

$$4) \text{ Berat volume padat abu batu} = \frac{(G-T)}{V}$$

$$= \frac{(14,859-6,571)}{0,00696}$$

$$= 1189,783 \text{ kg/m}^3$$

b. Berat jenis abu batu

$$1) \text{ Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{483}{(733+500-1041)}$$

$$= 2,515$$

$$2) \text{ Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} = \frac{500}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{500}{(733+500-1041)}$$

$$= 2,604$$

$$3) \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$= \frac{483}{(733+483-1041)}$$

$$= 2,76$$

$$4) \text{ Penyerapan air} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{500 - 483}{483} \times 100\%$$

$$= 3,52\%$$

c. Berat volume padat abu batu dalam keadaan kering permukaan (Mssd)

1) Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (M) = 1189,783 kg/m³

$$2) \text{ Absorpsi/Penyerapan air (A)} = 3,52\%$$

$$3) \text{ Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Permukaan (Mssd)}$$

$$\begin{aligned} M_{SSD} &= M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \\ &= 1189,783 \left[1 + \left(\frac{3,52}{100} \right) \right] \\ &= 1190,201 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d. Kadar rongga udara dalam abu batu

$$1) \text{ Berat Isi Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (M)}$$

$$M = 1189,783 \text{ kg/m}^3$$

$$2) \text{ Berat Agregat Dalam Kondisi Kering Oven (S)}$$

$$\begin{aligned} S &= 2,52 \times 1000 \\ &= 2520 \end{aligned}$$

$$3) \text{ Kerapatan air (w)} = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Rongga udara} &= \frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\% \\ &= \frac{[(2520 \times 998) - 1189,783]}{(2520 \times 998)} \times 100\% \\ &= 52,704\% \end{aligned}$$

2. Pembahasan

Melalui analisis perhitungan diperoleh nilai berat volume, berat jenis, hingga kadar rongga udara dalam abu batu. Nilai berat volume padat abu batu keadaan kering oven diperoleh sebesar 1189,783 kg/m³. Selanjutnya untuk nilai berat jenis semu didapat sebesar 2,76 dan penyerapan air sebesar 3,52%. Sedangkan nilai berat volume padat abu batu keadaan kering permukaan diperoleh sebesar 1190,201 kg/m³. Setelah didapatkan nilai-nilai hasil pengujian diatas pada akhirnya diperoleh kadar rongga udara dalam abu batu sebesar 52,704%.

5.3 Perhitungan Kebutuhan Campuran

Dalam proses produksi paving block, dibutuhkan perhitungan kebutuhan material yang akan digunakan. Jumlah kebutuhan material disesuaikan dengan kebutuhan untuk setiap benda uji serta jumlah benda uji yang diperlukan. Pada

penelitian ini menggunakan perbandingan volume pada bahan penyusun untuk campuran paving block. Perhitungan kebutuhan campuran untuk paving block adalah sebagai berikut.

1. Kebutuhan benda uji untuk pengujian

Jumlah kebutuhan benda uji paving block untuk pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah. Jumlah kebutuhan total nantinya diperoleh dengan mengalikan jumlah kebutuhan benda uji per variasi dengan jumlah variasi yang ada.

Tabel 5.11 Kebutuhan Benda Uji Paving block Untuk Pengujian

No.	Pengujian	Kebutuhan
1	Penyerapan Air	5
2	Keausan	5
3	Kuat Tekan	5
4	Rongga dalam Beton	5
Jumlah Kebutuhan Benda Uji Per Variasi		20

Pada Tabel 5.11 di atas menunjukkan jumlah kebutuhan benda uji per variasi yaitu sebanyak 20 sampel, sedangkan terdapat 9 variasi campuran, sehingga total kebutuhan benda uji paving block untuk pengujian adalah sebanyak 180 benda uji.

2. Kebutuhan campuran

Pada penelitian ini digunakan perbandingan volume untuk perbandingan campuran. Sebelum membuat campuran untuk paving block, material yang akan digunakan sebagai campuran ditimbang untuk mengetahui gambaran berat volume untuk selanjutnya diketahui kebutuhan material untuk setiap benda uji.

a. Berat volume material

$$\text{Berat volume semen} = 1,506 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Berat volume pasir} = 1,664 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Berat volume abu batu} = 1,437 \text{ gram/cm}^3$$

b. Volume benda uji

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 paving block tipe holland tebal 6 cm} &= 20 \times 10 \times 6 \\ &= 1.200 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor pencampuran} &= 1,2 \times 1200 \\ &= 1.440 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 24 paving block tipe holland tebal 6 cm} &= 24 \times 1.440 \text{ cm}^3 \\ &= 34.560 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

c. Kebutuhan material 1 variasi paving block (24 buah)

$$\begin{aligned} 1) \text{ Kebutuhan semen} &= \frac{1}{8} \times \text{Berat vol. semen} \times \text{Volume paving} \\ &= \frac{1}{8} \times 1,506 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 6.505,92 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Kebutuhan pasir} &= \frac{7}{8} \times \text{Berat vol. pasir} \times \text{Volume paving} \\ &= \frac{7}{8} \times 1,664 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 50.338,56 \text{ gram} \end{aligned}$$

3) Kebutuhan abu batu

$$\begin{aligned} a) \text{ Variasi I (0\%)} &= \frac{0}{8} \times \text{Berat vol. abu batu} \times \text{Volume paving} \\ &= \frac{0}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 0 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b) \text{ Variasi II (50\%)} &= \frac{0,5}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 3.105,98 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c) \text{ Variasi III (100\%)} &= \frac{1}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 6.211,96 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d) \text{ Variasi IV (150\%)} &= \frac{1,5}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\ &= 9.317,96 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e) Variasi V (200\%)} &= \frac{2}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\
 &= 12.423,95 \text{ gram} \\
 \text{f) Variasi VI (250\%)} &= \frac{2,5}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\
 &= 15.529,94 \text{ gram} \\
 \text{g) Variasi VII (300\%)} &= \frac{3}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\
 &= 18.635,93 \text{ gram} \\
 \text{h) Variasi VIII (350\%)} &= \frac{3,5}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\
 &= 21.741,91 \text{ gram} \\
 \text{i) Variasi IX (400\%)} &= \frac{4}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 34.560 \text{ cm}^3 \\
 &= 24.847,9 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kebutuhan campuran paving block dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Kebutuhan Campuran Paving block

Kode Benda Uji	Variasi (%)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Abu Batu (kg)	Air (liter)	Jumlah Benda Uji
P I	0	13,011	100,677	0	4	36
P II	50	6,505	50,338	3,105	2,5	24
P III	100	6,505	50,338	6,211	3	24
P IV	150	6,505	50,338	9,317	3	24
P V	200	6,505	50,338	12,423	3	24
P VI	250	6,505	50,338	15,529	3,5	24
P VII	300	6,505	50,338	18,635	3,5	24
P VIII	350	6,505	50,338	21,741	3,7	24
P IX	400	6,505	50,338	24,847	4	24

Dari Tabel 5.12 di atas dapat diketahui kebutuhan masing-masing material yang digunakan untuk campuran paving block. Pada kode benda uji P1 atau variasi

I menggunakan 13,011 kg semen dan 100,677 kg pasir yang menghasilkan sebanyak 36 benda uji paving block. Karena benda uji yang dibutuhkan hanya sebanyak 20 paving block, maka proporsi campuran semen dan pasir untuk variasi selanjutnya dikurangi menjadi setengahnya. Untuk perbandingan semen dan pasir tetap 1:7, dari yang sebelumnya 1 ember semen dan 7 ember pasir menjadi 0,5 ember semen dan 3,5 ember pasir. Sehingga kebutuhan campuran menjadi 6,505 kg semen dan 50,338 kg pasir.

5.4 Data Hasil Pengujian

Pengujian sampel paving block dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari dengan jumlah sampel sebanyak 5 benda uji untuk setiap variasi penambahan abu batu. Pengujian yang dilaksanakan meliputi uji kuat tekan, penyerapan air, keausan, serta pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras.

5.4.1 Pengujian Kuat Tekan Paving block

Pengujian kuat tekan paving block dilakukan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) kapasitas 30 ton yang terdapat pada Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia. Sebelum dilakukan pengujian, masing-masing benda uji dipotong berbentuk kubus dengan dimensi 6 x 6 x 6 cm terlebih dahulu menggunakan gerinda potong sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996. Setelah melakukan pemotongan selanjutnya melakukan pengukuran dimensi benda uji untuk mengetahui luas penampang. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi I (0%)	P I.1	61,35	61,95	65,45	5200	50994,58	3800,63	13,417
	P I.2	63,1	60,75	68,8	3750	36774,94	3833,33	9,593
	P I.3	61,35	61,1	66,85	3775	37020,10	3748,49	9,876
	P I.4	60,6	60,1	66,7	4650	45600,92	3642,06	12,521
	P I.5	62,9	59,55	65,2	5100	50013,92	3745,70	13,352
Rata-rata								11,752
Variasi II (50%)	P II.1	65,5	61,4	69,1	5950	58349,57	4021,70	14,509
	P II.2	63,15	63,1	67,3	5275	51730,08	3984,77	12,982
	P II.3	62	59,4	67,45	6700	65704,56	3682,80	17,841
	P II.4	59,8	59,4	65,8	7225	70853,05	3552,12	19,947
	P II.5	60,5	59,6	68,8	3950	38736,27	3605,80	10,743
Rata-rata								15,204
Variasi III (100%)	P III.1	61,7	60,75	67,8	4650	45600,92	3748,28	12,166
	P III.3	60,4	59,9	67,7	7650	75020,87	3617,96	20,736
	P III.4	61,85	59,15	66,35	8425	82621,03	3658,43	22,584
	P III.5	62,55	59,75	63,3	9400	92182,51	3737,36	24,665
Rata-rata								20,038

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi IV (150%)	P IV.1	62,05	62,5	68,75	6075	59575,40	3878,13	15,362
	P IV.2	63	61	62,95	10925	107137,65	3843,00	27,879
	P IV.3	61,45	62,7	65,85	7700	75511,21	3852,92	19,598
	P IV.4	59,9	59,85	60	6900	67665,89	3585,02	18,875
	P IV.5	61,9	61,6	65,2	8900	87279,19	3813,04	22,890
Rata-rata								20,921
Variasi V (200%)	P V.1	61,95	59,4	65	9500	93163,18	3679,83	25,317
	P V.2	61,3	61,1	63,15	8250	80904,86	3745,43	21,601
	P V.3	61,35	58,8	63,65	8150	79924,20	3607,38	22,156
	P V.4	59,2	61,05	64	9300	91201,85	3614,16	25,235
	P V.5	61,55	60,1	62,8	8600	84337,19	3699,16	22,799
Rata-rata								23,422
Variasi VI (250%)	P VI.2	64,45	64,6	65,55	6500	63743,23	4163,47	15,310
	P VI.3	63,55	62	66	6200	60801,23	3940,10	15,431
	P VI.4	64,6	65,8	65,7	5450	53446,24	4250,68	12,574
	P VI.5	63,25	61,5	65,75	5100	50013,92	3889,88	12,857
Rata-rata								14,043

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi VII (300%)	P VII.2	62,3	58,85	63,9	6700	65704,56	3666,36	17,921
	P VII.3	60,1	60,3	67,25	4450	43639,59	3624,03	12,042
	P VII.4	61,45	59,75	68,15	4950	48542,92	3671,64	13,221
	P VII.5	60,8	58,35	65,35	3250	31871,61	3547,68	8,984
Rata-rata								13,042
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	63,35	60,1	67,3	5450	53446,24	3807,34	14,038
	P VIII.2	64,2	62	68,9	4500	44129,93	3980,40	11,087
	P VIII.3	61,45	60	63,45	6600	64723,89	3687,00	17,555
	P VIII.4	62,5	61,25	66,2	3800	37265,27	3828,13	9,735
	P VIII.5	63,3	59,8	66,9	4600	45110,59	3785,34	11,917
Rata-rata								12,866
Variasi IX (400%)	P IX.1	62,9	59,25	65,75	3450	33832,94	3726,83	9,078
	P IX.2	62,45	60,25	65	4375	42904,09	3762,61	11,403
	P IX.3	59,5	60	68	4575	44865,42	3570,00	12,567
	P IX.4	58,5	56,8	68,2	3250	31871,61	3322,80	9,592
	P IX.5	63,1	60,8	68,4	3400	33342,61	3836,48	8,691
Rata-rata								10,266

1. Analisis Perhitungan

Pada analisis perhitungan ini, diambil hasil pengujian paving block pada variasi penambahan abu batu 0% dengan kode sampel P I.1 sebagai contoh perhitungan.

$$\begin{aligned} \text{Panjang (p)} &= 61,35 \text{ mm} \\ \text{Lebar (l)} &= 61,95 \text{ mm} \\ \text{Tebal (t)} &= 65,45 \text{ mm} \\ \text{Luas penampang (A)} &= p \times l \\ &= 61,35 \times 61,95 \\ &= 3.800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

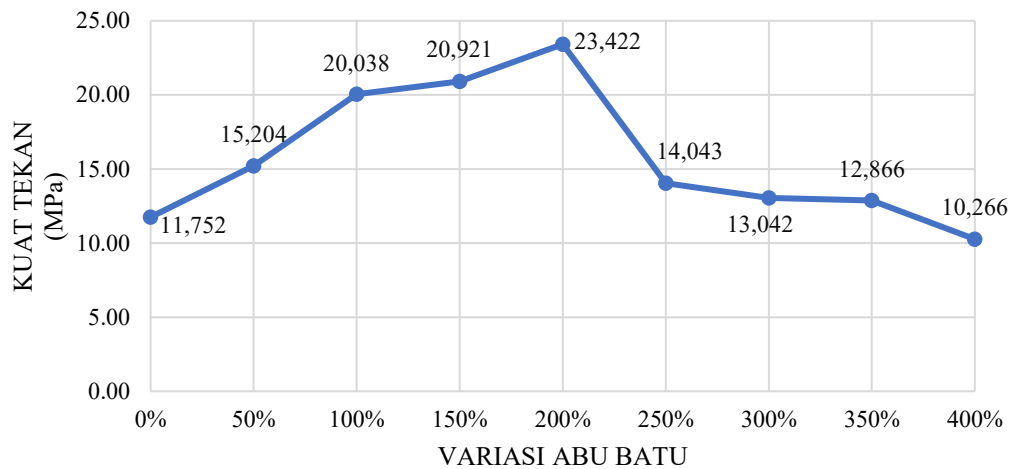
$$\begin{aligned} \text{Beban maksimal (P)} &= 5.200 \text{ kg} \\ &= 5.200 \times 9,81 \\ &= 50.995 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{50.995}{3.800} \\ &= 13,417 \text{ N/mm}^2 = 13,417 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari kelima hasil kuat tekan paving block pada variasi 0% dijumlahkan kemudian dibagi jumlah sampel yang diuji untuk memperoleh nilai kuat tekan rata-rata untuk tiap variasi. Perhitungan nilai kuat tekan rata-rata pada variasi I adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan rata-rata} &= \frac{\sum \sigma}{n} \\ &= \frac{13,417 + 9,593 + 9,876 + 12,521 + 13,352}{5} \\ &= 11,752 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai kuat tekan rata-rata pada tiap variasi, selanjutnya membuat grafik hasil pengujian kuat tekan rata-rata. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Paving block

2. Pembahasan

Dari hasil perhitungan nilai kuat tekan rata-rata, selanjutnya melakukan klasifikasi mutu paving block sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Klasifikasi mutu paving dapat dilihat pada Tabel 5.14 seperti berikut:

Tabel 5.14 Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving block

Kode Sampel	Variasi (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Standar Mutu Paving block		Klasifikasi Paving block
			Kode	Kuat tekan minimum (MPa)	
P I	0	11,752	D	8,5	Taman dan Penggunaan lain
P II	50	15,204	C	12,5	Pejalan Kaki
P III	100	20,038	B	17,0	Parkir
P IV	150	20,921	B	17,0	Parkir
P V	200	23,422	B	17,0	Parkir
P VI	250	14,043	C	12,5	Pejalan Kaki
P VII	300	13,042	D	8,5	Taman dan Penggunaan lain
P VIII	350	12,866	C	12,5	Pejalan Kaki
P IX	400	10,266	D	8,5	Taman dan Penggunaan lain

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan paving block diperoleh nilai kuat tekan benda uji yang meningkat seiring bertambahnya kadar abu batu dibandingkan dengan nilai kuat tekan paving block normal. Diketahui dari Gambar 5.2 di atas bahwa nilai kuat tekan terus menunjukkan kenaikan pada penambahan abu batu 50% hingga 200%. Kuat tekan optimum terjadi pada variasi abu batu sebesar 150% dan 200% kemudian mengalami penurunan seiring dengan penambahan variasi abu batu.

Dari hasil klasifikasi mutu paving block dengan kode P III, P IV, dan P V didapatkan mutu kuat tekan B dimana dapat digunakan untuk parkir. Berdasarkan Tabel 5.22 di atas dapat disimpulkan bahwa seluruh paving block yang diuji memenuhi persyaratan klasifikasi mutu SNI 03-0691-1996 dengan peruntukan penggunaannya masing-masing.

Hasil pengujian kuat tekan sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hameed & Sekar (2009) bahwa kuat tekan beton yang terbuat dari abu batu hampir 14 % lebih tinggi dari beton konvensional. Hal tersebut ditunjukkan pada paving block variasi 200% yang memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 23,422 MPa, lebih besar 199% dibandingkan paving block variasi 0% atau normal.

Peningkatan nilai kuat tekan terjadi dikarenakan abu batu memiliki sifat filler yaitu mampu mengisi rongga diantara agregat sehingga rongga udara menjadi lebih kecil, kerapatan dan penguncian antar butiran yang meningkat serta stabilitas campuran menjadi tinggi. Penambahan abu batu pada campuran beton juga dapat viskositas campuran yang dapat meminimalkan segregasi dan bleeding.

5.4.2 Pengujian Penyerapan Air Paving block

Pengujian penyerapan air pada paving block menggunakan oven dan kolam perendaman yang terdapat pada Laboratorium BKT. Pengujian dilakukan dengan melakukan perendaman benda uji serta proses oven. Sebelum dilakukan pengujian benda uji diberi tanda kode sampel terlebih dahulu. Hasil pengujian penyerapan air paving block dapat dilihat pada Tabel 5.15 di bawah sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block

Kode Sampel		Berat		Penyerapan Air (%)
		Basah (gr)	Kering (gr)	
Variasi I (0%)	P I.1	2828	2515	12,45
	P I.2	2850	2572	10,81
	P I.3	2871	2585	11,06
	P I.4	2734	2526	8,23
	P I.5	2828	2565	10,25
Rata-rata				10,56
Variasi II (50%)	P II.1	2840	2667	6,49
	P II.2	2870	2689	6,73
	P II.3	2930	2679	9,37
	P II.4	2894	2673	8,27
	P II.5	2817	2660	5,90
Rata-rata				7,35
Variasi III (100%)	P III.1	2824	2661	6,13
	P III.2	2814	2618	7,49
	P III.3	2787	2612	6,70
	P III.4	2819	2647	6,50
	P III.5	2826	2638	7,13
Rata-rata				6,79
Variasi IV (150%)	P IV.1	2767	2590	6,83
	P IV.2	2794	2558	9,23
	P IV.3	2809	2580	8,88
	P IV.4	2768	2572	7,62
	P IV.5	2819	2657	6,10
Rata-rata				7,73
Variasi V (200%)	P V.1	2725	2523	8,01
	P V.2	2688	2513	6,96
	P V.3	2735	2556	7,00
	P V.4	2791	2595	7,55
	P V.5	2709	2537	6,78
Rata-rata				7,26

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Penyerapan Air Paving block

Kode Sampel		Berat		Penyerapan Air (%)
		Basah (gr)	Kering (gr)	
Variasi VI (250%)	P VI.1	2803	2606	7,56
	P VI.2	2886	2677	7,81
	P VI.3	2746	2533	8,41
	P VI.4	2816	2622	7,40
	P VI.5	2791	2569	8,64
Rata-rata				7,96
Variasi VII (300%)	P VII.1	2932	2711	8,15
	P VII.2	2752	2528	8,86
	P VII.3	2661	2451	8,57
	P VII.4	2784	2552	9,09
	P VII.5	2856	2612	9,34
Rata-rata				8,80
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	2788	2577	8,19
	P VIII.2	2792	2560	9,06
	P VIII.3	2804	2565	9,32
	P VIII.4	2746	2534	8,37
	P VIII.5	2788	2544	9,59
Rata-rata				8,91
Variasi IX (400%)	P IX.1	2724	2413	12,89
	P IX.2	2703	2441	10,73
	P IX.3	2662	2418	10,09
	P IX.4	2687	2452	9,58
	P IX.5	2634	2498	5,44
Rata-rata				9,75

1. Analisis Perhitungan

Pada analisis perhitungan ini, diambil hasil pengujian penyerapan air paving block pada variasi penambahan abu batu 50% dengan kode sampel P II.1 sebagai contoh perhitungan.

Berat basah (Bb) = 2.840 gram

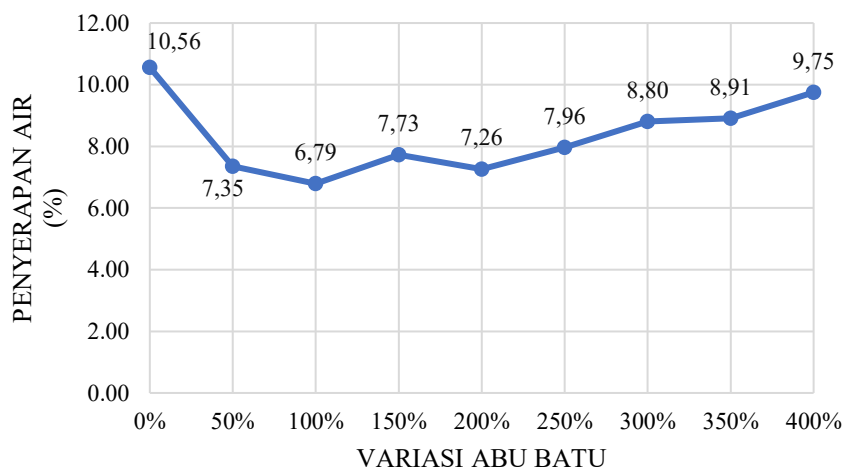
Berat kering (Bk) = 2.667 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air (Pa)} &= \frac{Bb - Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{2840 - 2667}{2667} \times 100\% \\
 &= 6,49\%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dari kelima hasil penyerapan air paving block pada variasi 50% dijumlahkan kemudian dibagi jumlah sampel yang diuji untuk memperoleh nilai penyerapan air rata-rata untuk tiap variasi. Perhitungan nilai penyerapan air rata-rata pada variasi II adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air rata-rata} &= \frac{\sum Pa}{n} \\
 &= \frac{6,49 + 6,73 + 9,37 + 8,27 + 5,90}{5} \\
 &= 7,35\%
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai penyerapan air rata-rata pada tiap variasi, selanjutnya membuat grafik hasil pengujian penyerapan rata-rata. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut :



Gambar 5.4 Grafik Penyerapan Air Rata-rata Paving block

2. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis perhitungan penyerapan air paving block maka diperoleh nilai penyerapan air rata-rata tiap variasi benda uji. Selanjutnya

dilakukan klasifikasi mutu sesuai SNI 03-0691-1996. Klasifikasi mutu paving berdasarkan nilai penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut:

Tabel 5.16 Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving block

Kode Sampel	Variasi (%)	Penyerapan Air Rata-rata (%)	Standar Mutu Paving block		Klasifikasi Paving block
			Kode	Penyerapan Air Maks.	
P I	0	10,56	D	10	Taman dan Penggunaan lain
P II	50	7,35	C	8	Pejalan Kaki
P III	100	6,79	C	8	Pejalan Kaki
P IV	150	7,73	C	8	Pejalan Kaki
P V	200	7,26	C	8	Pejalan Kaki
P VI	250	7,96	C	8	Pejalan Kaki
P VII	300	8,80	D	10	Taman dan Penggunaan lain
P VIII	350	8,91	D	10	Taman dan Penggunaan lain
P IX	400	9,75	D	10	Taman dan Penggunaan lain

Berdasarkan tabel dan grafik hasil pengujian penyerapan air paving block dapat diketahui bahwa nilai penyerapan air benda uji dengan penambahan abu batu semakin menurun dari nilai penyerapan air paving block normal. Benda uji dengan penyerapan air tertinggi terdapat pada variasi 0% sebesar 10,56% dan penyerapan air yang paling rendah terdapat pada variasi 100% sebesar 6,79%.

Dari Gambar 5.4 di atas diketahui bahwa nilai penyerapan air menunjukkan penurunan pada penambahan abu batu 50% hingga 200%, kemudian mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar abu batu. Dari Tabel 5.16 dapat diketahui klasifikasi mutu paving block berdasarkan nilai hasil pengujian penyerapan air. Klasifikasi mutu pada variasi 50% hingga 250% dapat digunakan untuk pejalan kaki, sedangkan sisanya masuk dalam penggunaan taman dan penggunaan lain. Berdasarkan tabel tersebut dapat

disimpulkan bahwa seluruh benda uji memenuhi persyaratan klasifikasi SNI 03-0691-1996 sesuai dengan penggunaannya masing-masing.

Berdasarkan hasil pengujian penyerapan air pada variasi campuran 0% abu batu diperoleh nilai rata-rata sebesar 10,56% dan merupakan nilai penyerapan tertinggi diantara variasi yang lain. Tanpa penambahan abu batu sebagai filler, gaya ikat yang terjadi pada paving block hanya antara semen dan pasir sehingga terdapat rongga kosong yang tidak terisi oleh material. Hal tersebut mengakibatkan paving block memiliki nilai penyerapan air yang tinggi.

Selanjutnya pada benda uji variasi 50% dan 100% abu batu mengalami penurunan penyerapan air menjadi 7,35% dan 6,79%. Hal ini terjadi dikarenakan terjadi gaya ikat antara pasir, semen dan abu batu sehingga dapat meminimalkan rongga yang dapat terisi oleh air dan nilai penyerapan air dapat menurun. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Alfiansyah (2017) yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin rendah nilai penyerapan air pada paving block. Hal ini terjadi dikarenakan semakin meningkatnya ikatan antar partikel penyusun paving block yang menyebabkan pori-pori atau rongga semakin kecil.

Setelah mengalami penurunan hingga variasi 250%, nilai penyerapan air kembali meningkat hingga variasi terakhir (400%). Peningkatan ini terjadi karena ikatan antar partikel yang menurun akibat kadar semen yang rendah, sehingga air dapat masuk pada rongga-rongga yang kosong.

5.4.3 Pengujian Keausan Paving block

Uji keausan paving block dilakukan mesin pengaus yang terdapat Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia. Sebelum diuji paving block dipotong terlebih dahulu menjadi ukuran 5 x 5 x 2 cm menggunakan gerinda potong. Setelah dipotong selanjutnya dibersihkan dari debu yang menempel dan ditimbang menggunakan timbangan ketelitian 0,01 gram. Selanjutnya benda uji yang telah ditimbang dipasang pada mesin pengaus hingga kencang agar tidak bergerak selama pengujian berlangsung. Pengujian keausan dilakukan selama 10

menit tiap benda uji. Hasil pengujian keausan paving block dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Keausan Paving block

Kode Sampel	Berat		Selisih (gr)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)	
	Awal (gr)	Akhir (gr)				
Variasi I (0%)	P I.1	122,92	121,85	1,07	10	0,159
	P I.2	119,58	118,35	1,23	10	0,180
	P I.3	113,56	112,21	1,35	10	0,195
	P I.4	117,5	115,71	1,79	10	0,250
	P I.5	116,57	114,91	1,66	10	0,234
Rata-rata						0,204
Variasi II (50%)	P II.1	122,68	121,38	1,3	10	0,188
	P II.2	134,35	133,39	0,96	10	0,146
	P II.3	133,18	131,44	1,74	10	0,244
	P II.4	132,99	132,16	0,83	10	0,129
	P II.5	146,35	145,16	1,19	10	0,175
Rata-rata						0,176
Variasi III (100%)	P III.1	134,8	133,02	1,78	10	0,249
	P III.2	132,56	130,96	1,6	10	0,226
	P III.3	126,28	124,96	1,32	10	0,191
	P III.4	131,54	129,7	1,84	10	0,256
	P III.5	135,3	133,61	1,69	10	0,238
Rata-rata						0,232
Variasi IV (150%)	P IV.1	129,77	128,37	1,4	10	0,201
	P IV.2	122,21	120,98	1,23	10	0,180
	P IV.3	128,29	126,78	1,51	10	0,215
	P IV.4	113,51	112,09	1,42	10	0,204
	P IV.5	114,08	112,21	1,87	10	0,260
Rata-rata						0,212
Variasi V (200%)	P V.1	138,2	136,81	1,39	10	0,200
	P V.2	115,49	113,95	1,54	10	0,219
	P V.3	113,93	112,51	1,42	10	0,204
	P V.4	121,99	120,36	1,63	10	0,230
	P V.5	117,03	115,03	2	10	0,277
Rata-rata						0,226

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Pengujian Keausan Paving block

Kode Sampel		Berat		Selisih (gr)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)
		Awal (gr)	Akhir (gr)			
Variasi VI (250%)	P VI.1	120,28	119,36	0,92	10	0,141
	P VI.2	119,64	118,46	1,18	10	0,173
	P VI.3	122,1	120,95	1,15	10	0,169
	P VI.4	128,83	127,62	1,21	10	0,177
	P VI.5	119,76	118,81	0,95	10	0,144
Rata-rata						0,161
Variasi VII (300%)	P VII.1	112,65	111,76	0,89	10	0,137
	P VII.2	105,71	104,85	0,86	10	0,133
	P VII.3	101,51	100,51	1	10	0,151
	P VII.4	129,21	128,65	0,56	10	0,095
	P VII.5	111,37	110,37	1	10	0,151
Rata-rata						0,133
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	89,56	88,21	1,35	10	0,195
	P VIII.2	107,3	106,11	1,19	10	0,175
	P VIII.3	111,6	110,52	1,08	10	0,161
	P VIII.4	98,83	97,71	1,12	10	0,166
	P VIII.5	119,68	118,7	0,98	10	0,148
Rata-rata						0,169
Variasi XI (400%)	P IX.1	96,57	95,42	1,15	10	0,169
	P IX.2	99,08	98,13	0,95	10	0,144
	P IX.3	99,2	97,83	1,37	10	0,197
	P IX.4	96,65	95,52	1,13	10	0,167
	P IX.5	95,87	94,56	1,31	10	0,190
Rata-rata						0,174

1. Analisis Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan, diambil sampel benda uji dengan kode P I.1 pada variasi abu batu 0% untuk memperoleh nilai uji keausan paving block. Analisis perhitungan pengujian keausan paving block adalah sebagai berikut.

Berat awal = 122,92 gram

Berat akhir = 121,85 gram

Lama pengujian = 10 menit

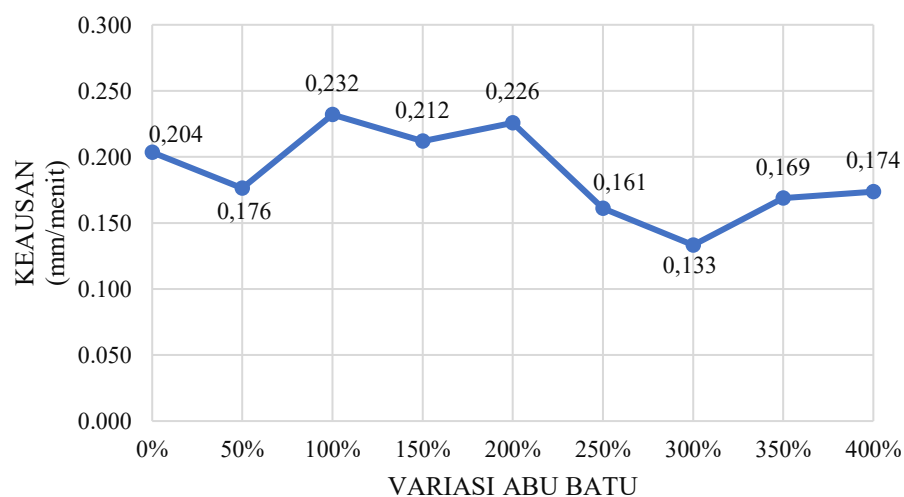
$$\begin{aligned} \text{Kehilangan berat (G)} &= \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Lama pengujian}} \\ &= \frac{122,92 - 121,85}{10} \\ &= 0,107 \text{ gram/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan (D)} &= 1,26 \times G + 0,0246 \\ &= 1,26 \times 0,107 + 0,0246 \\ &= 0,159 \text{ mm/menit} \end{aligned}$$

Selanjutnya dari kelima hasil uji keausan paving block pada variasi 0% dijumlahkan dan dibagi jumlah sampel yang diuji untuk memperoleh nilai keausan rata-rata untuk tiap variasi. Perhitungan nilai keausan rata-rata pada variasi abu batu 0% adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Keausan rata-rata} &= \frac{\sum D}{n} \\ &= \frac{0,159 + 0,180 + 0,195 + 0,250 + 0,234}{5} \\ &= 0,204 \text{ mm/menit} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai keausan rata-rata pada tiap variasi, selanjutnya membuat grafik hasil pengujian keausan rata-rata. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut :



Gambar 5.5 Grafik Keausan Rata-rata Paving block

2. Pembahasan

Setelah diperoleh nilai rata-rata keausan pada tiap variasi paving block selanjutnya melakukan klasifikasi mutu sesuai dengan SNI 03-0691-1996 berdasarkan nilai keausan masing-masing variasi. Hasil klasifikasi mutu paving block dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut:

Tabel 5.18 Klasifikasi Mutu dan Penggunaan Paving block

Kode Sampel	Variasi	Keausan Rata-rata	Standar Mutu Paving block		Klasifikasi Paving block
			Kode	Keausan Maks.	
	(%)	(mm/menit)			
P I	0	0,204	D	0,251	Taman dan Penggunaan lain
P II	50	0,176	C	0,184	Pejalan Kaki
P III	100	0,232	D	0,251	Taman dan Penggunaan lain
P IV	150	0,212	D	0,251	Taman dan Penggunaan lain
P V	200	0,226	D	0,251	Taman dan Penggunaan lain
P VI	250	0,161	C	0,184	Pejalan Kaki
P VII	300	0,133	B	0,149	Parkir
P VIII	350	0,169	C	0,184	Pejalan Kaki
P IX	400	0,174	C	0,184	Pejalan Kaki

Dari Gambar 5.5 di atas dapat diketahui dengan adanya penambahan abu batu menyebabkan keausan semakin tinggi pada variasi 100% hingga 200% dan mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar abu batu. Benda uji dengan nilai keausan tertinggi terdapat pada variasi 200% sebesar 0,226 mm/menit. Sedangkan nilai keausan terendah berada pada variasi 300% dengan nilai 0,133 mm/menit.

Berdasarkan Tabel 5.16 dapat diketahui klasifikasi mutu paving block berdasarkan nilai hasil pengujian keausan. Pada variasi yang memperoleh nilai keausan paling optimal yaitu variasi 300%, paving block dapat digunakan

untuk parkir. Sedangkan pada variasi yang memperoleh nilai keausan tertinggi pada variasi 200% dapat digunakan untuk taman dan penggunaan lain. Dari tabel tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa seluruh benda uji memenuhi klasifikasi SNI 03-0691-1996 dengan penggunaannya masing-masing.

Peningkatan keausan disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah agregat yang terlalu halus. Abu batu merupakan material yang tersusun atas partikel-partikel halus, semakin banyak penambahan batu pada campuran paving maka semakin tinggi nilai keausannya. Kenaikan nilai keausan seiring penambahan abu batu juga disebabkan oleh meningkatnya kadar abu batu yang akan menyebabkan disintegrasi (pemisahan) dalam campuran yang diikat oleh semen. Kerusakan semen dalam campuran menyebabkan menurunnya daya ikat antar butiran agregat, yang akan mengakibatkan nilai keausan di permukaan benda uji semakin tinggi.

Selanjutnya pada benda uji variasi 250% dan 300% abu batu mengalami penurunan keausan menjadi 0,161 mm/menit dan 0,133 mm/menit. Hal tersebut terjadi karena kadar abu batu yang terdapat pada campuran dapat mengisi rongga yang kosong sehingga paving block menjadi lebih padat.

Selain itu, nilai keausan yang tinggi juga disebabkan oleh gradasi pasir yang digunakan didominasi oleh butiran halus. Semakin kasar pasir yang digunakan akan semakin tinggi ketahanan ausnya. Kebalikannya, semakin halus atau terlalu banyak butiran halus pada pasir mengakibatkan ketahanan aus berkurang.

5.4.4 Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras.

Hasil pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras sesuai SNI 03-6433-2016 dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Massa Benda Uji

Kode Sampel	Massa Kering Oven		Massa Jenuh Setelah Perendaman (gr)	Massa Jenuh Setelah Pendidihan (gr)	Massa Perendaman Semu (gr)
	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)			
		A	B	C	D
P I.1	2568	2417	2665	2618	1401
P I.2	2663	2486	2748	2696	1473
P I.3	2713	2550	2824	2753	1485
P I.4	2687	2530	2795	2738	1491
P I.5	2661	2505	2746	2688	1489
Rata-rata		2497,6	2755,6	2698,6	1467,8
P II.1	2868	2712	2897	2859	1583
P II.2	2874	2698	2948	2881	1604
P II.3	2849	2665	2885	2833	1582
P II.4	2847	2681	2926	2867	1586
P II.5	2836	2678	2873	2820	1593
Rata-rata		2686,8	2905,8	2852,0	1589,6
P III.1	2727	2523	2778	2708	1501
P III.2	2865	2714	2894	2861	1556
P III.3	2869	2730	2882	2841	1596
P III.4	2713	2567	2748	2698	1478
P III.5	2780	2649	2794	2775	1514
Rata-rata		2636,6	2819,2	2776,6	1529,0
P IV.1	2730	2583	2732	2688	1479
P IV.2	2766	2612	2790	2730	1507
P IV.3	2757	2576	2747	2701	1490
P IV.4	2703	2568	2707	2661	1462
P IV.5	2611	2470	2655	2611	1428
Rata-rata		2561,8	2726,2	2678,2	1473,2
P V.1	2832	2626	2850	2801	1544
P V.2	2673	2484	2694	2653	1462
P V.3	2822	2603	2837	2785	1535
P V.4	2762	2552	2777	2726	1520
P V.5	2813	2604	2829	2765	1543
Rata-rata		2573,8	2797,4	2746,0	1520,8

Lanjutan Tabel 5.19 Massa Benda Uji

Kode Sampel	Massa Kering Oven		Massa Jenuh Setelah Perendaman (gr)	Massa Jenuh Setelah Pendidihan (gr)	Massa Perendaman Semu (gr)
	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)			
		A	B	C	D
P VI.1	2759	2587	2795	2783	1563
P VI.2	2675	2548	2726	2746	1454
P VI.3	2652	2523	2739	2752	1492
P VI.4	2663	2568	2690	2713	1488
P VI.5	2644	2529	2714	2730	1502
Rata-rata		2551,0	2732,8	2744,8	1499,8
P VII.1	2745	2570	2778	2717	1499
P VII.2	2682	2500	2700	2648	1462
P VII.3	2669	2489	2721	2649	1476
P VII.4	2780	2568	2794	2736	1519
P VII.5	2743	2563	2799	2729	1524
Rata-rata		2538	2758,4	2695,8	1496,0
P VIII.1	2716	2585	2732	2751	1527
P VIII.2	2762	2618	2786	2820	1551
P VIII.3	2717	2599	2730	2749	1541
P VIII.4	2701	2547	2718	2774	1523
P VIII.5	2789	2658	2810	2828	1548
Rata-rata		2601,4	2755,2	2784,4	1538,0
P IX.1	2647	2463	2698	2619	1417
P IX.2	2709	2475	2753	2647	1446
P IX.3	2734	2528	2810	2708	1472
P IX.4	2579	2397	2598	2531	1358
P IX.5	2643	2432	2689	2602	1403
Rata-rata		2459,0	2709,6	2621,4	1419,2

Setelah diperoleh massa benda uji pada masing-masing langkah pengujian, selanjutnya didapatkan hasil pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras seperti berikut.

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras

Kode Sampel	Penyerapan Setelah Perendaman (%)	Penyerapan Setelah Perendaman & Pendidihan (%)	Kerapatan Massa Kering (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman dan Pendidihan (gr/cm ³)	Kerapatan Semu (gr/cm ³)	Volume Rongga Permeabel (%)
	1	2	3	4	5	6	7
P I.1	10,26	8,32	1,99	2,19	2,15	2,38	16,52
P I.2	10,54	8,45	2,03	2,25	2,20	2,45	17,17
P I.3	10,75	7,96	2,01	2,23	2,17	2,39	16,01
P I.4	10,47	8,22	2,03	2,24	2,20	2,44	16,68
P I.5	9,62	7,31	2,09	2,29	2,24	2,47	15,26
Rata-rata	10,328	8,050	2,030	2,239	2,193	2,426	16,328
P II.1	6,82	5,42	2,13	2,27	2,24	2,40	11,52
P II.2	9,27	6,78	2,11	2,31	2,26	2,47	14,33
P II.3	8,26	6,30	2,13	2,31	2,26	2,46	13,43
P II.4	9,14	6,94	2,09	2,28	2,24	2,45	14,52
P II.5	7,28	5,30	2,18	2,34	2,30	2,47	11,57
Rata-rata	8,153	6,149	2,129	2,302	2,260	2,449	13,075
P III.1	10,11	7,33	2,09	2,30	2,24	2,47	15,33
P III.2	6,63	5,42	2,08	2,22	2,19	2,34	11,26
P III.3	5,57	4,07	2,19	2,31	2,28	2,41	8,92
P III.4	7,05	5,10	2,10	2,25	2,21	2,36	10,74
P III.5	5,47	4,76	2,10	2,22	2,20	2,33	9,99
Rata-rata	6,966	5,335	2,114	2,260	2,226	2,382	11,247

Lanjutan Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras

Kode Sampel	Penyerapan Setelah Perendaman (%)	Penyerapan Setelah Perendaman & Pendidihan (%)	Kerapatan Massa Kering (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman dan Pendidihan (gr/cm ³)	Kerapatan Semu (gr/cm ³)	Volume Rongga Permeabel (%)
	1	2	3	4	5	6	7
P IV.1	5,77	4,07	2,14	2,26	2,22	2,34	8,68
P IV.2	6,81	4,52	2,14	2,28	2,23	2,36	9,65
P IV.3	6,64	4,85	2,13	2,27	2,23	2,37	10,32
P IV.4	5,41	3,62	2,14	2,26	2,22	2,32	7,76
P IV.5	7,49	5,71	2,09	2,24	2,21	2,37	11,92
Rata-rata	6,425	4,553	2,126	2,262	2,222	2,354	9,666
P V.1	8,53	6,66	2,09	2,27	2,23	2,43	13,92
P V.2	8,45	6,80	2,09	2,26	2,23	2,43	14,19
P V.3	8,99	6,99	2,08	2,27	2,23	2,44	14,56
P V.4	8,82	6,82	2,12	2,30	2,26	2,47	14,43
P V.5	8,64	6,18	2,13	2,32	2,26	2,45	13,18
Rata-rata	8,686	6,692	2,101	2,283	2,241	2,444	14,055
P VI.1	8,04	7,58	2,12	2,29	2,28	2,53	16,07
P VI.2	6,99	7,77	1,97	2,11	2,13	2,33	15,33
P VI.3	8,56	9,08	2,00	2,17	2,18	2,45	18,17
P VI.4	4,75	5,65	2,10	2,20	2,21	2,38	11,84
P VI.5	7,32	7,95	2,06	2,21	2,22	2,46	16,37
Rata-rata	7,131	7,604	2,050	2,196	2,206	2,429	15,554

Lanjutan Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kerapatan, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras

Kode Sampel	Penyerapan Setelah Perendaman (%)	Penyerapan Setelah Perendaman & Pendidihan (%)	Kerapatan Massa Kering (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman (gr/cm ³)	Kerapatan Massa Setelah Perendaman dan Pendidihan (gr/cm ³)	Kerapatan Semu (gr/cm ³)	Volume Rongga Permeabel (%)
	1	2	3	4	5	6	7
P VII.1	8,09	5,72	2,11	2,28	2,23	2,40	12,07
P VII.2	8,00	5,92	2,11	2,28	2,23	2,41	12,48
P VII.3	9,32	6,43	2,12	2,32	2,26	2,46	13,64
P VII.4	8,80	6,54	2,11	2,30	2,25	2,45	13,80
P VII.5	9,21	6,48	2,13	2,32	2,26	2,47	13,78
Rata-rata	8,685	6,217	2,115	2,299	2,247	2,436	13,154
P VIII.1	5,69	6,42	2,11	2,23	2,25	2,44	13,56
P VIII.2	6,42	7,72	2,06	2,20	2,22	2,45	15,92
P VIII.3	5,04	5,77	2,15	2,26	2,28	2,46	12,42
P VIII.4	6,71	8,91	2,04	2,17	2,22	2,49	18,15
P VIII.5	5,72	6,40	2,08	2,20	2,21	2,39	13,28
Rata-rata	5,915	7,043	2,088	2,211	2,234	2,447	14,665
P IX.1	9,54	6,33	2,05	2,24	2,18	2,35	12,98
P IX.2	11,23	6,95	2,06	2,29	2,20	2,41	14,32
P IX.3	11,16	7,12	2,05	2,27	2,19	2,39	14,56
P IX.4	8,39	5,59	2,04	2,21	2,16	2,31	11,42
P IX.5	10,57	6,99	2,03	2,24	2,17	2,36	14,18
Rata-rata	10,176	6,597	2,045	2,254	2,180	2,365	13,493

1. Analisis Perhitungan

Pada analisis perhitungan ini, diambil hasil pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras pada variasi penambahan abu batu 0% dengan kode sampel P I.1 sebagai contoh perhitungan.

Massa sebelum kering oven = 2568 gram

Massa sesudah kering oven (A) = 2417 gram

Massa jenuh setelah perendaman (B) = 2665 gram

Massa jenuh setelah pendidihan (C) = 2618 gram

Massa perendaman semu (D) = 1401 gram

$$\begin{aligned} \text{a) Penyerapan Setelah Perendaman, \%} &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{2665-2417}{2417} \times 100 \\ &= 10,26 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Penyerapan Setelah Perendaman dan Pendidihan, \%} &= \frac{C-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{2618-2417}{2417} \times 100 \\ &= 8,32\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Kerapatan Massa Kering, } g_1 &= \frac{A}{(C-D)} \rho \\ &= \frac{2417}{(2618-1401)} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 1,99 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Kerapatan Massa Setelah Perendaman} &= \frac{B}{(C-D)} \rho \\ &= \frac{2665}{(2618-1401)} \text{ C} \\ &= 2,19 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

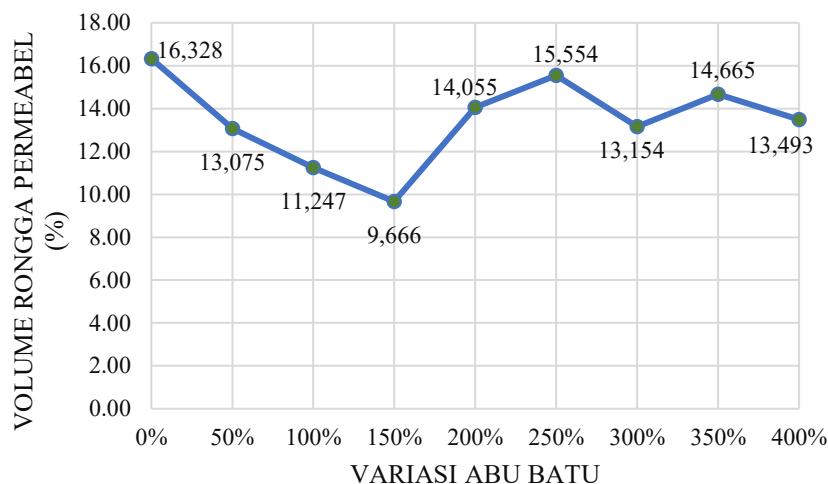
$$\begin{aligned} \text{e) Kerapatan Massa Setelah Perendaman dan Pendidihan} &= \frac{C}{(C-D)} \rho \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2618}{(2618-1401)} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 2,15 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{f) Kerapatan Semu, } g_2 &= \frac{A}{(A-D)} \rho \\
 &= \frac{2417}{(2417-1401)} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 2,38 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{g) Volume Rongga Permeabel, \%} &= \frac{g_2-g_1}{g_2} \times 100 \\
 &= \frac{2,38-1,99}{2,38} \times 100 \\
 &= 16,52\%
 \end{aligned}$$

Berikutnya untuk mendapatkan nilai rata-rata volume rongga, kelima hasil perhitungan volume rongga paving block pada variasi 0% dijumlahkan kemudian dibagi jumlah sampel yang diuji untuk tiap variasi. Perhitungan nilai volume rongga permeabel pada variasi I adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume rongga permeabel rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{Vol. rongga permeabel}}{n} \\
 &= \frac{16,52+17,17+16,01+16,68+15,26}{5} \\
 &= 16,328\%
 \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai volume rongga permeabel rata-rata pada tiap variasi, selanjutnya membuat grafik hasil pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut :



Gambar 5.6 Grafik Volume Rongga Permeabel Rata-rata Paving block

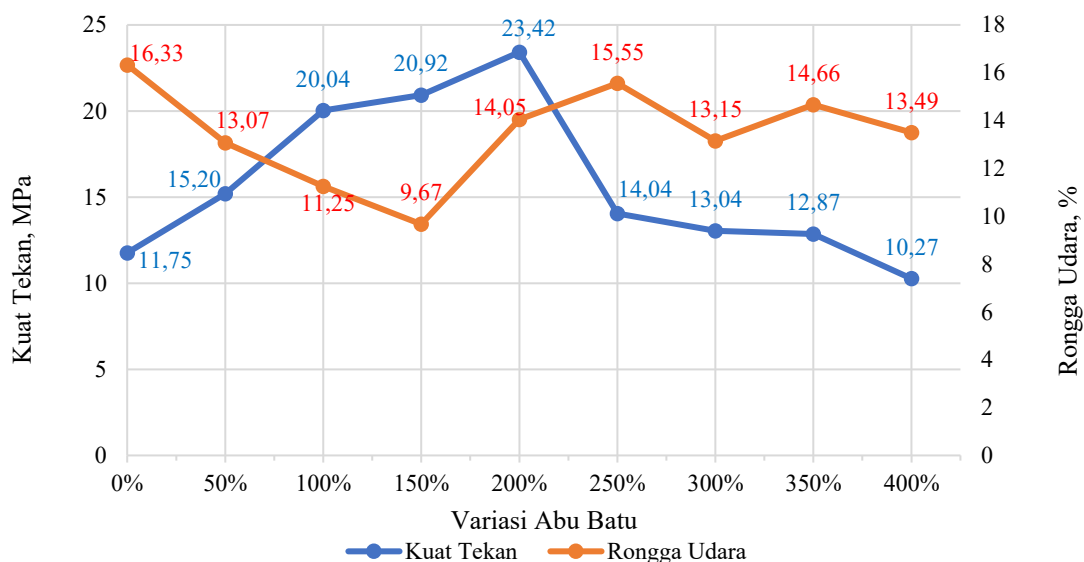
2. Pembahasan

Berdasarkan Gambar 5.6 di atas dapat diketahui dengan adanya penambahan kadar abu batu volume rongga permeabel dalam benda uji menurun terhadap paving block normal. Penurunan terjadi pada variasi 50% hingga 150%. Hal tersebut terjadi dikarenakan abu batu mengisi rongga dalam paving block. Butiran abu batu yang lebih kecil dari pasir dapat mengisi celah diantara campuran semen dan pasir.

Selanjutnya pada variasi abu batu 200% volume rongga permeabel kembali meningkat disebabkan oleh kadar abu batu yang berlebih dan kadar semen yang rendah sehingga menyebabkan gaya ikat antara semen, pasir dan abu batu menurun. Gaya ikat yang menurun akan menyebabkan terjadinya pemisahan antar butiran sehingga volume rongga akan bertambah.

Pada hasil pengujian kerapatan, penyerapan, dan rongga dalam beton yang telah mengeras menunjukkan kenaikan dan penurunan persentase volume rongga permeabel pada tiap variasi. Fluktuasi hasil pengujian tersebut salah satunya disebabkan oleh proses pencampuran material yang tidak merata sehingga menyebabkan campuran tidak homogen tiap variasi benda uji. Dari grafik di atas diketahui persentase volume rongga permeabel yang paling

rendah terdapat pada variasi 150% abu batu dengan volume rongga sebesar 9,66%.



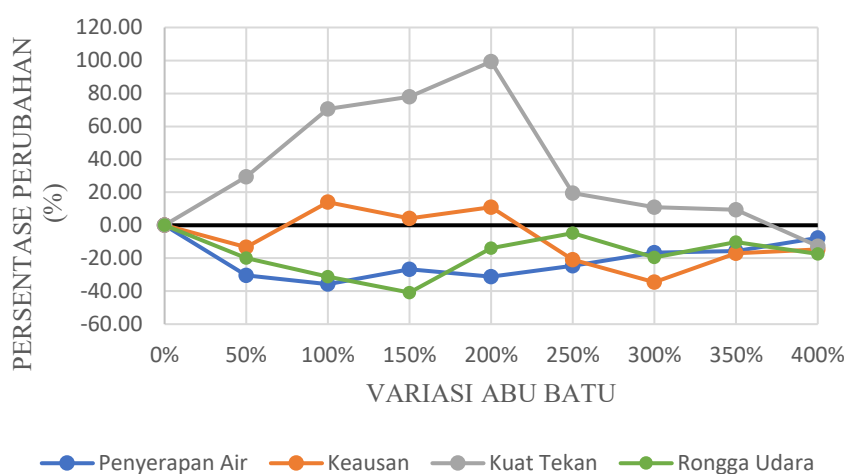
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Hasil Uji Kuat Tekan dengan Volume Rongga Permeabel Paving block

Dari Gambar 5.7 di atas dapat diketahui korelasi antara hasil uji kuat tekan paving block dengan hasil pengujian volume rongga permeabel. Hubungan antara kedua hasil pengujian tersebut adalah semakin tinggi persentase rongga udara dalam paving maka semakin rendah nilai kuat tekan, yang berlaku pada variasi 0% hingga 150%. Selanjutnya nilai kuat tekan pada variasi 150% dan 200% meningkat namun persentase rongga udara juga meningkat.

Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor air yang tidak diperhitungkan. Seharusnya air berfungsi sebagai pelicin agar filler dapat masuk dengan mudah diantara pori-pori, tetapi karena adukan paving ini memiliki sifat kelecakan yang sangat kecil bahkan tidak lecah sama sekali karena campuran yang harus segera dicetak. Setelah dicetak dan cetakan dilepas, bentuk paving yang dicetak tidak boleh berubah. Selain itu faktor pencampuran yang kurang homogen juga dapat mempengaruhi nilai kuat tekan serta persentase rongga udara dalam paving block.

5.4.5 Keefektifan Penambahan Abu Batu Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air, Keausan, dan Volume Rongga Permeabel Paving block

Berdasarkan hasil pembahasan keempat pengujian di atas, diperoleh hubungan antara kuat tekan, penyerapan air, keausan, dan volume rongga permeabel paving block dengan variasi abu batu. Hasil keempat pengujian tersebut berupa grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Persentase Perubahan Pengujian Terhadap Paving block Normal

Dari Gambar 5.8 di atas dapat diketahui persentase perubahan dari hasil 4 pengujian terhadap hasil pengujian paving block normal. Dapat diketahui bahwa dengan penambahan kadar abu batu hingga 200% dapat meningkatkan kuat tekan paving block. Selanjutnya hasil pengujian penyerapan air dan volume rongga permeabel juga menunjukkan penurunan terhadap paving block normal. Untuk uji keausan terdapat variasi hasil pengujian, pada variasi abu batu 250% hingga 350% nilai keausan dapat menurun.

Selanjutnya, diperoleh hasil pengujian kuat tekan yang paling optimal terdapat pada variasi 200% abu batu. Pada pengujian penyerapan air, variasi yang mendapatkan hasil paling optimal berada pada variasi 100%. Untuk uji keausan

paving block yang memperoleh hasil optimal terdapat pada variasi abu batu 300%. Sedangkan pada hasil pengujian volume rongga permeabel yang terkecil terdapat pada variasi 150% abu batu.

Pada pembahasan hasil pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan keausan benda uji di atas terdapat klasifikasi mutu paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996. Rekapitulasi hasil klasifikasi mutu tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Klasifikasi Mutu Paving block

Kode Sampel	Variasi (%)	Klasifikasi Mutu Paving block		
		Kuat Tekan	Penyerapan Air	Keausan
P I	0	D	D	D
P II	50	C	C	C
P III	100	B	C	D
P IV	150	B	C	D
P V	200	B	C	D
P VI	250	C	C	C
P VII	300	D	D	B
P VIII	350	C	D	C
P IX	400	D	D	C

Dari Tabel 5.22 di atas dapat diketahui mutu paving block dari ketiga pengujian yang bervariasi dengan bertambahnya kadar abu batu. Dari ketiga hasil pengujian tidak terdapat mutu yang sama pada masing-masing variasi. Hasil pengujian yang paling optimal terdapat pada variasi 200% dengan mutu B pada uji kuat tekan, mutu C pada uji penyerapan air, dan mutu D pada uji keausan.

5.5 Perhitungan Harga Pokok Produksi dan Analisis Kelayakan Investasi Paving block

Setelah diperoleh data hasil pengujian paving block yang memiliki nilai kuat tekan, keausan, dan penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996, selanjutnya dilakukan perhitungan harga pokok produksi paving block dengan variasi abu batu

yang memiliki nilai kuat tekan rata-rata dan hasil klasifikasi mutu yang paling optimal. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, paving block yang memiliki nilai rata-rata paling tinggi terdapat pada variasi 200% abu batu sebesar 23,422 MPa.

Data-data biaya yang diperlukan untuk perhitungan harga pokok produksi diperoleh berdasarkan hasil survei dan wawancara pada industri penggergajian batu di wilayah Kapanewon Cangkringan, toko bangunan di sekitar Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, serta produsen paving block di wilayah Kabupaten Sleman. Untuk bukti hasil survei dan wawancara berupa transkrip hasil wawancara terdapat pada Lampiran.

5.5.1 Harga Pokok Produksi Paving block

Langkah-langkah perhitungan harga pokok produksi paving block dengan campuran abu batu adalah sebagai berikut.

1. Menghitung biaya alat

a. Alat utama

- | | |
|---|------------------------|
| 1) Harga mesin press hidrolik paving block | = Rp70.000.000,- |
| 2) Harga mesin mixer paving ukuran 1 m ³ | = Rp20.000.000,- |
| 3) Total harga alat utama | = Rp90.000.000,- |
| 4) Umur alat utama | = 15 tahun |
| 5) Nilai sisa alat utama | = 10% x Harga beli |
| | = 10% x Rp90.000.000,- |
| | = Rp9.000.000,- |

Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

Penyusutan = $\frac{\text{Total harga alat} - \text{Nilai sisa alat}}{\text{Umur alat} \times \text{Jumlah hari kerja}}$

$$= \frac{90.000.000 - 9.000.000}{15 \times 300}$$

= Rp 18.000.- per hari

b. Alat bantu

- | | | |
|------------|-----------|----------------|
| 1) Ember | (10 buah) | = Rp 250.000.- |
| 2) Cangkul | (1 buah) | = Rp165.000.- |
| 3) Sekop | (2 buah) | = Rp110.000.- |

4) Ayakan 5 mm (2 buah)	= Rp32.000.-
5) Ayakan 2 mm (2 buah)	= Rp56.000.-
6) Cetok (2 buah)	= Rp36.000.-
Total harga alat bantu	= Rp649.000.-
Umur alat bantu	= 1 tahun
Nilai sisa alat bantu	= Rp0,-
Jumlah hari kerja	= 300 hari/tahun
Penyusutan	= $\frac{649.000 - 0}{1 \times 300}$
	= Rp2.163.- per hari

c. Papan alas

1) Lama pengerasan paving block	= 1 hari
2) Kapasitas produksi	= 1600 paving per hari
3) Kebutuhan papan	= $\frac{\text{Kapasitas produksi}}{\text{Kapasitas papan alas}}$
	= $\frac{1600}{12}$
	= 134 papan
4) Harga satuan papan	= Rp15.000,-
Total harga papan	= Rp2.010.000,-
Umur papan	= 1 tahun
Nilai sisa papan alas	= Rp0,-
Jumlah hari kerja	= 300 hari/tahun
Penyusutan	= $\frac{2.010.000 - 0}{1 \times 300}$
	= Rp6.700.- per hari

2. Menghitung biaya bangunan

Harga bangunan	= Rp20.000.000,-
Umur bangunan	= 5 tahun
Nilai sisa bangunan	= Rp0,-
Jumlah hari kerja	= 300 hari/tahun
Penyusutan	= $\frac{20.000.000 - 0}{5 \times 300}$

= Rp13.333.- per hari

3. Menghitung biaya operasional

Biaya listrik dan air per bulan (25 hari) = Rp600.000,-

Biaya listrik dan air per hari = Rp24.000,-

4. Menghitung biaya upah tenaga kerja

Jumlah pekerja = 2 orang

Kapasitas produksi = 134 papan per hari

Upah pekerja per papan (Borongan) = Rp2.000,-

Upah pekerja per hari = Rp134.000,- /OH

Total biaya upah tenaga kerja = Rp.268.000,- per hari

5. Menghitung biaya konsumsi tenaga kerja

Jumlah pekerja = 2 orang

Uang makan per hari = Rp20.000,-

Total biaya konsumsi tenaga kerja = Rp40.000,-

6. Menghitung biaya Tunjangan Hari Raya (THR)

Jumlah pekerja = 2 orang

Jumlah hari kerja = 300 hari/tahun

THR per pekerja = Rp300.000,-

Total THR = Rp600.000,-

Tabungan THR = Rp2.000,- per hari

7. Menghitung biaya material

a. Kebutuhan material 1 paving block variasi 200%

Perbandingan campuran = 1 semen : 7 pasir : 2 abu batu

Kebutuhan semen = $\frac{1}{8}$ x Berat vol. semen x Volume paving block

$$= \frac{1}{8} \times 1,506 \text{ gram/cm}^3 \times 1440 \text{ cm}^3$$

$$= 258,832 \text{ gram}$$

Kebutuhan pasir = $\frac{7}{8}$ x Berat vol. pasir x Volume paving block

$$= \frac{7}{8} \times 1,664 \text{ gram/cm}^3 \times 1440 \text{ cm}^3$$

$$= 2.097,44 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan abu batu} &= \frac{2}{8} \times \text{Berat vol. abu batu} \times \text{Volume paving block} \\ &= \frac{2}{8} \times 1,437 \text{ gram/cm}^3 \times 1440 \text{ cm}^3 \\ &= 647,08 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total berat material} &= \frac{\text{Berat material}}{\text{Faktor pencampuran}} \\ &= \frac{3.0003,353}{1,2} \\ &= 2502,794 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Biaya semen per hari

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan semen per hari} &= \left[\frac{258,832}{2.502,794} \times 1600 \text{ paving} \right] : 1 \text{ zak} \\ &= \frac{165,467 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$= 4,136 \text{ zak} \approx 5 \text{ zak}$$

$$\text{Harga semen 1 zak} = \text{Rp}52.000,-$$

$$\text{Biaya angkut semen per km} = \text{Rp}3.000,-$$

$$\text{Biaya angkut semen 3 km} = \text{Rp}9.000,-$$

$$\text{Total biaya semen per hari} = (\text{Rp}52.000,- \times 5) + \text{Rp}9.000,-$$

$$= \text{Rp}269.000,-$$

c. Biaya pasir per hari

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir per hari} &= \frac{2.097,44}{2.502,794} \times 1600 \text{ paving} \\ &= 1.340,863 \text{ kg} : 966,5 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1,387 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Harga pasir per Dump Truck (8 m}^3) = \text{Rp}1.100.000,-$$

$$\text{Harga pasir per m}^3 = \text{Rp}140.000,-$$

$$\text{Total biaya pasir per hari} = 1,387 \text{ m}^3 \times \text{Rp}140.000,-$$

$$= \text{Rp}194.227,-$$

d. Kebutuhan abu batu per hari

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan abu batu per hari} &= \frac{647,08}{2.502,794} \times 1600 \text{ paving} \\ &= 413,669 \text{ kg} : 653,5 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,633 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Harga abu batu per Colt (1,5 m³) = Rp200.000,-
 Harga abu batu per m³ = Rp.135.000,-
 Total biaya abu batu per hari = 0,633 m³ x Rp135.000,-
 = Rp85.455,-
- e. Total kebutuhan material per hari = Rp269.000,- + Rp194.227,- +
 Rp85.455,-
 = Rp548.683,-
8. Rekapitulasi pengeluaran per hari
- a. Biaya alat utama = Rp18.000.-
 b. Biaya alat bantu = Rp2.163.-
 c. Biaya papan alas = Rp6.700.-
 d. Biaya bangunan = Rp13.333.-
 e. Biaya operasional = Rp24.000,-
 f. Biaya upah tenaga kerja = Rp268.000,-
 g. Biaya konsumsi tenaga kerja = Rp40.000,-
 h. Biaya THR = Rp2.000,-
 i. Biaya material = Rp548.683,-
 Total pengeluaran per hari = Rp922.879,-
9. Menghitung harga pokok produksi lapangan
- a. Kapasitas produksi = 1600 per hari
 b. Total biaya pengeluaran = Rp922.879,-
 c. Harga pokok produksi lapangan = $\frac{922.879}{1600}$
 = Rp576,80.- per paving
 d. PPN 10% = 10% x Rp576,80.-
 = Rp57,68,-
 e. Biaya kirim per paving =Rp200,-
 f. Harga dasar paving = Rp576,80.- + Rp57,68,- + Rp200,-
 = Rp834,48,-
 g. Margin perusahaan (20%) = 20% x Rp834,48,-
 = Rp166,90,-

$$\begin{aligned} \text{h. Harga jual per paving} &= \text{Rp}834,48,- + \text{Rp}166,90,- \\ &= \text{Rp}1.001,38,- \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui total pengeluaran untuk produksi paving block abu batu sebesar Rp922.879,- per hari dengan harga pokok produksi Rp576,80- per paving. Selanjutnya setelah ditambah dengan PPN dan ongkos kirim maka didapatkan harga dasar sebesar Rp834,48,-. Untuk memenuhi margin perusahaan agar memperoleh keuntungan maka didapatkan harga jual paving block sebesar Rp1.001,38,- per paving.

5.5.2 Analisis Kelayakan Investasi Paving block

Setelah diperoleh harga pokok produksi paving block dengan variasi abu batu, selanjutnya melakukan analisis kelayakan investasi paving block dengan menentukan nilai BEP (Break Even Point) atau titik impas yang diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Menghitung penghasilan produksi paving block per hari
 - a. Jumlah produksi paving block per hari = 1.600 paving
 - b. Harga Jual = Rp1.001,38,-
 - c. Total pemasukan = 1.600 x Rp1.001,38,-
= Rp1.602.201,- per hari
2. Menghitung keuntungan paving block
 - a. Keuntungan per buah = Harga jual – Harga dasar
= Rp1.001,38 - Rp834,48
= Rp166,67,-
 - b. Persentase keuntungan = $\frac{\text{Keuntungan per buah}}{\text{Harga jual}}$
= $\frac{166,67}{1.001,38}$
= 16,67%
 - c. Keuntungan per hari = Total pemasukan – (Harga dasar x 1.600)
= Rp1.602.201,- - (Rp834,48- x 1.600)
= Rp267.033,58,-

d. Keuntungan per bulan

Jumlah hari kerja per bulan = 25 hari

Keuntungan per bulan = Rp267.033,58- x 25 hari
= Rp6.675.839,38,-

e. Keuntungan per tahun

Jumlah hari kerja = 300 hari

Keuntungan per tahun = Rp267.033,58,- x 300 hari
= Rp80.110.072,61-

3. Menghitung Break Even Point (BEP)

a. Modal awal

1) Harga alat utama = Rp90.000.000,00-

2) Harga alat bantu = Rp649.000,00-

3) Harga papan alas = Rp2.010.000,00-

4) Harga bangunan = Rp20.000.000,-

Jumlah modal awal = Rp112.659.000,00-

b. Break Even Point (BEP)

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Modal awal}}{\text{Harga jual} - \text{Harga dasar}} \\ &= \frac{\text{Rp112.659.000,-}}{\text{Rp1.001,38} - \text{Rp834,48},} \\ &= 675.026 \text{ paving} \end{aligned}$$

(BEP per buah jika diasumsikan laku dijual)

$$\begin{aligned} \text{BEP tercapai dalam hitungan hari} &= \frac{\text{BEP}}{\text{Kemampuan terjual}} \\ &= \frac{675.026}{1.600} \\ &= 422 \text{ hari} \end{aligned}$$

BEP tercapai dalam hitungan bulan = 422 : 30

= 17 bulan

BEP tercapai dalam hitungan tahun = 1 tahun 5 bulan

Melalui perhitungan di atas diketahui pemasukan dari penjualan paving block abu batu adalah sebesar Rp1.602.201,- per hari. Selanjutnya keuntungan dari penjualan paving diperoleh sebesar Rp166,67,- per paving atau Rp267.033,58,- per hari. Dengan harga jual sebesar Rp1.001,38- per paving maka diperoleh keuntungan sebesar Rp80.110.072,61- per tahun.

Berikutnya untuk menentukan BEP juga diperlukan perhitungan jumlah modal awal yang dibutuhkan. Berdasarkan perhitungan di atas, modal awal yang dibutuhkan untuk produksi paving block abu batu adalah sebesar Rp112.659.000,00-. Setelah diperoleh nilai modal awal, harga jual, dan harga dasar maka diperoleh nilai BEP sebesar 675.026 paving. Hal tersebut berarti perusahaan dapat mencapai titik impas apabila dapat memproduksi paving sebanyak nilai BEP tersebut.

Selanjutnya apabila hasil produksi paving diasumsikan laku terjual setiap hari maka BEP dapat tercapai dalam 422 hari atau 1 tahun 5 bulan. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka analisis kelayakan investasi produksi paving block abu batu dengan asumsi masa investasi selama 5 tahun dapat dinyatakan LAYAK.

5.5.3 Perbandingan Dengan Harga Paving block di Pasaran

Berdasarkan hasil wawancara dan survei harga paving block kepada 2 produsen di wilayah Kabupaten Sleman diperoleh harga paving untuk dibandingkan dengan harga jual paving block abu batu. Sistem penjualan paving block di pasaran adalah per m² dengan isi sebanyak 50 paving per m²-nya. Harga paving yang disurvei adalah paving jenis Holland dengan ketebalan 6 cm. Hasil survei harga paving block adalah sebagai berikut.

1. “DB” Paving block = Rp100.000,- per m²
2. “MS” Paving block = Rp82.000,- per m²

Setelah diperoleh harga paving di pasaran, selanjutnya melakukan perbandingan harga dengan paving block abu batu. Hasil perhitungan perbandingan harga paving block adalah sebagai berikut.

1. Harga jual paving abu batu per m² = 50 x Rp1.001,38,-
= Rp50.068,80,-

2. Persentase perbandingan

- a. Dengan “DB” Paving block $= \frac{Rp100.000 - 50.068,68}{Rp100.000} \times 100\%$
 $= 49,93\%$
- b. Dengan “MS” Paving block $= \frac{Rp82.000 - 50.068,68}{Rp82.000} \times 100\%$
 $= 38,94\%$

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa harga jual paving block abu batu lebih rendah apabila dibandingkan dengan harga pasaran paving block, yakni 49,93% dan 38,94% lebih murah dengan harga pembanding hasil survei.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada paving block yang menggunakan abu batu sebagai bahan pengisi dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan abu batu terhadap perubahan kuat tekan, penyerapan air, keausan dan volume rongga permeabel paving block adalah seperti berikut:

- a. Kuat tekan

Penambahan abu batu mempengaruhi peningkatan nilai kuat tekan sebesar 199 % dari paving block normal. Nilai kuat tekan terendah terdapat pada variasi 400% dengan nilai 10,266 MPa, sedangkan kuat tekan tertinggi berada pada variasi 200% dengan nilai kuat tekan sebesar 23,422 MPa.

- b. Penyerapan air

Pengaruh penambahan abu batu dapat menurunkan nilai penyerapan air dengan penurunan sebesar 35,73% dari paving block normal. Nilai penyerapan air tertinggi sebesar 10,56% berada pada variasi 0%, sedangkan nilai terendah sebesar 6,79% berada variasi 100% abu batu.

- c. Keausan

Penambahan variasi abu batu berpengaruh pada naik turunnya nilai keausan, berupa peningkatan sebesar 13,99% dan penurunan sebesar 34,55% dari paving block normal. Nilai keausan tertinggi sebesar 0,232 mm/menit berada pada variasi 100%, sedangkan keausan terendah sebesar 0,133 mm/menit pada variasi 300% abu batu.

- d. Volume rongga permeabel

Pengaruh penambahan abu batu mempengaruhi penurunan persentase volume rongga permeabel sebesar 40,80% dari paving block normal. Persentase volume rongga permeabel tertinggi berada variasi 0% sebesar

16,328%, sedangkan volume rongga permeabel terendah berada pada variasi 150% dengan nilai sebesar 9,66%.

2. Berdasarkan klasifikasi mutu paving block didapatkan kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi 100%, 150% dan 200% dimana masuk dalam mutu B dengan penggunaan sebagai pelataran parkir. Untuk klasifikasi penyerapan air tertinggi berada pada variasi 50%, 100%, 150%, 200% dan 250% masuk dalam mutu C dengan penggunaan untuk pejalan kaki. Sedangkan klasifikasi keausan tertinggi berada pada variasi 50%, 250%, 350% dan 400% masuk dalam mutu C dengan penggunaan untuk pejalan kaki.
3. Pada perhitungan harga pokok produksi paving block abu batu didapatkan harga pokok produksi lapangan sebesar Rp576,80,- dan harga jual sebesar Rp1.001,38,- per paving dengan keuntungan Rp267.033,58,- per hari. Nilai BEP (Break Even Point) diperoleh pada penjualan 675.026 paving atau dalam waktu 1 tahun 5 bulan. Harga jual paving block abu batu lebih rendah 44,43% dari paving block di pasaran dengan jenis dan ketebalan yang sama.

6.2 Saran

Dengan meninjau hasil penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya:

1. Diharapkan dapat membandingkan variasi campuran yang hanya menggunakan semen dan abu batu dengan campuran mortar sehingga dapat diketahui perbandingan hasil pengujian antara penggunaan pasir dan abu batu untuk campuran paving block.
2. Diharapkan dapat melakukan uji laboratorium untuk mengetahui kandungan abu batu yang digunakan.
3. Perlu diperhatikan proses pencampuran bahan saat pembuatan benda uji harus dilakukan dengan teliti agar tercampur dengan baik dan merata sehingga campuran menjadi homogen.
4. Diharapkan dapat melakukan perbandingan hasil pengujian dengan paving block di pasaran untuk mengetahui perbandingan klasifikasi mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zboon, K. K. (2018). Recycling of Stone Cutting Waste For Heavy Metals Removal. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 44(4). <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2018.356>
- Anggodo, A. (2014). Pengaruh Penggunaan Abu Batu Bara (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Paving block. <https://doi.org/10.11.1001.7311.010>
- Anonim. (2017). *Buku Panduan Praktikum : Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia.
- British Standard. (1993). *Precast Concrete Paving blocks — Part 1 : Specification for paving blocks*. British Standard.
- Campos, H. F., Rocha, T. M. S., Reus, G. C., Klein, N. S., & Marques, J. F. (2019). Determination of The Optimal Replacement Content of Portland Cement by Stone Powder Using Particle Packing Methods and Analysis of The Influence of The Excess Water on The Consistency of Pastes. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 12(2). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952019000200002>
- Departemen Pekerjaan Umum. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982)*. Pusat Pengembangan Pemukiman Badan Penelitian Dan Pengembangan PU. Bandung.
- Gencil, O., Ozel, C., Koksall, F., Erdogmus, E., Martínez-Barrera, G., & Brostow, W. (2012). Properties of Concrete Paving blocks Made With Waste Marble. *Journal of Cleaner Production*, 21(1). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.023>
- Giovan, R. A. (2018). Pengaruh Penambahan Serat Ijuk dan Silica Fume pada Karakteristik Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Luthfianti, Q. A. (2019). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Mulyadi. (2009). Akuntansi Biaya. In *Akuntansi biaya (Issue 1)*. BPFE Universitas Gadjah Mada.
- Patil, A. R., & Sathe, S. B. (2020). Feasibility of Sustainable Construction Materials for Concrete Paving blocks: A Review on Waste Foundry Sand and Other

- Materials. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1552–1561.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.402>
- Priambudi, G. A. (2018). Penggunaan Fly Ash Sebagai Bahan Pengisi Dalam Pembuatan Paving block Ditinjau Dari Kuat Tekan. Universitas Jember, Jember.
- Prihhanta, R. I. (2022). Pengaruh Serbuk Batu Kapur Ponjong sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Safira, A. I. (2016). Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Jati Terhadap Daya Serap Air, Keausan, Dan Kuat Tekan Pada Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Shafwan, M. D. (2021). Optimalisasi Kuat Tekan Paving block Dengan Menggunakan Fly Ash Dan Abu Batu Sebagai Bahan Pengganti Semen Dan Pasir.
- SII 0013-1981: Mutu Dan Cara Uji Semen Portland. (1981). Badan Standardisasi Nasional.
- SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam. (1989). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-0691-1996. Bata Beton (Paving block). (1996). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1750-1990. (n.d.). In Mutu Dan Cara Uji Agregat Beton. Badan Standardisasi Nasional. Mutu Dan Cara Uji Agregat Beton.
- SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. (2000). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998. Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. (1998). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6433-2016. (n.d.). Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan Dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras.
- Supriyono, M. (2011). *Buku Pintar Perbankan*. Penerbit Andi.
- Syarah, M. (2022). Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Untuk Pembuatan Paving block. In 2022.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Universitas Gadjah Mada.
- Wibowo, W. (2018). Pengaruh Butiran Keramik Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Harga Produksi Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Widodo, S. (2007). Struktur Beton. Universitas Negeri Yogyakarta.

Yahya, A. N. I. (2018). Pengaruh Variasi Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Karakteristik Paving block. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Paving block



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telp. (0274) 898444 Yogyakarta

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

Nama : Krisna Adhi Nugroho
NIM : 18511147
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

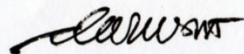
Kode Sampel	Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	
	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)			
Variasi I (0%)	P I.1	61,35	61,95	65,45	5200	50994,58	3800,63	13,417
	P I.2	63,1	60,75	68,8	3750	36774,94	3833,33	9,593
	P I.3	61,35	61,1	66,85	3775	37020,10	3748,49	9,876
	P I.4	60,6	60,1	66,7	4650	45600,92	3642,06	12,521
	P I.5	62,9	59,55	65,2	5100	50013,92	3745,70	13,352
Rata-rata								11,752

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi II (50%)	P II.1	65,5	61,4	69,1	5950	58349,57	4021,70	14,509
	P II.2	63,15	63,1	67,3	5275	51730,08	3984,77	12,982
	P II.3	62	59,4	67,45	6700	65704,56	3682,80	17,841
	P II.4	59,8	59,4	65,8	7225	70853,05	3552,12	19,947
	P II.5	60,5	59,6	68,8	3950	38736,27	3605,80	10,743
Rata-rata								15,204
Variasi III (100%)	P III.1	61,7	60,75	67,8	4650	45600,92	3748,28	12,166
	P III.2	63,9	60,7	67,7	2525	24761,79	3878,73	6,384
	P III.3	60,4	59,9	67,7	7650	75020,87	3617,96	20,736
	P III.4	61,85	59,15	66,35	8425	82621,03	3658,43	22,584
	P III.5	62,55	59,75	63,3	9400	92182,51	3737,36	24,665
Rata-rata								17,307
Variasi IV (150%)	P IV.1	62,05	62,5	68,75	6075	59575,40	3878,13	15,362
	P IV.2	63	61	62,95	10925	107137,65	3843,00	27,879
	P IV.3	61,45	62,7	65,85	7700	75511,21	3852,92	19,598
	P IV.4	59,9	59,85	60	6900	67665,89	3585,02	18,875
	P IV.5	61,9	61,6	65,2	8900	87279,19	3813,04	22,890
Rata-rata								20,921

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi V (200%)	P V.1	65,15	65,3	65	3750	36774,94	4254,30	8,644
	P V.2	64,45	64,6	65,55	6500	63743,23	4163,47	15,310
	P V.3	63,55	62	66	6200	60801,23	3940,10	15,431
	P V.4	64,6	65,8	65,7	5450	53446,24	4250,68	12,574
	P V.5	63,25	61,5	65,75	5100	50013,92	3889,88	12,857
Rata-rata								12,963
Variasi VI (250%)	P VI.1	61,95	59,4	65	9500	93163,18	3679,83	25,317
	P VI.2	61,3	61,1	63,15	8250	80904,86	3745,43	21,601
	P VI.3	61,35	58,8	63,65	8150	79924,20	3607,38	22,156
	P VI.4	59,2	61,05	64	9300	91201,85	3614,16	25,235
	P VI.5	61,55	60,1	62,8	8600	84337,19	3699,16	22,799
Rata-rata								23,422
Variasi VII (300%)	P VII.1	63,3	58,65	68	3000	29419,95	3712,55	7,924
	P VII.2	62,3	58,85	63,9	6700	65704,56	3666,36	17,921
	P VII.3	60,1	60,3	67,25	4450	43639,59	3624,03	12,042
	P VII.4	61,45	59,75	68,15	4950	48542,92	3671,64	13,221
	P VII.5	60,8	58,35	65,35	3250	31871,61	3547,68	8,984
Rata-rata								12,018

Kode Sampel		Dimensi			Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	(kgf)	(N)		
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	63,35	60,1	67,3	5450	53446,24	3807,34	14,038
	P VIII.2	64,2	62	68,9	4500	44129,93	3980,40	11,087
	P VIII.3	61,45	60	63,45	6600	64723,89	3687,00	17,555
	P VIII.4	62,5	61,25	66,2	3800	37265,27	3828,13	9,735
	P VIII.5	63,3	59,8	66,9	4600	45110,59	3785,34	11,917
Rata-rata								12,866
Variasi IX (400%)	P IX.1	62,9	59,25	65,75	3450	33832,94	3726,83	9,078
	P IX.2	62,45	60,25	65	4375	42904,09	3762,61	11,403
	P IX.3	59,5	60	68	4575	44865,42	3570,00	12,567
	P IX.4	58,5	56,8	68,2	3250	31871,61	3322,80	9,592
	P IX.5	63,1	60,8	68,4	3400	33342,61	3836,48	8,691
Rata-rata								10,266

Diperiksa oleh,



Darusalam, A.Md.

Yogyakarta, 2 Maret 2023

Kepala Laboratorium BKT,



Malik Musthofa, S.T., M.Eng.



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telp. (0274) 898444 Yogyakarta

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

Nama : Krisna Adhi Nugroho
NIM : 18511147
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1


Kode Sampel		Berat		Selisih (gr)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)
		Awal (gr)	Akhir (gr)			
Variasi I (0%)	P I.1	122,92	121,85	1,07	10	0,159
	P I.2	119,58	118,35	1,23	10	0,180
	P I.3	113,56	112,21	1,35	10	0,195
	P I.4	117,5	115,71	1,79	10	0,250
	P I.5	116,57	114,91	1,66	10	0,234
Rata-rata						0,204
Variasi II (50%)	P II.1	122,68	121,38	1,3	10	0,188
	P II.2	134,35	133,39	0,96	10	0,146
	P II.3	133,18	131,44	1,74	10	0,244
	P II.4	132,99	132,16	0,83	10	0,129
	P II.5	146,35	145,16	1,19	10	0,175
Rata-rata						0,176
Variasi III (100%)	P III.1	134,8	133,02	1,78	10	0,249
	P III.2	132,56	130,96	1,6	10	0,226
	P III.3	126,28	124,96	1,32	10	0,191
	P III.4	131,54	129,7	1,84	10	0,256
	P III.5	135,3	133,61	1,69	10	0,238
Rata-rata						0,232
Variasi IV (150%)	P IV.1	129,77	128,37	1,4	10	0,201
	P IV.2	122,21	120,98	1,23	10	0,180
	P IV.3	128,29	126,78	1,51	10	0,215
	P IV.4	113,51	112,09	1,42	10	0,204
	P IV.5	114,08	112,21	1,87	10	0,260
Rata-rata						0,212


Kode Sampel		Berat		Selisih (gr)	Waktu (menit)	Keausan (mm/menit)
		Awal (gr)	Akhir (gr)			
Variasi V (200%)	P V.1	138,2	136,81	1,39	10	0,200
	P V.2	115,49	113,95	1,54	10	0,219
	P V.3	113,93	112,51	1,42	10	0,204
	P V.4	121,99	120,36	1,63	10	0,230
	P V.5	117,03	115,03	2	10	0,277
Rata-rata						0,226
Variasi VI (250%)	P VI.1	120,28	119,36	0,92	10	0,141
	P VI.2	119,64	118,46	1,18	10	0,173
	P VI.3	122,1	120,95	1,15	10	0,169
	P VI.4	128,83	127,62	1,21	10	0,177
	P VI.5	119,76	118,81	0,95	10	0,144
Rata-rata						0,161
Variasi VII (300%)	P VII.1	112,65	111,76	0,89	10	0,137
	P VII.2	105,71	104,85	0,86	10	0,133
	P VII.3	101,51	100,51	1	10	0,151
	P VII.4	129,21	128,65	0,56	10	0,095
	P VII.5	111,37	110,37	1	10	0,151
Rata-rata						0,133
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	89,56	88,21	1,35	10	0,195
	P VIII.2	107,3	106,11	1,19	10	0,175
	P VIII.3	111,6	110,52	1,08	10	0,161
	P VIII.4	98,83	97,71	1,12	10	0,166
	P VIII.5	119,68	118,7	0,98	10	0,148
Rata-rata						0,169
Variasi XI (400%)	P IX.1	96,57	95,42	1,15	10	0,169
	P IX.2	99,08	98,13	0,95	10	0,144
	P IX.3	99,2	97,83	1,37	10	0,197
	P IX.4	96,65	95,52	1,13	10	0,167
	P IX.5	95,87	94,56	1,31	10	0,190
Rata-rata						0,174

Yogyakarta, 2 Maret 2023

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium BKT,


 Darusalam, A.Md.


 Malik Musthofa, S.T., M.Eng.



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telp. (0274) 898444 Yogyakarta

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

Nama : Krisna Adhi Nugroho
 NIM : 18511147
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
 Keperluan : Tugas Akhir S1

Kode Sampel		Berat		Penyerapan Air (%)
		Basah (gr)	Kering (gr)	
Variasi I (0%)	P I.1	2828	2515	12,45
	P I.2	2850	2572	10,81
	P I.3	2871	2585	11,06
	P I.4	2734	2526	8,23
	P I.5	2828	2565	10,25
Rata-rata				10,56
Variasi II (50%)	P II.1	2840	2667	6,49
	P II.2	2870	2689	6,73
	P II.3	2930	2679	9,37
	P II.4	2894	2673	8,27
	P II.5	2817	2660	5,90
Rata-rata				7,35
Variasi III (100%)	P III.1	2824	2661	6,13
	P III.2	2814	2618	7,49
	P III.3	2787	2612	6,70
	P III.4	2819	2647	6,50
	P III.5	2826	2638	7,13
Rata-rata				6,79
Variasi IV (150%)	P IV.1	2767	2590	6,83
	P IV.2	2794	2558	9,23
	P IV.3	2809	2580	8,88
	P IV.4	2768	2572	7,62
	P IV.5	2819	2657	6,10
Rata-rata				7,73

Kode Sampel		Berat		Penyerapan Air (%)
		Basah (gr)	Kering (gr)	
Variasi V (200%)	P V.1	2725	2523	8,01
	P V.2	2688	2513	6,96
	P V.3	2735	2556	7,00
	P V.4	2791	2595	7,55
	P V.5	2709	2537	6,78
Rata-rata				7,26
Variasi VI (250%)	P VI.1	2803	2606	7,56
	P VI.2	2886	2677	7,81
	P VI.3	2746	2533	8,41
	P VI.4	2816	2622	7,40
	P VI.5	2791	2569	8,64
Rata-rata				7,96
Variasi VII (300%)	P VII.1	2932	2711	8,15
	P VII.2	2752	2528	8,86
	P VII.3	2661	2451	8,57
	P VII.4	2784	2552	9,09
	P VII.5	2856	2612	9,34
Rata-rata				8,80
Variasi VIII (350%)	P VIII.1	2788	2577	8,19
	P VIII.2	2792	2560	9,06
	P VIII.3	2804	2565	9,32
	P VIII.4	2746	2534	8,37
	P VIII.5	2788	2544	9,59
Rata-rata				8,91
Variasi IX (400%)	P IX.1	2724	2413	12,89
	P IX.2	2703	2441	10,73
	P IX.3	2662	2418	10,09
	P IX.4	2687	2452	9,58
	P IX.5	2634	2498	5,44
Rata-rata				9,75

Yogyakarta, 2 Maret 2023

Diperiksa oleh,

Darusalam, A.Md.



Kepala Laboratorium BKT,

Malik Musthofa, S.T., M.Eng.

Lampiran 2 Proses Pembuatan Benda Uji Paving block



Gambar L-2.1 Penimbangan Bahan Penyusun



Gambar L-2.2 Pencampuran Bahan Penyusun



Gambar L-2.3 Proses Pencetakan Paving block



Gambar L-2.4 Penumpukan Benda Uji Setelah Dicetak



Gambar L-2.5 Penumpukan Benda Uji Setelah Mengeras



Gambar L-2.6 Penutupan Paving block Untuk Menjaga Kelembaban

Lampiran 3 Proses Pengujian Paving block



Gambar L-3.1 Pengujian Kuat Tekan Paving block



Gambar L-3.2 Uji Kuat Tekan Paving block



Gambar L-3.3 Pengujian Keausan Paving block



Gambar L-3.4 Uji Keausan Paving block



Gambar L-3.5 Proses Oven Pengujian Penyerapan Air Paving block



Gambar L-3.6 Proses Penimbangan Penguian Penyerapan Air Paving block



Gambar L-3.7 Pemotongan Paving Untuk Uji Kuat Tekan dan Keausan



Gambar L-3.8 Penimbangan Semu Untuk Uji Rongga Dalam Paving

Lampiran 4 Benda Uji Hasil Pengujian Paving block



Gambar L-4.1 Benda Uji Hasil Uji Kuat Tekan



Gambar L-4.2 Benda Uji Hasil Uji Kuat Tekan



Gambar L-4.3 Benda Uji Hasil Uji Kuat Tekan



Gambar L-4.4 Benda Uji Hasil Uji Keausan

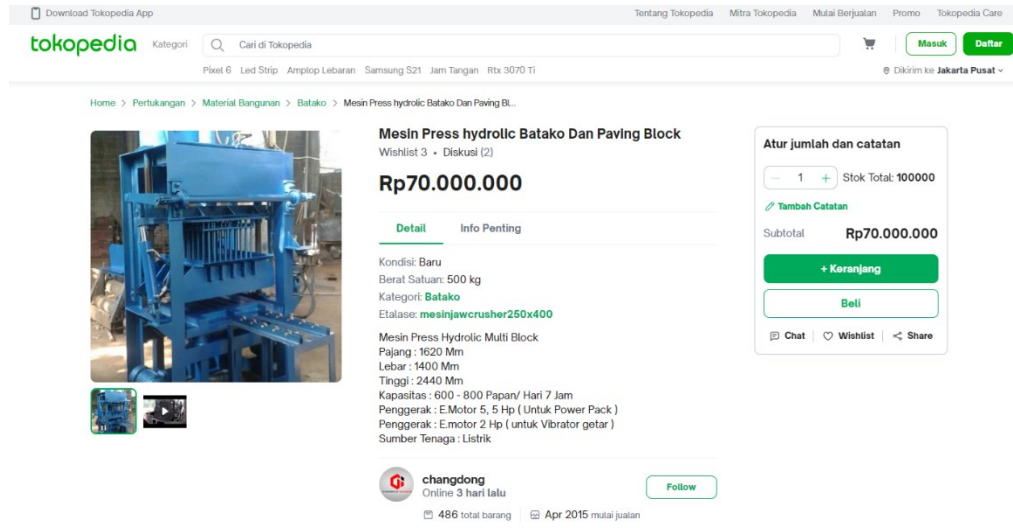


Gambar L-4.5 Benda Uji Hasil Uji Keausan



Gambar L-4.6 Benda Uji Hasil Uji Keausan

Lampiran 5 Hasil Survei Harga Mesin Press Hidrolik dan Mixer Paving Block Melalui Marketplace (Situs Jual Beli Online)



Download Tokopedia App

Tentang Tokopedia Mitra Tokopedia Mulai Berjualan Promo Tokopedia Care

tokopedia Kategori Cari di Tokopedia

Piket 6 Led Strip Amplop Lebaran Samsung S21 Jam Tangan Rtx 3070 Ti

Home > Pertukangan > Material Bangunan > Batako > Mesin Press hydrolic Batako Dan Paving Bl...

Mesin Press hydrolic Batako Dan Paving Block
Wishlist 3 • Diskusi (2)
Rp70.000.000

Detail Info Penting

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 500 kg
Kategori: **Batako**
Etalase: **mesinawcrusher250x400**

Mesin Press Hydrolic Multi Block
Pajang : 1620 Mm
Lebar : 1400 Mm
Tinggi : 2440 Mm
Kapasitas : 600 - 800 Papan/ Hari 7 Jam
Penggerak : E.Motor 5, 5 Hp (Untuk Power Pack)
Penggerak : E.motor 2 Hp (untuk Vibrator getar)
Sumber Tenaga : Listrik

Atur jumlah dan catatan

1 Stok Total: 100000

Tambah Catatan

Subtotal **Rp70.000.000**

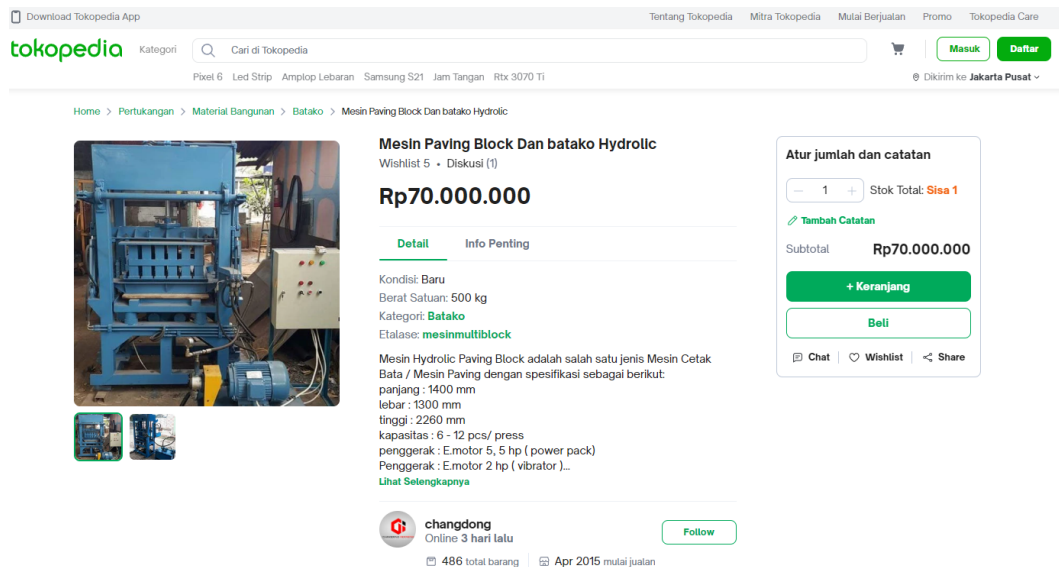
+ Keranjang

Beli

Chat Wishlist Share

changdong
Online 3 hari lalu
486 total barang Apr 2015 mulai jualan

Gambar L-5.1 Hasil Survei Harga Mesin Press Hidrolik Paving Block



Download Tokopedia App

Tentang Tokopedia Mitra Tokopedia Mulai Berjualan Promo Tokopedia Care

tokopedia Kategori Cari di Tokopedia

Piket 6 Led Strip Amplop Lebaran Samsung S21 Jam Tangan Rtx 3070 Ti

Home > Pertukangan > Material Bangunan > Batako > Mesin Paving Block Dan batako Hydrolic

Mesin Paving Block Dan batako Hydrolic
Wishlist 5 • Diskusi (1)
Rp70.000.000

Detail Info Penting

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 500 kg
Kategori: **Batako**
Etalase: **mesinmultiblock**

Mesin Hydrolic Paving Block adalah salah satu jenis Mesin Cetak Bata / Mesin Paving dengan spesifikasi sebagai berikut:
panjang : 1400 mm
lebar : 1300 mm
tinggi : 2260 mm
kapasitas : 6 - 12 pcs/ press
penggerak : E.motor 5, 5 hp (power pack)
Penggerak : E.motor 2 hp (vibrator)...

Lihat Selengkapny

Atur jumlah dan catatan

1 Stok Total: Sisa 1

Tambah Catatan

Subtotal **Rp70.000.000**

+ Keranjang

Beli

Chat Wishlist Share

changdong
Online 3 hari lalu
486 total barang Apr 2015 mulai jualan

Gambar L-5.2 Hasil Survei Harga Mesin Press Hidrolik Paving Block


Download Tokopedia App

Tentang Tokopedia Mitra Tokopedia Mulai Berjualan Promo Tokopedia Care

tokopedia Kategori Cari di Tokopedia

Pixel 6 Led Strip Amplop Lebaran Samsung S21 Jam Tangan Rtx 3070 Ti Dikirim ke Jakarta Pusat

Home > Pertukangan > Mesin Produksi > Mesin Paving Block



Mesin Paving Block
511 orang melihat barang ini


Rp70.000.000

Detail Info Penting

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 500 kg
Kategori: **Mesin Produksi**
Etalase: **mesinpresshydrolic**

spesifikasi
dimensi : 1200 x 850 x 2500 mm
kapasitas : 12 paving sekali cetak
penggerak vibrator : 3 hp x 2 unit
penggerak hidrolik/powerpack : 7.5 hp
konstruksi : Unp 150
kelengkapan panel kontrol

...
[Lihat Selengkapnya](#)

 **changdong**
Online 3 hari lalu
486 total barang | Apr 2015 mulai jualan

Atur jumlah dan catatan

- 1 + Stok Total: **Sisa 1**

[Tambah Catatan](#)

Subtotal **Rp70.000.000**

Gambar L-5.3 Hasil Survei Harga Mesin Press Hidrolik Paving Block


Download Tokopedia App

Tentang Tokopedia Mitra Tokopedia Mulai Berjualan Promo Tokopedia Care

tokopedia Kategori Cari di Tokopedia

Pixel 6 Led Strip Amplop Lebaran Samsung S21 Jam Tangan Rtx 3070 Ti Dikirim ke Jakarta Pusat

mesin mixer batako kapasitas 1 kubik **Detail Produk** Ulasan Diskusi Rekomendasi



mesin mixer batako kapasitas 1 kubik
Wishlist 1 • Diskusi (1)

Rp19.500.000

Detail Info Penting

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 125 kg
Waktu Preorder: 12 Hari
Kategori: **Batako**
Etalase: **Semua Etalase**

MESIN MIXER BATAKO*
Pemesanan Mesin Bisa Custome Sesuai Kebutuhan (Harga menyesuaikan Spesifikasi & Kapasitas)

Spesifikasi:
Diameter Mixer : 140 cm
Tinggi Diameter : 60 cm
Tinggi Mixer Total : 130 cm
Bahan Material : Mild Steel 6 mm
Rangka : UNP 10
Penggerak : Emtr 7.5 Hp 3 Phase

Atur jumlah dan catatan

- 1 + Stok Total: **Sisa 1**

[Tambah Catatan](#)

Subtotal **Rp19.500.000**

Gambar L-5.4 Hasil Survei Harga Mesin Mixer Paving Block Kapasitas 1 m³

Download Indotrading App


Minta Penawaran Cari Proyek Bantuan Hubungi Kami Indonesia

Indotrading
Indonesia's Largest Supplier Network

Ketik Kebutuhan Anda **PRODUK**

Paving Block Batako Mesin Batako Paving Mesin Mixer Batako Mesin Paving Batako Mesin Paving Block Mesin Batako Paving Hidrolik Mixer Batako Pengaduk

Home » Katalog » Mesin » Mesin Mixer » Mixer Kering » Mesin Mixer batako dan paving block



Mesin Mixer batako dan paving block

Rp 19.800.000

Harga tidak mengikat dan sewaktu-waktu dapat berubah. Dapatkan harga terbaik dengan klik tombol Minta Penawaran

Pembelian Minimum 1 Unit

Stok 0

Negara Asal Indonesia

Dikirim Dari Bekasi

Kategori Mixer Kering

Update Terakhir 16 Mar 2023

Cara Belanja Di Indotrading

Kontak Supplier / Penjual

CV. Changdong Indonesia

Online 19 Jam Lalu

Verified Supplier 4.8 (53) 4 Tahun (71) 82%

Status Pajak: Pengusaha Tidak Kena Pajak

Jl. Gondang No.13, Jl. Nasional 1, RW.10, Mustika Jaya, Mustikajaya, Kota Bekasi, Jawa Barat 17158 Bekasi, Bekasi - Indonesia

Kirim Pesan ke Supplier Ini

Kepada: CV. Changdong Indonesia

Mesin Mixer batako dan paving block 1 Total Harga **Rp 19.800.000**

Gambar L-5.5 Hasil Survei Harga Mesin Mixer Paving Block Kapasitas 1 m³

Lampiran 6 Transkrip Wawancara

TRANSKRIP WAWANCARA

Waktu Wawancara : 8 November 2022

Lokasi Wawancara : Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas Islam
Indonesia, Kapanewon Pakem, Kabupaten Sleman

Profil Narasumber

Nama : Suluk
Umur : 45 Tahun
Jenis Kelamin : Laki-laki
Pekerjaan : Pegawai Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas
Islam Indonesia

Hasil Wawancara

Penulis : Assalamu alaikum, selamat pagi Pak Suluk. Mohon izin untuk
melakukan wawancara untuk keperluan Tugas Akhir saya ya,
Pak.

Narasumber : Waalaikumsalam, selamat pagi juga mas. Monggo, silahkan
bertanya.

Penulis : Untuk mesin press yang biasa dipakai untuk paving dan batako
itu dipakai mulai tahun berapa ya, Pak?

Narasumber : Wah, kalau untuk tahunnya lupa mas. Tapi mesin itu dibeli
untuk mencukupi kebutuhan paving block diawal pembangunan
Rumah Sakit JIH Jogja.

Penulis : Oh begitu pak. Ini saya searching di internet RS JIH mulai
operasional di Tahun 2007. Jadi kira-kira mesin tersebut dibeli
antara Tahun 2006 hingga 2007 ya, Pak?

Narasumber : Ya kira-kira tahun segitu mas.

Penulis : Kalau bangunan PIMVM ini umurnya berapa tahun ya, Pak?

- Narasumber : Kalau bangunan ini mulai operasional sekitar 5 tahun yang lalu mas. Sebelumnya lokasi PIMVM ini kan di belakang FTI (Fakultas Teknologi Industri), terus dipindah kesini (Jalan Degolan).
- Penulis : Pekerja disini ada berapa orang pak?
- Narasumber : Kalau pekerja untuk produksi paving dan batako ada 2 orang mas, saya dan Mas Andi. Kalau keseluruhan ada 6 orang disini.
- Penulis : Sehari bisa produksi berapa paving pak?
- Narasumber : Tergantung pesanan dan kondisi badan mas. Kalau kondisi badan pas enak ya bisa 130-140 papan mas, satu papannya isi 12 paving. Tapi kalau pas badannya lagi nggak fit ya cuma 100-an papan. Kalau dirata-rata per hari ya sekitar 1600 paving lah mas.
- Penulis : Kalau boleh tahu, sistem gaji disini bagaimana ya, Pak? Apakah bulanan, harian, atau Borongan?
- Narasumber : Untuk gaji sistemnya borongan per papan mas. Per papan dihitung Rp2.000 untuk saya sama Mas Andi. Jadi bayaran saya ya disesuaikan sama hasil produksi. Selain itu juga dapat uang makan Rp20.000 per hari orang.
- Penulis : Untuk papan alasnya beli lembaran atau sudah potongan seperti itu pak?
- Narasumber : Belinya lembaran mas biasanya. 1 lembar papan kayu tebal 2 cm bisa jadi 6 papan. Kalau beli per lembarnya ya sekitar Rp80.000 sampai Rp90.000 di toko kayu.
- Penulis : Dalam seminggu Bapak berapa hari bekerja, Pak?
- Narasumber : Disini saya 6 hari kerja mas, 1 hari libur.
- Penulis : Untuk material disini sistem penyediaan-nya bagaimana ya, Pak?
- Narasumber : Untuk semennya ambil di silo itu mas, yang menyiapkan dari pihak kampus. Kalau pasir biasanya pesan per rit Dump Truck, sementara harganya masih Rp1.100.000 per ritnya.

- Penulis : Untuk kebutuhan listrik dan air disini sebulan habis berapa Pak?
- Narasumber : Kalau listrik per bulannya sekitar Rp600.000 mas, sudah termasuk air karena pakai pompa air.
- Penulis : Maaf pak, kalau boleh tahu sistem THR pekerja disini gimana ya,Pak?
- Narasumber : Kita semua dapat THR mas, THR pokoknya Rp300.000, tapi biasanya ada dosen yang memberi tambahan THR.
- Penulis : Oalah, jadi begitu Pak. Terima kasih Pak Suluk atas kesediaannya untuk wawancara ini.
- Narasumber : Sama-sama mas. Semoga sukses ya mas Tugas Akhir-nya.

