

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU KAYU MAHONI
TERHADAP KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK***

TUGAS AKHIR

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Sarjana Strata Satu (S1)
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Siliwangi*

**OLEH
ANDITA CITRA PUSPITA
197011052**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SILIWANGI
TASIKMALAYA
2023**

LEMBAR PENGSAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU KAYU MAHONI TERHADAP
KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK***

Disusun oleh,

ANDITA CITRA PSUPITA

197011052

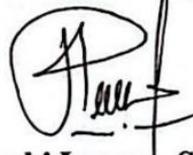
Telah disidangkan pada, 7 september 2023

Pembimbing 1



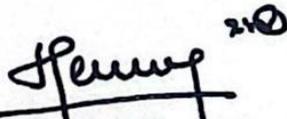
Dr. Ir. Yusep ramdani, S.T., M.T.
NIDN. 0412097501

Pembimbing 2



Ir. Pengki Irawan, S.TP. M.Si.
NIDN. 0016118601

Penguji 1



Ir. Hendra, S.T., M.Sc.
NIDN. 1021097101

Penguji 2



Ir. H Herianto, S.T., M.T.
NIDN. 0429077002

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Siliwangi



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Aripin, IPU.
NIP. 196708161996031001

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Universitas Siliwangi



Ir. Pengki Irawan, S.TP. M.Si.
NIDN. 0016118601

LEMBAR KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ANDITA CITRA PUSPITA
NPM : 197011052
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul Tugas akhir : Pengaruh Penambahan Abu Kayu Mahoni
Terhadap Karakteristik *Paving Block*

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan tiruan atau publikasi dari tugas akhir yang telah dipergunakan untuk mendapat gelar sarjana teknik sipil di lingkungan kampus universitas siliwangi, maupun di universitas lain, serta belum pernah dipublikasi.

Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab serta bersedia menerima sanksi jika pernyataan di atas tidak benar.

Tasimalaya, September 2023



ANDITA CITRA PUSPITA
197011052

ABSTRAK

Paving block terbuat dari campuran semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah yang tidak mengurangi mutu beton tersebut. Semen merupakan komponen aktif utama dalam campuran *paving block*. Semen terdiri dari beberapa komposisi senyawa diantaranya kapur (CaO), Silika (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), dan Besi (Fe). Salah satu bahan baku yang memiliki oksida serupa semen yaitu silika (SiO₂) adalah abu kayu mahoni. Abu kayu mahoni adalah hasil sampingan dari pembakaran kayu mahoni. Pembuangan abu kayu mahoni secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sebagai upaya untuk mengurangi dampak dari pencemaran lingkungan dan juga upaya untuk menghadirkan inovasi dalam industri *paving block*, abu kayu mahoni dijadikan bahan tambah dalam pembuatan *paving block*. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menggunakan abu kayu mahoni sebagai bahan tambah pada campuran *paving block* dengan persentase penambahan sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dari berat semen. Tinjauan analisis pada penelitian ini adalah kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat, benda uji berupa kubus berukuran 6cm x 6cm x 6cm dengan umur 28 hari. Setelah dilakukan pengujian dan penelitian, didapat hasil kuat tekan rata-rata yang dihasilkan oleh *paving block* dengan variasi penambahan abu kayu mahoni 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% berturut-turut adalah 11,73 MPa, 13,50 MPa, 13,86 MPa, 11,28 MPa, 11,25 MPa dan 11,60 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 8,57%, 7,97%, 7,44%, 9,10%, 9,08% dan 8,97% serta nilai kehilangan berat akibat natrium sulfat sebesar 0,97%, 0,94%, 0,61%, 0,94%, 0,80% dan 0,91%. Kuat tekan, penyerapan air serta ketahanan terhadap natrium sulfat optimum terdapat pada penambahan abu kayu mahoni sebesar 8% yaitu memenuhi syarat *paving block* mutu C untuk penggunaan pejalan kaki.

Kata Kunci : *Paving Block*, Abu Kayu Mahoni, Kuat Tekan, Penyerapan Air, Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat.

ABSTRACT

Paving blocks are made from a mixture of cement, water and aggregate with or without added ingredients that do not reduce the quality of the concrete. Cement is the main active component in the paving block mixture. Cement consists of several compound compositions including lime (CaO), Silica (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), and Iron (Fe). One raw material that has an oxide similar to cement, namely silica (SiO₂), is mahogany wood ash. Mahogany wood ash is a byproduct of burning mahogany wood. Open disposal of mahogany wood ash can cause environmental pollution. As an effort to reduce the impact of environmental pollution and also an effort to bring innovation to the paving block industry, mahogany wood ash is used as an additional ingredient in making paving blocks. Therefore, this research was carried out using mahogany wood ash as an additional ingredient in the paving block mixture with an addition percentage of 0%, 4%, 8%, 12%, 16% and 20% of the cement weight. An overview of the analysis in this research is compressive strength, water absorption and resistance to sodium sulfate. The test object is a cube measuring 6cm x 6cm x 6cm with an age of 28 days. After testing and research, the average compressive strength results produced by paving blocks with variations in the addition of 0%, 4%, 8%, 12%, 16% and 20% mahogany wood ash were 11.73 MPa, respectively. 13.50 MPa, 13.86 MPa, 11.28 MPa, 11.25 MPa and 11.60 MPa with water absorption values of 8.57%, 7.97%, 7.44%, 9.10%, 9.08% and 8.97% and weight loss values due to sodium sulfate were 0.97%, 0.94%, 0.61%, 0.94%, 0.80% and 0.91%. Optimum compressive strength, water absorption and resistance to sodium sulfate are found in the addition of 8% mahogany wood ash, which meets the requirements for quality C paving blocks for pedestrian use.

Keywords: *Paving Block, Mahogany Ash, Compressive Strength, Water Absorption, Resistance to Sodium Sulfate.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH PENAMBAHAN ABU KAYU MAHONI TERHADAP KARAKTERISTIK *PAVING BLOCK*”** ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu di Universitas Siliwangi.

Laporan Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan tepat pada waktunya tanpa bimbingan, bantuan dan do'a dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi, dan bimbingan, serta dukungan moril maupun materiil.
2. Bapak Dr. Ir. Yusep Ramdani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Pengki Irawan, S.TP., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan juga Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Hendra, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji Tugas akhir.
5. Bapak Ir. H. Herianto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas akhir.
6. Bapak Ir. Indra mahdi, M.T. selaku Dosen Wali selama di perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terimakasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pihak lain yang membacanya.

Tasikmalaya, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGSAHAN	i
LEMBAR KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Paving Block</i>	5
2.2 Kelebihan dan Kelemahan Pasangan <i>Paving Block</i>	5
2.3 Klasifikasi <i>Paving Block</i>	5
2.4 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	7
2.5 Material Penyusun <i>paving block</i>	8
2.6 Pengujian Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	10
2.7 Perencanaan Campuran <i>Paving Block (Mix Design)</i>	13
2.8 Deviasi Standar (S).....	13

2.9	Proses Pembuatan <i>Paving Block</i>	14
2.10	Perawatan <i>Paving Block</i>	15
2.11	Pemotongan <i>Paving Block</i>	16
2.12	Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	16
2.13	Pengujian Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	17
2.14	Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat <i>Paving Block</i>	17
3	METODE PENELITIAN	20
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	20
3.2	Teknik Pengumpulan Data	20
3.3	Alat dan Bahan	20
3.4	Rancangan Penelitian	22
3.5	Analisis Data	23
3.5.1	Analisis Pengujian Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	23
3.5.2	Analisis Desain Campuran (<i>Mix Design</i>)	23
3.5.3	Analisis Pengujian Kuat Tekan.....	24
3.5.4	Analisis Perhitungan Nilai Deviasi Standar.....	24
3.5.5	Analisis Pengujian Penyerapan Air	24
3.5.6	Analisis Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat	24
3.5.7	Analisis Hubungan Antara Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄	24
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Hasil Pengujian Bahan	27
4.2	Hasil Perhitungan Analisis <i>Mix Design</i>	34
4.3	Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan.....	35
4.4	Hasil Perhitungan Deviasi Standar.....	39
4.5	Hasil Analisis Pengujian Penyerapan Air	40

4.6	Hasil Analisis Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat ...	43
4.7	Hubungan Antara Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄	46
5	KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran	50
	DAFTAR PUSTAKA.....	51
	LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	7
Tabel 2.2 Kandungan Oksida Pada Semen Portland	9
Tabel 2.3 Komposisi Senyawa Semen Portland	9
Tabel 2.4 Tinjauan Rekapitulasi Untuk Penelitian Sejenis	19
Tabel 3.1 Variasi dan Jumlah Sampel	22
Tabel 3.2 Waktu Penelitian	24
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus ..	27
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1...28	
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2...29	
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1 dan 2	29
Tabel 4.5 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Gembur	31
Tabel 4.6 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Tusuk.....	31
Tabel 4.7 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Ketuk.....	32
Tabel 4.8 Berat Isi Rata-Rata	32
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	33
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kadar Air.....	33
Tabel 4.11 Rekapitulas Hasil Perhitungan Kebutuhan Campuran	35
Tabel 4.12 Penggolongan Mutu <i>Paving Block</i>	38
Tabel 4.13 Penggolongan Mutu Pada Pengujian Penyerapan Air.....	43
Tabel 4.14 Perubahan Nilai Hasil Pengujian <i>Paving Block</i>	46
Tabel 4.15 Penggolongan Mutu Pada <i>Paving Block</i>	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Paving Block</i> Segi Empat	6
Gambar 2.2 <i>Paving Block</i> Segi Banyak.....	6
Gambar 2.3 <i>Paving Block</i> Setelah Dipotong	16
Gambar 2.4 Sketsa Contoh Uji Kuat Tekan	16
Gambar 3.1 (A). Lokasi Lab TBK, (B). Lokasi PT. Herlina Putra <i>Block</i>	20
Gambar 3. 2 Alur Penelitian	26
Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan	30
Gambar 4.2 Pengujian Kuat Tekan.....	35
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	36
Gambar 4.4 Grafik Analisis Regresi Polinomial Kuat Tekan	36
Gambar 4.5 Perendaman <i>Paving Block</i> Dalam Air Selama 24 Jam	40
Gambar 4.6 Pengeringan <i>Paving Block</i> Dalam Oven Selama 24 Jam	40
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	41
Gambar 4.8 Grafik Analisis Regresi Polinomial Penyerapan Air	41
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Ketahanan Na ₂ SO ₄	44
Gambar 4.10 Grafik Analisis Regresi Polinomial Ketahanan Na ₂ SO ₄	44

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving block atau bata beton merupakan salah satu jenis material yang umum digunakan pada pembangunan jalan, trotoar, lapangan parkir dan untuk penggunaan lantai lainnya karena memiliki sifat yang cukup kuat dan tahan lama. Untuk mendapatkan kualitas bata beton yang baik, sangat penting untuk mempelajari sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun campuran tersebut. Bahan penyusun *paving block* sendiri diantaranya adalah campuran semen portland, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah yang tidak mengurangi mutu beton tersebut.

Semen portland atau yang biasa juga disebut sebagai perekat hidrolis karena dapat mengeras apabila bersentuhan dengan air dan berubah menjadi benda padat yang tidak larut dalam air. Semen portland memiliki tekstur khas berupa serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menggiling terak atau klinker yang mengandung senyawa kalsium silikat dan gypsum sebagai bahan tambahan, komposisi kimia yang umum berada didalam semen portland adalah kapur (CaO) : 60 - 67 %, Silika (SiO₂) : 17 - 25 %, Alumina (Al₂O₃) : 3-8 % dan Besi (Fe) : 0,5 - 6 %, Neville (2011).

Silika (SiO₂) merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan mutu beton akibat reaksi yang terjadi antara silika (SiO₂) dan kapur (CaO) yang ada didalam campuran beton. Silika (SiO₂) dalam jumlah tertentu dapat berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel pembentuk material sehingga dengan adanya silika (SiO₂) maka porositas campuran beton atau mortar akan menjadi lebih kecil dan selanjutnya kedepan beton dan mortar akan bertambah. Hal ini dapat menyebabkan kekuatan material meningkat.

Salah satu bahan baku yang mengandung senyawa silika (SiO₂) adalah abu kayu mahoni dan telah terbukti dapat menjadi pengganti sebagian semen pada campuran beton. Beberapa penelitian terkait pemanfaatan limbah abu kayu mahoni sebagai bahan pengganti sebagian material penyusun beton, mortar serta *paving block* telah dilakukan sebagai upaya untuk menemukan inovasi dalam

teknologi beton dan juga upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah abu kayu.

Penelitian sejenis mengenai hal tersebut telah dilakukan oleh Alip Nur Muhammad (2022). Dengan judul “Pengaruh substitusi sebagian semen menggunakan abu serbuk kayu mahoni hasil pembakaran terhadap mutu *paving block*”. Penelitian ini menggunakan abu serbuk kayu mahoni dengan ukuran lolos ayakan No.100 dan proporsi penggunaan abu kayu mahoni sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa substitusi sebagian semen menggunakan abu serbuk kayu mahoni pada pembuatan *paving block* dapat meningkatkan nilai kuat tekan *paving block* secara konstan pada variasi 0%, 5%, 10% dan 15%. Namun, nilai kuat tekan mengalami penurunan pada variasi 20% dan sedikit meningkat pada variasi 25%. Nilai optimum kuat tekan didapat pada persentase penambahan abu kayu mahoni sebesar 15%. Selain itu, pada pengujian penyerapan air pada *paving block* mengalami penurunan konstan pada penambahan abu kayu dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%. Namun, penyerapan air mengalami peningkatan pada variasi 20% dan sedikit menurun pada variasi 25%.

Untuk mengetahui apakah abu serbuk kayu mahoni dapat digunakan sebagai bahan tambah campuran *paving block*, maka dilakukan penelitian terkait pemanfaatan abu serbuk kayu mahoni sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block* dengan judul “pengaruh penambahan abu kayu mahoni terhadap karakteristik *paving block*”. Penelitian ini akan menggunakan abu kayu mahoni dengan ukuran lolos ayakan No.200 dan proporsi penambahan abu kayu mahoni sebesar 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dari berat semen.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap nilai kuat tekan *paving block*.
2. Bagaimana pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap penyerapan air pada *paving block*.

3. Bagaimana pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap ketahanan natrium sulfat pada *paving block*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap nilai kuat tekan *paving block*.
2. Menganalisis pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap penyerapan air pada *paving block*.
3. Menganalisis pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dengan ukuran butir lolos ayakan No.200 terhadap ketahanan natrium sulfat pada *paving block*.

1.4 Manfaat Penelitian

Membuktikan pengaruh perbedaan karakteristik pada *paving block* normal dengan *paving block* yang ditambahkan abu kayu mahoni dalam bahan penyusunnya.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, dibutuhkan kerangka pemikiran yang jelas untuk mempersempit fokus penelitian mengingat kompleksitas topik yang sedang diteliti, sehingga penelitian memiliki batasan yang terdefinisi dengan baik. Berikut ini adalah batasan masalah yang penulis tetapkan untuk penelitian ini:

1. Pengujian bahan penyusun, kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat (Na_2SO_4) dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Siliwangi.
2. Pembuatan benda uji dan pemotongan benda uji dilaksanakan di PT. Herlina Putra Blok.
3. Tinjauan analisis adalah pengujian kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan natrium sulfat (Na_2SO_4) pada *paving block*.
4. *Paving block* yang dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm dan kemudian akan dipotong menjadi ukuran 6cm x 6cm x 6cm.
5. Umur pengujian *paving block* adalah 28 hari.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang ada.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dan lokasi penelitian, teknik pengumpulan data, persiapan peralatan dan bahan, rancangan penelitian, analisis data dan alur penelitian.

BAB 4 : ANALISA DATA

Bab ini berisi tentang penguraian data perhitungan dari analisis yang telah di lakukan dan pemecah permasalahan yang ada dalam peneltian ini.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan berikut saran-saran.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Paving Block*

Bata beton atau *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran bahan perekat hidrolis, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah yang tidak mengurangi mutu beton tersebut.

Paving block memiliki kegunaan yang sangat luas diantaranya sebagai material penutup dan peneras permukaan tanah dengan penggunaan yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan yaitu dimulai dari penggunaan yang sederhana hingga yang membutuhkan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat dimanfaatkan untuk memperindah trotoar jalan di kota-kota, mempercantik taman, pekarangan, rumah, sebagai penerasan jalan di lingkungan perumahan atau pemukiman, penerasan tempat parkir, area perkantoran, pabrik dan halaman sekolah, serta dapat diterapkan di kawasan hotel dan restoran.

2.2 Kelebihan dan Kelemahan Pasangan *Paving Block*

Pasangan *Paving block* memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan dibandingkan material lain. Kelebihan *paving block* antara lain memiliki daya serap air yang baik sehingga dapat mengurangi genangan air dan mencegah bahaya banjir, pemasangan yang mudah, tahan terhadap tumpahan bahan pelumas dan pemanasan oleh mesin kendaraan, tahan terhadap beban statis, dinamik dan kejutan, serta dapat diproduksi secara massal.

Adapun kelemahan *paving block* adalah pasangannya mudah bergelombang bila pondasinya tidak dipasang dengan kuat dan kurang cocok untuk dipasang di lahan yang dilalui kendaraan berkecepatan tinggi. Sehingga *paving block* hanya cocok untuk dipasang di lahan yang dilalui kendaraan berkecepatan rendah saja seperti di lingkungan perumahan dan perkotaan yang padat.

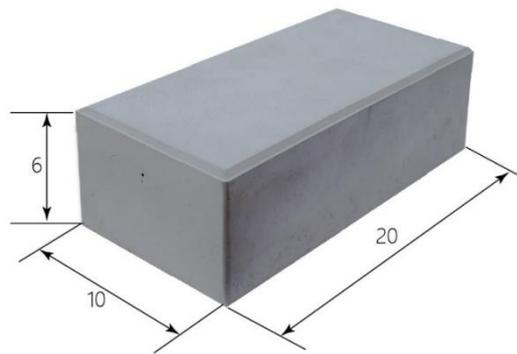
2.3 Klasifikasi *Paving Block*

Klasifikasi *paving block* didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan dan warna.

1. Klasifikasi berdasarkan bentuk

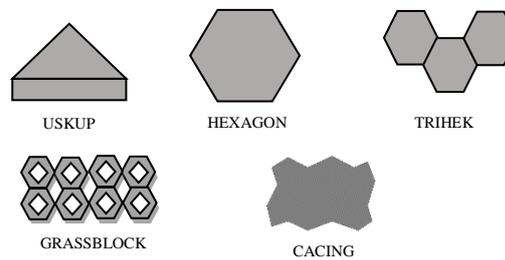
Bentuk *paving block* secara umum terbagi atas dua macam, yaitu:

- a. *Paving block* bentuk segi empat



Gambar 2.1 *Paving block* segi empat

b. *Paving block* segi banyak



Gambar 2.2 *Paving Block* segi banyak

2. Klasifikasi berdasarkan ketebalan
 - a. *Paving block* dengan ketebalan 60 mm.
 - b. *Paving block* dengan ketebalan 80 mm.
 - c. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm
3. Klasifikasi berdasarkan mutu
 - a. Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
 - b. Bata beton mutu B : digunakan untuk pelataran parkir
 - c. Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
 - d. Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya
4. Klasifikasi berdasarkan warna

Pilihan warna yang tersedia di pasaran, yaitu abu-abu, hitam dan merah, pada *paving block* perbedaan warna tidak hanya menambah nilai estetika, tetapi juga berfungsi sebagai penanda batas pada perkerasan seperti tempat parkir, tali air dan lain-lain.

2.4 Syarat Mutu *Paving Block*

Bata beton atau *paving block* harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi 8%. Namun, kuat tekan dari *paving block* tidak ditentukan oleh ketebalannya, melainkan oleh komposisi material penyusunnya. *paving block* harus memenuhi kriteria untuk memastikan mutu yang baik dan mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang berbeda. *Paving block* harus memiliki kualifikasi mutu seperti pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Syarat mutu *Paving block*

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Mutu K <i>paving</i> <i>block</i>		Penyerapan air rata-rata maksimum (%)	Kehilangan berat akibat Na ₂ SO ₄ rata-rata maksimum (%)
	Rata- rata	Min	Rata- rata	Min		
A	40	35	K400	K350	3	1
B	20	17,0	K200	K170	6	1
C	15	12,5	K150	K125	8	1
D	10	8,5	K100	K85	10	1

Sumber : SNI 03-0691-1996

Dalam spesifikasi *paving block*, terdapat beberapa mutu yang harus dipenuhi mengacu pada SNI 03-0691-1996 yaitu :

1. Mutu A mempunyai kuat tekan minimal 35 MPa dan rerata 40 MPa yang setara dengan K400 hingga K350 yang diperuntukan untuk jalan.
2. Mutu B mempunyai kuat tekan minimal 17,0 MPa dan rerata 20 MPa yang setara dengan K200 hingga K170 yang diperuntukan untuk peralatan parkir.
3. Mutu C mempunyai kuat tekan minimal 12,5 MPa dan rerata 15 MPa yang setara dengan K150 hingga K125 yang diperuntukan untuk pejalan kaki.
4. Mutu D mempunyai kuat tekan minimal 8,5 MPa dan rerata 10 MPa yang setara dengan K100 hingga K85 yang diperuntukan untuk taman dan penggunaan lain.

Adanya standar mutu bata beton ini penting untuk memastikan bahwa bata beton yang diproduksi sesuai dengan kebutuhan dan dapat memenuhi persyaratan keamanan dan kualitas dalam penggunaannya.

2.5 Material Penyusun *paving block*

Bata beton atau *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari air, semen dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah.

1. Air

Dalam campuran beton dan juga *paving block*, air digunakan sebagai bahan pembentuk *paving block* untuk hidrasi semen dan membasahi butiran-butiran agregat agar mempermudah proses pencampuran bahan pada *paving block*. Selain itu, air juga digunakan untuk masa perawatan *paving block* setelah pembentukan. *Paving block* yang telah jadi akan direndam dengan air atau disiram dengan air secara berkala, proses ini dikenal dengan istilah *curing*.

Dalam perhitungan campuran *paving block*, perbandingan jumlah air dan semen sangat menentukan kekuatan dan kemudahan dalam pencampuran *paving block*. Perbandingan tersebut dikenal dengan sebutan faktor air semen. Penggunaan air yang terlalu berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan penggunaan air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya. Sehingga kedua kondisi penggunaan air tersebut dapat mempengaruhi kekuatan *paving block* yang akan dihasilkan.

2. Semen Portland

Semen portland adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak yang terdiri atas Kalsium Silikat (CaSiO_3) yang digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa Kalsium Sulfat (CaSO_4) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Semen portland digolongkan menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah :

- 1) Semen Portland Tipe I. Semen portland tipe ini dalam penggunaannya untuk umum tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Semen Portland Tipe II. Semen portland tipe ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- 3) Semen Portland Tipe III. Semen Portland tipe ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Semen Portland Tipe IV. Semen Portland tipe ini dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- 5) Semen Portland Tipe V. Semen Portland tipe ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Selain itu juga semen portland mempunyai sifat-sifat kimia yang mempengaruhi kualitas *paving block* yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen portland. Perbandingan susunan oksida dan senyawa semen portland akan ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagaimana berikut.

Tabel 2.2 Kandungan Oksida Pada Semen Portland

No	Senyawa	Kandungan (%)
1.	Kapur (CaO)	60 – 67
2.	Silika (SiO ₂)	17 - 25
3.	Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
4.	Besi (Fe)	0,5 - 6
5.	Magnesia (MgO)	0,5 - 4
6.	Sulfur (SO ₃)	2,0 - 3,5
7.	Soda/potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,3 - 1,2

(Sumber : Neville, 2011)

Unsur oksida tersebut bila direaksikan akan menghasilkan senyawa utama yang terkandung dalam semen portland yaitu C₃S (*tricalcium silicate* – 3CaO.SiO₂), C₂S (*dicalcium silicate* – 2CaO.SiO₂), C₃A (*tricalcium aluminate* – 2CaO.SiO₂) dan C₄AF (*tetracalcium aluminoferrite* – 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃). Komposisi senyawa ini dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagaimana berikut.

Tabel 2.3 Komposisi Senyawa Semen Portland

No.	Senyawa	Kandungan (%)
1.	C ₃ S	45 – 65
2.	C ₂ S	10 – 25

3.	C ₃ A	7 – 12
4.	C ₄ AF	5 – 11

(Sumber: Tjokrodimuljo, 2007)

3. Abu Kayu Mahoni

Abu kayu adalah limbah yang dihasilkan dari pembakaran kayu. Abu kayu mahoni merujuk pada abu yang dihasilkan dari pembakaran kayu mahoni. Kayu mahoni adalah kayu yang berasal dari pohon mahoni, yang merupakan salah satu jenis pohon kayu keras yang tumbuh di daerah tropis.

Menurut hasil penelitian Gustan dan Hartoyo (1990) tentang analisis kimia 9 jenis kayu di Indonesia termasuk kayu mahoni, terdapat beberapa komponen kimia yang terkandung dalam kayu tersebut, salah satunya adalah silika. Kayu mahoni memiliki kandungan silika sebesar 0,34, yang menjadikannya sebagai salah satu kayu dengan kandungan tinggi silika.

4. Agregat

Agregat memiliki peran penting sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, agregat dapat sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar/beton, sehingga pemilihan agregat menjadi sangat penting. Agregat menempati 60-80% dari total volume beton, Tjokodimuljo (1996). Sehingga sangat berpengaruh terhadap kualitas beton apabila menggunakan agregat yang baik. Beton dapat memiliki sifat yang baik seperti mudah dikerjakan, kuat, tahan lama, dan ekonomis. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, dewasa ini disadari bahwasannya agregat juga memberikan kontribusi positif pada sifat beton seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*). Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat seperti kepadatan dan modulus elastis beton.

2.6 Pengujian Bahan Penyusun *Paving Block*

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam material tersebut agar penggunaannya sesuai dengan peraturan.

1. Pemeriksaan Analisa saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir agregat. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan gradasi pasir menurut standar SNI 03-1968-1990 :

- 1) Sampel pasir seberat sekitar 250-2000 gr disiapkan.
- 2) Pasir dan masing-masing ayakan mesh yang akan digunakan ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 gram.
- 3) Ayakan mesh disusun berdasarkan ukuran terbesar ke terkecil, lalu pasir dimasukkan pada ayakan dengan ukuran terbesar.
- 4) Mesin pengayak dinyalakan dan di tunggu hingga proses pengayakan selesai.
- 5) Ayakan mesh yang berisi pasir yang telah diayak ditimbang kembali.
- 6) Hasil timbangan dicatat dan dikurangkan dengan berat ayakan yang telah diukur pada awalnya.
- 7) Data pengukuran disajikan.

2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh dan berat jenis semu. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir menurut standar SNI 03-1970-1990 :

- 1) Sampel pasir dengan volume sekitar 250-500 gr disiapkan.
- 2) Sampel pasir ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 gram. Berat sampel pasir dicatat. (W1)
- 3) Sampel pasir dimasukkan ke dalam wadah yang berisi air hingga pasir benar-benar tenggelam.
- 4) Pasir dikeringkan hingga dalam keadaan SSD.
- 5) Pasir dimasukkan ke dalam kerucut Abraham yang diisi sepertiga bagian kemudian ditekan sebanyak 25 kali sampai penuh, setiap 1/3 bagian ditekan sebanyak 25 kali.
- 6) Pasir kondisi SSD ditimbang.
- 7) Pasir SSD yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam piknometer.
- 8) Air dimasukkan ke dalam piknometer yang berisi pasir hingga penuh.
- 9) Piknometer kemudian dikocok hingga gelembung udara keluar.
- 10) Piknometer yang telah diisi air dan pasir ditimbang (W2).

- 11) Piknometer yang diisi air tanpa pasir ditimbang (W3).
- 12) Berat jenis pasir dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\gamma_{\text{pasir}} = (W1) / (W1 + W3 - W2)$$

- 13) Hasil pengukuran berat jenis pasir tersebut.
3. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Besar kandungan lumpur maksimal adalah < 5% yang merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan kandungan lumpur pasir menurut standar SNI 03-1969-1990:

- 1) Sampel pasir seberat 250-500 gr diambil.
- 2) Pasir dimasukkan ke dalam wadah ukur dan air ditambahkan.
- 3) Air dan pasir diaduk sehingga tidak ada gelembung di dalam pasir.
- 4) Larutan pasir dan air dibiarkan mengendap selama beberapa jam.
- 5) Ukuran tinggi pasir dan tinggi lumpur dicatat.

Apabila tinggi lumpur melebihi 5% tinggi pasir maka pasir tidak memenuhi standar, yaitu kandungan lumpur tidak boleh memiliki nilai melebihi 5%.

4. Pemeriksaan Berat Isi Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah pasir yang diperlukan dalam perbandingan campuran dengan bahan lain. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan berat isi pasir menurut standar SNI 03-1969-1990:

- 1) Sampel pasir seberat 250-1000 gr diambil.
- 2) Wadah ukur pasir ditimbang.
- 3) Wadah ukur diisi dengan pasir tanpa dipadatkan.
- 4) Wadah yang telah diisi pasir diukur.
- 5) Pengulangan dilakukan minimal sebanyak 2 kali.
- 6) Berat isi pasir dihitung menggunakan rumus: berat pasir/volume benjana.

5. Pemeriksaan Kadar Air Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa nilai kadar air yang terkandung dalam pasir. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan kadar air

- 1) Sampel pasir seberat 500-2500 gr diambil.
- 2) Wadah ukur pasir ditimbang.

- 3) Wadah ukur yang telah diisi pasir ditimbang.
- 4) Pasir dan wadah ukur dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam.
- 5) Berat kering pasir ditimbang kembali.
- 6) Selisih antara pasir sebelum di oven dan setelah di oven dihitung.

2.7 Perencanaan Campuran *Paving Block* (*Mix Design*)

Saat ini belum ada standar yang mengatur tentang *mix design paving block* secara spesifik, maka *mix design paving block* dapat dilakukan dengan cara perbandingan semen dengan agregat untuk mencapai mutu yang diinginkan. Cara ini sering digunakan pada praktik perancangan campuran beton termasuk *paving block*.

Dalam perencanaan campuran *paving block* digunakan perbandingan volume campuran semen:pasir sebesar 1:6. Penggunaan perbandingan volume ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Alip Nur Muhamad (2022) yang menunjukkan bahwa campuran dengan perbandingan tersebut menghasilkan nilai kuat tekan *paving block* maksimum sebesar 10 MPa yang masuk ke dalam mutu D pada *paving block* normal. Faktor air semen yang digunakan adalah sebesar 0,35 Tjokrodinuljo (1992), sedangkan faktor pemadatan mesin hidrolis yang digunakan adalah sebesar 1,3. Kebutuhan abu serbuk kayu mahoni diperoleh dari persentase abu serbuk kayu mahoni terhadap berat semen. Komposisi kebutuhan campuran *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan pasir 1 } \textit{paving block} = \frac{6}{7} \times \text{Berat isi pasir} \times V \textit{ paving block} \times 1,3 \quad (2.1)$$

$$\text{Kebutuhan semen 1 } \textit{paving block} = \frac{\text{kebutuhan pasir}}{6} \quad (2.2)$$

$$\text{Kebutuhan abu serbuk kayu } a\% = b\% \times \text{Total kebutuhan semen} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$V \textit{ paving block}$ = Volume *paving block* (cm³)

1,3 = Faktor pemadatan mesin hidrolis

$a\%$ = Variasi persentase abu serbuk kayu mahoni (%)

$b\%$ = Jumlah persentase abu serbuk kayu mahoni (%)

2.8 Deviasi Standar (S)

Deviasi standar S adalah alat ukur tingkat mutu pelaksanaan pembuatan pembetonan. Nilai S ini digunakan sebagai salah satu data masukan pada

perencanaan campuran adukan beton. Perhitungan nilai deviasi standar tidak dapat dilakukan apabila

- a) Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman hasil pengujian contoh beton pada masa lalu, maka deviasi standar S tidak dapat dihitung.
- b) Jika pelaksana mempunyai data pengalaman hasil pengujian, maka menurut “Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung” (SK SNI 03-2847-2002) nilai standar deviasi ditetapkan dengan cara berikut.

Perhitungan nilai deviasi standar berdasarkan pengalaman lapangan dilakukan jika :

- (a) Fasilitas produksi beton (pembuat beton) mempunyai catatan hasil uji, dengan syarat :
- (b) Jenis bahan dasar beton serupa dengan yang akan dibuat
- (c) Kuat tekan beton yang disyaratkan pada kisaran 7 MPa dari kuat tekan yang akan dibuat
- (d) Jumlah minimum 30 buah berurutan atau 2 kelompok contoh yang masing-masing berurutan dengan jumlah seluruhnya minimum 30 buah. Nilai deviasi standar dihitung dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{cr})^2}{n-1}}$$

Dengan : S = Deviasi standar (MPa)

F_c = Kuat tekan masing-masing silinder beton (MPa)

F_{cr} = Kuat tekan rata-rata

N = Banyaknya nilai kuat tekan beton

2.9 Proses Pembuatan *Paving Block*

Proses pembuatan *paving block* dimulai dengan pembuatan pasta yaitu pencampuran antara air dan semen, lalu pasta dicampurkan dengan agregat sampai menjadi satu kesatuan homogen yang dikerjakan menggunakan mesin molen, kemudian campuran *paving block* cair di tuangkan ke dalam cetakan baja, sebelum diratakan, *paving block* harus digetarkan dan ditekan dengan mesin *press* hidrolik. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa campuran *paving block* merata dan padat di dalam cetakan.

Setelah *paving block* selesai dicetak, *paving block* langsung dibuka dari cetakan dan dimasukkan ke dalam ruang perawatan dengan kelembaban kurang

lebih 80%. Dalam proses pembuatan *paving block*, pemilihan bahan baku yang berkualitas, proses pemadatan yang tepat dan perawatan yang baik sangat penting untuk mendapatkan kualitas *paving block* yang kuat dan tahan lama.

Cara pembuatan *paving block* yang biasanya digunakan oleh masyarakat dapat diklasifikasikan menjadi dua metode, yaitu:

1. Konvensional

Metode ini umum digunakan oleh masyarakat untuk industri rumahan karena selain alat yang digunakan sederhana, juga mudah dalam proses pembuatannya sehingga dapat dilakukan oleh berbagai kalangan.

2. Mekanis

Metode mekanis dalam lingkungan masyarakat biasa disebut metode *press*. Metode ini masih jarang digunakan karena pembuatan *paving block* dengan metode mekanis membutuhkan beberapa alat dengan harga yang relatif mahal. Metode mekanis ini biasanya digunakan oleh pabrik dengan skala industri sedang atau besar. Metode mekanis ada dua yakni :

- 1) Metode *Vibrator*

Proses produksi dengan cara ini biasanya menghasilkan *paving block* dengan mutu K-150 s/d K-225. Adapun penggunaannya sebaiknya untuk pedestrian dan lahan parkir yang tidak terlalu luas dengan beban yang tidak terlalu berat.

- 2) Metode Hidrolik

Proses produksi dengan mesin hidrolik menghasilkan *paving block* dengan mutu K-225 ke atas. Adapun penggunaannya dapat diaplikasikan pada semua tempat, baik untuk pedestrian maupun parkir yang luas dengan beban yang cukup berat. Untuk hasil akhir dan penggunaan jangka panjang dianjurkan menggunakan *paving block press* hidrolik.

2.10 Perawatan *Paving Block*

Perawatan benda uji dilakukan setelah benda uji mencapai *final setting*, artinya benda uji telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, benda uji akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat.

2.11 Pemotongan *Paving Block*

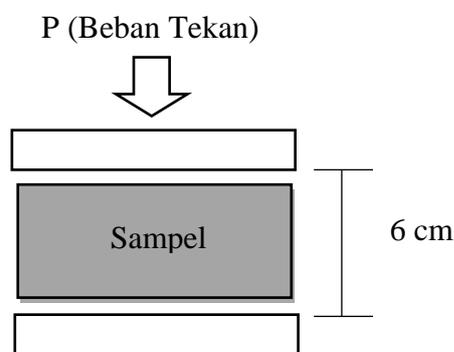
Setelah dilakukan perawatan, benda uji dari ukuran cetakan asli 20 cm x 10 cm x 6 cm dipotong menjadi bentuk kubus sesuai syarat pengujian kuat tekan *paving block* sehingga menjadi ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm. Pemotongan dilakukan di tempat pembuatan *paving block*.



Gambar 2.3 *Paving block* setelah dipotong

2.12 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Kuat tekan *paving block* adalah kemampuan *paving block* untuk menahan beban tekan terbesar yang dinyatakan dalam satuan N/m² yang kemudian dapat di konversikan kedalam satuan MPa. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 pengujian kuat tekan pada *paving block* didapat dari perhitungan beban per satuan luas.



Gambar 2.4 Sketsa contoh uji kuat tekan

Alat uji yang digunakan adalah *Compressor Testing Machine* (CTM). Pengujian ini dilakukan dengan memberikan gaya tekan pada benda uji sampai benda uji tersebut mengalami retak atau hancur dengan cara meletakkan benda uji pada bagian tengah penopang alat CTM lalu nyalakan mesin dan *setting* maksimum *compression* dan proses uji selesai. Semakin semakin besar nilai kuat tekan *paving block*, maka semakin tinggi mutu *paving block*. Berdasarkan standar

pengujian bata beton (*paving block*) yaitu SNI-03-0691-1996, Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan} = P / A$$

Keterangan :

P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

2.13 Pengujian Penyerapan Air *Paving Block*

Penyerapan air *paving block* adalah persentase dari berat air yang diserap melalui pori-pori *paving block*. Hasil ini didapatkan dari membandingkan berat *paving block* kering (setelah pengovenan benda uji pada suhu +/- 100°C selama 24 jam) dan basah (setelah perendaman 24 jam).

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, untuk memperoleh nilai penyerapan air *paving block* digunakan rumus sebagaimana berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \left\{ \frac{(A-B)}{B} \times 100\% \right\} \quad (2.4)$$

$$\text{Penyerapan air rata-rata} = \frac{\sum \text{Penyerapan air}}{n} \quad (2.5)$$

$$\text{Kenaikan nilai penyerapan air} = \left\{ \frac{(\text{Penyerapan air } a\% - \text{Penyerapan air } 0\%)}{\text{Penyerapan air } 0\%} \right\} \times 100 \quad (2.6)$$

Keterangan :

A = Berat bata beton basah (gr)

B = Berat bata beton kering (gr)

Σ Penyerapan Air = Jumlah nilai penyerapan air satu variasi (%)

n = Jumlah sampel

Penyerapan air (a%) = Nilai penyerapan air rata-rata pada variasi tertentu (%)

Penyerapan air (0%) = Nilai penyerapan air *paving block* normal (%)

2.14 Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat *Paving Block*

Pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat dilakukan untuk mengetahui ketahanan *paving block* terhadap kerusakan dan keretakan akibat pengaruh lingkungan. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 hasil pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat didapat dari pengukuran berat dan tampilan fisik berupa keadaan baik/tidak cacat ataupun retak-retak. Dengan prosedur pengujian berupa:

1. Sampel yang akan diuji dikeringkan dengan suhu (105±2)° C hingga berat tetap, kemudian didinginkan dalam eksikator.

2. Setelah dingin timbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, kemudian rendam dalam larutan jenuh garam natrium sulfat selama 16 sampai dengan 18 jam, setelah itu diangkat dan diamkan agar cairan yang berlebihan meniris.
3. Selanjutnya masukkan benda uji kedalam pengering dengan suhu $(105 \pm 2)^\circ \text{C}$ selama kurang lebih 2 jam, kemudian dinginkan sampa suhu kamar.
4. Perendaman dan pengeringan diulangi sampai 5 kali berturut-turut.
5. Pada pengeringan yang terakhir, cuci benda uji sampai tidak ada lagi sisa garam sulfat yang tertinggal.
6. Untuk mempercepat pencucian dapat dilaukan pencucian dengan air panas bersuhu kurang lebih $40 - 50^\circ \text{C}$
7. Setelah pencucian, benda uji dikeringkan dalam sampai berat tetap ($\pm 2 - 4$ jam), kemudian dinginkan dan timbang kembali dengan ketelitian 0,1 gram.
8. Apabila selisih penimbangan sebelum perendaman dan setelah perendaman tidak lebih dari 1% dan benda uji tidak cacat dapat dinyatakan bahwa benda uji dalam keadaan baik namun apabila selisish penimbangan lebih dari 1% maka benda uji dinyatakan cacat, bila 2 dari 3 benda uji cacat maka secara keseluruhan sampel dinyatakan cacat.

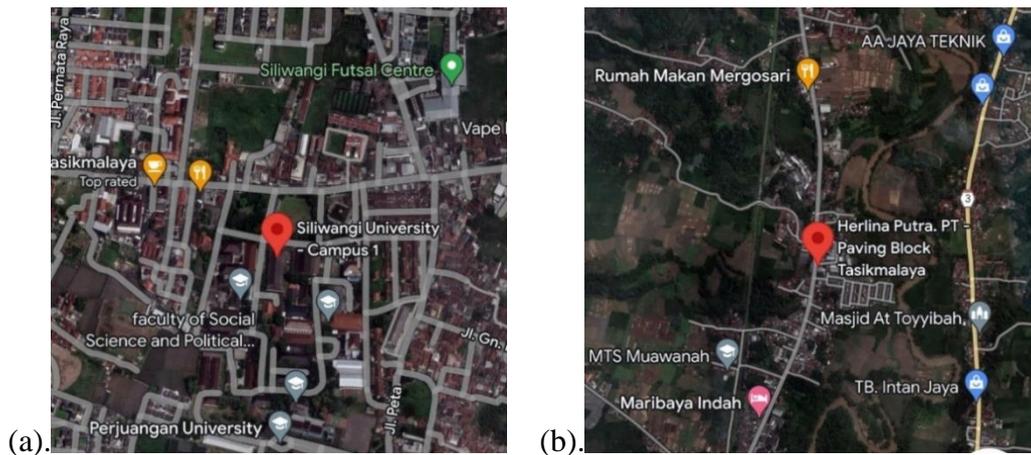
Tabel 2.4 Rekapitulasi data tinjauan pustaka untuk penelitian sejenis

Nama Peneliti Dan Tahun Penelitian	Ibnu jauzi dkk (2012)	Muhammad ansori (2018)	Alip nur muhamad (2022)	Andita citra (2023)
Judul Penelitian	Studi deskriptif analitis pemanfaatan abu serbuk kayu mahoni sebagai bahan tambah pembuatan <i>paving block</i> untuk mencari kuat tekan optimum berdasarkan sni 03-0691-1996.	Pengaruh penambahan abu serbuk kayu terhadap kuat tekan, porositas dan beban <i>impact paving block</i> .	Pengaruh substitusi sebagian semen menggunakan abu serbuk kayu mahoni hasil pembakaran terhadap mutu <i>paving block</i>	Pengaruh penambahan abu kayu mahoni terhadap karakteristik <i>paving block</i>
Tujuan Penelitian	Mengetahui berapa nilai kuat tekan optimum yang dihasilkan oleh <i>paving block</i> menggunakan bahan tambah serbuk abu mahoni dengan penambahan 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat semen pada umur 28 hari.	Mengetahui berapa nilai kuat tekan, porositas dan beban <i>impact</i> optimum yang dihasilkan oleh <i>paving block</i> menggunakan bahan tambah serbuk abu kayu dengan penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen pada umur 90 hari.	Menganalisa kuat tekan, keausan dan penyerapan air yang terjadi pada <i>paving block</i> bila menggunakan abu serbuk kayu mahoni sebagai bahan substitusi sebagian semen 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada umur 28 hari.	Menganalisis pengaruh penambahan abu kayu mahoni sebesar 0%, 4%, 8%,12%,16% dan 20% dengan ukuran butir lolos saringan no.200 terhadap nilai kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan dari natrium sulfat pada <i>paving block</i> umur 28 hari.
Desain Campuran	Fas 0,35,pc:ps sebesar 1pc:4ps ditambah abu serbuk mahoni 0%, 5%, 10%, 15% dari berat semen	Perbandingan campuran 1pc:5ps ditambah abu serbuk gergaji kayu 0%, 5%, 10%, 15% dari berat semen	Fas 0,35 dan semen:pasir 1pc:6ps ditambah abu serbuk mahoni 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen	Fas 0,35 dan semen:pasir 1pc:6ps ditambah abu serbuk gergaji mahoni 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dari berat semen
Metode Penelitian	Pembuatan <i>paving block</i> dengan metode mekanis	Pembuatan <i>paving block</i> dengan metode konvensional & abu kayu ukuran lolos saringan no. 200	Pembuatan <i>paving block</i> dengan metode mekanis & abu kayu ukuran lolos saringan no. 100	Pembuatan <i>paving block</i> dengan metode mekanis & abu kayu ukuran lolos saringan no. 200
Hasil Penelitian	Nilai kuat tekan rata-rata yang dihasilkan pervariannya adalah 23,83 MPa, 30 MPa, 41,28 MPa dan 24,90 MPa. Nilai kuat tekan <i>paving block</i> optimum terdapat pada variasi penambahan 10% dengan peningkatan sebesar 73,26% dari <i>paving block</i> normal dan termasuk ke dalam mutu A	Nilai kuat tekan rata-rata yang dihasilkan dengan variasi penambahan abu serbuk kayu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% adalah 14,25 MPa, 13,62 MPa, 15,79 MPa, 12,20 MPa, 11,95 MPa dan 10,41 MPa. Nilai kuat tekan <i>paving block</i> optimum terdapat pada variasi penambahan 10% dengan peningkatan sebesar 10,81% dari <i>paving block</i> normal dan termasuk ke dalam mutu C.	Peningkatkan nilai kuat tekan <i>paving block</i> pada variasi 0%, 5%, 10% dan 15%, 20% dan 25%. Berturut turut adalah 10,797 MPa, 17,699 MPa, 21,744 MPa, 22,454 MPa, 17,948 MPa, 17,963 MPa. Nilai kuat tekan <i>paving block</i> optimum terdapat pada variasi penambahan 15% dengan peningkatan sebesar 107,973% dari <i>paving block</i> normal dan termasuk ke dalam mutu B.	kuat tekan rata-rata <i>paving block</i> dengan variasi penambahan abu kayu mahoni 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% berturut-turut adalah 11,73 MPa, 13,50 MPa, 13,86 MPa, 11,28 MPa, 11,25 MPa dan 11,60 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 8,57%, 7,97%, 7,44%, 9,10%, 9,08% dan 8,97% serta nilai kehilangan berat akibat natrium sulfat sebesar 0,97%, 0,94%, 0,61%, 0,94%, 0,80% dan 0,91%. Kuat tekan, penyerapan air serta ketahanan terhadap natrium sulfat optimum terdapat pada penambahan abu kayu mahoni sebesar 8% yaitu memenuhi syarat <i>paving block</i> mutu C.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak bulan Mei – Juli 2023, Pembuatan *paving block* dilakukan di PT. Herlina putra *block* dan pengujian bahan material, kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat di lakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Siliwangi.



Gambar 3.1 (a). Lokasi Lab TBK, (b). Lokasi PT. Herlina Putra *Block*

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini hanya digunakan data primer yaitu data hasil pengujian langsung dilapangan berupa pengujian dan analisis bahan penyusun, kuat tekan, penyerapan air serta ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block* di Laboratorium TBK Universitas Siliwangi.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam tahap ini dilakukan persiapan peralatan dan bahan-bahan untuk penyusunan *paving block*, yaitu meliputi :

1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini dari mulai pengujian bahan penyusun sampai dengan pengujian kuat tekan, antara lain adalah:

- 1) Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram

- 2) Sendok dan mangkok

Sendok dan mangkok digunakan untuk menampung bahan-bahan yang akan di gunakan.

- 3) Kerucut Abraham dan penekan
Digunakan pada saat pengujian berat jenis pasir.
- 4) Piknometer
Digunakan untuk menguji berat jenis dan kadar lumpur pada pasir.
- 5) Silinder cetak beton
Digunakan pada pengujian berat isi agregat halus.
- 6) Ayakan mesh
Digunakan untuk menganalisa ukuran butir bahan material.
- 7) *Mixer*
Mixer yang digunakan adalah *mixer* yang tersedia di PT. Herlina Putra - *Paving Block* Tasikmalaya, digunakan untuk mencampur adonan pada pembuatan *paving block*.
- 8) Mesin *press paving block*.
Mesin *press* yang digunakan adalah mesin *press* hidrolik yang tersedia di PT. Herlina Putra - *Paving Block* Tasikmalaya.
- 9) Pencetak *paving block*.
Cetakan *paving block* yang digunakan berjenis Holand dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm.
- 10) Alat pemotong *paving block*
Alat pemotong *paving block* yang digunakan tersedia di PT. Herlina Putra Block.
- 11) Jangka sorong.
Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang, lebar dan tinggi spesimen *paving block*.
- 12) Alat uji kuat tekan
paving block pada umur 28 hari akan diuji menggunakan mesin tekan digital yang tersedia di laboratorium bahan bangunan Universitas Siliwangi.

2. Bahan

Bahan-bahan penyusun campuran *paving block* yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- 1) Agregat halus berupa pasir galunggung yang berasal dari gunung Galunggung.
- 2) Semen portland yang digunakan pada penelitian ini adalah kemasan 50kg.
- 3) Air yang digunakan berasal dari PT. Herlina Putra blok.
- 4) Abu kayu lolos ayakan no. 200, berasal dari limbah produksi gula merah yang menggunakan jenis kayu mahoni sebagai bahan bakar.

3.4 Rancangan Penelitian

Lokasi pengujian bahan penyusun, kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block* bertempat di Laboratorium TBK Universitas Siliwangi, lokasi pembuatan serta pemotongan *paving block* bertempat di PT. Herlina Putra Blok. *Paving block* yang akan dibuat dalam penelitian ini berbentuk segi empat yaitu holan dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm yang kemudian dipotong sesuai syarat ketentuan pengujian *paving block* sehingga menjadi berbentuk kubus dengan ukuran 6cm x 6cm x 6cm. *Paving block* yang dibuat akan ditambahkan abu kayu mahoni dengan proporsi penambahan sebanyak 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% dari berat semen dengan ukuran butir abu kayu ahoni lolos ayakan No.200. Perencanaan campuran *paving block* menggunakan perbandingan semen:pasir sebesar 1:6 dengan nilai faktor air semen sebesar 0,35. Pembuatan *paving block* menggunakan metode mekanis yaitu dengan mesin *paving block press* hidrolik yang membuat minimal 12 buah *paving block* per sekali cetak. Tinjauan penelitian meliputi pengujian pengujian kuat tekan, penyerapan air dan pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block*. Total benda uji berjumlah 90 buah dan umur pengujian kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat pada umur 28 hari. Variasi dan jumlah sampel benda uji terlampir pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Variasi dan Jumlah Sampel

No.	Variasi (%)	Benda Uji Utuh (Buah)	Benda Uji Setelah Dipotong (Buah)	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
1.	0	4	12	5	5	5
2.	4	4	12	5	5	5

No.	Variasi (%)	Benda Uji Utuh (Buah)	Benda Uji Setelah Dipotong (Buah)	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
3.	8	4	12	5	5	5
4.	12	4	12	5	5	5
5.	16	4	12	5	5	5
6.	20	4	12	5	5	5
Total		24	72	30	30	30
						90

3.5 Analisis Data

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu kayu mahoni terhadap karakteristik *paving block*. Analisis data pada penelitian ini meliputi Analisis pengujian bahan penyusun, perencanaan desain campuran, pengujian kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block*.

3.5.1 Analisis Pengujian Bahan Penyusun *Paving Block*

Pengujian material penyusun *paving block* dilakukan untuk memahami karakteristik dan sifat-sifat yang terdapat pada bahan penyusun *paving block*, serta untuk memastikan bahwa bahan penyusun *paving block* sesuai dengan standar dan persyaratan yang telah ditetapkan. Pengujian bahan penyusun ini meliputi pengujian analisa saringan, kadar lumpur, kadar air, berat isi dan berat jenis. Dari data hasil pengujian bahan penyusun *paving block* akan didapat *mix design*.

3.5.2 Analisis Desain Campuran (*Mix Design*)

Analisis desain campuran dilakukan untuk memperoleh proporsi bahan-bahan penyusun *paving block*. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat yang telah ditetapkan. *Mix design* pada penelitian ini akan mengacu pada penggunaan semen banding pasir dengan perbandingan 1 Semen : 6 Pasir dan nilai faktor air semen sebesar 0,35 dan nilai faktor pemadatan mesin hidrolis sebesar 1,3.

3.5.3 Analisis Pengujian Kuat Tekan

Analisis pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengidentifikasi mutu dari *paving block*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Dengan alat *Compressor Testing Machine* (CTM).

3.5.4 Analisis Perhitungan Nilai Deviasi Standar

Analisis perhitungan nilai deviasi standar dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana data hasil pengujian bersifat homogen atau seragam. Dalam konteks ini, standar deviasi digunakan untuk mengukur sebaran atau variasi hasil pengujian kuat tekan dari berbagai sampel *paving block* yang diuji.

3.5.5 Analisis Pengujian Penyerapan Air

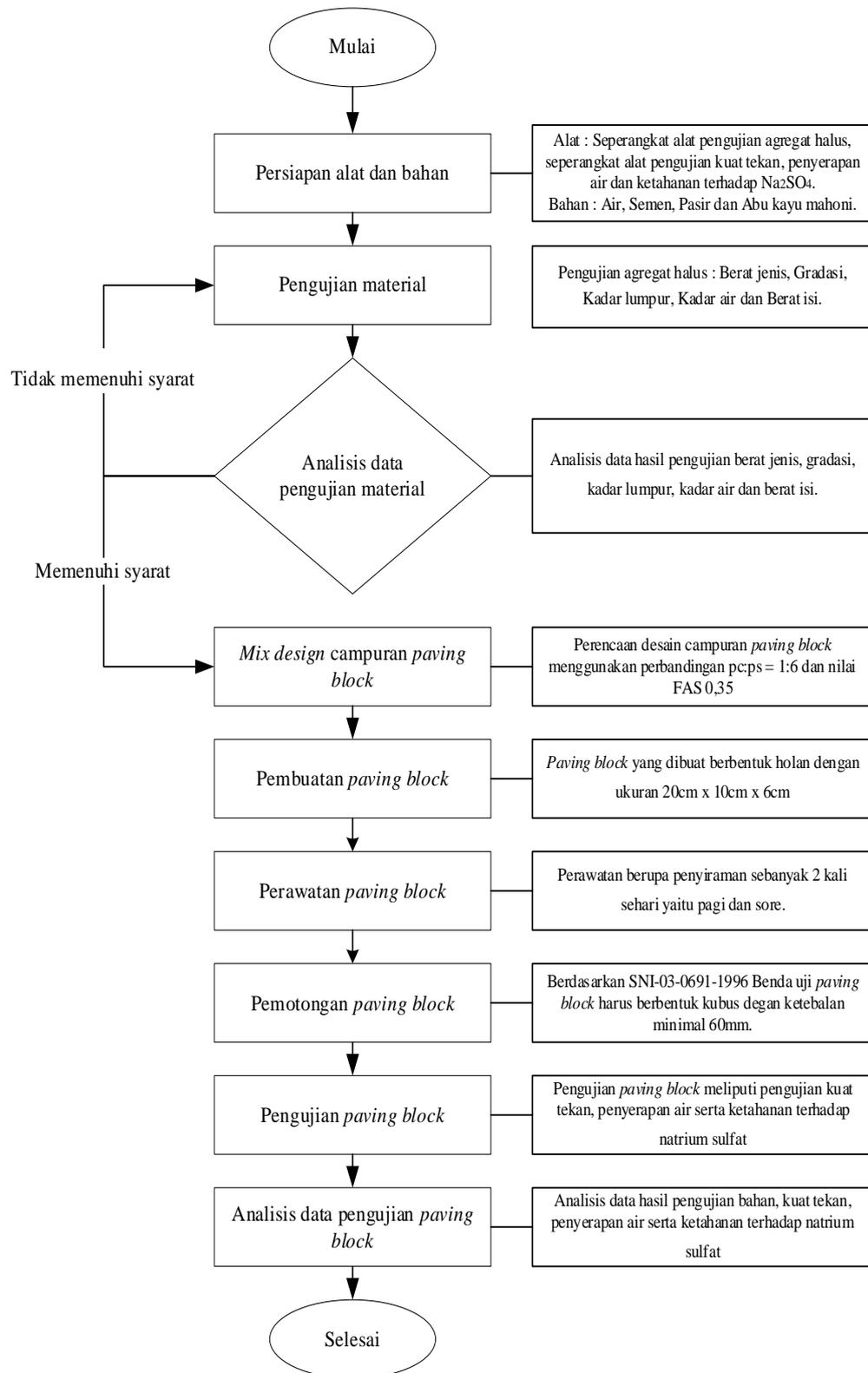
Analisis pengujian penyerapan air dilakukan untuk mengidentifikasi nilai penyerapan air dari *paving block*. Hasil dari pengujian nilai penyerapan air merupakan salah satu acuan dalam menentukan mutu *paving block*. Pengujian penyerapan air dilakukan pada umur *paving block* 28 hari.

3.5.6 Analisis Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Analisis pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat dilakukan untuk mengetahui ketahanan *paving block* terhadap kerusakan dan keretakan akibat pengaruh lingkungan. Hasil dari pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat merupakan salah satu acuan dalam menentukan syarat kelayakan *paving block*. Pengujian ini dilakukan pada umur *paving block* 28 hari.

3.5.7 Analisis Hubungan Antara Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Terhadap Na_2SO_4

Analisis hubungan antara kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap Na_2SO_4 dilakukan untuk mengetahui hubungan diantara ketiganya dalam perubahan nilai hasil analisis pengujian dan penggolongan mutu pada *paving block*.



Gambar 3.2 Alur penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan air agregat halus. Berikut data hasil pengujian terlampir pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1.	Berat pasir kering mutlak, Bk	490	490	490
2.	Berat pasir kondisi jenuh kering muka, SSD	500	500	500
3.	Berat piknometer berisi air, B	660	660	660
4.	Berat piknometer berisi pasir dan air, Bt	980	980	980
5.	Berat jenis curah $Bk / (B + SSD - Bt)$	2,72	2,72	2,72
6.	Berat jenis jenuh kering muka, $SSD / (B + Bk - Bt)$	2,78	2,78	2,78
7.	Berat jenis semu, $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,88	2,88	2,88
8.	Penyerapan Air, $(SSD - Bk) / Bk \times 100\%$	2,04	2,04	2,04

Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus didapatkan nilai rata-rata berat jenis curah adalah 2,72, berat jenis jenuh kering muka 2,78, berat jenis semu adalah 2,88 serta persentase penyerapan air sebesar 2,04%. Nilai ini memenuhi spesifikasi nilai minimum yang telah ditetapkan menurut SNI 03-1970-1990 yaitu untuk hasil pengujian berat jenis berada diantara 2,58-2,83.

Nilai rata-rata persentase penyerapan air untuk agregat halus sebesar 2,04% artinya agregat halus layak untuk digunakan karena nilai tersebut lebih kecil dari standar dan telah memenuhi spesifikasi nilai yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 03-1970-1990 yaitu 3%.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Langkah pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan berdasarkan SNI-03-1968-1990. Hasil dari pengujian analisis saringan agregat halus tiap sampel adalah sebagai berikut.

1) Perhitungan data analisa saringan agregat halus sampel 1

Perhitungan data Analisa saringan agregat halus sampel 1 terlampir pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1

No.	Saringan		Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Persen kumulatif Sampel 1	
	(mm)	(inchi)	(gram)	(gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
1.	9,5	3/8"	0	0	0	100
2.	4,75	#4	20	20	2	98
3.	2	#10	80	100	10	90
4.	1,18	#16	20	120	12	88
5.	0,85	#20	340	460	46	54
6.	0,3	#50	300	760	76	24
7.	0,125	#120	220	980	98	2
8.	Pan		20	1000	100	0
MHB					2,44	

2) Perhitungan data analisis saringan agregat halus sampel 2

Perhitungan data analisa saringan agregat halus sampel 2 terlampir pada Tabel 4.3 berikut.

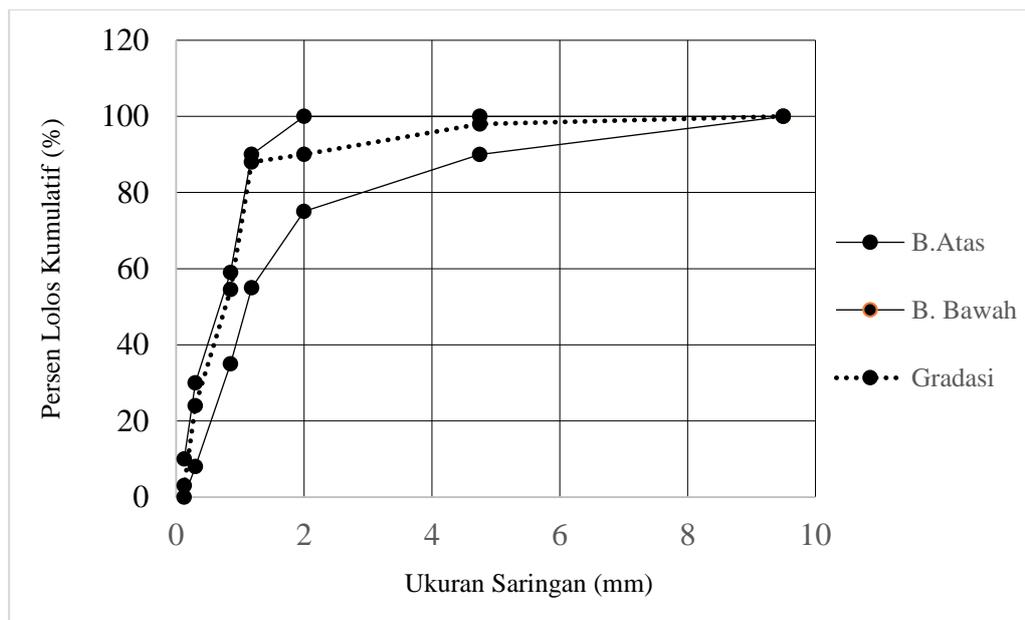
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2

No.	Saringan		Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Persen kumulatif Sampel 1	
	(mm)	(inchi)	(gram)	(gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
1.	9,5	3/8"	0	0	0	100
2.	4,75	#4	20	20	2	98
3.	2	#10	80	100	10	90
4.	1,18	#16	20	120	12	88
5.	0,85	#20	330	450	45	55
6.	0,3	#50	310	760	76	24
7.	0,125	#120	200	960	96	4
8.	Pan		40	1000	100	0
MHB					2,41	

3) Perhitungan data analisis saringan agregat halus rata-rata sampel 1 dan sampel 2

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1 dan 2

No.	Saringan		Persen Kumulatif Sampel 1	Persen Kumulatif Sampel 2	Rata-Rata Persen Kumulatif	Spesifikasi
	(mm)	(inchi)	(%)	(%)	(%)	
1.	9,5	3/8"	100	100	100	100-100
2.	4,75	#4	98	98	98	90-100
3.	2	#10	90	90	90	75-100
4.	1,18	#16	88	88	88	55-90
5.	0,85	#20	54	55	54,5	35-59
6.	0,3	#50	24	24	24	8-30
7.	0,125	#120	2	4	3	0-10
MHB					2,43	



Gambar 4.1 Grafik Analisa saringan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) rata-rata kedua sampel pengujian agregat halus yaitu sebesar 2,43. Hal ini menunjukkan bahwasannya nilai modulus halus butir agregat halus yang diperoleh telah memenuhi ketentuan yaitu dengan nilai MHB berkisar antara 1,5 sampai dengan 3,8. Hasil analisis data perhitungan lolos kumulatif yang didapatkan dari agregat halus sampel 1 dan sampel 2 menunjukkan bahwasannya agregat halus yang akan digunakan masuk kedalam kategori zona 2 yaitu pasir agak kasar sesuai dengan batas yang disebutkan di dalam tabel agregat halus menurut SNI 03- 2834-1992.

3. Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Berat isi atau disebut juga sebagai berat satuan agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi. Hasil analisis berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran *paving block*. Berikut adalah data hasil pengujian berat isi agregat halus.

1) Pengujian berat isi dengan cara gembur

Pengujian berat isi dengan cara gembur menggambarkan berat isi bahan dalam keadaan lebih longgar dan tidak terkompresi. Mengisi wadah secara gembur memungkinkan adanya rongga udara dan ruang kosong antara

partikel bahan. Ini mencerminkan kondisi di mana bahan seringkali ditemui dalam situasi nyata.

Tabel 4.5 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Gembur

No	Keterangan	Satuan	Benda uji	
			1	2
1	Volume penakar	m ³	1,256	1,256
2	Berat penakar	kg	4,920	4,920
3	Berat penakar + benda uji	kg	6,980	7,020
4	Benda uji (3-2)	kg	2,060	2,100
5	Berat volume (4/1)	kg/m ³	1,640	1,671
Berat volume rata-rata			1,66	

2) Pengujian berat isi dengan cara tusuk

Pengujian berat isi dengan cara tusuk pada sampel bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi rongga udara yang terperangkap di dalam sampel. Hal ini menggambarkan langkah-langkah yang diambil untuk mengurangi ketidakakuratan yang mungkin muncul akibat adanya rongga udara yang dapat mengganggu pengukuran berat isi yang akurat.

Tabel 4.6 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Tusuk

No	Keterangan	Satuan	Benda uji	
			1	2
1	Volume penakar	m ³	1.256	1,256
2	Berat penakar	kg	4920	4,920
3	Berat penakar + benda uji	kg	7,020	7,020
4	Benda uji (3-2)	kg	2,100	2,100
5	Berat volume (4/1)	kg/m ³	1,672	1,672
Berat volume rata-rata			1,67	

3) Pengujian berat isi dengan cara ketuk

Pengujian berat isi dengan cara ketuk melibatkan proses ketukan ringan pada wadah yang berisi sampel. Tujuannya adalah untuk meratakan dan mengompres sampel, mengurangi volume ruang udara dalam bahan. Proses ini mencerminkan kondisi di mana bahan telah mengalami kompresi akibat beban atau tekanan dari atasnya.

Tabel 4.7 Pengujian Berat Isi Dengan Cara Ketuk

No	Keterangan	Satuan	Benda uji	
			1	2
1	Volume penakar	m ³	1,256	1,256
2	Berat penakar	kg	4,920	4,920
3	Berat penakar + benda uji	kg	7,040	7,060
4	Benda uji (3-2)	kg	2,120	2,140
5	Berat volume (4/1)	kg/m ³	1,687	1,703
Berat volume rata-rata			1,70	

4) Berat isi rata-rata

Berat isi rata-rata dari ketiga cara pengujian (gembur, tusuk, dan ketuk) dapat dihitung dengan mengambil rata-rata dari hasil pengujian yang diperoleh dari setiap metode. Berikut adalah hasil perhitungan berat isi rata-rata.

Tabel 4.8 Berat Isi Rata-rata

No	Cara pengujian berat isi	Berat volume (kg/m ³)
1	Cara gembur	1,66
2	Cara tusuk	1,67
3	Cara ketuk	1,70
Rata-rata		1,67

Dari data hasil pengujian berat isi agregat halus dengan cara gembur, tusuk, dan pukul didapat berat isi rata-rata sebesar 1,67 gr/cm³. Hasil analisis data ini memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan pada SNI-03-1973-2008 yaitu dengan batas minimum untuk berat isi agregat halus sebesar 0,4 sampai dengan 1,9 gr/cm³.

4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Besar kandungan lumpur maksimal adalah <5% yang merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Berikut hasil pengujian kadar lumpur dalam agregat halus.

Tabel 4.9 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

No.	Keterangan	Benda uji	
		1	2
1.	Tinggi pasir + lumpur	164 mm	163 mm
2.	Tinggi pasir (v1)	159 mm	159 mm
3.	Tinggi lumpur (v2)	5 mm	4 mm
4.	Kadar lumpur $\frac{v_2}{v_1+v_2} \times 100\%$	3,05%	2,45%
5.	Kadar lumpur rata-rata	2,75%	

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilakukan dengan dua sampel uji dan didapatkan nilai kadar lumpur rata-rata sebesar 2,75%. Hasil dari analisis data ini menunjukkan bahwasannya nilai kadar lumpur yang terkandung dalam agregat memenuhi syarat yaitu dimana nilai kadar lumpur maksimum yang ditetapkan menurut SK SNI S-04-1989-F dengan nilai sebesar <5%.

5. Hasil Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering dan dinyatakan dalam persen.

Tabel 4.10 Hasil pengujian kadar air

No.	Keterangan	Satuan	Benda Uji	
			1	2
1.	Berat Talam	gram	420	420
2.	Berat Talam + Benda Uji Basah	gram	2920	2920
3.	Berat Benda Uji Basah (2-1)	gram	2500	2500
4.	Berat Talam + Benda Uji Kering	gram	2880	2900
5.	Berat Benda Uji Ssd (4-1)	gram	2460	2480
6.	Kadar Air	%	1,37	0,68
Kadar Air Rata-Rata			1,03 %	

Pengujian kadar air agregat halus dilakukan menggunakan dua sampel dengan hasil analisa data pengujian yang menunjukkan nilai kadar air rata-

rata yaitu sebesar 1,03%. Persentase ini dinyatakan memenuhi syarat karena nilai tersebut masih memenuhi ketentuan kadar air yaitu sebesar <5%.

4.2 Hasil Perhitungan Analisis *Mix Design*

1. Analisis Perhitungan Kebutuhan Pasir

$$\begin{aligned} \text{Volume } \textit{paving block} &= 20 \times 10 \times 6 \\ &= 1200 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor pemadatan mesin} = 1,3$$

$$\text{Berat isi agregat halus} = 1,675 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir 1} &= \frac{6}{7} \times \text{berat isi agregat halus} \times V \text{ pvb} \times \\ \textit{paving block} &1,3 \\ &= \frac{6}{7} \times 1,675 \times 1200 \times 1,3 \\ &= 2239,714 \text{ gr} \end{aligned}$$

2. Analisis Perhitungan Kebutuhan Semen

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan semen 1} &= \frac{\text{kebutuhan pasir 1 } \textit{paving block}}{6} \\ \textit{paving block} &= \frac{2239,714}{6} \\ &= 373,286 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Analisis Perhitungan Kebutuhan Abu Kayu Mahoni

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan abu kayu mahoni.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan abu kayu} &= 4\% \times \text{Kebutuhan semen 1 } \textit{paving block} \\ \text{mahoni variasi 4\%} &= 4\% \times 376,160 \text{ gr} \\ &= 14,931 \text{ gr} \end{aligned}$$

4. Analisis Perhitungan Kebutuhan Air

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan air *paving block*.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= \text{FAS} \times \text{berat semen} \\ \text{Variasi (0\%)} &= 0,35 \times 373,286 \\ &= 130,650 \text{ ml} \\ \text{Kebutuhan Air} &= \text{FAS} \times (\text{berat semen} + 4\% \text{ abu}) \\ \text{Variasi 4\%} &= 0,35 \times (373,286 + 14,931) \\ &= 135,876 \text{ ml} \end{aligned}$$

5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Campuran

Rekapitulas hasil perhitungan kebutuhan campuran bahan penyusun *paving block* dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Rekapitulas Hasil Perhitungan Kebutuhan Campuran

No.	Variasi (%)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (ml)	Abu Kayu (gr)	Jumlah Benda Uji (Buah)
1.	0	373,286	2239,714	130,650	14,931	4
2.	4	373,286	2239,714	135,876	29,863	4
3.	8	373,286	2239,714	141,102	44,794	4
4.	12	373,286	2239,714	146,328	59,726	4
5.	16	373,286	2239,714	151,554	74,657	4
6.	20	373,286	2239,714	156,780	14,931	4
Total		8958,857	53753,143	3449,160	895,886	24

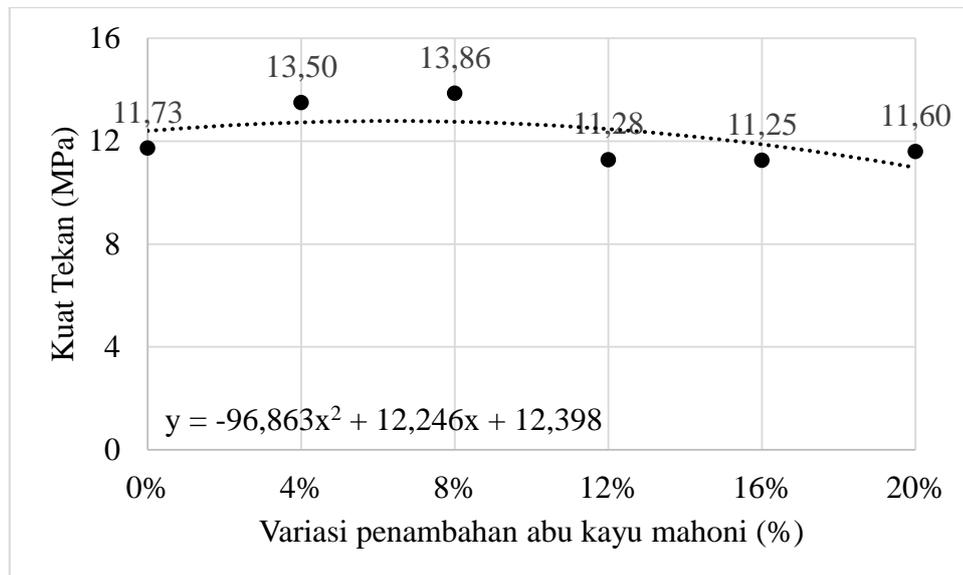
4.3 Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Siliwangi pada umur benda uji 28 hari dengan ukuran benda uji berbentuk kubus (6cm x 6cm x 6cm) sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada SNI 03-0691-1996 yaitu benda untuk pengujian kuat tekan pada *paving block* harus berukuran kubus.



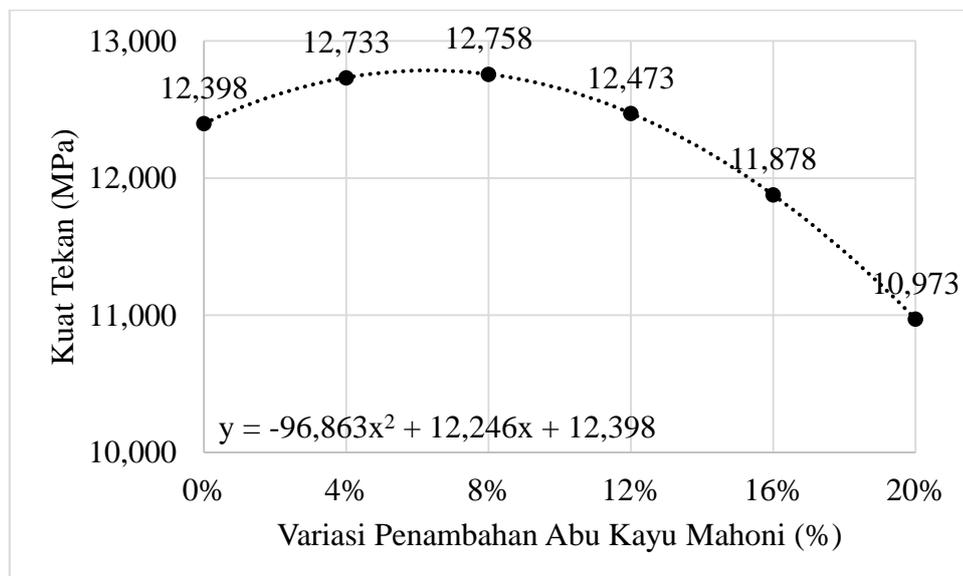
Gambar 4.2 Pengujian Kuat Tekan

Grafik hasil pengujian kuat tekan rata-rata *paving block* seluruh variasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata *Paving Block*

Oleh karena data hasil pengujian tidak linear dan berubah-ubah sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan optimum digunakan suatu ekspresi matematika yang dikenal dengan analisis regresi polinomial, analisis tersebut berdasarkan pada data hasil pengujian. Berikut adalah hasil analisis regresi polinomial.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Analisis Regresi Polinomial Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Berdasarkan analisis regresi polinomial didapatkan nilai kuat tekan optimum sebagaimana berikut.

$$y = -96,863 x^2 + 12,246 x + 12,398$$

$$x = -96,863 (2) + 12,246$$

$$x = 12,246 / -193,726$$

$$= 0,063 \approx 6,3\%$$

$$y' = -96,863 (0,063)^2 + 12,246 (0,063) + 12,398$$

$$= 12,785 \text{ MPa}$$

Berdasarkan analisis regresi polinomial diperoleh nilai kuat tekan optimum pada penambahan abu kayu mahoni 6,3% dari berat semen dengan nilai kuat tekan sebesar 12,785 MPa. Peningkatan ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya karena pengaruh pemadatan mesin hidrolik pada proses pembuatan *paving block*, faktor pemadatan tersebut dapat berperan besar dalam menentukan kekuatan dan ketahanan, kepadatan dimensi, penampilan visual dan kepadatan struktural pada *paving block* yang dihasilkan karena pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni saat proses pemadatan abu kayu mahoni tersebut berperan sebagai *filler* atau pengisi rongga dalam dimensi *paving block* sehingga *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni yang dipadatkan menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi karena memiliki dimensi yang lebih padat. Selain pengaruh faktor pemadatan mesin hidrolik pengaruh silika yang terkandung dalam abu kayu mahoni juga mempengaruhi kualitas *paving block*. Silika merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan mutu *paving block* akibat reaksi yang terjadi antara silika dan kapur bebas yang terkandung dalam *paving block*. Silika dalam jumlah tertentu dapat berperan sebagai pengisi antar partikel pembentuk material, sehingga dengan adanya silika maka porositas campuran pada *paving block* akan menjadi lebih kecil dan *paving block* akan menjadi lebih padat.

Setelah nilai kuat tekan *paving block* mencapai nilai tertinggi yaitu pada variasi penambahan abu kayu mahoni antara 4% sampai dengan 8%, selanjutnya terjadi penurunan nilai kuat tekan pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 12%, 16% dan 20%. Penurunan nilai kuat tekan *paving block* diakibatkan karena abu serbuk kayu mahoni yang digunakan sebagai bahan tambah campuran *paving block* berlebihan. Semakin banyak abu serbuk kayu

mahoni yang digunakan sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block* mengakibatkan kadar silika yang menyatu dengan bahan penyusun *paving block* lainnya juga semakin tinggi. Kadar silika yang berlebihan tersebut menimbulkan dampak negatif berupa timbulnya reaksi alkali silika. Reaksi alkali silika merupakan reaksi antar kandungan silika aktif dalam agregat dan alkali semen, reaksi alkali silika ini membentuk suatu gel yang menyelimuti butiran-butiran agregat. Gel tersebut dikelilingi oleh pasta semen dan apabila terjadi pemuaian maka akan terjadi tegangan internal yang dapat mengakibatkan retakan atau pecahnya pasta semen sehingga membuat *paving block* menjadi rapuh, Chandra (2013).

Berdasarkan hasil perhitungan regresi polinomial dilakukan penggolongan mutu *paving block* mengacu pada SNI 03-0691-1996. Penggolongan mutu *paving block* seluruh variasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12 Penggolongan Mutu *Paving Block*

Variasi (%)	Kuat Tekan (MPa)	Mutu Berdasarkan SNI	Fungsi <i>Paving Block</i>
0	12,398	D	Taman dan Penggunaan Lain
4	12,733	C	Pejalan Kaki
8	12,758	C	Pejalan Kaki
12	12,473	D	Taman dan Penggunaan Lain
16	11,878	D	Taman dan Penggunaan Lain
20	10,973	D	Taman dan Penggunaan Lain

Mengacu pada SNI 03-0691-1996 *paving block* digolongkan kedalam 4 mutu, yaitu mutu A untuk penggunaan jalan, mutu B untuk penggunaan peralatan parkir, mutu C untuk pejalan kaki dan mutu D yaitu untuk penggunaan taman dan lain-lain. Berdasarkan hasil perhitungan regresi polinomial pengujian kuat tekan dilakukan penggolongan mutu pada *paving block* normal, *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni sebesar 12%, 16% dan 20% yang memiliki nilai kuat tekan lebih dari 8,5 MPa namun kurang dari 12,5 MPa, sehingga *paving block* digolongkan kedalam mutu D, yaitu untuk penggunaan taman dan lain-lain. Sedangkan pada *paving block* dengan variasi penambahan abu kayu mahoni sebesar 4% dan 8% didapatkan nilai kuat tekan melebihi 12,5 MPa namun kurang

dari 17 MPa, sehingga dikategorikan pada *paving block* dengan mutu C, yaitu untuk penggunaan pejalan kaki.

4.4 Hasil Perhitungan Deviasi Standar

Standar deviasi adalah metode analisa tingkat mutu dengan mengukur nilai deviasi (penyimpangan) pada beton. Berikut adalah hasil perhitungan nilai standar deviasi pengujian kuat tekan *paving block*.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Standar Deviasi

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar deviasi	Kuat tekan minimum (MPa)	Kuat tekan maksimum (MPa)	Keterangan
0%.1	5,856	11,730	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
0%.2	13,401					
0%.3	12,074					
0%.4	13,483					
0%.5	13,834					
4%.1	15,867	13,497	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
4%.2	10,497					
4%.3	14,791					
4%.4	14,064					
4%.5	12,264					
8%.1	13,652	13,859	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
8%.2	12,798					
8%.3	13,007					
8%.4	14,164					
8%.5	15,676					
12%.1	15,419	11,280	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
12%.2	8,408					
12%.3	8,898					
12%.4	11,266					
12%.5	12,408					
16%.1	13,321	11,253	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
16%.2	12,066					
16%.3	10,045					
16%.4	8,169					
16%.5	12,664					
20%.1	13,445	11,596	3,351	8,379	15,081	Memenuhi syarat
20%.2	11,486					
20%.3	11,108					
20%.4	12,591					
20%.5	9,351					

4.5 Hasil Analisis Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dalam penelitian ini dilakukan setelah *paving block* berumur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah per variasi. *Paving block* yang semula berukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm dipotong menjadi ukuran kubus (6 cm x 6 cm x 6 cm) dengan menggunakan alat pemotong batuan. Proses pengujian penyerapan air ini dapat dilihat pada gambar berikut.

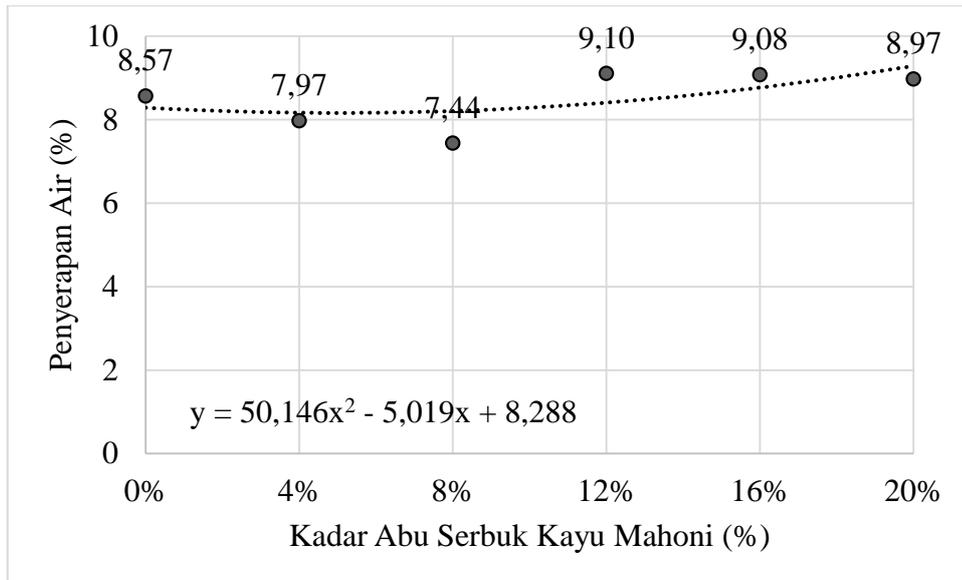


Gambar 4.5 Perendaman *Paving Block* Dalam Air Selama 24 Jam



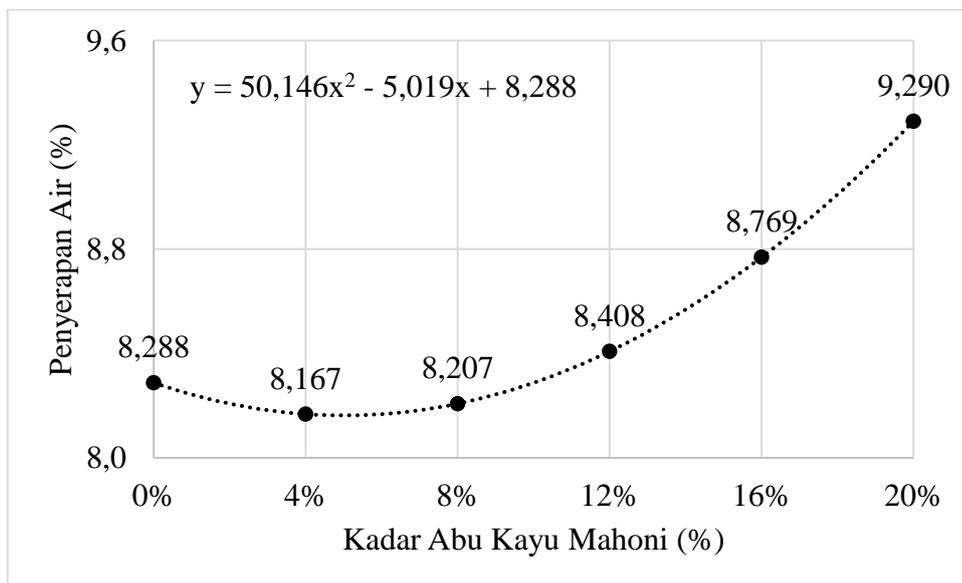
Gambar 4.6 Pengeringan *Paving Block* Dalam Oven Selama 24 Jam

Berikut adalah grafik hasil pengujian penyerapan air rata-rata *paving block* seluruh variasi penambahan abu kayu mahoni dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Penyerapan Air Rata-rata *Paving Block*

Oleh karena data hasil pengujian tidak linear dan berubah-ubah sehingga untuk mendapatkan nilai penyerapan air optimum digunakan suatu ekspresi matematika yang dikenal dengan analisis regresi polinomial. Berikut adalah hasil analisis regresi polinomial.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Analisis Regresi Polinomial Pengujian Penyerapan Air Rata-rata

Berdasarkan analisis regresi polinomial didapatkan nilai penyerapan air optimum sebagaimana berikut.

$$y = 50,146 x^2 - 5,019 x + 8,288$$

$$x = 50,146 (2) - 5,019$$

$$= 5,019/100,292$$

$$= 0,0500 \approx 5\%$$

$$y' = 50,146 (0,05)^2 - 5,019 (0,05) + 8,288$$

$$= 8,1624 \%$$

Berdasarkan analisis regresi polinomial diperoleh hasil bahwasannya nilai penyerapan air *paving block* menurun signifikan pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 5% yaitu dengan nilai penyerapan air sebesar 8,1624%. Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Penurunan nilai penyerapan air ini disebabkan karena berbagai faktor diantaranya karena nilai faktor air semen yang digunakan pada campuran *paving block* tergolong rendah yaitu sebesar 0,35, nilai faktor air-semen yang rendah dapat menghasilkan *paving block* dengan permukaan yang lebih padat dan halus. Hal ini berbanding lurus pada pengujian kuat tekan sebelumnya yang mana pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni rentang 4% dan 8% ditemukan nilai kuat tekan yang lebih tinggi sehingga pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 5% mengalami penurunan nilai penyerapan air yang berarti *paving block* tersebut memiliki ruang kosong yang lebih sedikit sehingga menyerap air yang juga lebih sedikit dibandingkan dengan *paving block* normal. Abu kayu mahoni yang merupakan bahan tambah dalam pembuatan *paving block* juga berfungsi sebagai *filler* atau pengisi antar partikel pembentuk *paving block* karena butirannya yang halus yaitu lolos saringan nomor 200 atau berdiameter 0,075 mm sehingga mampu mengisi kekosongan ruang kecil pada *paving block*. Dengan begitu porositas yang ada pada *paving block* menjadi berkurang, sebagai akibatnya nilai penyerapan air *paving block* menurun.

Setelah nilai penyerapan air mencapai nilai optimum yaitu pada penambahan abu kayu mahoni 5%, terjadi peningkatan yaitu pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 8%, 12%, 16% dan 20%. Peningkatan nilai penyerapan air ini disebabkan karena proporsi penambahan abu kayu mahoni berlebihan. Apabila persentase penambahan abu kayu mahoni ditingkatkan penggunaannya maka akan terbentuk ikatan baru selain ikatan antara abu kayu,

semen dan pasir yaitu ikatan antara abu kayu mahoni itu sendiri. Karena abu kayu mahoni telah melalui proses pengeringan dan pembakaran maka abu kayu mahoni mengandung karbon yang bersifat aus terhadap air sehingga lebih banyak menyerap air.

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial penyerapan air rata-rata seluruh variasi dilakukan penggolongan mutu *paving block* mengacu pada SNI 03-0691-19996. Penggolongan mutu *paving block* dapat dilihat pada tabel berikut.

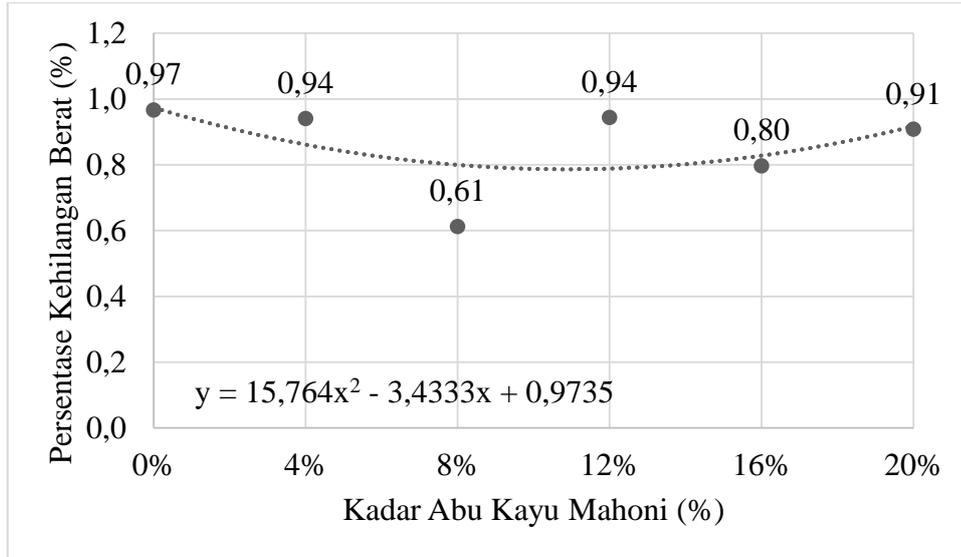
Tabel 4.14 Penggolongan Mutu Pada Pengujian Penyerapan Air

Variasi (%)	Penyerapan air (%)	Mutu Berdasarkan SNI	Fungsi <i>Paving Block</i>
0	8,288	D	Taman dan Penggunaan Lain
4	8,167	D	Taman dan Penggunaan Lain
8	8,207	D	Taman dan Penggunaan Lain
12	8,408	D	Taman dan Penggunaan Lain
16	8,769	D	Taman dan Penggunaan Lain
20	9,290	D	Taman dan Penggunaan Lain

Pada seluruh *paving block* (normal dan dengan penambahan abu kayu mahoni) didapatkan nilai penyerapan air lebih dari 8% namun kurang dari 10% sehingga *paving block* dapat digolongkan pada mutu D yaitu untuk penggunaan taman dan lain-lain.

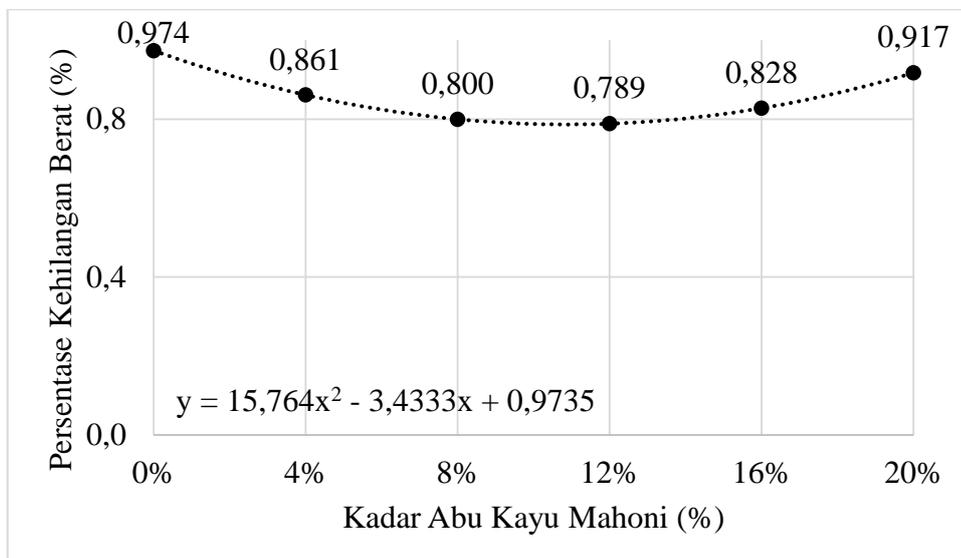
4.6 Hasil Analisis Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat ini dilakukan pada benda uji umur 28 hari dengan masing-masing sampel/variasi berjumlah 5 buah. Berikut adalah grafik hasil pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block* seluruh variasi dengan penambahan abu kayu mahoni yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Ketahanan Terhadap Sulfat Rata-rata

Oleh karena data hasil pengujian tidak linear dan berubah-ubah sehingga untuk mendapatkan nilai ketahanan terhadap Na_2SO_4 optimum digunakan suatu ekspresi matematika yang dikenal dengan analisis regresi polinomial. Berikut adalah hasil analisis regresi polinomial.



Gambar 4.10 Grafik Hasil Analisis Regresi Polinomial Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial pada grafik didapatkan nilai ketahanan terhadap natrium sulfat optimum sebagaimana berikut.

$$y = 15,906 x^2 - 3,451 x + 0,973$$

$$x = \frac{15,906 (2) - 3,451}{2 \times 15,906}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,451/31,528 \\
 &= 0,109 \approx 10,9\% \\
 y' &= 15,906 (-0,109)^2 - 3,451 (-0,109) + 0,973 \\
 &= 0,787\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis regresi polinomial pada grafik didapatkan nilai optimum penambahan abu kayu mahoni sebesar 10,9% dengan nilai kehilangan berat akibat natrium sulfat sebesar 0,787%. Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh hasil bawasannya nilai ketahanan terhadap natrium sulfat pada seluruh *paving block* (normal dan dengan penambahan abu kayu mahoni) memenuhi persyaratan mengacu pada SNI 03-0691-1996 yang menyatakan apabila selisih penimbangan sebelum dan setelah perendaman tidak lebih besar dari 1% serta benda uji tidak mengalami cacat secara fisik maka benda uji dinyatakan memenuhi syarat dan lulus uji. Namun meski begitu nilai kehilangan berat akibat perendaman larutan Na_2SO_4 ini terbukti mengalami perubahan berupa penurunan pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni. Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada abu kayu mahoni terdapat kandungan selulosa dan hemiselulosa, Achendri dkk (2018). Selulosa dan hemiselulosa merupakan senyawa organik yang bersifat stabil, inert dan tidak bereaksi dengan natrium sulfat. Hal ini membuktikan bahwa kandungan selulosa dan hemiselulosa yang ada dalam abu kayu mahoni dapat berperan sebagai agen stabilisasi dalam campuran *paving block* sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh natrium sulfat. Reaksi antara abu kayu mahoni dengan beberapa senyawa kimia dalam campuran *paving block* dapat menghasilkan produk reaksi yang lebih stabil terhadap kerusakan akibat natrium sulfat. Produksi reaksi ini dapat mengurangi reaktivitas terhadap natrium sulfat dan mengurangi kemungkinan pembentukan senyawa yang merusak struktur *paving block* sehingga dapat meningkatkan ketahanan *paving block* terhadap efek destruktif dari natrium sulfat.

Selain itu juga pada abu kayu mahoni terdapat kandungan silika yang tinggi yaitu sebesar 34%, Gustan dan Hartoyo (1990). Senyawa silika merupakan bahan utama dalam campuran semen, bernilai sebesar 17% - 25%, Neville (2011). Silika berperan besar pada suatu campuran *paving block*. Silika dengan jumlah tertentu

dapat berperan sebagai pengisi antar partikel serta berperan untuk menciptakan kekakuan dan kepadatan yang baik pada *paving block*. Namun apabila kadar silika pada campuran *paving block* berlebihan maka kehadiran silika berlebih tersebut dapat mengganggu distribusi partikel dalam campuran dan mengurangi kekuatan keseluruhan dalam *paving block* sehingga kelebihan silika pada campuran *paving block* berdampak pada rendahnya ketahanan terhadap suhu ekstrem karena kelebihan silika dapat mempengaruhi sifat fisik *paving block* seperti perubahan tekstur atau penampilan permukaan sehingga *paving block* tidak terbentuk sempurna dan mudah cacat saat terkena sulfat dalam air maupun tanah.

4.7 Hubungan Antara Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Terhadap Na₂SO₄

Berdasarkan pembahasan mengenai hasil pengujian kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat, diperoleh hubungan diantara ketiganya dalam hal perubahan nilai hasil analisis pengujian *paving block* dengan variasi penambahan abu kayu mahoni pada campuran *paving block*. Perubahan persentase nilai tersebut dapat dilihat pada tabel sebagaimana berikut.

Tabel 4.15 Perubahan Nilai Hasil Pengujian *Paving Block*

Variasi	Perubahan Nilai (%)		
	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
0%	0	0	0
4%	15,06	-6,94	-2,67
8%	18,16	-13,20	-36,65
12%	-3,83	6,26	-2,36
16%	-4,06	5,95	-17,59
20%	-1,14	4,73	-6,04

Tabel 4.16 Perubahan Nilai Hasil Analisis Regresi Polinomial Pengujian *Paving Block*

Variasi	Perubahan Nilai (%)		
	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
0%	0	0	0
4%	2,70	-1,45	-11,51

Variasi	Perubahan Nilai (%)		
	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
8%	2,90	-0,97	-17,85
12%	0,60	1,45	-19,00
16%	-4,19	5,80	-14,97
20%	-11,49	12,09	-5,76

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa abu kayu mahoni yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran pembuatan *paving block* memberikan pengaruh terhadap hasil pengujian karakteristik *paving block* yaitu berupa pengujian kuat tekan, penyerapan air serta ketahanan terhadap natrium sulfat. Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tanpa adanya penambahan abu kayu mahoni pada campuran *paving block* akan terdapat kekosongan ruang pada *paving block*, selain itu ikatan yang terbentuk tanpa penambahan abu kayu mahoni yaitu hanya ikatan antara semen dan pasir sedangkan apabila ditambahkan abu kayu mahoni maka akan terbentuk ikatan baru yaitu ikatan antara pasir, semen dan abu kayu mahoni. Dalam abu kayu mahoni terdapat kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 34%, Fengel dan Wegenre (1995). Silika merupakan bahan utama penyusun semen dan menempati sebesar 17% - 25% dalam komposisi semen. Dalam campuran *paving block* yang ditambahkan abu kayu mahoni terdapat kandungan silika yang dapat bereaksi dengan material pembentuk *paving block* dan berperan sebagai pengisi antar partikel pembentuk *paving block* karena butirannya yang halus sehingga abu kayu mahoni dapat lebih mudah mengisi ruang kosong pada *paving block* maka dengan begitu porositas yang ada dalam *paving block* menjadi berkurang sehingga akibatnya *paving block* menjadi lebih padat, nilai kuat tekan *paving block* meningkat serta nilai penyerapan air dan kehilangan berat akibat natrium sulfat menurun.

Namun apabila abu kayu mahoni yang dijadikan bahan tambah pada pembuatan *paving block* berlebihan maka reaksi yang terjadi adalah menurunnya nilai kuat tekan *paving block* serta meningkatnya nilai penyerapan air dan juga nilai kehilangan berat akibat natrium sulfat pada *paving block*. Hal ini terjadi karena setelah ikatan antar semen, pasir dan abu kayu mahoni telah mencapai nilai

optimum, sisa abu kayu mahoni yang tidak bereaksi dengan material pembentuk *paving block* lainnya akan menghadirkan ikatan baru, yaitu ikatan antar abu kayu mahoni itu sendiri dan oleh karena abu kayu mahoni telah melalui proses pembakaran dan pengeringan maka kandungan karbon pada abu kayu mahoni menjadi tinggi dimana karbon merupakan grafit sehingga ikatan antar karbon cukup lemah, bahkan lebih lemah dari ikatan antara karbon dan mortar sehingga menjadikan *paving block* lebih rapuh dan menyerap lebih banyak air.

Pada pengujian ketahanan terhadap sulfat baik *paving block* normal maupun *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni didapatkan nilai kehilangan berat yang tidak lebih daripada 1% serta tidak ditemukan kerusakan fisik pada *paving block* sehingga dapat dinyatakan bahwa penambahan abu kayu mahoni pada *paving block* tidak merusak ketahanan *paving block* terhadap natrium sulfat. Namun meski begitu nilai kehilangan berat dari *paving block* normal dengan *paving block* yang menggunakan penambahan abu kayu mahoni tidaklah sama hal ini dapat diartikan bahwa penambahan abu kayu mahoni berpengaruh terhadap perubahan nilai kehilangan berat akibat natrium sulfat pada *paving block*. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada abu kayu mahoni terdapat kandungan selulosa dan hemiselulosa yang merupakan senyawa organik. Reaksi antara senyawa organik yang terkandung dalam abu kayu mahoni dengan natrium sulfat cenderung lebih stabil dan inert sehingga dapat meningkatkan ketahanan *paving block* terhadap efek destruktif dari natrium sulfat.

Dapat dilihat pada tabel perubahan nilai hasil analisis pengujian *paving block* dimana dapat disimpulkan bahwa *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni lebih tahan terhadap natrium sulfat dibandingkan *paving block* normal dikarenakan nilai kehilangan berat nya terus menurun. Namun penurunan itu tidaklah konstan (semakin bertambah kadar abu kayu mahoni mengakibatkan pengurangan nilai kerusakan semakin kecil), nilai perubahan kehilangan berat tersebut mencapai optimum pada penambahan abu kayu mahoni sebesar 10,9% sedangkan pada penambahan kadar abu kayu lainnya nilai tersebut tidaklah konstan. Fenomena ini dapat dijelaskan sebagaimana berikut.

Umumnya peningkatan nilai kuat tekan akan berbanding lurus dengan penurunan nilai penyerapan air pada *paving block* serta pengujian lainnya terhadap *paving block* termasuk pada nilai ketahanan terhadap natrium sulfat. Hal ini dapat dibuktikan dengan grafik hubungan antara kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap sulfat di atas. Hal ini dikarenakan pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni yang tepat juga didapatkan nilai kuat tekan yang lebih optimal yang mana artinya *paving block* tersebut lebih padat dan reaksi kimia yang terjadi antar material lebih baik sehingga mengakibatkan nilai kerusakannya lebih rendah dibandingkan *paving block* dengan variasi lainnya.

Berikut ini merupakan penggolongan mutu pada *paving block* berdasarkan nilai tiap pengujian mengacu pada SNI 03-0691-1996.

Tabel 4.17 Penggolongan mutu pada *paving block*

Variasi	Penggolongan mutu <i>paving block</i> berdasarkan analisis regresi polinomial		
	Kuat Tekan	Penyerapan Air	Ketahanan Terhadap Na ₂ SO ₄
0%	D	D	Memenuhi syarat (<1%)
4%	C	C	Memenuhi syarat (<1%)
8%	C	C	Memenuhi syarat (<1%)
12%	D	D	Memenuhi syarat (<1%)
16%	D	D	Memenuhi syarat (<1%)
20%	D	D	Memenuhi syarat (<1%)

Pada *paving block* normal, *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni sebesar 12%, 16% dan 20% dari berat semen didapatkan nilai kuat tekan dan penyerapan air yang dikategorikan kedalam mutu D, yaitu untuk penggunaan taman dan lain lain, sedangkan pada *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni sebesar 4% dan 8% dari berat semen didapatkan nilai kuat tekan dan penyerapan air yang digolongkan kedalam mutu C, yaitu untuk penggunaan pejalan kaki dan pada pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat seluruh variasi *paving block* dinyatakan memenuhi syarat mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996 yaitu dengan tidak kehilangan berat >1% serta tidak terdapat kerusakan fisik.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial dan pembahasan mengenai penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Hasil uji kuat tekan *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 0% sampai dengan 20% dicapai nilai optimum pada penambahan abu kayu mahoni antara 4% dan 8% dengan nilai sebesar 12,785 MPa pada 6,3% penambahan abu kayu mahoni berdasarkan analisis regresi polinomial.
2. Hasil uji penyerapan air *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 0% sampai dengan 20% dicapai nilai optimum pada penambahan abu kayu mahoni antara 4% dan 8% dengan nilai sebesar 8,1624% pada penambahan abu kayu mahoni 5% berdasarkan analisis regresi polinomial.
3. Hasil uji ketahanan terhadap natrium sulfat *paving block* dengan penambahan abu kayu mahoni 0% sampai dengan 20% dicapai nilai optimum pada penambahan abu kayu mahoni antara 8% dan 12% dengan nilai sebesar 0,787% pada penambahan abu kayu 10,9% berdasarkan analisis regresi polinomial.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, diberikan beberapa saran terkait untuk penelitian selanjutnya, diantaranya sebagai berikut:

1. Perlu dikakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan abu kayu mahoni dengan ragam variasi penambahan yang lebih rapat terutama dalam rentang 0% - 8%.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan abu serbuk kayu dengan jenis kayu lain.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengujian permeabilitas pada *paving block*.
4. Pada pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat selanjutnya dilakukan penekanan agar mengetahui apakah terjadi perubahan pada mutu *paving block* setelah pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Sonya, A. D., Nuryadin, B. W., Marully, A. R., Khairuddin dan Khairurrijal. 2009. *Sintesis Keramik Berbasis Komposit Clay-Karbon dan Karakterisasi Kekuatan Mekanismya*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, Vol. 2 No. 2. Bandung
- Adi Chandra, R. 2013. *Kajian Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Penambahan Abu Bonggol Jagung Sebagai Zat Additive*. Tugas Akhir. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta
- Alip Nur Muhamad. 2022. *Pengaruh Substitusi Sebagian Semen Menggunakan Abu Serbuk Kayu Mahoni Hasil Pembakaran Terhadap Mutu Paving Block*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia
- Ansori, M. 2018. *Pengaruh Penambahan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan, Porositas dan Beban Impact Paving Block*. Tugas Akhir. Universitas Mataram. Nusa Tenggara Barat.
- Fengel, D. dan G. Wegener. 1995. *Kayu, Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*. Edisi 1. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Gargulak, J.D., Bushar, L.L. dan Sengupta, A.K. 2001. *Ammoxidized Lignosulfonate Cement Dispersant*. US-Patent: US 6,238,475 B1.
- Gustan, P. dan Hartoyo. 1990. *Analisis Kimia 9 Jenis Kayu Indonesia*. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 7 No. 4.
- Jauzi, I., Prihantono dan S, D. S. 2012. *Studi Deskriptif Analitis Pemanfaatan Abu Serbuk Kayu Mahoni Sebagai Bahan Tambah Pembuatan Paving Block Untuk Mencari Kuat Tekan Optimum Berdasarkan SNI 03-0691-1996*. Tugas Akhir. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Neville, A. M. 2011. *Properties of Concrete*. British Library. London.
- SNI. 03-0691-1996. SNI. 1996. *Bata Beton (Paving Block)*. Standar Nasional Indonesia

- SNI. 1990. *Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar*. Standar Nasional Indonesia.
- SNI 03-1968-1990. SNI. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Standar Nasional Indonesia.
- SNI 03-1970-1990. SNI. 1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-1971-1990
- SNI. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-4804-1998.
- SNI. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Standar Nasional Indonesia. SNI 1970-2008.
- Tjokrodimuljo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Yahya, A. N. I. 2018. *Pengaruh Variasi Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Karakteristik Paving Block*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

PENGUJIAN KUAT TEKAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi Abu kayu	Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Luas (cm ²)	Berat (gr)	Beban (kN)	Kuat tekan (MPa)
0%	1	6,07	6,33	38,42	499,9	22,50	5,86
	2	6,21	6,02	37,38	472,8	50,10	13,40
	3	6,12	6,09	37,27	460,1	45,00	12,07
	4	6,25	6,23	38,94	489,8	52,50	13,48
	5	6	6,03	36,18	432,6	50,05	13,83
Rata-rata							11,73
4%	1	6,05	5,99	36,24	444,1	57,50	15,87
	2	6,21	6,52	40,49	500,5	42,50	10,50
	3	6,25	6,22	38,88	488,2	57,50	14,79
	4	6,17	6,05	37,33	472,4	52,50	14,06
	5	6,21	6,25	38,81	481,7	47,60	12,26
Rata-rata							13,50
8%	1	6,35	6,35	40,32	510,8	55,05	13,65
	2	6,24	6,28	39,19	472,9	50,15	12,80
	3	6,21	6,19	38,44	468,4	50,00	13,01
	4	6,25	6,23	38,94	482,1	55,15	14,16
	5	6,13	6,14	37,64	455,5	59,00	15,68
Rata-rata							13,86
12%	1	6,24	6,08	37,94	482,5	58,50	15,42
	2	6,21	6,32	39,25	497,5	33,00	8,41
	3	6,14	6,04	37,09	481,3	33,00	8,90
	4	6,19	6,10	37,76	466,7	42,54	11,27
	5	6,23	6,08	37,88	460,4	47,00	12,41
Rata-rata							11,28

Variasi Abu kayu	Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Luas (cm ²)	Berat (gr)	Beban (kN)	Kuat tekan (MPa)
16%	1	6,07	6,06	36,78	462,8	49,00	13,32
	2	6,03	5,91	35,64	449,0	43,00	12,07
	3	5,94	6,09	37,33	471,0	37,50	10,05
	4	6,28	6,08	36,60	432,5	29,90	8,17
	5	6,03	6,22	37,51	477,4	47,50	12,66
Rata-rata							11,25
20%	1	5,94	5,76	34,21	420,2	46,00	13,44
	2	6,28	6,1	38,31	471,4	44,00	11,49
	3	5,93	6,08	36,05	439,8	40,05	11,11
	4	6,05	6,17	37,33	455,8	47,00	12,59
	5	6,01	6,05	36,36	448,2	34,00	9,35
Rata-rata							11,60

Dokumentasi Pengujian

Pengujian kuat tekan *paving block* normal umur 28 hari



Pengujian kuat tekan *paving block* variasi penambahan 4% umur 28 hari



Pengujian kuat tekan *paving block* variasi penambahan 8% umur 28 hari



Pengujian kuat tekan *paving block* variasi penambahan 12% umur 28 hari



Pengujian kuat tekan *paving block* variasi penambahan 16% umur 28 hari



Pengujian kuat tekan *paving block* variasi penambahan 20% umur 28 hari



PENGUJIAN PENYERAPAN AIR

Hasil Pengujian Penyerapan Air

Variasi	Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Nilai Penyerapan Air (%)
0%	1	527,2	471,8	11,91
	2	540,8	503,2	7,47
	3	505,8	464,5	8,89
	4	536,2	501,6	6,90
	5	500,5	464,1	7,84
Rata-Rata		522,1	480,9	8,57
4%	1	523,6	478,9	9,33
	2	513,1	490,1	4,69
	3	507,3	464,6	9,19
	4	499,3	461,3	8,24
	5	496,2	457,1	8,55
Rata-Rata		507,9	470,4	7,97
8%	1	504	492,5	2,34
	2	524	496,7	5,50
	3	507,1	465,5	8,94
	4	503,3	457,8	9,94
	5	507,5	457,2	11,00
Rata-Rata		509,18	473,94	7,44
12%	1	522,6	476,7	9,63
	2	525,4	479,6	9,55
	3	509	472,2	7,79
	4	527,3	482,6	9,26
	5	525,8	481,2	9,27
Rata-Rata		522,02	478,46	9,10

Variasi	Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Nilai Penyerapan Air (%)
16%	1	519,6	479,3	8,41
	2	515,4	475,1	8,48
	3	500,2	458,3	9,14
	4	549,7	498,4	10,29
	5	510,6	468,4	9,01
Rata-Rata		519,1	475,9	9,08
20%	1	446,3	417,3	6,95
	2	489,8	455,5	7,53
	3	469,1	421	11,43
	4	499,8	440,5	13,46
	5	440,1	417,7	5,36
Rata-Rata		469,02	430,4	8,97

Dokumentasi Pengujian

VARIASI 0%

VARIASI 4%





VARIASI 8%

VARIASI 12%





VARIASI 16%

VARIASI 20%





PENGUJIAN KETAHANAN TERHADAP NATRIUM SULFAT

Hasil pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat

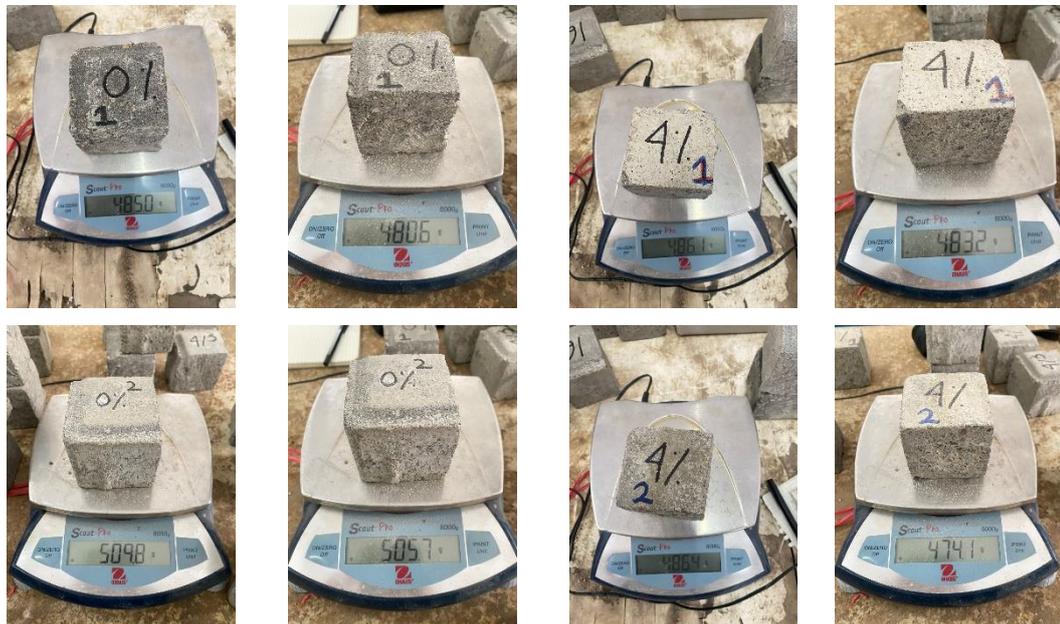
Variasi	Sampel	Berat basah (gr)	Berat kering (gr)	Berat hilang (%)
0%	1	485	480,6	0,92
	2	509,8	505,7	0,81
	3	476,9	470	1,47
	4	506	502,3	0,74
	5	469,8	465,6	0,90
Rata-rata				0,97
4%	1	486,1	483,2	0,60
	2	486,4	474,1	2,59
	3	472,6	468,4	0,90
	4	461,3	460,3	0,22
	5	457,1	455,3	0,40
Rata-rata				0,94
8%	1	468,7	464,8	0,84
	2	482,6	479,2	0,71
	3	465,2	464,1	0,24
	4	466	462,1	0,84
	5	464,9	462,9	0,43
Rata-rata				0,61
12%	1	483,1	477	1,28
	2	487,8	483,2	0,95
	3	473,5	468,2	1,13
	4	492,4	486,3	1,25
	5	491,3	490,8	0,10
Rata-rata				0,94

Variasi	Sampel	Berat basah (gr)	Berat kering (gr)	Berat hilang (%)
16%	1	484,2	480,6	0,75
	2	475,1	473,9	0,25
	3	458,3	457,1	0,26
	4	523,3	513,5	1,91
	5	473,1	469,3	0,81
Rata-rata				0,80
20%	1	448,5	445,7	0,63
	2	455,5	445,2	2,31
	3	421,1	420	0,26
	4	445,7	443,1	0,59
	5	442,8	439,5	0,75
Rata-rata				0,91

Dokumentasi Pengujian

VARIASI 0%

VARIASI 4%





VARIASI 8%

VARIASI 12%





VARIASI 16%

VARIASI 20%







PENGUJIAN BAHAN







PEMBUATAN BENDA UJI

