

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR SEBAGAI BAHAN DASAR *PAVING BLOCK*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) teknik Sipil**



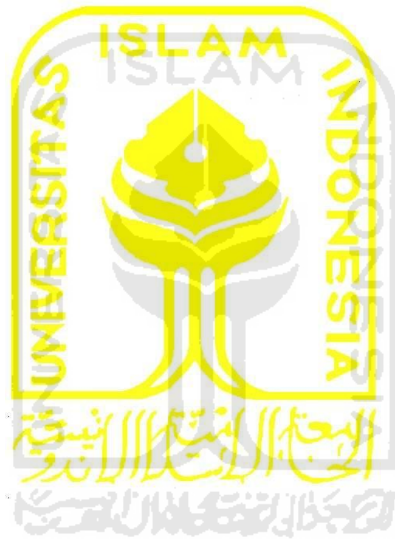
**ZAKI ZHAFIRIN
07511065**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2012**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR SEBAGAI BAHAN DASAR *PAVING BLOCK*

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



ZAKI ZHAFIRIN

07511065

Disahkan Oleh:

Pembimbing:

Ketua Jurusan :

(Ir.H. A. Kadir Aboe, M.T.)

(Ir.H. Suharyatmo,M.T.)

Tanggal:

Tanggal:

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR SEBAGAI BAHAN DASAR *PAVING BLOCK*

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



ZAKI ZHAFIRIN

07511065

Disetujui :

Pembimbing

(Ir. H. A. Kadir Aboe, MT)

:

Penguji

(Ir. Helmy Akbar Bale, MT)

:

Penguji

(Ir. H Ilman Noor, MSCE)

:

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“ Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu yang berusaha untuk merubahnya”

“...Allah meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang yang berilmu pengetahuan beberapa derajat...” (Q.S. Al-Mujaadalah : 11)

“Demi masa, sesungguhnya semua manusia itu dalam keadaan merugi. Kecuali orang-orang yang beriman lagi mengerjakan amal saleh, saling menasehati dalam kebenaran dan kesabaran” (Q.S. Al-Ashr : 1 – 3)

“Shalat dapat menjernihkan pikiran, dan hanya shalatlah yang dapat meninggikan derajatmu dihadapan-Nya”

PERSEMBAHAN

Terima kasih yaa Allah atas rahmat Mu sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dan semua ini Zaki Zhafirin persembahkan kepada :

Abi (Fuad Saleh) dan Umi (Rosida) yang aku hormati dan aku cintai *forever...*

yang selama ini membesarkan, mendidik, membimbing, mengawasi, memberikan dukungan baik spiritual maupun materi, dengan penuh kesabaran dan selalu memberikan yang terbaik untuk masa depan aku.

Abang (Gibran) dan Adik (Rizki, Zaza, Fadhil) yang aku cintai...

Yang memberikan semangat untuk terus berjuang, dan terus menemani aku dalam suka maupun duka.

ABSTRAKSI

Dalam upaya untuk menekan biaya pembangunan, salah satu caranya adalah dengan pemanfaatan bahan bangunan lokal. Sebagai contohnya adalah abu tempurung kelapa, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam pembuatan mortar (*Paving Block*). Tujuan penelitian ini adalah untuk menutup pori-pori mortar akibat reaksi antara semen dan air dengan membentuk zat perekat, sehingga dihasilkan mortar dengan karakteristik lebih baik.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan benda uji kontrol dan penelitian. Benda uji kontrol dibuat tanpa penambahan abu tempurung kelapa, sedangkan benda uji penelitian dibuat dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa : 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut : karakteristik *paving block* (kuat tekan keadaan kering maupun basah, kuat lentur, serapan air). Pengujian karakteristik *paving block* (kuat tekan keadaan kering maupun basah, kuat lentur, serapan air) dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil (Universitas Islam Indonesia). Proses pembuatan *paving block* dilakukan dengan menggunakan mesin pres hidrolik dan penggetar. Pengujian dilakukan pada umur >28 hari setelah proses pembuatan benda uji.

Dari hasil pengujian didapatkan, setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa meningkatkan nilai kuat tekan kondisi kering maupun basah dan kuat lentur pada *paving block*. Pada kondisi variasi 10% mengalami kondisi optimum, nilai kuat tekan kering rata-rata 268,84 kg/cm², kuat tekan kondisi basah rata-rata 215,24 kg/cm² dan kuat lentur rata-rata sebesar 27,99 kg/cm². Semakin banyak penambahan limbah abu tempurung kelapa juga mengakibatkan semakin besarnya daya serap air pada *paving block* dengan nilai tertinggi 15,99 % pada penambahan abu tempurung kelapa 12,5 %.

Kata Kunci : abu tempurung kelapa, kuat tekan kering, kuat tekan basah, daya serap air, kuat lentur *paving block*

ABSTRACT

In an effort to reduce development costs, one way is to use local building materials. As an example of this is a coconut shell ash, which can be used as an added ingredient in the manufacture of mortar (Block Paving). The purpose of this study is to close the pores of the mortar due to the reaction between cement and water to form gluten, so the resulting mortar with better characteristics.

This study uses an experimental method using the specimen control and research. Control specimens prepared without the addition of coconut shell ash, while the object is created with a variety of research trials the addition of coconut shell ash: 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 12.5% by weight of cement. Tests conducted in this study as follows: block paving characteristics (compressive strength of dry and wet state, flexural strength, water absorption). Testing characteristics of the paving block (compressive strength of dry and wet state, flexural strength, water uptake) performed at the Laboratory of Construction Materials Engineering Department of Civil Engineering (Universitas Islam Indonesia). The process of making paving block is done using hydraulic pressing machine and vibrator. Tests performed at age > 28 days after the process of the test object.

From the test results obtained, any addition of coconut shell ash increased the compressive strength of dry and wet conditions and on the flexural strength of paving blocks. On the condition of variation of 10% experiencing optimum conditions, the dry compressive strength of an average of 268.84 kg / cm², compressive strength of wet conditions on average 215.24 kg/cm² and flexural strength by an average of 27.99 kg/cm². The more the addition of coconut shell ash also resulted in increasing the amount of water absorption on the paving block with the highest value of 15.99% on the addition of coconut shell ash 12.5%.

Keywords: coconut shell ash, compressive strength of dry, wet compressive strength, water absorption, flexural strength of paving blocks

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar *Paving Block***. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ir. Mochamad Teguh, MSCE Ph.D, Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Ir. Suharyatma, MT, Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia beserta seluruh staf pengajar.
3. Ir. H A Kadir Aboe, MS, Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan skripsi ini dari awal sampai akhir.
4. Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku dosen penguji Tugas Akhir
5. Ir. H Ilman Noor, MSCE, selaku dosen penguji Tugas Akhir
6. Abi Fuad Saleh dan Umi Rosida serta keluarga di Mataram, Lombok, NTB yang senantiasa memberikan bantuan materil maupun spirituil selama menyelesaikan studi.
7. Segenap pihak yang selama ini telah membantu penulis semenjak persiapan, pelaksanaan sampai penyelesaian skripsi ini.

Akhirnya Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Maret 2012

Zaki Zhafirin
07 511 065



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian.....	3
BAB II. STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Paving Block</i>	5
2.1.1 Definisi <i>Paving Block</i>	5
2.1.2 Spesifikasi <i>Paving Block</i>	5
2.1.3 Kenggulan dan Kelemahan <i>Paving Block</i>	6
2.2 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	7
2.2.1 Persyaratan di Indonesia	8
2.3 <i>Mix Design Paving Block</i>	9
2.4 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	9

BAB III. LANDASAN TEORI	11
3.1 Umum	11
3.1.1 Bahan Dasar Pembuatan mortar.....	12
3.1.2 Proses Pembuatan Mortar	14
3.2 Material Penyusun <i>Paving Block</i>	15
3.2.1 <i>Semen Portland</i>	15
3.2.2 Agregat Halus (Pasir)	19
3.2.2.1 Berat Jenis Pasir.....	21
3.2.2.2 Berat Satuan Pasir	21
3.2.2.3 Kadar air Pasir	21
3.2.2.4 Gradasi Pasir.....	22
3.2.2 Air.....	24
3.3 Abu Tempurung Kelapa Sebagai Pozzolan.....	25
3.3.1 Silika.....	28
3.3.2 Klorid.....	28
3.3.3 Karbon Dioksida	28
3.3.4 Sulfida Dioksida.....	29
3.3.5 Air.....	29
3.4 Kerangka Berfikir	29
3.5 Hipotesis.....	30
BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN	33
4.1 Metode Penelitian	33
4.2 Bahan Dan Peralatan.....	33
4.2.1 Bahan.....	33
4.2.2 Peralatan	34
4.3 Benda Uji.....	39
4.4 Tahap Penelitian	40
4.4.1 Tahap Persiapan Bahan	40
4.4.2 Proses Pencampuran.....	44
4.4.3 Pembuatan Benda Uji.....	45
4.4.4 Perawatan Benda Uji	45
4.4.5 Pengujian <i>Paving Block</i>	46

4.5	Jadwal Pengujian	47
BAB V.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48
5.1	Hasil Penelitian Bahan	48
5.2	Perhitungan Kebutuhan Campuran	48
5.3	Pengujian Berat Volume <i>Paving Block</i>	49
5.4	Pengujian Kuat Tekan Kering <i>Paving Block</i>	52
5.5	Pengujina Kuat Tekan Basah <i>Paving Block</i>	55
5.6	Pengujian Daya Serap Air <i>Paving Block</i>	58
5.7	Pengujian Kuat Tekan Lentur <i>Paving Block</i>	61
5.8	Hubungan Kuat Tekan Kering Dan Kuat Lentur <i>Paving Block</i>	64
5.9	Hubungan Kuat Tekan Basah Dan Daya Serap Air	64
5.10	Hubungan Kuat Tekan Kering Dan Kuat Tekan Basah	65
5.11	Hubungan Kuat Tekan Kering, Kuat Tekan Basah Dan Berat Volume	65
5.12	Hubungan Daya Serap Air Dan Berat Volume	65
5.13	Pengaruh Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik <i>Paving Block</i>	66
BAB VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	68
6.1	Kesimpulan	68
6.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat–sifat fisika (SNI 03-0691-1996)	7
Tabel 2.2 Standart Daya Serap Air Untuk <i>Paving Block</i>	8
Tabel 3.1 Persentase Kimia <i>Semen Portland</i>	17
Tabel 3.2 Gradasi Pasir	23
Tabel 3.3 Komposisi Kimia Bahan Pozzolan	26
Tabel 3.4 Syarat Mutu Pozzolan Menurut ASTM C 618-96	26
Tabel 3.5 Senyawa Abu Tempurung Kelapa	28
Tabel 4.1 Pembagian Benda Uji Dari Masing-masing Komposisi Perlakuan	40
Tabel 4.2 Jadwal Penelitian	47
Tabel 5.1 Komposisi Abu Tempurung Kelapa	49
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 0 %	50
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 2,5 %	50
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 5 %	50
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 7,5 %	51
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 10 %	51
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 12,5 %	51
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Volume Rata-rata Dan Perubahan Berat	52
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kering Rata-rata	53
Tabel 5.10 Hasil Kuat Tekan Kering Rata-rata Dan Perubahan Berat	54
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Basah Rata-rata	56
Tabel 5.12 Hasil Kuat Tekan Basah Rata-rata Dan Perubahan Berat	57
Tabel 5.13 Daya Serap Air Rata-rata <i>Paving Block</i>	59
Tabel 5.14 Serapan Air Rata-rata Dan Perubahan Serapan Air	59
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Lentur Rata-rata	62
Tabel 5.16 Hasil Kuat Lentur Rata-rata Dan Perubahan Kuat Lentur	62
Tabel 5.16 Perubahan Berat Volume, Kuat Tekan Kering, Kuat Tekan Basah, Serapan Air Dan Kuat Lentur	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Klasifikasi Bentuk <i>Paving Block</i> (Shackel, 1990, p. 18)	6
Gambar 3.1 Batas Gradasi Halus (Pasir) Untuk Adukan	23
Gambar 4.1 Cetakan <i>Paving Block</i>	35
Gambar 4.2 Mesin Pres <i>Paving Block</i>	35
Gambar 4.3 Ayakan	36
Gambar 4.4 Timbangan	36
Gambar 4.5 Catok	37
Gambar 4.6 Gelas Ukur	37
Gambar 4.7 Oven	38
Gambar 4.8 Alat Uji Kuat Desak	38
Gambar 4.9 Alat Uji Kuat Lentur	39
Gambar 4.10 Bagan Penelitian	47
Gambar 5.1 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Kering <i>Paving Block</i>	54
Gambar 5.2 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Basah <i>Paving Block</i>	57
Gambar 5.3 Grafik Daya Serap Air Rata-rata <i>Paving Block</i>	60
Gambar 5.4 Grafik kuat Lentur Rata-rata <i>Paving block</i>	63
Gambar 5.5 Grafik Persen Perubahan Dan Variasi Penambahan Abu Tempurung Kelapa	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Konsultasi

Lampiran 2 Pemeriksaan senyawa kimia abu tempurung kelapa

Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agergat Halus

Lampiran 4 Pemeriksaan Butiran yang Lolos Ayakan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)

Lampiran 5 Pemeriksaan Isi Gembur dan Isi Padat Agregat Halus

Lampiran 6 Pemeriksaan Isi Gembur dan Padat Abu Tempurung Kelapa

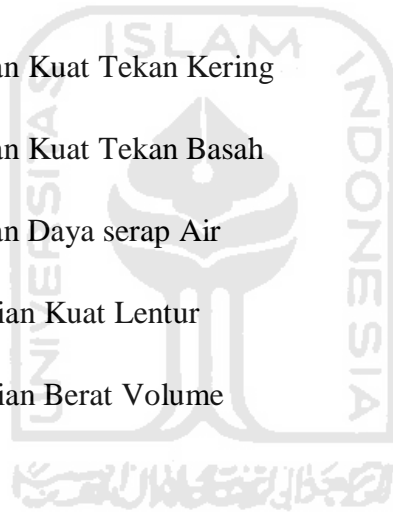
Lampiran 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kering

Lampiran 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Basah

Lampiran 9 Hasil Pengujian Daya serap Air

Lampiran 10 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Lampiran 11 Hasil Pengujian Berat Volume



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan di Indonesia dalam arti fisik seperti perumahan dan sarana yang lain, semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk. Disisi lain, pembangunan rumah tinggal dengan biaya yang murah merupakan program yang senantiasa diupayakan pemerintah dan didambakan oleh masyarakat pada saat ini. Dalam upaya untuk menekan biaya bangunan, salah satu caranya adalah dengan pemanfaatan bahan rumah tangga, karena mudah diperoleh, biaya transportasi murah serta dapat menjadi sumber mata pencaharian masyarakat setempat diantaranya pemanfaatan abu tempurung kelapa.

Buah kelapa, umumnya hanya daging buahnya saja yang dimanfaatkan untuk menjadikan kopra, minyak dan santan untuk keperluan rumah tangga, sedangkan untuk tempurung kelapa sebagian kecil digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, pengasapan kopra, dan lain-lain, sedangkan untuk hasil sampingan lainnya seperti abu tempurung kelapa belum begitu banyak dimanfaatkan. Ide dasar pada penggunaan abu tempurung kelapa adalah untuk memanfaatkan bahan yang tidak terpakai yang juga tidak dapat didaur ulang dan memiliki nilai ekonomis bagi masyarakat dalam pembuatan mortar. Oleh sebab itu dalam penelitian ini, peneliti mencoba untuk memanfaatkan abu tempurung kelapa yang terinspirasi dari keperluan rumah tangga dan sebagai bahan bakar untuk bahan tambahan dalam pembuatan mortar.

Pada penelitian mengenai pengaruh abu tempurung kelapa pada pembuatan mortar perlu dilakukan untuk menghasilkan mortar dengan karakteristik (sifat-sifat) yang lebih baik, yaitu : memiliki kuat tekan dan kemampuan untuk resapan air cukup tinggi. Hal ini disebabkan abu tempurung kelapa memiliki unsur silika, yang dimana unsur silika ini bersifat *pozzolan*, yaitu

suatu sifat bahan yang bila diberi air memiliki sifat plastis dan mudah dibentuk, tapi pada saat mengering bersifat keras dan sulit untuk deformasi. Dan bentuk abu ini sangat halus yang bisa mengisi tiap rongga campuran pasir dan semen.

1.2 Rumusan Masalah

Selama ini pemanfaatan abu tempurung kelapa belum maksimal, karena hanya digunakan sebagai abu gosok, pupuk organik dan kebanyakan tidak dimanfaatkan. Karena abu tempurung kelapa memiliki kandungan silika, maka memungkinkan penggunaannya dalam meningkatkan kualitas *paving block*.

Berdasarkan uraian diatas timbul permasalahan yang menarik untuk diteliti yaitu:

1. Berapa besar kuat desak kering *paving block* yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap berat semen.
2. Berapa besar kuat desak basah *paving block* yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap berat semen.
3. Berapa besardaya serap air setiap penambahan abu tempurung kelapa pada pembuatan *paving block*.
4. Berapa besar kuat lentur *paving block* yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap berat semen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui karakteristik mortar yang dibuat dengan variasai penambahan abu tempurung kelapa, meliputi : kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air dan kuat lentur mortar pada umur pengujian 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini, adalah :

1. Hasil penelitian merupakan salah satu wawasan untuk pengembangan ilmu teknologi bahan.

2. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai salah satu rujukan bagi praktisi dan mahasiswa untuk lebih memanfaatkan pozzolan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam pembuatan mortar atau pekerjaan sipil lain.
3. Memberi nilai ekonomis dari limbah yang tidak bermanfaat.
4. Diharapkan menjadi tambahan referensi serta masukan bagi pekerja jasa konstruksi dan masyarakat pada umumnya.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, adalah :

1. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir merapi (Kali Kuning)
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland*, Tipe I, Merk Semen Gresik yang dibungkus kemasan 40kg.
3. Dalam penelitian ini abu tempurung kelapa diperoleh melalui proses pembakaran tempurung kelapa yang dilakukan langsung oleh peneliti.
4. Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari saluran air pada di PB. Citra Buana, Sleman.
5. Menggunakan perbandingan berat semen : pasir = 1 : 8, factor air semen (fas) = 0,4 dengan persentase abu tempurung kelapa yang ditambahkan adalah : 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen.
6. Pengujian karakteristik mortar dilakukan pada umur 28 hari, dengan masing-masing perlakuan pengujian menggunakan 15 buah benda uji.

Dengan perincian :

1. 5 buah : untuk pengujian kuat tekan kering
2. 5 buah : untuk pengujian serapan air dan kuat tekan basah
3. 5 buah : untuk pengujian kuat lentur
7. Pengujian ini menggunakan *paving block* tipe *holand* dengan panjang 200 mm, lebar 100 mm, dan tebal 60 mm.
8. Pengujian karakteristik mortar yang dilakukan dalam penelitian ini adalah : kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air dan kuat lentur.
9. Tidak dilakukan pengujian kuat aus, kuat kejut, dan daktilitas pada mortar.

10. Mortar yang dibuat dalam penelitian ini direncanakan untuk pembuatan *paving block*, sehingga bentuk pengujian yang dilakukan adalah standar pengujian *paving block*.



BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 *Paving Block*

2.1.1 Definisi *Paving Block*

Paving block (bata beton) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). Sedangkan menurut SK SNI T-04-1990-F, *paving block* adalah segmen-segmen kecil yang terbuat dari beton dengan bentuk segi empat atau segi banyak yang dipasang sedemikian rupa sehingga saling mengunci (Dudung Kumara, 1992; Akmaluddin dkk. 1998).























2.1.2 Spesifikasi *Paving Block*

Paving block banyak ditemui di pasaran dengan beraneka bentuk dan ketebalan. Biasanya *paving block* dibuat dengan panjang diantara 200-250 mm, dengan lebar antara 100-112 mm. Ketebalan *paving block* biasanya berkisar antara 60, 80, 100, 120 mm dan seterusnya, walaupun *paving block* dengan ketebalan 50 mm atau 150 mm banyak juga dipakai. Dengan mutu *paving block* mempunyai bentuk yang sempurna, tidak retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan tangan.

Secara umum terdapat beberapa bentuk *paving block*, yaitu *horizontally interlocking block*, *vertically interlocking blocks* dan *grass stones and grids*. Namun yang paling banyak digunakan adalah tipe *horizontally interlocking blocks*, karena relatif sederhana dan murah untuk diproduksi serta mudah dalam pemasangannya. Dalam bentuk yang beraneka ragam, hal ini yang menyebabkan *paving block* banyak dipakai pada berbagai pekerjaan konstruksi antara lain sebagai perkerasan jalan

maupun jalan lingkungan, trotoar, carpot, dan lainnya. Hal ini membuat *paving block* menjadi salah satu produksi konstruksi yang paling banyak diminati banyak pihak sehingga *paving block* diproduksi dalam jumlah besar (masal) dan melibatkan banyak tenaga kerja.

Adapun bentuk-bentuk *paving block* yang sering dijumpai di pasaran dapat dilihat pada gambar 2.1.

CATEGORY A						
CATEGORY B						
						
CATEGORY C						

Gambar 2.1 Klasifikasi Bentuk *Paving Block* (Shackel, 1990, p. 18)

2.1.3 Kenggulan dan Kelemahan *Paving Block*

Keunggulan dari *Paving Block*

1. Pelaksanaannya mudah dan tidak memerlukan alat berat serta dapat diproduksi secara masal.
2. Pemeliharaannya mudah dan dapat dipasang kembali setelah dibongkar.
3. Tahan terhadap beban statis, dinamik dan kejut.
4. Mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap bahan bakar minyak atau oli yang tumpah.

5. Perkerasan *paving block* dapat langsung dibuka untuk lalu lintas setelah pemasangan.
6. Tidak mudah rusak akibat perubahan cuaca (tahan terhadap cuaca).

Kelemahan dari *Paving Block*

1. Mudah bergelombang bila pondasinya tidak kuat dan kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi.
2. Perkerasan *paving block* sangat cocok untuk mengendalikan kecepatan kendaraan di lingkungan permukiman dan perkotaan yang padat.

2.2 Syarat Mutu *Paving Block*

Adapun syarat mutu *paving block* yang ditetapkan oleh SNI 03-09691-1996 adalah sebagai berikut :

a. Sifat Tampak

Bata beton untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan oleh tangan.

b. Bentuk dan Ukuran

Bentuk ukuran bata beton untuk lantai dapat tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Setiap produsen harus memberikan penjelasan tertulis dalam pamphlet mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi pemasangan bata beton untuk lantai. Penyimpangan tebal bata beton untuk lantai diperkenankan 0,3 mm.

c. Sifat Fisik

Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik, ada 4 (empat) kelas mutu *paving block* sebagaimana terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat–sifat fisika (SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kuat Tekan (kg/cm ²)		Penyerapan air rata-rata maks
	Rata-rata	Min	(%)
A	400	350	3
B	200	170	6
C	150	125	8
D	100	85	10

Untuk standart daya serap airnya dapat dilihat pada tabel 2.2. standart daya serap air untuk *paving block*.

Tabel 2.2 Standart Daya Serap Air Untuk *Paving Block*

Mutu	Serapan Air Maksimum
I	3%
II	5%
III	7%

(sumber : SII 819-83)

2.2.1 Persyaratan di Indonesia

Persyaratan tentang paving block di Indonesia diatur dalam SNI 03 – 0691 – 1996 yang diterbitkan oleh Dewan Standarisasi Nasional (DSN). Mengacu pada peraturan tersebut, mutu paving block (bata beton) diklasifikasikan menjadi :

1. Bata beton mutu A, digunakan untuk jalan
2. Bata beton mutu B, digunakan untuk pelataran parkir
3. Bata beton mutu C, digunakan untuk pejalan kaki
4. Bata beton mutu D, digunakan untuk halaman rumah

Untuk sifat tampak *paving block* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. *Paving block* itu sendiri harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$. Adapun persyaratan kuat tekan, ketahanan aus dan penyerapan air dapat dilihat pada tabel 2.1. Pelataran parkir yang dimaksudkan dalam klasifikasi penggunaan bata beton mutu B, merupakan pelataran parkir pada area perumahan.

2.3 Mix Design Paving Block

Berdasarkan pengalaman di Amerika, mix design untuk pembuatan *paving* dengan ketebalan 60 mm menggunakan perbandingan semen : agregat = 1 : 6. Sedangkan untuk *paving* dengan ketebalan 80 mm, digunakan perbandingan semen : agregat = 1 : 5,5 (Shackel, 1990).

Untuk pembuatan *paving* dengan ketebalan 85 mm, dalam sebuah penelitian di Filipina menggunakan perbandingan semen : agregat = 1 : 3,5 dan 1 : 4,30 (Pagbilao, Agron, Martinez, 2000).

2.4 Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini mengacu pada beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan paving block atau sejenisnya sebagai referensi data penunjang dalam penelitian ini.

1. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Andry Yulianto dan Yudi menyimpulkan bahwa campuran abu ampas tebu pengganti semen pada *paving block* berbentuk empat persegi panjang dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 8 cm dan dengan campuran abu ampas tebu pengganti semen sebanyak 5%, 10%, dan 15% mengalami penurunan masing-masing 14,02%, 6,46%, dan 2,65% dibandingkan kuat desak *paving block* tanpa abu ampas tebu dan pada pengganti semen sebanyak 20% mengalami

peningkatan kuat desak sebesar 3,26% yaitu dari 355,524 kg/cm² menjadi 367,130 kg/cm². Hal ini dikarenakan abu ampas tebu pengganti semen sebanyak 20% yang telah menjadi perekat setelah bereaksi dari kapur bebas sisa dari sisa hidrasi semen dapat mengikat agregat sehingga menghasilkan *paving block* yang massif dan padat. (Andri dan Yudi, 2001).

2. Penelitian pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Campuran Pembuatan *Paving Block* pada penambahan variasi 10%, 20%, 30%, dan 40% menunjukkan terjadinya penurunan kuat tekan. Dengan hasil kuat tekan 180,113 kg/cm² pada variasi 10% dan 175,137 kg/cm² pada variasi 20% nilai kuat tekannya termasuk Mutu *paving* B, pada variasi 30% kuat tekannya 110,432 kg/cm² termasuk mutu *paving* kelas D dan pada variasi 40% kuat tekan 65,724 kg/cm² tidak memenuhi kuat tekan yang ditetapkan. Sebaliknya daya serap air dengan penambahan lumpur 10%, 20%, 30%, dan 40% menunjukan terjadinya peningkatan dengan penambahn lumpur. (Joko Isnaldi, 2007).
3. Pada penelitian “Pengaruh Penambahan Tumbukan Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar *Paving Block*”. Pada umur pengujian 28 hari, kekuatan mortar yang dapat melampaui kekuatan mortar kontrol yaitu pada penambahan pozzolan 10-15% . Sedangkan kuat tekan optimum mortar yang diperoleh adalah pada penambahan pozzolan 15% dengan kuat tekan 84,79 kg/cm². Benda uji dalam percobaan ini tidak ada yang memenuhi persyaratan mutu beton SNI 03-0691-1996. Kuat tekan optimum dari seluruh benda uji yang diperoleh yaitu 84,79 kg/cm² (8,32 MPa) sedangkan syarat minimum kuat tekan yang masuk dalam SNI 03-0691-1996 adalah 8,5 MPa. Tumbukan batu bata yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai berat jenis = 2,404 gr/cm³, berat satuan padat = 1,705 gr/cm³, berat satuan gembur = 1,55 gr/cm³, kadar air = 0,2204% dan termasuk jenis agregat ringan.

BAB III LANDASAN TEORI

Pada landasan teori ini akan memaparkan hal-hal yang berkenaan dengan gambaran umum mortar pada *paving block*, material-material penyusun *paving block*, abu tempurung kelapa sebagai pozzolan, kerangka berfikir, dan hipotesa.

3.1 Umum

Menurut Tjokrodimuljo (1996) mortar sering kali disebut sebagai mortel atau spesi, yaitu adukan terdiri dari pasir, bahan perekat, dan air. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur maupun *Semen Portland*. Bila sebagai bahan perekat dipakai tanah liat maka disebut mortar lumpur (*mud mortar*), bila dari kapur maka disebut mortar kapur, begitu juga *Semen Portland* yang dipakai maka disebut mortar semen. Bila mortar dibuat dengan cara menambahkan bahan khusus (seperti : *fibers*, serbuk atau butir-butir kayu, dsb) pada mortar kapur atau mortar semen, maka disebut mortar khusus.

Kuat tekan mortar semen terutama dipengaruhi oleh jumlah semen dalam campuran, fas, perbandingan volume semen : pasir dan karakteristik pasir. Menurut Gani (dalam Kusumawardaningsih, 2003) kuat tekan mortar semen yang tinggi didapat dari fas yang rendah, jumlah semen yang tinggi dan pasir yang kasar.

Di dalam penggunaannya, mortar harus memenuhi standar untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Mortar yang baik harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Tahan lama (awet) dan tidak mudah rusak oleh pengaruh cuaca
- b. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang dan diratakan)
- c. Melekat dengan baik dengan bata, batako, batu dan sebagainya
- d. Cepat kering dan keras
- e. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang

3.1.1 Bahan Dasar Pembuatan mortar

Bahan dasar pembuatan mortar adalah sama dengan bahan dasar pembuatan batu cetak, yaitu (Djauharotun dalam Bambang Budiarto, 2011) sebagai berikut :

1. Bahan Pengikat

a. Bahan Pengikat Mineral

Dalam pembuatan beton atau mortar digunakan bahan pengikat mineral anorganik, disamping itu untuk tujuan tertentu bisa dipergunakan bahan pengikat mineral organik. Tugas bahan pengikat dalam adukan adalah untuk menyatukan (perekat) menjadi suatu massa yang kokoh. Jenis-jenis umum yg biasa dipakai, adalah :

- a) Kapur
- b) Gips
- c) Semen Portland dan sejenisnya

b. Bahan Pengikat Hidrolis

Untuk bahan pengikat hidrolis umumnya dipergunakan material-material yang tergolong pozzolan. Ada 2 jenis pozzolan yaitu :

- a) Pozzolan alam, misal : tras, tanah santrin, *kieselgur*.
- b) Pozzolan buatan, misal : semen merah, terak, abu terbang.

Pemakaian bahan tambah hidrolis mempunyai tujuan mengurangi jumlah pemakaian bahan pengikat dan memperbaiki mutu campuran bahan adukan.

2. Bahan Pengkurus / Pengisi (agregat)

Bahan ini menurut besar butir dan tujuan pemakaiannya, umumnya dibagi dalam 2 golongan, yaitu : agregat halus dan agregat kasar.

Yang termasuk agregat halus, antara lain :

- a) Pasir
- b) Bubuk terak dan sejenisnya
- c) Bubuk batu keras
- d) Serbuk kayu

Yang termasuk agregat kasar, antara lain :

- a) Krikil dan sejenisnya
- b) Pecahan batu dan pecahan terak
- c) Batu apung
- d) Butir-butir logam
- e) Pecahan kayu (*wood-chip*)
- f) Ampas tebu dan sejenisnya

3. Air

4. Bahan tambah aditif (zat aditif)

Tujuan pemakaian bahan tambah dalam pembuatan mortar adalah :

- a) Membuat adukan lebih mudah dikerjakan
- b) Membuat adukan lebih tahan terhadap pengaruh cuaca
- c) Membuat mortar menjadi lebih ringan
- d) Membuat mortar lebih kedap air dan lebih tinggi kekuatannya pada jangka waktu pengerasan yang lebih pendek

Berdasarkan tujuan pemakaiannya, bahan tambah diklasifikasikan dalam 5 jenis, antara lain :

- a. Jenis A : bahan kimia pembantu untuk mengurangi jumlah air
- b. Jenis B : bahan kimia pembantu untuk memperlambat proses pengikatan dan pengerasan beton
- c. Jenis C : bahan kimia pembantu untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton
- d. Jenis D : bahan kimia pembantu berfungsi ganda, untuk mengurangi air dan sekaligus memperlambat proses pengikatan beton
- e. jenis E : bahan kimia pembantu berfungsi ganda, untuk mengurangi air sekaligus mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton

3.1.2 Proses Pembuatan Mortar

Dalam proses pembuatan mortar sama dengan pembuatan batu cetak (Djauharotun dalam Bambang Budiarto, 2011). meliputi :

a) Persiapan dan Penimbangan

Tahap ini meliputi persiapan dan penimbangan bahan susun yang akan dipakai dalam pembuatan mortar, diantaranya : semen *Portland*, pasir, abu tempurung kelapa dan air.

b) Pencampuran

Pada proses pencampuran bahan susun, banyaknya air yang digunakan dalam pencampuran perlu perhatian khusus, karena volume air yang digunakan sangat mempengaruhi proses pencetakan benda uji.

c) Percetakan dan Pemadatan

Umumnya percetakan mortar, dapat dilakukan dengan cara mekanik, semi mekanik dan manual (cetak tangan). Percetakan secara manual dilakukan dengan menuangkan adukan bahan susun dalam cetakan, kemudian adukan dipadatkan menggunakan alat press manual, selanjutnya permukaan disipat (diratakan) dengan *scrap*.

d) Pengeringan dan Pemeliharaan

Mortar yang telah dicetak, dikeringkan dengan ditempat dirakrak, kemudian diangin-anginkan pada tempat yang terlindungi dari terik matahari selama 24 jam. Selanjutnya mortar disiram air (kelembaban mortar dipertahankan selama 3-7 hari), akan lebih baik bila dilakukan perendaman air. Mortar yang telah berumur 1 hari diatur bertumpuk seperti menyusun bata dengan tumpukan paving maksimal 5 buah.

e) Pengujian

Untuk mengetahui kuat tekan, kuat aus, serapan air dan berat jenisnya maka mortar harus diuji. Mortar yang dibuat dalam penelitian ini direncanakan untuk pembuatan *paving block*, sehingga bentuk pengujian yang dilakukan menyesuaikan standar pengujian *paving block*. Pengujian dilakukan setelah mortar mencapai umur 28 hari, yaitu :

(1) Pengujian kuat tekan mortar

Kuat tekan mortar dihitung dengan membagi beban maksimum (pada saat benda uji hancur) dengan luas bidang tekan brutto, yang dinyatakan dalam kg/cm^2 . (Djauharotun dalam Bambang Budiarto, 2011).

(2) Pengujian berat jenis mortar

Menurut Sutaji (1994) berat jenis mortar adalah hasil bagi antara berat mortar kering mutlak dengan volume mortar.

(3) Pengujian kuat aus mortar

Menurut Sutaji (1994) kuat aus mortar adalah daya tahan lapisan kepala mortar terhadap gesekan secara terus menerus selama lima menit, yang dinyatakan dalam mm/menit.

(4) Pengujian serapan air

Menurut Sutaji (1994) serapan air mortar adalah perbandingan antara berat mortar basah dengan mortar kering mutlak yang dinyatakan dalam persen.

3.2 Material Penyusun *Paving Block*

Bahan-bahan pokok *paving block* adalah semen, pasir, dan air dalam proporsi tertentu. Tetapi ada juga dalam proses pembuatannya memakai bahan tambahan misalnya kapur, gips, abu terbang, abu sekam padi dan lain-lain.

3.2.1 *Semen Portland*

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan menurut SK SNI S-04-1989 (Andoyo, 2006).

Menurut SNI 15-2049-1994 (Supriyanti, 2004) *Semen Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland yang terutama terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis, digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium

sulfat dan boleh ditambah dengan bahan lain. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat menjadi massa yang kompak dan padat.

Tukang batu Joseph Aspdin dari Inggris adalah pembuatan semen yang pertama pada awal ke 19, dengan membakar batu kapur yang dihaluskan dan tanah liat di dalam tungku dapur rumahnya. Dari metode kasar ini berkembanglah industri pembuatan semen yang sedemikian rupa halus sehingga satu kilogram semen mengandung sampai 300 milyar butiran (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Reaksi kimia antara *Semen Portland* dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecenderungan retak beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi 2 yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan pengalihan dari keadaan plastis ke keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai. Dikehendaki pengikatan semen berlangsung lambat, jika tidak adukan sulit dikerjakan karena spesifikasi semen portland mensyaratkan tidak boleh terjadi pengerasan kurang dari satu jam (Kardiono Tjokromuljo, 1996).

Pada dasarnya *Semen Portland* terdiri dari 4 unsur yang paling penting, yaitu (Andoyo, 2006):

- a. Trikalسيوم silikat (C3S) atau $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.
- b. Dikalسيوم silikat (C2S) atau $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Pada saat penambahan air setelah reaksi yang menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah 3 hari. Pasta akan mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C3S.

- c. Trikalsium aluminat (C3A) atau $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari. Perkembangan kekuatan terjadi satu sampai dua hari tetapi sangat rendah.
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C4AF) atau $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Unsur ini saat bereaksi dengan air berlangsung sangat cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh unsur ini.

Kandungan terbesar dalam semen adalah kandungan kapur (CaO) yang memiliki fungsi dalam proses perekatan, sedangkan silika dioksida (SiO_2) berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), aluminium oksida (Al_2O_3) memiliki fungsi dalam mempercepat proses pengerasan. Sedangkan besi dioksida (Fe_2O_3) memiliki suhu leleh yang rendah yang menyebabkan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran klinker. Untuk persentase masing-masing menurut Wahyudi (1999) unsur kimia dalam semen dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persentase Kimia *Semen Portland*

	Persentase (%)
Oksida dalam semen	
Kapur (CaO)	58-65
Silika (SiO_2)	20-25
Alumina (Al_2O_3)	3-9
Oxid besi (Fe_2O_3)	1-6
Magnesium (MgO)	1-4
Unsur lain yang boleh terkandung	
K ₂ O	0,4-0,8
Na ₂ O	0,2-0,6
Mn ₂ O	0-3
TiO ₂	0,1-3
SO ₃	0,5-3
S	0-2
P ₂ O ₅	0-1
Bagian yang tak larut	0,2-3
Hilang Pijar	0,5-4

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen dengan tujuan pemakainnya. Sesuai dengan tujuan penggunaannya, *Semen Portland* di Indonesia dalam SK SNI S-04-1989-F(1989: 3) dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1) Jenis I (*Ordinat Portland Cement*)

Semen Portland untuk penggunaan umum, yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2) Jenis II (*Moderate Heat Hardening Portland Cement*)

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

3) Jenis III (*High Aertly Strength Hardening Portland Cement*)

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

4) Jenis IV (*Low Heat of Hardening Portland Cement*)

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

5) Jenis V (*Sulfur Resistence Portland Cement*)

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Ketika air ditambahkan ke dalam campuran semen, proses kimiawi yang disebut hidrasi akan berlangsung. Senyawa kimia di dalam semen akan bereaksi dengan air dan membentuk komponen baru. Dari pengamatan kecepatan evolusi panas hidrasi, atau dari pengukuran kenaikan temperatur dibawah kondisi isothermal, ada 5 tahap yang dapat diidentifikasi, (Paul Nugraha dan Antoni, 2007) yaitu :

- 1) Tahap 1 : Hidrolis awal yang langsung terjadi waktu semen kontak dengan air,semen bereaksi cepat untuk beberapa menit
- 2) Tahap 2 : Periode pasif (*dormant period*) di mana gypsum mencegah terjadinya *flash set* pada C_3A kerena butir semen dilapisi gel.

Periode reaksi lambat berlangsung sekitar setengah sampai 2 jam. Selama ini terjadi pemecahan dan pembentukan kembali lapisan *coating gel* yang semakin tebal.

- 3) Tahap 3 : Percepatan terjadi dengan pecahnya coating karena bertambahnya tekanan osmosis. Inilah waktu *initial set*. Kecepatan reaksi bertambah sampai *final set*.
- 4) Tahap 4 : Perlambatan. Proses menjadi kaku berlanjut sampai tercapai pengerasan.
- 5) Tahap 5 : Kondisi stabil dimana difusi lambat mengendalikan proses hidrasi yang sama.

3.2.2 Agregat Halus (Pasir)

Menurut SNI 03-6820-2002 ,agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm. Sedangkan menurut Tjokrodinuljo, 1996 pasir atau agregat halus ,merupakan bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air untuk membentuk campuran yang padat dan keras. Pasir yang dimaksud adalah butiran-butiran mineral yang keras dengan besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Sesuai dengan SK SNI-S-04-1989-F:28 (Supriyanti, 2004) tentang Spesifikasi Agregat Sebagai Bahan Bangunan, maka agregat halus atau pasir harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras.
2. Butiran-butiran pasir harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau mudah hancur akibat pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
3. Sifat kekekalan pasir, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat diperoleh :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.

- Jika dipakai Magnesium Sulfat, didapatkan bagian yang hancur maksimal 10%.
4. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat pembanding). Yang dimaksud lumpur adalah bagian dari benda uji lolos ayakan 0,063 mm. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5% maka pasir harus dicuci.
 5. Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Harder* (dengan larutan NaOH). Agregat halus (pasir) yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat dipakai, asal kuat tekan adukan agregat pada umur 7 dan 28 hari adalah tidak kurang dari 95% kekuatan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci lagi hingga bersih dengan air pada umur sama.
 6. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8 dan terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut daerah I, II, III atau IV (lihat Tabel 3.2 dan Gambar 3.1) dan memenuhi syarat-syarat :
 - a) Sisa diatas ayakan 4,8 mm, minimal 2% berat.
 - b) Sisa diatas ayakan 1,2 mm, minimal 10% berat.
 - c) Sisa diatas ayakan 0,30 mm, minimal 15% berat.
 7. Untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
 8. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pengujian bahan yang diakui.
 9. Agregat halus yang digunakan untuk spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan agregat untuk pasir pasangan.

3.2.2.1 Berat Jenis Pasir

Menurut Tjokrodilmo (1996) berat jenis pasir adalah rasio antara massa padat pasir dan massa air dengan volume dan suhu yang sama. Berat jenis pasir dari agregat normal adalah 2,5-2,7, berat jenis dari agregat berat adalah lebih dari 2,8 dan berat jenis dari agregat ringan adalah kurang dari 2,0.

Menurut Tjokrodilmo, (1996) agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya yaitu : agregat normal, agregat berat, dan agregat ringan.

1. Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya.
Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar 2,3 dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 MPa, betonnya disebut beton normal.
2. Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 misalnya (Fe_3O_2) magnetic, barites (BaSO_4), atau serbuk besi.
3. Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang 2,0. Beton dengan agregat ringan mempunyai kuat tarik rendah, modulus elastisitas rendah, serta rayapan dan susutan lebih tinggi.

3.2.2.2 Berat Satuan Pasir

Menurut Tjokrodilmo (1996) berat satuan pasir adalah berat pasir dalam satu satuan volume. Berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu bejana dibagi volume bejana tersebut, sehingga yang dihitung adalah volume padat pasir (meliputi volume tertutup dan volume pori terbukanya). Berat satuan pasir dari agregat normal adalah 1,20 – 1,60 gram/cm³.

3.2.2.3 Kadar Air Pasir

Kadar air pasir dihitung berdasarkan perbandingan berat pasir dalam kondisi jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*) dikurangi berat pasir kondisi kering tungku (Kusumawardaningsih, 2003).

Pasir dalam kondisi jenuh kering muka (SSD) adalah pasir yang permukaannya kering, tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton (Tjokrodimuljo, 2002). Tingkat kebasahan pasir menurut Soetjipto (Komarudin, 2004) meliputi :

- a. Pasir basah, yaitu pasir yang baru saja diambil dari sumbernya (misal : pasir yang langsung diambil dari sungai, laut, gunung, dll).
- b. Pasir kering udara, yaitu pasir yang kandungan airnya sudah tetap sesuai dengan udara sekitarnya.
- c. Pasir kering mutlak atau kering tungku (oven), yaitu pasir yang dikeringkan dalam tungku pada suhu 110oC sehingga semua airnya menguap keluar.

Menurut Soetjipto (Komarudin, 2004) kadar air pasir ditentukan dengan rumus :

$$W = \frac{(a - b)}{b} \times 100\%$$

Kadar air, (3.1)

dengan : a = berat pasir yang dihitung kadar airnya (gram)
 b = berat pasir setelah kering tungku (gram)
 W = kadar air (dalam %)

3.2.2.4 Gradasi Pasir

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil, hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi (Tjokrodimuljo, 1998).

Agregat yang dipakai untuk campuran adukan atau mortar harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-6820-2002 dengan batasan ukuran agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 3.2 dan gambar 3.1 berikut ini.

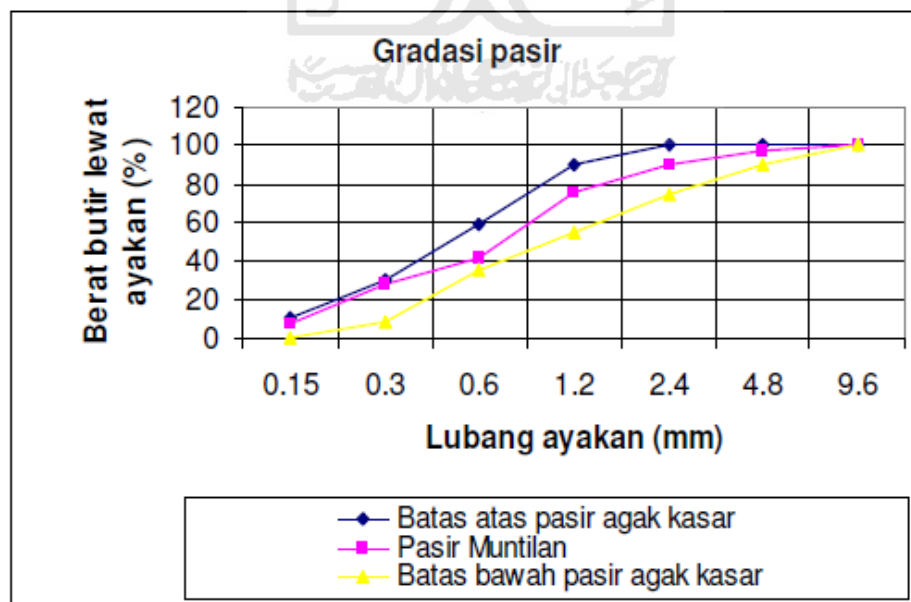
Tabel 3.2 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lolos ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-75	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	10-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SK SNI-03-6820-2002 (2002: 172)

Keterangan :

- Daerah I : pasir kasar
- Daerah II : pasir agak kasar
- Daerah III : pasir agak halus
- Daerah IV : pasir halus



Sumber : SNI 03-6820-2002

Gambar 3.1 Batas Gradasi Halus (Pasir) Untuk Adukan

3.2.3 Air

Air mempunyai 2 fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua berfungsi sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat mudah dipadatkan. Di dalam penggunaannya, air tidak boleh terlalu banyak karena akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton atau mortar.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus bebas dari bahan-bahan merugikan seperti lumpur, tanah liat, bahan organik, dan asam organik, alkali dan bahan-bahan lainnya, sedangkan persyaratan air yang digunakan untuk campuran beton adalah :

- Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
- Tidak mengandung garam-garaman yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan khlorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1.000 ppm sebagai SO_3 .
- Air harus bersih
- Derajat keasaman (pH) normal ± 7 .
- Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- Jika dibanding dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
- Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaian.
- Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung khlorida lebih dari 50 ppm.

Air yang digunakan untuk perawatan beton adalah air yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton, besi dan zat organik

dalam air yang merupakan penyebab pengotoran dan perubahan warna (Andoyo, 2006).

Jumlah air akan mempengaruhi sifat mudah dikerjakan (*workability*) beton segar, kualitas beton segar dan kekuatan beton. Jumlah air ini ditentukan oleh perbandingan berat terhadap berat semen atau faktor air semen (fas) dan tingkat kemudahan pekerjaan. Nilai fas kurang dari 0,35 menyebabkan beton segar sulit dikerjakan tanpa bahan tambah. Kelebihan air berdasarkan fas dari yang dibutuhkan untuk reaksi kimia dengan semen dipakai sebagai pelumas. Penambahan air dari jumlah air berdasarkan fas dengan tujuan meningkatkan kemudahan pengerjaan akan mengakibatkan kualitas beton menurun.

Hubungan antara faktor air semen (fas) dan kuat tekan beton, secara umum ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abramz (1919) sebagai berikut :

$$f'c = \frac{A}{B^{1.5x}} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan : $f'c$ = kuat tekan beton
 x = fas (yang semula dalam proporsi volume)
 A, B = konstanta

Walaupun menurut rumus tersebut, semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, tetapi karena kesulitan pemadatan bila dipakai fas dibawah $\pm 0,40$ kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena beton kurang padat akibat pemadatan yang sulit. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum.

3.3 Abu Tempurung Kelapa Sebagai Pozzolan

Menurut ASTM C 618-96 (Bambang dalam Mastari, 2003) pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina, dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa, membentuk senyawa

yang memiliki sifat-sifat seperti semen (kalsium silikat dan kalsium aluminat hidrat). Pozzolan dibagi menjadi 2 macam yaitu :

1. Pozzolan alam (*Natural pozzolan*), yaitu pozzolan yang terdapat di alam, seperti abu vulkanis (*pumice*), tanah *diatomae* dan *tufa*.
2. Pozzolan buatan (*Artificial pozzolan*), yaitu pozzolan yang didapat dari hasil pembakaran tanah liat, pembakaran batu bara berupa abu terbang (*fly ash*), silika fume dan abu sekam. Komposisi kimia dari bahan pozzolan dapat dilihat pada tabel 3.3, sedangkan syarat mutu pozzolan menurut ASTM C 618-96 dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Komposisi Kimia Bahan Pozzolan

Unsur Kimia (%)	Tras	Flay ash
SiO ₂	45-72	40-60
Al ₂ O ₃	10-18	20-26
Fe ₂ O ₃	1-6	4-7
CaO	-	-
MgO	0,5-3	1-2
SO ₃	0,3-1,6	0,3-1,6
Alkali	-	2,5-5
L O I	3-14	1-10

Sumber : Tjokrodinuljo, 1996

Tabel 3.4 Syarat Mutu Pozzolan Menurut ASTM C 618-96

Reaksi pada pozzolan	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min (%)	70	70	70
SO ₃ , maks (%)	4	5	5
Kadar air maks (%)	3	3	3
Hilang pijar maks (%)	10	10	10
Alkali sebagai Na ₂ O maks (%)	1.5	1.5	1.5
<i>Strengt activity index</i> dengan semen <i>Portland</i> :			
7 hari min (%)	75	75	75
28 hari min (%)	75	75	75

Sumber : Tjokrodinuljo, 1996

Keterangan :

- 1) Kelas N : pozzolan alam, seperti tanah *diatomae*, *shale*, *tufa* dan abu gunung berapi atau *pumice*.
- 2) Kelas F : abu pembakaran batu bara dari jenis anthracite dan bituminous.
- 3) Kelas C : abu pembakaran batu bara dari *subbituminous* dan *lignite*.

Menurut Tjokrodinuljo (1998) bila pozzolan dipakai sebagai bahan tambah akan menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia. Pozzolan dapat mengurangi pemuaian beton yang terjadi akibat proses reaksi alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat), dengan demikian penambahan pozzolan dapat mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut.

Menurut penelitian ISG Resources di Amerika, 2005 (dalam Bambang Budiarto 2010), penggunaan pozzolan abu terbang untuk beton struktural dapat didesain dengan teknik tertentu sehingga kekuatan yang dihasilkan dapat maksimal saat umur beton mencapai 28 hari dan kekuatan beton akan terus naik pada umur yang lebih tinggi. Beton dengan penambahan pozzolan abu terbang menunjukkan tingkat permeabilitas yang lebih rendah, kerapatan yang lebih tinggi, panas hidrasi dan suhu beton yang lebih rendah. Penambahan pozzolan akan memberikan kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton pada beberapa pekerjaan beton, diantaranya : pemompaan adukan beton menjadi lebih mudah, sehingga teknik penyuntikan adukan beton dapat sampai kebawah, dengan penggetaran adukan beton menjadi mudah diisikan dan memadat sehingga pori-pori pada beton dapat ditutup dengan maksimal.

Tempurung kelapa merupakan buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung bagian inti buah dan terletak dibagian dalam setelah sabut. Tempurung kelapa merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan 3-6 mm. Sifat kekerasan ini disebabkan kandungan silika (SiO_2) di tempurung tersebut. Dari uji *FT-IR* yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Setelah dianalisis didapati hasil uji sebagai berikut.

Tabel 3.5 Senyawa Abu Tempurung Kelapa

No.	Senyawa dalam abu tempurung kelapa
1	Silika
2	Klorid
3	Karbon dioksida
4	Sulfida dioksida
5	Air

Sumber : hasil penelitian di Laboratorium FMIPA UII, 2011

3.3.1 Silika

Unsur silika dapat bersifat sebagai pozzolan, dimana sifat bahan yang bila diberi air memiliki sifat plastis dan mudah dibentuk, tapi pada saat mengering bersifat keras dan sulit untuk deformasi. (<http://Juffrez.blogspot.com>).

3.3.2 Klorid

Klor adalah salah satu unsur kimia dengan simbol CL dan mempunyai nomor atom 17. Dalam tabel periodik unsur ini termasuk kelompok halogen atau golongan VIIA. Ion klorida pada dasarnya mempunyai pengaruh kecil terhadap sifat-sifat kimia dan biologi perairan. Kation dari garam-garam klorida dalam air terdapat dalam keadaan mudah larut.

3.3.3 Karbon Dioksida

Karbon dioksida dihasilkan oleh semua tumbuh-tumbuhan dan hewan dan karbon dioksida ini mempunyai sifat tidak mudah terbakar. Karbon dioksida juga dihasilkan dari samping pembakaran bahan bakar fosil dan karbon doksida anorganik dikeluarkan dari gunung berapi dan proses geotermal lainnya seperti pada mata air panas. Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan dibawah 5,1 atm namun langsung menjadi padat pada temperature dibawah -78°C. dalam bentuk padat, karbon dioksida umumnya disebut sebgai es kering. (wawan-satu.blogspot.com).

3.3.4 Sulfida Dioksida

Sulfida dioksida berbau tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan Sulfida trioksida bersifat reaktif, Sulfida trioksida dengan uap air yang ada diudara untuk membentuk asam sulfat, asam sulfat ini sangat reaktif, mudah bereaksi benda-benda lain yang mengakibatkan kerusakan, seperti proses perkaratan (korosi) seperti proses kimia lainnya.

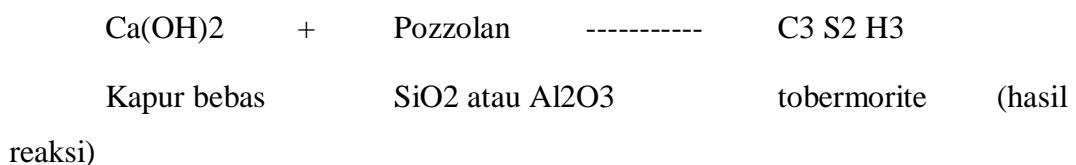
3.3.5 Air

Pengaruh air sangat diperlukan dalam campuran pembuatan mortar, karena sebagai alat bereaksi dengan semen, serta sebagai bahan pelumas butir-butir agregat supaya mortar atau beton mudah untuk dikerjakan.

3.4 Kerangka Berfikir

Berbagai usaha dilakukan dalam upaya peningkatan mutu dan kualitas akibat persaingan usaha produksi dari paving block, salah satu usaha sebagai alternatif peningkatan mutu dan kualitas adalah dengan penambahan abu tempurung kelapa dalam campuran pembuatannya. Abu tempurung kelapa ini dipilih karena merupakan limbah yang mengandung pozzolan, yaitu bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika dan atau aluminat yang reaktif.

Menurut Tjokrodinuljo (1996) untuk mengurangi pembebasan kapur akibat reaksi antara semen dan air perlu ditambahkan senyawa yang mengandung silika atau silika dan alumina (pozzolan), sehingga dapat bereaksi dengan kapur bebas membentuk zat perekat (tobermorite). Persamaan reaksi pengikatan kapur bebas oleh pozzolan adalah :



Untuk penelitian ini mortar yang direncanakan untuk pembuatan paving block, sehingga jenis pengujian yang dilakukan adalah standar pengujian paving block, yang meliputi : kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air dan kuat lentur mortar setelah berumur 28 hari. Untuk komposisi semen : pasir

menggunakan berat perbandingannya = 1 : 8, dengan faktor air semen (fas) 0,40. Persentase abu tempurung kelapa yang ditambahkan adalah : 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen.

Bahan penyusun mortar dalam penelitian ini terdiri dari pasir, semen, air dan bahan tambah pozzolan abu tempurung kelapa. Sama seperti pada pembuatan beton, persyaratan yang diperlukan untuk pasir, semen dan air yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti yang tercantum pada spesifikasi bahan bangunan mengenai bahan-bahan beton. Penambahan pozzolan abu tempurung kelapa sebagai agregat ringan (dalam bentuknya yang halus) bertujuan untuk mengisi pori-pori yang terjadi karena pembebasan kapur akibat reaksi antara semen dan air.

3.5 Hipotesis

Sesuai dengan kerangka berfikir yang dikemukakan diatas, maka dapat diajukan hipotesis penelitian, yaitu : terdapat perbedaan nilai kuat tekan basah, kuat tekan kering ,serapan air dan kuat lentur mortar pada umur pengujian 28 hari akibat penambahan pozzolan abu tempurung kelapa dengan persentase yang berbeda.

Untuk kuat desak *paving block* sendiri adalah beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji *paving block* hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Salah satu karakteristik kualitas yang harus dimiliki *paving block* adalah kekuatan desak. Kualitas *paving block* semakin baik jika memiliki kuat desak yang semakin tinggi.

Kuat desak kering maupun kuat desak kering basah satu benda uji dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma'b = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan: $\sigma'b$ = Tegangan Kuat desak benda uji
 P = Beban Desak Ultimate (Kgf)
 A = Luas Permukaan (Cm²)

Sedangkan untuk menghitung kuat desak rata – rata dihitung dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum \sigma'_{b}}{n} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan: σ'_{bm} = Kuat Desak Rata – rata

$\sum \sigma'_{b}$ = Jumlah Total Tegangan Kuat Desak

n = Jumlah Benda Uji

Untuk mengetahui kemampuan menyerap air pada *paving block* perlu dilakukan pengujian daya serap air dilaboratorium. Pelaksanaan pengujian daya serap air dimulai dengan penimbangan berat basah setelah sebelumnya dilakukan perendaman didalam air. *Paving block* dikeringkan dalam oven pada suhu kurang lebih 100° C selama 24 jam dan kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering *paving block*.

Setelah diketahui berat basah dan berat kering *paving block*, maka dilakukan perhitungan daya serap air dengan perhitungan:

$$\text{Daya serap air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan : W_b = Berat *paving block* basah

W_k = Berat *paving block* kering

Secara struktural *paving block* mempunyai kekuatan yang cukup besar terutama pada kuat tekannya, tetapi sebagaimana beton biasa, *paving block* mempunyai kelemahan yaitu kuat lentur yang rendah dan bersifat getas (brittle), serta mudah retak atau hancur akibat dari fungsi *paving block* yang hanya untuk menahan kuat tekan, juga menahan kuat tarik dan kuat geser akibat dari kondisi tanah dasar labil karena kurang sempurna pada saat pemadatan. Untuk meningkatkan kekuatan dan kualitasnya dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah.

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penampang benda uji. Kuat lentur yang harus dicapai dari individual block adalah minimal 60kg/cm^2 . Peralatan yang digunakan harus dilengkapi dengan 2 buah tumpuan silinder dengan jarak yang dapat diatur diatas plat sebagai tumpuan.

Kuat lentur masing–masing benda uji dapat dihitung sebagai berikut:

$$FS = \frac{3PL}{2BH^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan: FS = Kuat lentur (kg/cm^2)

P = Beban Maksimal Patah (Kgf)

L = Jarak Tumpuan Silinder (Cm)

B = Lebar Benda Uji (Cm)

H = Tebal Benda Uji (Cm)



BAB IV

METODE PENELITIAN

Pada metologi penelitian ini akan memaparkan mengenai metode penelitian, bahan dan peralatan, benda uji, tahap penelitian, dan analisis data.

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu cara untuk mengambil, menganalisis dan mengidentifikasikan variabel yang dilakukan untuk mencari pemecahan masalah dari pokok permasalahan yang akan diambil terhadap penelitian yang akan dilakukan. Kualitas penelitian yang diperoleh tergantung pada metode penelitian yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan secara eksperimental, yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Objek penelitian adalah *paving block* berbentuk persegi panjang *tipe holand* dengan panjang 200mm, lebar 100mm, dan tebal 60mm. Perbandingan volume yang digunakan adalah 1:8 untuk semen dan pasir serta ditambah dengan abu tempurung kelapa sebagai pozzolan buatan.

4.2 Bahan Dan Peralatan

4.2.1 Bahan

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan *paving block* dalam penelitian ini, adalah :

1. Air

Air yang digunakan air yang tidak berwarna atau jernih, tidak berbau, dan tidak mengandung benda-benda asing yang dapat dilihat secara kasat mata. Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

2. Semen *Portland*

Penelitian ini menggunakan semen portland jenis I, semen gresik, dalam kemasan kantong 40 kg.

3. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Merapi. Pasir yang digunakan lolos saringan 4,8 mm pada kondisi jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*).

4. Abu Tempurung Kelapa

Dalam penelitian ini abu tempurung kelapa diperoleh melalui proses pembakaran tempurung kelapa yang dilakukan langsung oleh peneliti. Abu tempurung kelapa ini berwarna abu-abu, dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu yang lolos saringan No.150.

4.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi :

1. Cetakan *paving block* dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm³

Cetakan *paving block* yang digunakan terbuat dari bahan besi dengan ukuran sekitar 70 cm x 90 cm. Pada satu cetakan tersebut dapat mencetak 12 *paving block jenis holland* dalam sekali cetak. Cetakan ini terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian *stempel* dan bagian *form*. Bagian *stempel* berfungsi sebagai ujung penekanan pada mesin dan memberikan bentuk pada permukaan *paving block* pada saat pencetakan. Sedangkan pada bagian *form* berfungsi untuk memberikan bentuk pada sisi-sisi *paving block*. Keduanya harus presisi agar dapat menghasilkan *paving block* sesuai bentuk yang diinginkan dan meminimalkan kerusakan *paving block* pada saat percetakan. Untuk bentuk masing-masing cetakan yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Cetakan *Paving Block*

2. Mesin pres *paving block*

Mesin pres yang digunakan adalah mesin pres pembuatan paving block yang dioperasikan dengan sistem hidrolik dan dilengkapi vibrator (penggetar). Sistem hidrolik digunakan untuk mengangkat cetakan dan memberikan tekanan (pemadatan) pada saat pencetakan. Sedangkan vibrator yang diletakan dibawah meja mesin berfungsi untuk menggerakkan butir-butir campuran yang telah dituangkan pada cetakan sehingga bergerak mengisi celah-celah yang masih kosong. Hal ini dilakukan agar sebelum proses penekanan campuran sudah pada keadaan padat di dalam cetakan. Berikut ini pada gambar 4.2 adalah mesin pres yang digunakan.



Gambar 4.2 Mesin Pres *Paving Block*

3. Ayakan dan mesin pengguncang saringan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi pasir. Ayakan yang digunakan bermerk MBT buatan Indonesia, sedangkan mesin pengguncang saringan yang digunakan dari *Pascal England Engineering*. Susunan lubang ayakan yang digunakan berturut-turut adalah : 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 1,15 mm dilengkapi dengan tutup pan. Sedangkan untuk pengujian gradasi pasir menggunakan satu set saringan dari no. 1 sampai no. 200 seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Ayakan

4. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, berfungsi untuk menimbang bahan susun yang digunakan dalam pembuatan *paving block* dengan berat kurang dari 5 kg. Lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Timbangan

5. Sekop dan Catok

Sekop dan catok digunakan untuk mengambil, memindahkan dan mencampur bahan penyusun *paving block*. Catok juga digunakan untuk memasukkan dan meratakan mortar yang dimasukkan pada cetakan. Cetok yang digunakan seperti pada gambar 4.5 berikut ini



Gambar 4.5 Cetok

6. Gelas Ukur

Gelas ukur diperlukan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan pada proses pencampuran bahan mortar, gelas ukur yang digunakan berkapasitas 500 ml seperti gambar 4.6.



Gambar 4.6 Gelas Ukur

7. Oven

Oven merk Emmert buatan Jerman digunakan untuk memperoleh keadaan kering mutlat pada pasir, abu tempurung kelapa dan mortar. Dibawah ini pada gambar 4.7 adalah oven yang digunakan



Gambar 4.7 Oven

8. Mesin uji kuat tekan

Mesin uji kuat tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* merk Indotest berkapasitas 60 ton. Ukuran benda uji yang digunakan adalah 100 mm x 200 mm x 80 mm. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Alat Uji Kuat Desak

9. Universal Testing Machine (UTM) digunakan untuk uji kuat tekan dan kuat lentur. Mesin yang digunakan bermerk Shimadzu. Mesin ini digunakan untuk menguji kuat lentur plat mortar dengan kapasitas 15000 kgf dengan ketelitian pembacaan beban 2,5 kg seperti pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Alat Uji Kuat Lentur

10. Peralatan pendukung

Peralatan pendukung yang lain, seperti ember, sikat, penggaris, perekat, karung, selang dan bak perendaman.

4.3 Benda Uji

Pada penelitian ini dibuat satu macam bentuk uji mortar, yaitu berbentuk kubus dengan ukuran : 200mm x 100mm x 60mm. Jumlah keseluruhan benda uji adalah 90 benda uji, dengan jumlah masing-masing perlakuan 15 buah. Sedangkan persentase penambahan abu tempurung kelapa, jumlah benda uji dan macam pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1. Benda uji yang terdiri atas :

- 5 buah benda uji untuk kuat tekan kering
- 5 buah benda uji untuk serapan air dan kuat tekan basah
- 5 buah benda uji untuk kuat lentur

Tabel 4.1 Pembagian Benda Uji Dari Masing-masing Komposisi Perlakuan

Komposisi Pemakaian Semen : Pasir	fas	Persentase Abu Tempurung Kelapa (%)	Jumlah Sampel		
			Kuat Tekan Kering	Serapan Air Dan Kuat Tekan Basah	Kuat Lentur
1 : 8	0,4	0	5	5	5
1 : 8	0,4	2,5	5	5	5
1 : 8	0,4	5	5	5	5
1 : 8	0,4	7,5	5	5	5
1 : 8	0,4	10	5	5	5
1 : 8	0,4	12,5	5	5	5

4.4 Tahap Penelitian

Persiapan dan pemeriksaan bahan susun *paving block* dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Terdapat langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian ini, berikut tahapan-tahapannya : tahap persiapan bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji.

4.4.1 Tahap Persiapan Bahan

Tahap persiapan bahan dilakukan, meliputi :

1. Persiapan pasir yang akan digunakan dalam penelitian dengan cara mengayak pasir sampai pasir lolos lubang ayakan 5mm, kemudian pasir dikondisikan dalam keadaan jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*). Lalu dalam hal ini melakukan pengujian karakteristik pasir yang akan digunakan. Pengujian karakteristik bertujuan untuk mengetahui keadaan fisik pasir sebenarnya. Pengujian karakteristik pasir yang digunakan meliputi : kadar air pasir, berat jenis pasir, gradasi pasir, pengujian berat volume padat/gembur, dan pengujian kandungan lumpur.

a. Pengujian kadar air pasir

Dalam hal ini dimaksudkan untuk menguji seberapa banyak kadar air sebelum digunakan dalam pembuatan mortar. Berikut prosedur pengujian kadar air pasir :

- 1) Gunakan sample splitter untuk membagi pasir agar merata. Timbang cawan yang akan digunakan lalu beri nomer (W4).
- 2) Masukkan pasir yang akan diperiksa dalam cawan sebanyak 100 gram.
- 3) Timbang cawan yang berisi pasir tersebut (W5)
- 4) Masukkan oven dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$.
- 5) Setelah kering dalam oven, masukkan cawan tersebut dalam desikator.
- 6) Setelah dingin, timbang kembali cawan yang telah berisi pasir tersebut (W6). Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam pasir dengan berat kering pasir yang dinyatakan dalam persen.

b. Pengujian berat jenis pasir

Langkah-langkah pengujian berat jenis pasir adalah sebagai berikut:

- 1) Pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, dinginkan pasir dalam suhu ruang kemudian rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 2) Setelah 24 jam direndam air, lau buang air rendaman dengan berhati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbuang. Pasir diletakkan diatas nampan dan diangin-anginkan sampai tercapai keadaan jenuh kering muka. Untuk pengujian kondisi jenuh kering muka dilakukan dengan memasukkan pasir pada kerucut terpancung dan dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali. Pada saat kerucut diangkat, pasir akan runtuh tetapi masih berbentuk kerucut.

- 3) Pasir tersebut dimasukkan kedalam piknometer sebanyak 500 gr (W0) kemudian ditambahkan air kedalam pinometer hingga mencapai 90 % isi piknometer, putar dan guling-gulingkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
- 4) Tambahkan air kedalam piknometer hingga penuh, kemudian timbang (W1).
- 5) Keluarkan pasir dan keringkan dalam oven dengan suhu 115°C sampai beratnya tetap (W2), kemudian dinginkan.
- 6) Piknomtere dibersihkan, kemudian isi air sampai tanda batas timbang (W3).

c. Gradasi pasir

Yang bertujuan untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir dan modulus butir (MHB) pasir. Berikut langkah-langkah pengujiannya :

- 1) Pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu 115°C sampai beratnya tetap.
- 2) Keluarkan pasir dalam oven lalu dinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gr.
- 3) Susun saringan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan paling atas hingga paling bawah pan.
- 4) Pasir dimasukkan dalam saringan paling atas kemudian tutup. Jepit susunan saringan tersebut, kemudian hidupkan mesin penggetar selama 10 menit, kemudian diamkan 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- 5) Pasir yang tertinggal dalam masing ukuran saringan ditimbang beserta wadahnya.
- 6) Hitung berat pasir yang tertahan pada masing-masing saringan.

- 7) Gradasi pasir diperoleh dengan menghitung jumlah komulatif persentase butir-butir yang lolos pada masing-masing ayakan. Nilai modulus halus butir (mhb pasir) dihitung dengan menjumlahkan persentase komulatif tertinggal, kemudian dibagi seratus.

d. Pengujian berat volume padat / gembur

Langkah-langkah dalam pengujian ini sebagai berikut :

- 1) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 115°C sampai berat tetap.
- 2) Keluarkan benda uji dari oven lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang.
- 3) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan benda uji 1/3 bagian dan bagian ditumbuk 25 kali secara merata, lalu diratakan, ulangi hal yang sama untuk lapisan kedua, untuk lapisan terakhir, masukkan pasir hingga melebihi permukaan atas silinder (sampai meluap) lalu ditumbuk lagi sebanyak 25 kali. Sedangkan untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan kedalam silinder sampai penuh, ratakan permukaannya dengan mistar perata dan bersihkan bagian luarnya (tanpa pemadatan).
- 4) Timbang berat kedua pengujian silinder dan dicatat beratnya.
- 5) Hitung volume silinder.

e. Pengujian kandungan lumpur

Bertujuan untuk mengetahui banyak kandungan lumpur dalam pasir. Berikut langkah-langkah pengujian ini :

- 1) Ambil pasir yang telah dikeringkan oven selama 24 jam dengan suhu 115°C seberat 500 (a)
- 2) Lalu cuci pasir dengan air bersih dengan memasukkan pasir kedalam gelas ukur 250 cc setinggi 12 cm diatas

permukaan pasir. Kemudian diguling-gulingkan 10 kali dan didiamkan selama ± 5 menit. Setelah itu air dikeluarkan dengan cara hati-hati agar pasir tidak ikut keluar, terus hingga air nampak jernih.

- 3) Tuang pasir kedalam cawan kemudian membuang sisa air dengan pipet setelah itu pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu 115°C selama 24 jam.
 - 4) Setelah 24 jam pasir dikeluarkan dalam oven dan didinginkan hingga mencapai suhu ruangan kemudian pasir ditimbang (b).
2. Persiapan semen dilakukan dengan cara visual yaitu semen dalam keadaan tertutup rapat dan setelah dibuka tidak ada gumpalan dan butirannya halus.
 3. Persiapan abu tempurung kelapa akan digunakan dalam kondisi jenuh kering permukaan atau SSD (*Saturated Surface Dry*). Setelah mengalami proses pembakaran dari tempurung kelapa lalu menyisakan abu yang berwarna abu-abu lalu disaring dengan ukuran saringan No.200.
 4. Persiapan terhadap air juga dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, garam, minyak dan bahan-bahan lainnya yang terlihat oleh kasat mata.

4.4.2 Proses Pencampuran

Pebandingan berat semen : pasir ialah 1 : 8 dan nilai fas yang digunakan 0,4 dari berat semen dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Dalam proses ini meliputi penimbangan dan pencampuran bahan. Masing-masaing bahan ditimbang sesuai variasi komposisinya lalu dicampur dengan menggunakan sekop sekitar 10-15 menit.

4.4.3 Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan atau percetakan benda uji dilakukan dengan mesin pres. Mesin yang digunakan adalah mesin dengan sistem hidrolik dilengkapi sistem vibrator yang biasa digunakan untuk proses produksi *paving block*. Bersamaan pada saat pemadatan dilakukan penggetaran sehingga membantu pergerakan agregat untuk saling mengisi celah atau rongga yang ada pada sebuah *paving block*. Maka metode demikian diharapkan memberikan hasil atau kekuatan yang sama pada proses pemadatan pada masing-masing benda uji dan memperkecil terjadinya *human error*.

Berikut ini adalah langkah-langkah percetakan atau proses pembuatan paving block dengan menggunakan mesin pres getar :

1. Letakkan alas (triplek tebal 2 mm) pada meja mesin.
2. Mengatur mesin pada posisi cetakan membuka sehingga campuran bisa dimasukkan ke dalam cetakan.
3. Masukkan campuran kedalam cetakan.
4. Nyalakan sistem getar pada mesin sekitar 10 detik.
5. Penuhi kembali isi cetakan yang setelah di pres dengan campuran kepala.
6. Tekan tuas pengepresan atau pemadatan sehingga bagian stempel turun dan melakukan proses pemadatan sambil sistem getar dijalankan.
7. Tekan tuas untuk mengangkat kedua bagian cetakan.

4.4.4 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan setelah satu hari dari pencetakan paving block. Pada umur 1 hari atau benda uji cukup keras dilakukan perendaman dengan durasi 3 jam periode 2 kali sehari selama 2 hari, setelah di rendam benda uji di siram dengan di tutupi bagian permukaan *paving block* menggunakan karung goni agar terjaga kelembabannya hingga mencapai umur 21 hari. Hal ini dimaksudkan agar proses pengeringan dan pengerasan pada *paving block* berjalan dengan sempurna (untuk mencegah terjadinya retak-retak/pecah pada *paving block*).

4.4.5 Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas *paving block* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian kuat tekan kering dan kuat tekan basah

Benda uji yang telah siap ditentukan kuat tekannya dengan mesin kuat tekan yang dapat diatur kecepatan penekanannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai benda uji hancur diatur sehingga tidak kurang dari satu menit dan tidak lebih dari dua menit. Kuat tekan didapat dengan menghitung beban maksimum yang diterima mortar berbanding luas bidang tekan, yang dinyatakan dalam kg/cm^2 . Dengan kedua pengujian ini dapat dibandingkan hasil dari kuat tekan kering dan kuat tekan basah dari *paving block*.

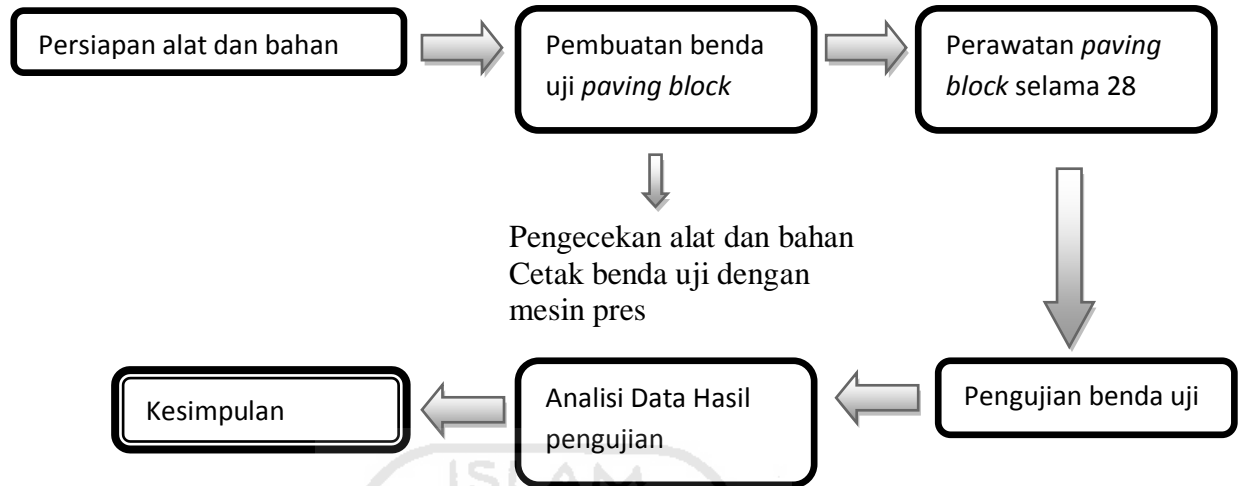
2. Pengujian serapan air *paving block*

Pada pengujian serapan air, *paving block* direndam dalam air hingga jenuh (24 jam) kemudian ditimbang beratnya dalam keadaan basah. Selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu sekitar $\pm 100^\circ\text{C}$, sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2% penimbangan sebelumnya. Serapan air mortar adalah perbandingan berat mortar dalam keadaan basah dengan kering mutlak yang dinyatakan dalam persen.

3. Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur hampir sama dengan pengujian kuat tekan. Pertama menyiapkan benda uji (mortar) yang akan ditentukan kuat lenturnya. Tempatkan benda uji di atas 2 tumpuan secara simetris dengan jarak antar tumpuan adalah panjang benda uji dikurangi 50 mm. Berikan beban dengan tanpa adanya kejutan dengan penambahan beban secara menerus dan seragam sampai batas maksimum patah. Kecepatan beban lentur yang diberikan kepada benda uji pada saat pembebanan adalah 1 kg per detik.

Untuk bagan jalannya penelitian di laboratorium dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bagan Penelitian

4.5 Jadwal Pengujian

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan jadwal seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Jadwal Penelitian

No	Jenis kegiatan	Waktu pelaksanaan
1.	Persiapan bahan	Desember 2011
2.	Pembuatan benda uji	Januari 2012
3.	Pengujian benda uji	Februari 2012
4.	Pengolahan data	Februari 2012
5.	Kesimpulan dan saran	Maret 2012

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian Bahan

Berdasarkan pemeriksaan setiap bahan yang akan digunakan dalam proses pencampuran telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia pada benda uji pasir, semen, dan limbah abu tempurung kelapa mendapatkan hasil berat volume tiap jenis bahan dalam kondisi gembur adalah :

Berat volume pasir : $1,6 \text{ gr/cm}^3$

Berat volume abu tempurung kelapa : $0,64 \text{ gr/cm}^3$

Berat volume semen : $1,16 \text{ gr/cm}^3$

Faktor kadar lumpur pasir : $0,67 \%$

5.2 Perhitungan Kebutuhan Campuran

Benda uji dibuat dengan campuran menggunakan perbandingan berat 1 pc : 8 ps, sedangkan untuk kebutuhan abu tempurung kelapa terhadap berat semen. Perhitungan kebutuhan setiap benda uji adalah sebagai berikut :

Volume 1 benda uji (*paving block*) = $20 \times 10 \times 6 \text{ cm} = 1.200 \text{ cm}^3$

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

Kebutuhan 1 paving block = $1.440 \times 1,6 = 2.304 \text{ gr}$

Kebutuhan 15 paving block = $15 \times 2304 = 34.560 \text{ gr}$

- Kebutuhan pasir = $\frac{8}{9} \times 34.560 = 30.720 \text{ gr}$

- Kebutuhan semen = $\frac{1}{9} \times 34.560 = 3.850 \text{ gr}$

Kebutuhan abu tempurung kelapa terhadap volume pasir,

$$\begin{aligned}\text{Untuk : } 2,5 \% &= \frac{2,5}{100} \times 3.850 = 96,25 \text{ gr} \\ 5 \% &= \frac{5}{100} \times 3.850 = 192,5 \text{ gr} \\ 7,5 \% &= \frac{7,5}{100} \times 3.850 = 288,5 \text{ gr} \\ 10 \% &= \frac{10}{100} \times 3.850 = 385,0 \text{ gr} \\ 12,5 \% &= \frac{12,5}{100} \times 3.850 = 481,25 \text{ gr}\end{aligned}$$

Tabel 5.1 Komposisi Abu Tempurung Kelapa

Variasi	Pc (gr)	Ps (gr)	Abu Tempurung Kelapa (gr)	Jumlah Benda Uji
0%	3.850	30.720	0,00	15
2,5%	3.850	30.720	96,25	15
5%	3.850	30.720	192,50	15
7,5%	3.850	30.720	288,50	15
10%	3.850	30.720	385,00	15
12,5%	3.850	30.720	481,50	15

Ket : Pc = semen

: Ps = pasir

5.3 Pengujian Berat Volume *Paving Block*

Pengujian berat volume *paving block* dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 5 buah untuk setiap penambahan abu tempurung kelapa 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen. Data hasil pengujian berat volume *paving block* dapat dilihat pada tabel 5.2 sampai tabel 5.8. Hasil pengujian berat volume memperlihatkan bahwa semakin tinggi persentase penambahan abu tempurung kelapa berat volume mortar yang dihasilkan semakin meningkat. Pada *paving block* tanpa penambahan abu tempurung kelapa memiliki berat volume

rata-rata sebesar $2107,4 \text{ kg/m}^3$, lebih kecil dari berat volume mortar dengan penambahan 2,5% abu tempurung kelapa yang mencapai $2162,85 \text{ kg/m}^3$.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 0%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m^3)
1.	19,71	9,90	5,47	2,26	2117,38
2.	19,68	9,81	5,40	2,26	2169,73
3.	19,68	9,89	5,16	2,14	2128,81
4.	19,66	9,92	5,37	2,20	2100,65
5.	19,67	9,89	5,61	2,21	2020,44
Σ	19,68	9,88	5,40	2,21	2107,40

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 2,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m^3)
1.	19,76	9,90	5,78	2,35	2081,88
2.	19,72	9,80	5,85	2,45	2172,63
3.	19,80	9,86	5,70	2,44	2194,47
4.	19,72	9,80	5,61	2,30	2130,67
5.	19,72	9,85	5,53	2,40	2234,59
Σ	19,74	9,84	5,69	2,39	2162,85

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m^3)
1.	19,94	9,84	5,88	2,34	2028,24
2.	19,90	9,80	5,76	2,53	2254,93
3.	19,90	9,80	5,63	2,32	2113,00
4.	19,95	9,80	5,65	2,40	2172,67
5.	19,66	9,81	5,41	2,35	2249,38
Σ	19,87	9,81	5,67	2,39	2163,64

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 7,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,66	9,84	5,64	2,46	2258,31
2.	19,70	9,88	5,59	2,32	2127,73
3.	19,68	9,80	5,72	2,36	2141,99
4.	19,70	9,82	5,40	2,24	2140,43
5.	19,70	9,91	5,56	2,37	2186,17
Σ	19,69	9,85	5,58	2,35	2170,92

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 10%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,91	9,94	5,56	2,46	2235,64
2.	20,20	9,89	5,45	2,29	2103,25
3.	19,97	9,90	5,55	2,53	2305,76
4.	20,10	9,90	5,30	2,41	2285,12
5.	19,94	9,96	5,66	2,41	2143,96
Σ	20,024	9,92	5,50	2,42	2214,75

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 12,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,71	9,92	5,63	2,28	2071,23
2.	19,80	9,90	5,87	2,40	2085,80
3.	19,97	9,91	5,78	2,49	2176,81
4.	19,78	9,90	5,67	2,51	2260,63
5.	19,71	9,91	5,43	2,41	2272,25
Σ	19,79	9,91	5,68	2,42	2173,34

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-rata Dan Perubahan Berat

No.	Variasi	Berat Volume Rata-rata (kg/cm ³)	Perubahan Berat %
1.	0,00%	2107,40	-
2.	2,50%	2162,85	2,63
3.	5,00%	2163,64	2,67
4.	7,50%	2170,92	3,01
5.	10,00%	2214,75	5,09
6.	12,50%	2173,34	3,13

Pembahasan :

Dalam hasil pengujian berat volume dengan penambahan limbah abu tempurung kelapa telah terjadi peningkatan nilai setiap penambahan variasinya. Yang dimana setiap penambahan akan meningkatkan nilai berat volume dan pada kondisi penambahan 10 % terjadi kondisi optimum karena setelahnya terjadi penurunan berat volume. Hal ini dikarenakan semakin bertambah variasi penambahan abu tempurung kelapa maka semakin meningkat nilai berat volumenya yang dimana halnya pori-pori yang terdapat pada *paving block* diisi oleh abu tempurung kelapa yang mengakibatkan semakin besar penambahan maka untuk kepadatannya semakin tinggi.

5.4 Pengujian Kuat Tekan Kering *Paving Block*

Berdasarkan Pengujian kuat tekan kering setelah mencapai umur 28 hari didapatkan hasil kuat tekan kering yang berbeda setiap variasinya. Pada pembahasan ini ditarik hasil kuat tekan rata-rata dari setiap variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa untuk dibandingkan. Dari hasil pengujian didapatkan hasil pembebanan maksimal.

Contoh perhitungan :

Sebagai contoh diambil hasil pengujian pada variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa 10% sampel 1.

Panjang (P) = 17,77 cm

Lebar (l) = 7,83 cm

Tinggi (t) = 5,56 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Luas (L)} &= p \times l \\
 &= 17,77 \times 7,83 \\
 &= 139,139 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Maksimum (P)} = 350,8 \text{ KN} = 35.759,43 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan } (\sigma'_b) &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{35759,43}{139,139} \\
 &= 257,00 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil kelima kuat tekan kering *paving block* pada variasi 10 % dijumlahkan kemudian dibagi jumlah benda uji untuk mendapatkan kuat tekan kering rata-rata pada setiap variabel.

Untuk kuat tekan kering rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan kering rata-rata } (\sigma'_{bm}) &= \frac{\sigma'_b}{n} \\
 &= \frac{257,00 + 279,63 + 267,80 + 305,70 + 234,07}{5} \\
 &= 268,84 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

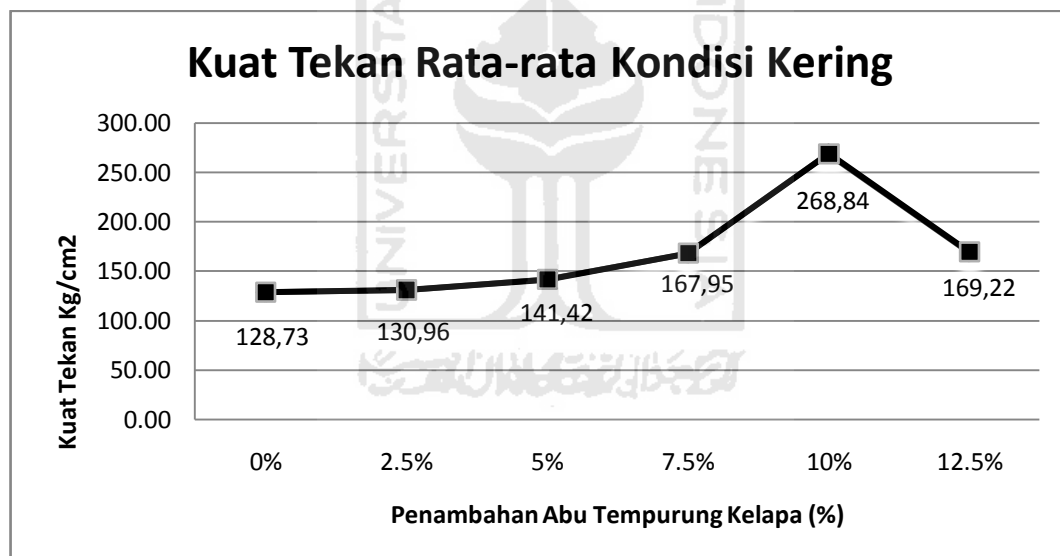
Berikut hasil rata-rata dari perhitungan kuat tekan kering dan perubahan berat kuat tekan kering dalam % dapat dilihat pada tabel 5.9, tabel 5.10 dan dapat dilihat pada gambar 5.1 :

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kering Rata-rata

No.	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Mutu <i>Paving Block</i>	Keterangan
1.	0,00%	128,73	C	Pejalan Kaki
2.	2,50%	130,96	C	Pejalan Kaki
3.	5,00%	141,42	C	Pejalan Kaki
4.	7,50%	167,95	B	Pelataran Parkir
5.	10,00%	268,84	A	Jalan
6.	12,50%	169,22	B	Pelataran Parkir

Tabel 5.10 Hasil Kuat Tekan Kering Rata-rata Dan Perubahan Kuat Tekan Kering

No.	Variasi	Kuat Tekan Kering Rata-rata (kg/cm ³)	Perubahan Berat (%)
1.	0,00%	128,73	-
2.	2,50%	130,96	1,73
3.	5,00%	141,42	9,86
4.	7,50%	167,95	30,47
5.	10,00%	268,84	108,84
6.	12,50%	169,22	31,45

**Gambar 5.1** Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Kering *Paving Block***Pembahasan :**

Limbah abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran dapat meningkatkan nilai kuat tekan kering dan dalam kondisi optimum terjadi pada penambahan variasi 10% dan mengalami penurunan pada penambahan variasi 12,5% seperti halnya pada pengujian berat volume, dapat terlihat pada gambar 5.1. Hal ini dikarenakan jumlah limbah abu tempurung

kelapa lebih dari 10% sudah melebihi kemampuan atau melebihi pori-pori yang dapat diisi abu tempurung kelapa sedangkan kekuatan abu tempurung kelapa lebih rendah dari pasir dan untuk jumlah pasta semen tidak mencukupi untuk membungkus abu tempurung kelapa. Disini terlihat bahwa abu tempurung kelapa lebih berfungsi sebagai *filler* dibandingkan sebagai bahan ikat.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka alternatif limbah abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block* dapat memberikan peningkatan pada nilai kuat tekan dalam kondisi kering *paving block*. Dan menurut SNI 03-0961-1996 *paving block* tipe holand dengan ketebalan 6 cm yang dihasilkan tergolong kedalam *paving block* dengan mutu C yang pada variasi 0%, 2,5%, 5% kegunaanya untuk pejalan kaki, untuk mutu B pada variasi 7,5% dan 12,5% kegunaanya untuk pelataran parkir, sedangkan mutu A pada variasi 10% kegunaanya untuk jalan.

5.5 Pengujian Kuat Tekan Basah *Paving Block*

Berdasarkan Pengujian kuat tekan basah setelah mencapai umur 28 hari didapatkan hasil kuat tekan basah yang berbeda setiap variasinya. Pada pembahasan ini ditarik hasil kuat tekan rata-rata dari setiap variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa untuk dibandingkan. Dari hasil pengujian didapatkan hasil pembebanan maksimal.

Contoh perhitungan :

Sebagai contoh diambil hasil pengujian pada variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa 10% sampel 1.

Panjang (P) = 17,75 cm

Lebar (l) = 7,80 cm

Tinggi (t) = 2,37 cm

Luas (L) = $p \times l$
 $= 17,75 \times 7,80$
 $= 138,35 \text{ cm}^2$

Beban Maksimum (P) = 338,3 KN = 34.485,22 kg

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan } (\sigma'_b) &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{34.485,22}{138,35} \\
 &= 249,26 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil kelima kuat tekan basah *paving block* pada variasi 10 % dijumlahkan kemudian dibagi jumlah benda uji untuk mendapatkan kuat tekan basah rata-rata pada setiap variabel.

Untuk kuat tekan basah rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan basah rata-rata } (\sigma'_{bm}) &= \frac{\sigma'_b}{n} \\
 &= \frac{249,26 + 231,42 + 177,67 + 195,71 + 222,16}{5} \\
 &= 215,24 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

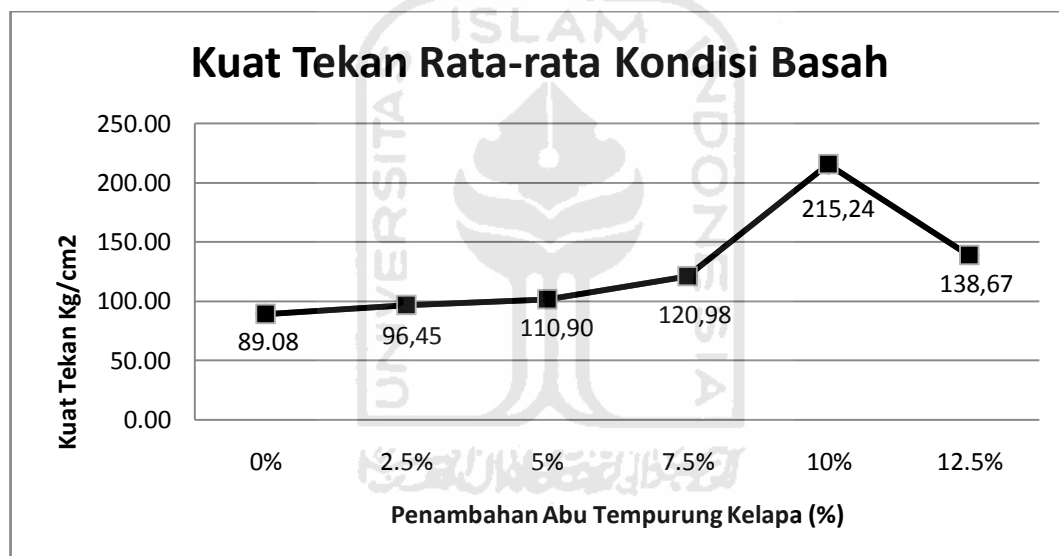
Berikut hasil rata-rata dari perhitungan kuat tekan Basah dan perubahan berat kuat tekan basah dalam % dapat dilihat pada tabel 5.11, tabel 5.12 dan dapat dilihat pada gambar 5.2 :

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Basah Rata-rata

No.	Variasi	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Mutu Paving Block	Keterangan
1.	0,00%	89,08	D	Taman, penggunaan lainnya
2.	2,50%	96,45	D	Taman, penggunaan lainnya
3.	5,00%	101,28	C	Pejalan Kaki
4.	7,50%	120,98	C	Pejalan Kaki
5.	10,00%	215,24	B	Pelataran Parkir
6.	12,50%	138,67	C	Pejalan Kaki

Tabel 5.12 Kuat Tekan Basah Rata-rata Dan Perubahan Berat Kuat Tekan Basah

No.	Variasi	Kuat Tekan Basah Rata-rata (kg/cm ³)	Perubahan Berat (%)
1.	0,00%	89,08	-
2.	2,50%	96,45	8,27
3.	5,00%	101,28	13,70
4.	7,50%	120,98	35,81
5.	10,00%	215,24	141,63
6.	12,50%	138,67	55,67

**Gambar 5.2** Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Basah *Paving Block*

Pembahasan

Limbah abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran dapat meningkatkan nilai kuat tekan basah dan dalam kondisi optimum terjadi pada penambahan variasi 10% dan mengalami penurunan pada penambahan variasi 12,5% seperti halnya pada pengujian berat volume, dapat terlihat pada gambar 5.2. Hal ini dikarenakan jumlah limbah abu tempurung kelapa lebih dari 10% sudah melebihi kemampuan atau melebihi pori-pori yang diisi abu tempurung kelapa sedangkan kekuatan abu tempurung kelapa lebih

rendah dari pasir dan untuk jumlah pasta semen tidak mencukupi untuk membungkus abu tempurung kelapa. Disini terlihat bahwa abu tempurung kelapa lebih berfungsi sebagai *filler* dibandingkan sebagai bahan ikat.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka alternatif limbah abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block* dapat memberikan peningkatan pada nilai kuat tekan dalam kondisi basah *paving block*. Dan menurut SNI 03-0961-1996 *paving block* tipe holand dengan ketebalan 6 cm yang dihasilkan tergolong kedalam *paving block* dengan mutu D yang kegunaannya untuk taman, penggunaan lainnya pada variasi 0% dan 2,5%, untuk mutu kelas C yang kegunaannya pejalan kaki terdapat variasi 5%, 7,5% dan 12,5%, sedangkan dengan mutu kelas B yang kegunaannya sebagai pelataran parker terdapat pada variasi 10%.

5.6 Pengujian Daya Serap Air *Paving Block*

Dari hasil pengujian daya serap air pada *paving block* yang pada setiap variasi terdiri dari 5 sampel didapatkan daya serap air masing-masing benda uji. Dari kelima sampel tersebut diambil nilai daya serap air rata-ratanya untuk setiap variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa. Sebagai contoh perhitungan diambil perhitungan daya serap air variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa 10 % sampel a.

Contoh perhitungan :

Berat basah (Wb) = 2,84 kg

Berat kering (Wk) = 2,50 kg

$$\begin{aligned}\text{Daya serap} &= \frac{Wb - Wk}{Wk} \times 100\% \\ &= \frac{2,84 - 2,50}{2,50} \times 100\% \\ &= 15,21 \%\end{aligned}$$

Untuk nilai daya serap air rata-rata variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa 10% adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Daya serap air rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{dayaserapair}}{n} \\
 &= \frac{15,21 + 16,62 + 14,17 + 18,43 + 14,23}{5} \\
 &= 15,73\%
 \end{aligned}$$

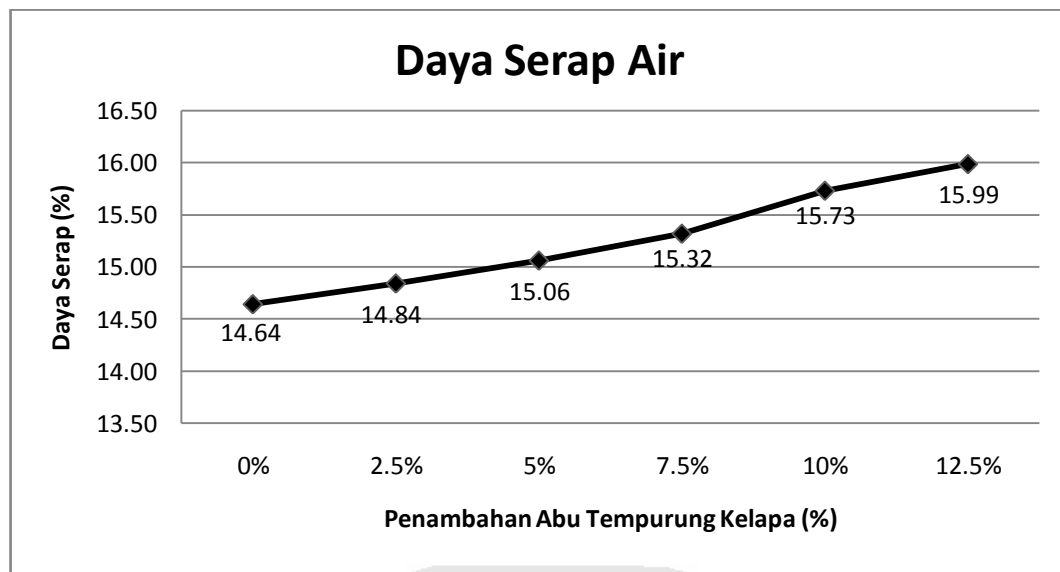
Dari setiap variasi penambahan didapatkan daya serap air rata-ratanya yang akan digunakan sebagai acuan dan perbandingan terhadap daya serap air variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa satu dengan yang lain. Untuk data daya serap air rata-rata *paving block* masing-masing variasi dan perubahan serapan air dalam % dapat dilihat pada tabel 5.13, tabel 5.14 dan gambar 5.3.

Tabel 5.13 Daya Serap Rata-rata *Paving Block*

No.	Variasi	Daya Serap Air Rata-rata (%)	Mutu Paving Block
1.	0,00%	14,64	D
2.	2,50%	14,84	D
3.	5,00%	15,06	D
4.	7,50%	15,32	D
5.	10,00%	15,73	D
6.	12,50%	15,99	D

Tabel 5.14 Serapan Air Rata-rata Dan Perubahan Serapan Air

No.	Variasi	Daya Serap Air Rata-rata (%)	Perubahan Serapan Air (%)
1.	0,00%	14,64	-
2.	2,50%	14,84	1,37
3.	5,00%	15,06	2,87
4.	7,50%	15,32	4,64
5.	10,00%	15,73	7,45
6.	12,50%	15,99	9,22



Gambar 5.3 Grafik Daya Serap Air Rata-rata *Paving Block*

Pembahasan :

Pengujian serapan air mortar dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 5 buah untuk masing-masing variabel penambahan abu tempurung kelapa 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat volume semen. Data hasil pengujian serapan air *paving block* dapat dilihat pada gambar 5.3 Hasil pengujian serapan air memperlihatkan bahwa semakin tinggi persentase penambahan abu tempurung kelapa, semakin besar serapan air yang dimiliki *paving block*. Untuk *paving block* tanpa penambahan abu tempurung kelapa memiliki serapan air sebesar 14,64%, lebih rendah dari serapan air dengan penambahan 2,5% abu tempurung kelapa yang mencapai 14,84%. Serapan air yang lebih tinggi diperoleh dari *paving block* dengan penambahan 5-12,5% abu tempurung kelapa yang mencapai 15,06% dan 15,99%. Hal ini dikarenakan sifat dari limbah abu tempurung kelapa lebih menyerap air. Dibandingkan dengan pasir daya serap air lebih tinggi. Dikarenakan abu tempurung kelapa mengandung bahan silika yang bersifat pozzolan yaitu menyerap air.

5.7 Pengujian Kuat Lentur *Paving Block*

Berdasarkan pengujian kuat lentur yang dilakukan di Laboratorium Teknik bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia didapatkan beban maksimum yang diterima benda uji pada masing-masing variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa. Benda uji diletakkan diatas tumpuan dengan bentang 16 cm.

Sebagai contoh diambil perhitungan kuat lentur *paving block* pada variasi 10 % sampel 1, yaitu sebagai berikut :

Panjang (p) = 18,00 cm

Lebar (l) = 7,89 cm

Tebal (t) = 5,20 cm

Beban Maksimum (P) = 315 kg

$$F_s = \frac{3PsLs}{2BH^2}$$

$$F_s = \frac{3 \times 315 \times 16}{2 \times 7,89 \times 5,2^2} = 35,42 \text{ kg/cm}^2$$

Keterangan :

F_s = *flexural strenght* atau kuat lentur (kg/cm^2)

P_s = beban maksimal patah (kgf)

L_s = jarak tumpuan silinder (cm)

B = lebar benda uji (cm)

H = tebal benda uji (cm)

Setelah nilai kuat lentur dari masing-masing benda uji didapatkan maka dari variasi penambahan abu tempurung kelapa yang terdiri dari 5 sampel dicari nilai

kuat lentur rata-ratanya. Sebagai contoh pada variasi penambahan 10 % perhitungan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_s \text{ rata-rata} &= \frac{\sum F_s}{n} \\ &= \frac{35,42 + 23,13 + 23,52 + 29,57 + 28,29}{5} \\ &= 27,99 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

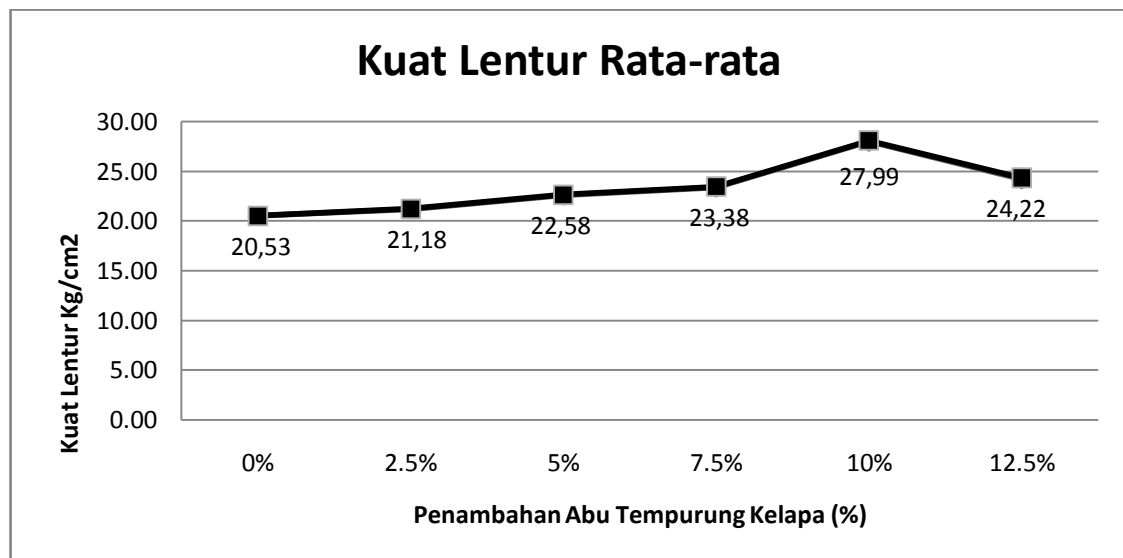
Dari perhitungan seperti pada contoh maka untuk hasil nilai kuat lentur rata-rata pada setiap variasi penambahan abu tempurung dapat dilihat pada tabel 5.15 dan Perubahan Kuat Lentur dalam % dapat dilihat pada tabel 5.16.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Lentur Rata-rata

No.	Variasi	Panjang Tumpuan (cm)	Kuat Lentur Rata-rata (kg/cm ²)
1.	0,00%	16	20,53
2.	2,50%	16	21,18
3.	5,00%	16	22,58
4.	7,50%	16	23,38
5.	10,00%	16	27,99
6.	12,50%	16	24,22

Tabel 5.16 Hasil Kuat Lenutr Rata-rata Dan Perubahan Kuat Lentur

No.	Variasi	Daya Serap Air Rata-rata (%)	Perubahan Kuat Lentur (%)
1.	0,00%	20,53	-
2.	2,50%	21,18	3,17
3.	5,00%	22,58	9,99
4.	7,50%	23,38	13,88
5.	10,00%	27,99	36,34
6.	12,50%	24,22	17,97



Gambar 5.4 Grafik kuat Lentur Rata-rata *Paving block*

Pembahasan :

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur pada benda uji seperti tabel dan grafik diatas bahwa *paving block* yang ditambah limbah abu tempurung kelapa mengalami kenaikan nilai kuat lentur dan dimana mengalami penurunan setelah mendapatkan kuat lentur maksimal. Sama halnya yang terjadi pada kuat tekan kondisi basah maupun kondisi kering. Yang dimana mengalami kondisi optimum pada penambahan abu tempurung kelapa pada variasi 10 % dengan nilai rata-rata 27,99 kg/cm² dan mengalami penurunan pada variasi 12,5% sebesar 3,77 kg/cm² dengan nilai rata-rata 24,22 kg/cm².

Dari hasil pengujian kuat lentur ini menunjukkan bahwa penambahan limbah abu tempurung kelapa dapat meningkat dalam setiap penambahan variasi abu tempurung kelapa dan terdapat dimana ada pada suatu variasi mengalami penurunan tambahan kekuatan. Dalam hal meningkatnya kekuatan dikarenakan penambahan limbah abu tempurung kelapa membuat *paving block* menjadi liat dan padat sehingga mampu menambah beban maksimal yang bisa diterima pada pengujian kuat lentur.

Kuat lentur sangat penting saat *paving block* berada pada kondisi tanah yang tidak rata atau tiba-tiba tidak stabil, untuk menahan kebutuhan *paving block* saat terjadi pembebanan di atasnya. Semakin besar kuat lentur yang dimiliki maka keutuhan *paving block* semakin terjaga pada kondisi demikian. Dengan penambahan limbah abu tempurung kelapa seperti ini terbukti bahwa limbah abu tempurung kelapa berpengaruh terhadap keutuhan *paving block* pada saat dilakukan pembebanan yang berkaitan dengan kapasitas kuat lenturnya.

5.8 Hubungan Kuat Tekan Kering Dan Kuat Lentur *Paving Block*

Dari apa yang telah diteliti dengan benda uji *paving block*, dimana mengalami kondisi optimum pada variasi 10 % dan mengalami penurunan pada kondisi 12,5 %. Hal ini disebabkan *paving block* yang mempunyai kuat desak kering dan kuat lentur memiliki tingkat kepadatan atau kerapatan yang tinggi pula, pori-pori *paving block* terisi oleh agregat-agregat yang dilekatkan oleh semen. Pada percobaan ini pori-pori *paving block* juga terisi oleh limbah abu tempurung kelapa. Selain mengisi pori-pori abu tempurung kelapa memiliki sifat seperti semen yang mengandung unsur silika sehingga bahan tambah ini juga mempunyai peran sebagai bahan ikat pada *paving block*. Maka semakin banyak abu tempurung kelapa yang ditambahkan, maka semakin besar pula nilai kuat desak kering dan kuat lentur yang dihasilkan.

5.9 Hubungan Kuat Tekan Basah Dan Daya Serap Air

Demikian juga kesimpulan yang dapat diambil melalui hubungan antara kuat tekan basah dan serapan air *paving block*. Untuk *paving block* tanpa dan dengan penambahan 2,5-12,5% abu tempurung kelapa, semakin banyak abu tempurung kelapa *paving block* maka semakin tinggi serapan airnya. Sebab volume pori *paving block* semakin kecil dan abu tempurung kelapa juga lebih menyerap air. Sedangkan pada variasi 10% pada pengujian kuat tekan basah mengalami kondisi optimum hal ini dikarenakan jumlah limbah abu tempurung kelapa lebih dari 10% sudah melebihi kemampuan atau melebihi pori-pori yang diisi abu tempurung kelapa sedangkan kekuatan abu tempurung kelapa lebih

rendah dari pasir dan untuk jumlah pasta semen tidak mencukupi untuk membungkus abu tempurung kelapa.

5.10 Hubungan Kuat Tekan Kering Dan Kuat Tekan Basah

Pengujian kuat tekan kering dan kuat tekan basah setelah diuji mengalami perbedaan nilai. Untuk nilai kuat tekan kering lebih tinggi dibandingkan kuat tekan basah dan mengalami kondisi optimum pada kondisi variasi 10%. Hal ini dikarenakan semen dan abu tempurung kelapa pada keadaan kering dapat menggeras dan sulit untuk deformasi yang menyebabkan kuat tekan kering lebih besar, pada keadaan basah dapat sifat plastis yang mengakibatkan kuat tekan pada kondisi basah lebih rendah.

5.11 Hubungan Kuat Tekan Kering, Kuat Tekan Basah Dan Berat Volume

Dari hubungan antara kuat tekan dan berat volume mortar dapat disimpulkan bahwa pada *paving block* tanpa dan dengan penambahan 2,5-12,5 % abu tempurung kelapa, semakin tinggi kuat tekan kondisi kering maupun basah *paving block* maka semakin tinggi berat volume *paving block*. Secara logis kesimpulan ini tepat dan benar, karena peningkatan kuat tekan selalu diikuti dengan peningkatan berat volume, sebab semakin tinggi kuat tekan kondisi kering maupun basah *paving block* berarti semakin tinggi berat volume *paving block* (tingkat kepadatan *paving block* tinggi). Dan mengalami kondisi optimum pada penambahan abu tempurung kelapa pada variasi 10 %.

5.12 Hubungan Daya serap Air Dan Berat Volume

Dari hubungan antara berat volume dan serapan air *paving block* (lihat Tabel 5.13) dapat disimpulkan bahwa *paving block* tanpa dan dengan penambahan 2,5-10 % abu tempurung kelapa, semakin besar berat volume *paving block* maka semakin besar serapan *paving block* dan pada penambahan 10% terjadi penurunan berat volume sedangkan serapan air tetap semakin meningkat. Hal dikarenakan abu tempurung kelapa yang mengisi pori-pori *paving block* pada penambahn 2,5-10% dan pada penambahan lebih dari 10% fungsi dari abu tempurung kelapa yang

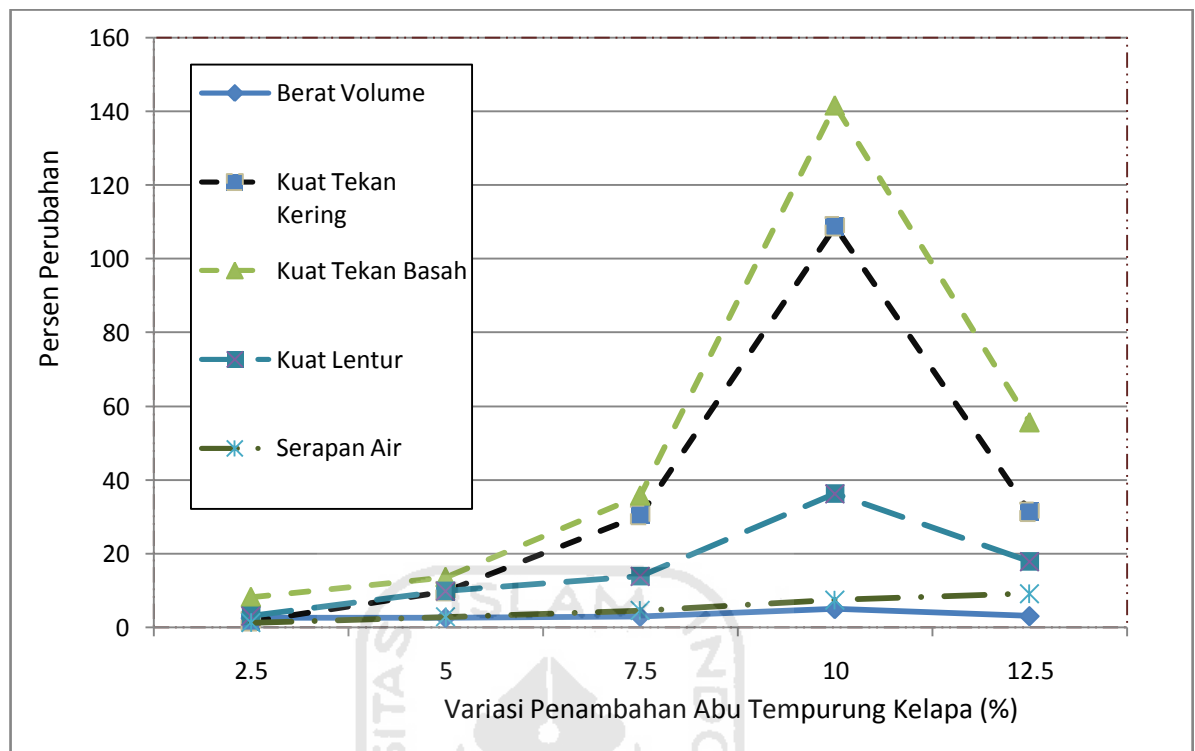
mengisi pori-pori sudah melebihi kapasitas hal ini mengakibatkan penurunan pada berat volume dan untuk nilai serapan air tetap meningkat. Secara logis kesimpulan ini tepat dan benar, karena berat volume *paving block* tinggi jika serapan air *paving block* juga kecil (volume pori dalam *paving block* kecil).

5.13 Pengaruh Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik *Paving Block*

Perubahan karena penambahn abu tempurung kelapa dalam pengujian kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air, kuat lentur dan berat volume terhadap karekteristik *paving block*. Dapat dilihat pada tabel 5.17 dan pada gambar 5.5.

Tabel 5.17 Perubahan Berat Volume, Kuat Tekan Kering, Kuat Tekan Basah, Serapan Air Dan Kuat Lentur

Variasi	Berat Volume (%)	Kuat Tekan Kering (%)	Kuat Tekan Basah (%)	Serapan Air (%)	Kuat Lentur (%)
0,00%	-	-	-	-	-
2,50%	2,63	1,73	8,27	8,27	3,17
5,00%	2,67	9,86	13,70	13,70	9,99
7,50%	3,01	30,47	35,81	35,81	13,88
10,00%	5,09	108,84	141,63	141,63	36,34
12,50%	3,13	31,45	55,67	55,67	17,97



Gambar 5.5 Grafik Persen Perubahan Dan Variasi Penambahan Abu Tempurung Kelapa.

Pembahasan :

Untuk setiap pengujian terlihat dalam gambar 5.5 bahwa dimana hasil pengujian terjadi titik optimum pada penambahan abu tempurung kelapa pada variasi 10 % diantaranya hasil pengujian kuat tekan kering, kuat tekan basah, kuat lentur, berat volume. Untuk pengujian serapan air juga memiliki peningkatan nilai pada variasi 7,5% dengan 10% dan mengalami penurunan kenaikan nilai pada variasi antara 10% dengan 12,5%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan untuk penambahan abu tempurung kelapa pada variasi 10% memiliki nilai optimum dan bagus untuk campuran pembuatan *paving block*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tentang Pengaruh Penambahan Limbah Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Tambah Dasar *Paving Block* yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa terus mengalami peningkatan kuat tekan dalam kondisi kering maupun basah, tetapi mengalami penurunan setelah kondisi optimum. Peningkatan kuat tekan kering terbesar adalah pada variasi penambahan limbah abu tempurung kelapa 10 %. Sama halnya pada pengujian kuat tekan kondisi basah terbesar adalah pada variasi 10 %. Terjadi penurunan kuat tekan pada kondisi basah dibanding dengan pada kondisi kering.
2. Dengan hasil dari pengujian daya serap air pada *paving block* mengalami peningkatan setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa dibandingkan dengan *paving block* normal (tanpa limbah abu tempurung kelapa). Dalam setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa semakin besar variasi penambahan limbah semakin meningkat kadar air dari *paving block*. Disinilah fungsi dari limbah abu tempurung kelapa yang mengandung unsur silika berfungsi secara optimal.
3. Besarnya nilai kuat lentur berbanding lurus dengan penambahan limbah abu tempurung kelapa dan mengalami penurunan setelah kondisi kuat lentur optimum. Dan dalam kondisi optimum dialami oleh variasi dengan penambahan limbah abu tempurung kelapa pada variasi 10 %.

6.2 Saran

Dengan meninjau hasil dari penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan pozzolan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam pembuatan *paving block*. Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan adalah : pengayakan tumbukan *paving block* menggunakan diameter lubang yang lebih kecil dengan saringan No.200 (agar dapat lebih menutup pori-pori kapur akibat reaksi antara semen + air) pada pembuatan paving block, umur pengujian paving block diatas 90 hari dikarenakan proses pengerasan *paving block* dan beton dengan penambahan pozzolan berjalan lambat dan penggunaan variasi faktor air semen (fas).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penambahan abu tempurung kelapa pada *paving block* dengan menggunakan perbandingan Ps : Pc dengan perbandingan 1 : 6, dan memiliki ketebalan *paving block* 8 cm menggunakan metode yang sama dengan penelitian ini yang diharapkan mampu memberikan kekuatan yang maksimal dan daya serap.
3. Perlu diadakan lagi penelitian tentang pengaruh penambahan abu tempurung kelapa pada *paving block* dengan ketelitian yang lebih cermat dalam perhitungan pencampuran tambahan. Dengan menggunakan perbandingan volume.
4. Melihat hasil penelitian ini diharapkan ada tindak lanjut pemakaian limbah abu tempurung kelapa, tidak hanya sebatas sebagai bahan urugan yang memiliki nilai ekonomis rendah tetapi memiliki manfaat yang lebih dalam pembuatan *paving block*.
5. Untuk mendapatkan paving block yang mempunyai kuat tekan yang termasuk dalam persyaratan mutu *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 sangat perlu diperhatikan pada proses pembuatannya terutama pada saat pemadatan.
6. Diharapkan memanfaatkan limbah abu tempurung kelapa pada pengujian lainnya seperti penambahan abu tempurung kelapa pada beton dengan mutu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan*
- Antono. 1995. *Teknologi Beton. Diktat*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atmajaya.
- Bustami, W., & Sadimun. 1975. *Dasar-dasar Pengetahuan Beton*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan Departemen Pekerjaan Umum.
- Kusumawardaningsih, Y. 2003. *Pengaruh Tekanan Saat Proses Pencetakan Terhadap Karakteristik Mortar Dari Agregat Ringan. Tesis*. Yogyakarta: Jurusan Ilmu Teknik Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada.
- Kusmara, D. 1991. *Pengaruh Gradasi Pasir Pada Pembuatan Batu Cetak Halaman. Jurnal Penelitian Pemukiman*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Murdock, L.J., & Brook, K.M. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Sulastari. 1996. *Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mortar Semen Dengan Semen Portland Biasa dan Semen Portland Pozzolan, Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Timuranto, D. 2001. *Hubungan Antara Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Mortar Semen, Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Naviri.
- , 2002. *Batagama Sebagai Bahan Bangunan Alternatif. Seminar Nasional Teknologi Beton dan Aplikasi Software Untuk Perancangan Bangunan Sipil*. Yogyakarta: Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.
- Wahyudi, B. 1999. *Pengaruh Perbandingan Agregat-Semen Terhadap Sifat-Sifat Beton Non-Pasir Dengan Agregat Buatan Tanah Liat Bakar Asal Purwodadi. Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- , 1990. *Metode Pengujian Mortar Untuk Pekerjaan Sipil (SK SNI M-111-1990-03)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan Departemen Pekerjaan Umum.
- , 2002. *Jenis Semen dan Penggunaannya*. Surabaya: PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.
- , 1998. *Pengaruh Jumlah Semen Pada Kuat Tekan Beton Dengan Pasir Sungai Krasak dan Kerikil Sungai Progo. Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.



PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT
HALUS (SK SNI M – 10 – 1989 – F)

Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk)	467,7	476,4	470,55
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	973,5	976,5	975
Berat piknometer berisi air, gram (B)	673,2	674,2	673,7
Berat Jenis Curah, gram/cm ³ (1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,321	2,41	2,37
Berat Jenis jenuh kering muka, gram/cm ³ (2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,503	2,53	2,516
Berat Jenis semu (3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,826	2,736	2,78
Penyerapan air (4) $(500 - Bk) / Bk \times 100 \%$	7,596 %	4,95 %	6,26 %

Keterangan :

- 500 : berat Benda uji dalam kondisi jenuh kering muka, dalam gram

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....



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

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

		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1)	gram	500	500	500
Berat Agregat Kering oven Setelah di cuci (W2)	gram	497,7	495,6	496,65
Berat yang Lolos Ayakan No.200		0,2 %	0,88 %	0,67 %
$[(W1 - W2) / W1] \times 100 \%$				

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

- Untuk Pasir Maksimum 5 % (lima Persen)
- Untuk Krikil Maksimum 1 % (satu persen)

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....



PEMERIKSAAN ISI GEMBUR AGREGAT HALUS

	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1) gram			
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) gram			
Berat Agregat gram			
Volume Tabung (V) gram			
Berat Volume Gembur = $(W3 / V)$ gram			

PEMERIKSAAN ISI PADAT AGREGAT HALUS

	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1) gram			
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) gram			
Berat Agregat gram			
Volume Tabung (V) gram			
Berat Volume Gembur = $(W3 / V)$ gram			

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....



PEMERIKSAAN ISI GEMBUR ABU TEMPURUNG KELAPA

	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1) gram			
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) gram			
Berat Agregat gram			
Volume Tabung (V) gram			
Berat Volume Gembur = $(W3 / V)$ gram			

PEMERIKSAAN ISI PADAT ABU TEMPURUNG KELAPA

	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1) gram			
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) gram			
Berat Agregat gram			
Volume Tabung (V) gram			
Berat Volume Gembur = $(W3 / V)$ gram			

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....

PENGUJIAN KUAT TEKAN KERING *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

a. Variasi 0 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,66	7,76	5,47	2,26	175,9	130,88
2.	17,6	7,71	5,40	2,262	195,7	146,95
3.	17,7	7,89	5,16	2,138	199,1	145,39
4.	17,68	7,78	5,37	2,2	162,55	120,43
5.	17,88	7,79	5,61	2,205	136,7	100,00
Σ						128,73

b. Variasi 2,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,83	7,68	5,780	2,354	173,2	128,91
2.	17,69	7,72	5,847	2,455	187,4	139,98
3.	17,77	7,73	5,700	2,442	170,8	126,73
4.	17,90	7,78	5,610	2,31	179,4	131,30
5.	17,74	7,89	5,527	2,399	175,6	127,89
Σ						130,96

c. Variasi 5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,64	7,78	5,88	2,34	193,9	143,92
2.	17,70	7,87	5,76	2,533	198	144,95
3.	17,65	7,79	5,63	2,32	217,4	161,18
4.	17,74	7,67	5,65	2,4	190,8	142,88
5.	17,58	7,84	5,41	2,347	154,4	114,15
Σ						141,42

PENGUJIAN KUAT TEKAN KERING *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

d. Variasi 7,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,68	7,76	5,64	2,46	234,60	174,26
2.	17,77	7,79	5,59	2,31	190,70	140,49
3.	17,62	7,73	5,72	2,36	256,70	192,15
4.	17,83	7,78	5,40	2,23	243,50	178,94
5.	17,75	7,68	5,56	2,37	205,99	153,92
Σ						167,95

e. Variasi 10 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,77	7,83	5,56	2,46	350,80	257,00
2.	17,94	7,96	5,45	2,29	391,90	279,63
3.	17,77	7,87	5,55	2,53	367,40	267,80
4.	18,40	7,76	5,30	2,41	428,20	305,70
5.	17,79	7,88	5,66	2,41	321,90	234,07
Σ						268,84

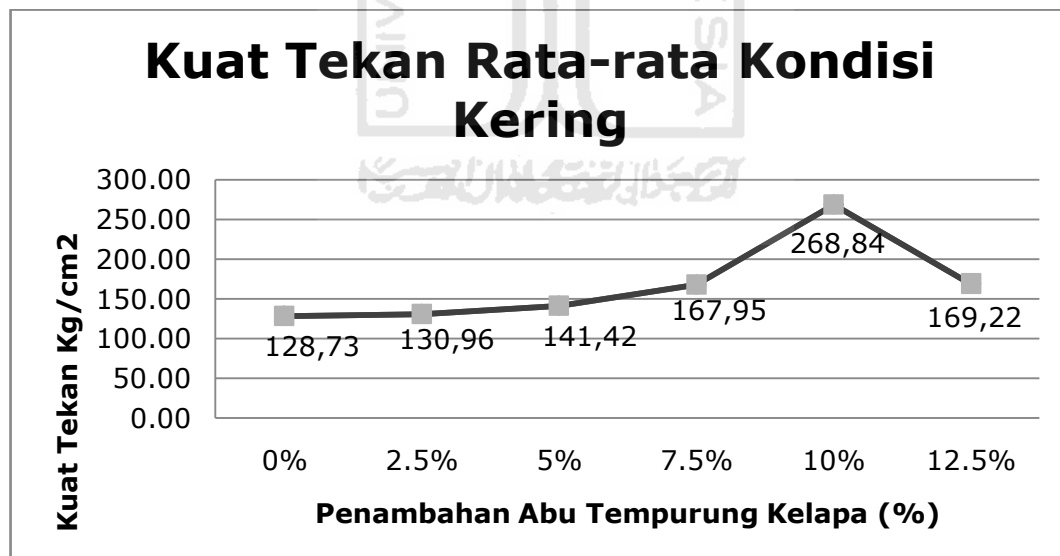
f. Variasi 12,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Kering (kg/cm ²)
1.	17,85	7,89	5,63	2,28	227,90	164,95
2.	17,65	7,85	5,87	2,40	194,60	143,21
3.	17,91	7,81	5,78	2,49	290,60	211,84
4.	17,59	8,10	5,67	2,51	217,50	155,65
5.	17,74	7,87	5,43	2,41	233,50	170,46
Σ						169,22

PENGUJIAN KUAT TEKAN KERING RATA-RATA DAN GRAFIK *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

g. Kuat Tekan Kering Rata-rata

No.	Variasi Penambahan Limbah Abu Tempurung Kelapa (%)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Mutu Paving Block	Keterangan
1.	0,00	128,73	C	Pejalan Kaki
2.	2,50	130,96	C	Pejalan Kaki
3.	5,00	141,42	C	Pejalan Kaki
4.	7,50	167,95	B	Pelataran Parkir
5.	10,00	268,84	A	Jalan
6.	12,50	169,22	B	Pelataran Parkir



Gambar 1.1 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Kering *Paving Block*

Disyahkan Oleh :

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....

.....

PENGUJIAN KUAT TEKAN BASAH *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

a. Variasi 0 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,61	7,76	5,08	2,25	160,40	119,68
2.	17,69	7,70	5,58	2,54	128,70	96,34
3.	17,71	7,66	5,57	2,49	119,50	89,76
4.	17,79	7,80	5,53	2,40	108,90	80,00
5.	17,88	7,79	5,61	2,42	81,50	59,62
Σ						89,08

b. Variasi 2,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,73	7,66	5,71	2,6	144,60	108,51
2.	17,62	7,79	5,80	2,65	126,30	93,83
3.	17,74	7,89	5,82	2,65	117,40	85,52
4.	17,80	7,75	5,72	2,55	135,70	100,23
5.	17,83	7,78	5,69	2,50	128,00	94,12
Σ						96,45

c. Variasi 5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,75	7,87	5,73	2,83	164,00	119,76
2.	17,85	7,87	5,60	2,59	132,90	96,48
3.	17,86	7,82	5,42	2,81	144,50	105,54
4.	17,67	7,78	5,46	2,4	119,30	88,52
5.	17,68	7,96	5,46	2,94	132,70	96,12
Σ						101,28

PENGUJIAN KUAT TEKAN BASAH *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

d. Variasi 7,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,80	7,79	5,65	2,95	194,40	142,91
2.	17,79	7,73	5,63	3,01	154,70	114,72
3.	17,73	7,83	5,74	2,67	148,50	109,02
4.	17,68	7,80	5,66	2,76	163,50	120,86
5.	17,49	7,76	5,61	2,50	156,30	117,38
Σ						120,98

e. Variasi 10 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,75	7,80	5,37	2,84	338,30	249,26
2.	17,74	7,80	5,62	3,01	314,00	231,42
3.	17,88	7,88	5,58	2,90	245,60	177,67
4.	17,80	7,83	5,43	3,02	267,70	195,71
5.	17,70	7,79	5,34	2,85	300,50	222,16
Σ						215,24

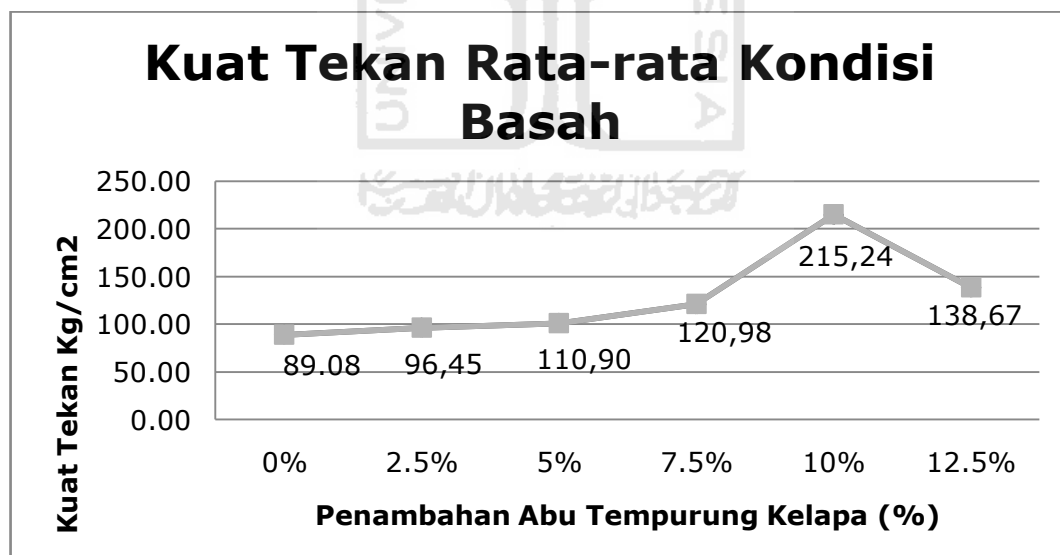
f. Variasi 12,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan Basah (kg/cm ²)
1.	17,79	7,91	5,66	2,90	200,10	144,93
2.	17,74	8,05	5,61	2,80	183,45	130,93
3.	18,00	7,88	5,59	2,85	197,50	141,94
4.	17,77	7,86	5,70	2,94	167,80	122,47
5.	17,81	7,87	5,30	2,90	210,34	153,08
Σ						138,67

PENGUJIAN KUAT TEKAN KERING RATA-RATA DAN GRAFIK *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

g. Kuat Tekan Basah Rata-rata

No.	Variasi Penambahan Limbah Abu Tempurung Kelapa (%)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Mutu Paving Block
1.	0,00	89,08	D
2.	2,50	96,45	D
3.	5,00	101,28	C
4.	7,50	120,98	C
5.	10,00	215,24	B
6.	12,50	138,67	C



Gambar 1.2 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Kondisi Basah *Paving Block*

Disyahkan Oleh :

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....

.....

PENGUJIAN SERAPAN AIR *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

Prosentase 0%				Prosentase 2,5%			
No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)	No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)
1	2,25	2,02	11,39	1	2,6	2,27	14,54
2	2,54	2,212	14,83	2	2,65	2,255	17,52
3	2,49	2,147	15,98	3	2,65	2,17	22,12
4	2,4	2,101	14,23	4	2,55	2,3	10,87
5	2,42	2,072	16,80	5	2,5	2,29	9,17

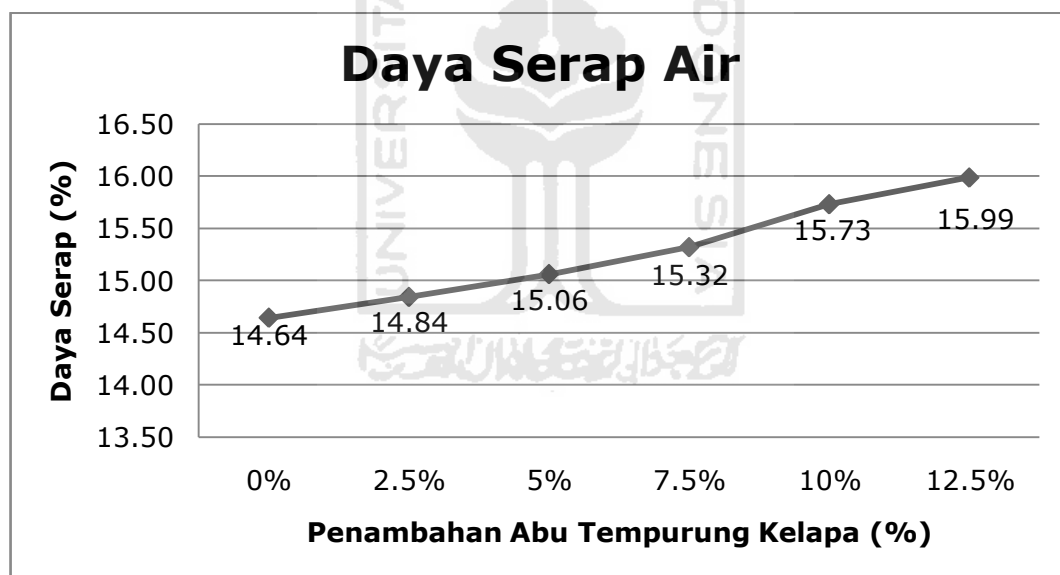
Prosentase 5%				Prosentase 7,5%			
No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)	No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)
1	2,83	2,432	16,37	1	2,95	2,47	19,43
2	2,59	2,282	13,50	2	3,01	2,54	18,50
3	2,81	2,411	16,55	3	2,67	2,345	13,86
4	2,4	2,194	9,39	4	2,76	2,358	17,05
5	2,94	2,46	19,51	5	2,5	2,32	7,76

Prosentase 10%				Prosentase 12,5%			
No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)	No Sampel	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	Serapan air (%)
1	2,84	2,465	15,21	1	2,90	2,50	16,00
2	3,01	2,581	16,62	2	2,80	2,46	13,82
3	2,90	2,54	14,17	3	2,85	2,50	14,00
4	3,02	2,55	18,43	4	2,94	2,55	15,29
5	2,85	2,495	14,23	5	2,90	2,40	20,83

PENGUJIAN SERAPAN AIR RATA-RATA DAN GRAFIK *PAVING BLOCK*
DENGAN VARIASI PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

Serapan Air Rata-rata

No.	Variasi Limbah Abu Tempurung Kelapa (%)	Daya Serap Air Rata-rata (%)	Mutu Paving Block
1.	0,00	14,64	D
2.	2,50	14,84	D
3.	5,00	15,06	D
4.	7,50	15,32	D
5.	10,00	15,73	D
6.	12,50	15,99	D



Gambar 1.3 Grafik Daya Serap Air Rata-rata *Paving Block*

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....



PENGUJIAN KUAT LENTUR *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

a. Variasi 0%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	17,73	7,75	5,56	2,20	125,00	12,52
2.	17,72	7,85	5,50	2,10	157,50	15,93
3.	17,89	7,66	5,67	2,20	255,00	24,84
4.	17,86	7,93	5,70	2,25	280,00	26,07
5.	17,88	7,79	5,61	2,20	237,50	23,27
Σ						20,53

b. Variasi 2,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	17,65	7,68	5,72	2,40	225,00	21,51
2.	17,63	7,81	5,90	2,45	195,00	17,21
3.	17,60	7,71	5,68	2,30	200,00	19,31
4.	17,67	7,55	5,49	2,30	232,50	24,51
5.	17,86	7,84	5,49	2,30	230,00	23,38
Σ						21,18

c. Variasi 5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	17,70	7,85	5,72	2,50	237,50	22,22
2.	17,68	7,89	5,71	2,40	225,00	20,97
3.	17,82	7,79	5,69	2,40	280,00	26,64
4.	17,73	7,89	5,65	2,40	230,00	21,95
5.	17,68	7,92	5,46	2,35	207,50	21,11
Σ						22,58

PENGUJIAN KUAT LENTUR *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

d. Variasi 7,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	17,67	7,81	5,84	2,40	232,50	20,93
2.	17,59	7,77	5,60	2,35	265,00	26,11
3.	17,80	7,78	5,40	2,30	225,00	23,80
4.	17,74	7,88	5,39	2,30	240,00	25,16
5.	17,92	7,90	5,59	2,30	215,00	20,90
Σ						23,38

e. Variasi 10%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	18,00	7,89	5,20	2,55	315,00	35,42
2.	17,70	7,86	5,48	2,55	227,50	23,13
3.	17,75	7,83	5,29	2,50	215,00	23,52
4.	17,70	7,70	5,46	2,65	282,50	29,57
5.	17,99	7,70	5,30	2,40	255,00	28,29
Σ						27,99

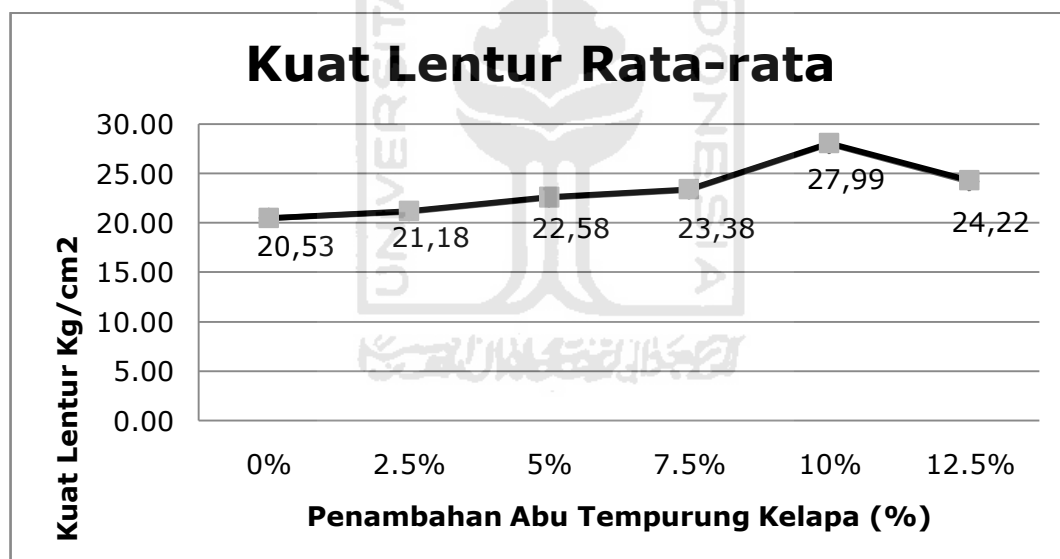
f. Variasi 12,5%

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
1.	17,88	7,87	5,70	2,50	245,00	22,99
2.	17,69	7,93	5,78	2,46	265,00	24,00
3.	17,74	7,86	5,85	2,50	297,50	26,56
4.	17,65	7,87	5,72	2,55	212,50	19,77
5.	17,84	7,78	5,35	2,40	257,50	27,76
Σ						24,22

PENGUJIAN KUAT LENTUR RATA-RATA DAN GRAFIK *PAVING BLOCK*
DENGAN VARIASI PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

g. Kuat Lentur Rata-rata

No.	Variasi Penambahan Abu Tempurung Kelapa (%)	Panjang Tumpuan (cm)	Kuat Lentur Rata-rata (kg/cm ²)
1.	0,00	16	20,53
2.	2,50	16	21,18
3.	5,00	16	22,58
4.	7,50	16	23,38
5.	10,00	16	27,99
6.	12,50	16	24,22



Gambar 1.4 Grafik Kuat Lentur Rata-rata *Paving block*

Disyahkan Oleh :

.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....

PENGUJIAN BERAT VOLUME *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

a. Variasi 0 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,71	9,90	5,47	2,26	2117,38
2.	19,68	9,81	5,40	2,26	2169,73
3.	19,68	9,89	5,16	2,14	2128,81
4.	19,66	9,92	5,37	2,20	2100,65
5.	19,67	9,89	5,61	2,26	2020,44
Σ	19,68	9,88	5,40	2,21	2107,40

b. Variasi 2,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,76	9,90	5,78	2,35	2081,88
2.	19,72	9,80	5,85	2,46	2172,63
3.	19,80	9,86	5,70	2,44	2194,47
4.	19,72	9,80	5,61	2,31	2130,67
5.	19,72	9,85	5,53	2,40	2234,59
Σ	19,74	9,84	5,69	2,39	2162,85

c. Variasi 5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,94	9,84	5,88	2,34	2028,24
2.	19,90	9,80	5,76	2,53	2254,93
3.	19,90	9,80	5,63	2,32	2113,00
4.	19,95	9,80	5,65	2,40	2172,67
5.	19,66	9,81	5,41	2,35	2249,38
Σ	19,87	9,81	5,67	2,39	2163,64



PENGUJIAN BERAT VOLUME *PAVING BLOCK* DENGAN VARIASI
PENAMBAHAN POZZOLAN (Abu Tempurung Kelapa)

d. Variasi 7,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,66	9,84	5,64	2,46	2258,31
2.	19,70	9,88	5,59	2,32	2127,73
3.	19,68	9,80	5,72	2,36	2141,99
4.	19,70	9,82	5,40	2,24	2140,43
5.	19,70	9,91	5,56	2,37	2186,17
Σ	19,69	9,85	5,58	2,35	2170,92

e. Variasi 10 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,91	9,94	5,56	2,46	2235,64
2.	20,20	9,89	5,45	2,29	2103,25
3.	19,97	9,90	5,55	2,53	2305,76
4.	20,10	9,90	5,30	2,41	2285,12
5.	19,94	9,96	5,66	2,41	2143,96
Σ	20,024	9,92	5,50	2,42	2214,75

f. Variasi 12,5 %

No. Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat volume (kg/m ³)
1.	19,71	9,92	5,63	2,28	2071,23
2.	19,80	9,90	5,87	2,40	2085,80
3.	19,97	9,91	5,78	2,49	2176,81
4.	19,78	9,90	5,67	2,51	2260,63
5.	19,71	9,91	5,43	2,41	2272,25
Σ	19,79	9,91	5,68	2,42	2173,34

Disyahkan Oleh :

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

.....

.....