



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SIFAT MEKANIK PAVING BLOCK TERBUAT DARI
CAMPURAN LIMBAH ADUKAN BETON DAN SERBUK
KERANG**

SKRIPSI

ANDRE

0806328953

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDY OF MECHANIC PROPERTIES PAVING BLOCK
MADE FROM CONCRETE SLUDGE WASTE AND SHELL
POWDER**

FINAL REPORT

ANDRE

0806328953

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SIFAT MEKANIK PAVING BLOCK TERBUAT DARI
CAMPURAN LIMBAH ADUKAN BETON DAN SERBUK
KERANG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ANDRE

0806328953

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDY OF MECHANIC PROPERTIES PAVING BLOCK
MADE FROM CONCRETE SLUDGE WASTE AND SHELL
POWDER**

FINAL REPORT

Proposed as one of the requirement to obtain a Bachelor's degree

ANDRE

0806328953

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2012**

PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi Ini Adalah Hasil Karya Saya Sendiri,
Dan Semua Sumber Baik Yang Dikutip Maupun Dirujuk
Telah Saya Nyatakan Dengan Benar.**

Nama : Andre

NPM : 0806.328.953

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2012

STATEMENT OF AUTHENTICITY

I declare that this final report of one of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been mentioned properly.

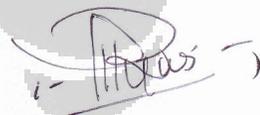
Name : Andre
Student ID : 0806.328.953
Signature : 
Date : June 28, 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Ini Diajukan Oleh :
Nama : Andre
NPM : 0806.328.953
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat Dari
Campuran Limbah Adukan Beton dan Serbuk
Kerang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc.,Ph.D ()

Pembimbing II : Dr. Ir. Elly Tjahjono, S., DEA ()

Penguji I : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA (K) ()

Penguji II : Dr. Ing. Josia Irwan Rasandi, S.T., M.T ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

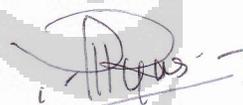
STATEMENT OF LEGITIMITATION

The final report submitted by :

Name : Andre
Student ID : 0806.328.953
Study Program : Civil Engineering
Thesis Title : Study of Mechanic Properties Paving Block Made from Concrete Sludge Waste and Shell Powder

Has been successfully defended before the Council Examiners and was accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia

BOARD OF EXAMINERS

Advisor I : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc.,Ph.D ()
Advisor II : Dr. Ir. Elly Tjahjono.S, DEA ()
Examiner I : Dr.Ir.Heru Purnomo DEA ()
Examiner II : Dr.Ing.Josia Irwan Rasandi,S.T.,M.T ()

Defined in : Depok

Date : June 28, 2012

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, akhirnya dengan segenap usaha dan kerja keras penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat kelulusan Program Pendidikan Sarjana Reguler, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia .

Dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan, baik materil maupun spirituil dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini kami menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Tuhan YME atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya.
2. Teristimewa, kepada Kedua Orang Tua ku tercinta, serta adik-adikku Anita, Anthony, dan Amelya yang telah memberikan doa, bantuan, dorongan semangat dan pengertian yang tulus, baik material dan spiritual kepadaku, sehingga aku dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Pa Abdul Karim yang senantiasa membantu pembuatan *paving block* di pabrik Lenteng Agung.
4. Pa Fikri yang telah memberikan bantuan nasihat dalam pembuatan *paving block*
5. Ibu Ir. Essy Ariyuni PhD selaku dosen pembimbing pertama, yang telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
6. Ibu Ir. Elly Tjahjono, DEA selaku dosen pembimbing kedua, yang telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
7. Teman-teman seperjuanganku dalam skripsi ini, Giwangkara, dan Ridha yang telah berjuang bersama dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
8. Dosen Penguji, atas saran dan kritiknya sehingga terselesaikan penulisan skripsi ini.

9. Prof. Irwan Katili selaku Kepala Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
10. Bpk Sigit selaku Pembimbing Akademik selama kuliah.
11. Semua staff laboratorium Universitas Indonesia (Pak Apri, Pak Agus, Mas Soni dll), dosen-dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTS-FTUI) yang banyak membantu dalam memberi ilmu dan masukan baik selama kuliah maupun skripsi ini sendiri yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
12. Semua teman-teman sekelas Teknik Sipil reguler 2008 FTUI yang satu perjuangan dan satu penderitaan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
13. Pihak-pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan naskah Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan YME berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta masyarakat luas, khususnya di Indonesia.

Depok, 28 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andre
NPM : 0806.328.953
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI SIFAT MEKANIK PAVING BLOCK TERBUAT DARI
CAMPURAN LIMBAH ADUKAN BETON DAN SERBUK KERANG**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan , mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 28 Juni 2012
Yang Menyatakan



(Andre)

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT
PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

As an civita academia of Universitas Indonesia,I, the undersigned :

Name : Andre
Student ID : 0806.328.953
Study Program : Civil Engineering
Department : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

For the sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty-Free Right** for my scientific work entitle :

**STUDY OF MECHANIC PROPERTIES PAVING BLOCK MADE FROM
CONCRETE SLUDGE WASTE AND SHELL POWDER**

Together with the entire documents (if necessary).With the Non-exclusive Royalty Free Right, Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish my final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true

Signed at : Depok
Date this : 28 Juni 2012

The Declarer



(Andre)

ABSTRAK

Nama : Andre
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat Dari Campuran Limbah Adukan Beton dan Serbuk Kerang

Dalam penelitian ini meninjau penggunaan serbuk kerang sebagai substitusi perekat semen sedangkan agregat halus untuk Campuran mortar dengan bahan limbah berupa *Concrete Sludge Waste* (CSW) sebagai substitusi pasir. Sifat mekanik *Paving block* yang diuji dengan total benda uji sebanyak 180 buah. Yang meliputi kuat tekan sebanyak 60 benda uji sesuai SNI 03-0691-1996, kuat lentur sebanyak 60 benda uji sesuai standar ASTM C 78-94, absorpsi sebanyak 60 benda uji sesuai SNI 03-0691-1996. Pengujian kuat tekan hingga umur benda uji 28 hari, dibagi menjadi 4 variasi pengujian sehingga didapat variasi optimum untuk komposisi semen, agregat halus 1:4,5, yang terdiri dari 98 % semen, 2 % serbuk kerang dan 100 % CSW didapatkan nilai kuat tekan optimum sebesar 10.05 MPa.. Pengujian kuat lentur hingga umur benda uji 28 hari dengan variasi yang sama didapatkan kuat lentur optimum sebesar 6.42 MPa. Pengujian absorpsi hingga umur benda uji 56 hari dengan variasi yang sama didapatkan nilai absorpsi sebesar 5.51 %. Dengan nilai yang diharapkan maka *paving block* dapat diaplikasikan dalam pembuatan bata beton (*paving block*) kelas pedestrian

Kata Kunci : serbuk kerang, *Concrete Sludge Waste*, sifat mekanik *paving block*, kuat tekan, kuat lentur, absorpsi.

ABSTRACT

Name : Andre
Department : Civil Engineering
Title : Study of Mechanic Properties *Paving Block* Made From Concrete Sludge Waste and shell powder

This reseach aims to observe the use of shell powder as a substitute of adhesive cement while Concrete Sludge Waste (CSW) as a substitute of sand for *paving block*. The mechanical properties tested in the laboratory with 180 samples of total samples. Comprising 60 samples for testing of the compressive strength refers to SNI 03-0691-1996, 60 sample for testing of flexural strength refers to C 78-94, 60 samples for testing of absorption refer to SNI 03-0691-1996. Testing of the compressive strength performed up to 28 days is divided into 4 variations. From this research, variation for composition cement, Aggregate 1:4,5, consist of 98% cement 2% shell powder as an adhesive materials and 100% CSW as an aggregate getting 10.05 MPa as an optimum compressive strength. Testing of the flexural strength performed up to 28 days with the same variation getting 6.42 MPa as an optimum flexural strength. Testing of the absorption performed up to 56 days with the same variation getting 4,84 % as an optimum absorption. With this value, hoped can be applied in the manufacture of concrete bricks (paving blocks) for pedestrian class

Keywords : shell powder, *concrete sludge waste*, the mechanical properties of paving block, compressive strength, flexural strength , absorption.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1 Perumusan Masalah.....	4
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Hipotesis.....	4
1.4 Pembatasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Khusus.....	7
2.1.1 Paving Block	7
2.1.2 Semen	11
2.1.3 Air.....	15
2.1.4 Pasir (Agregat Halus)	16
2.1.5 Kulit Kerang.....	18
2.2 Studi Literatur.....	19
2.2.1 Pengaruh Penggunaan Limbah Konstruksi sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus pada Kuat Tekan Beton Daur Ulang.....	19
2.2.2 Pemanfaatan Sludge Fly Ash untuk Paving Block.....	20
2.2.3 Teknologi Pembuatan Paving Block dengan menggunakan material FCA (<i>Fine Coarse Aggregate</i>).....	21
2.2.4 Pengaruh Penggunaan Limbah Kulit Kerang Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton	22
2.2.5 Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Lokan terhadap Kuat Tekan Beton	22
2.2.6 Pembuatan Paving Block dari Recycled Aggregate	23

2.2.7	Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut Beton Agregat Daur Ulang	24
2.2.8	Studi Kuat Tekan Paving Block	24
2.2.9	Studi Komposisi Campuran <i>Paving Block</i>	24
2.2.10	Studi Pressing pada Paving Block	25
3	METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1	Metode Penelitian	26
3.1.1	Standar Pengujian	31
3.1.2	Material Dasar Pembentuk <i>Paving Block</i>	32
3.2	Penentuan dan Pemeriksaan Bahan	33
3.2.1	Pengujian Agregat Halus	33
3.2.2	Pembuatan Benda Uji <i>Paving Block</i>	39
3.2.3	Pengujian Terhadap Paving Block yang Sudah Mengeras	41
3.3	Mix Design Paving Block	44
4	PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
4.1	Persiapan Praktikum	49
4.1.1	Pembuatan Serbuk Kerang	49
4.1.2	Pembuatan Agregat Halus Daur Ulang Beton	51
4.2	Hasil Pengujian Pendahuluan	52
4.2.1	Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi	52
4.2.2	Pemeriksaan Berat Isi	53
4.2.3	Analisa Saringan Agregat Halus	54
4.2.4	Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	57
4.3	Hasil Pengujian Paving Block	61
4.3.1	Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	61
4.3.2	Pengujian Kuat Lentur <i>Paving Block</i>	68
4.3.3	Pengujian Penyerapan <i>Paving Block</i>	78
5	KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
	DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR GAMBAR

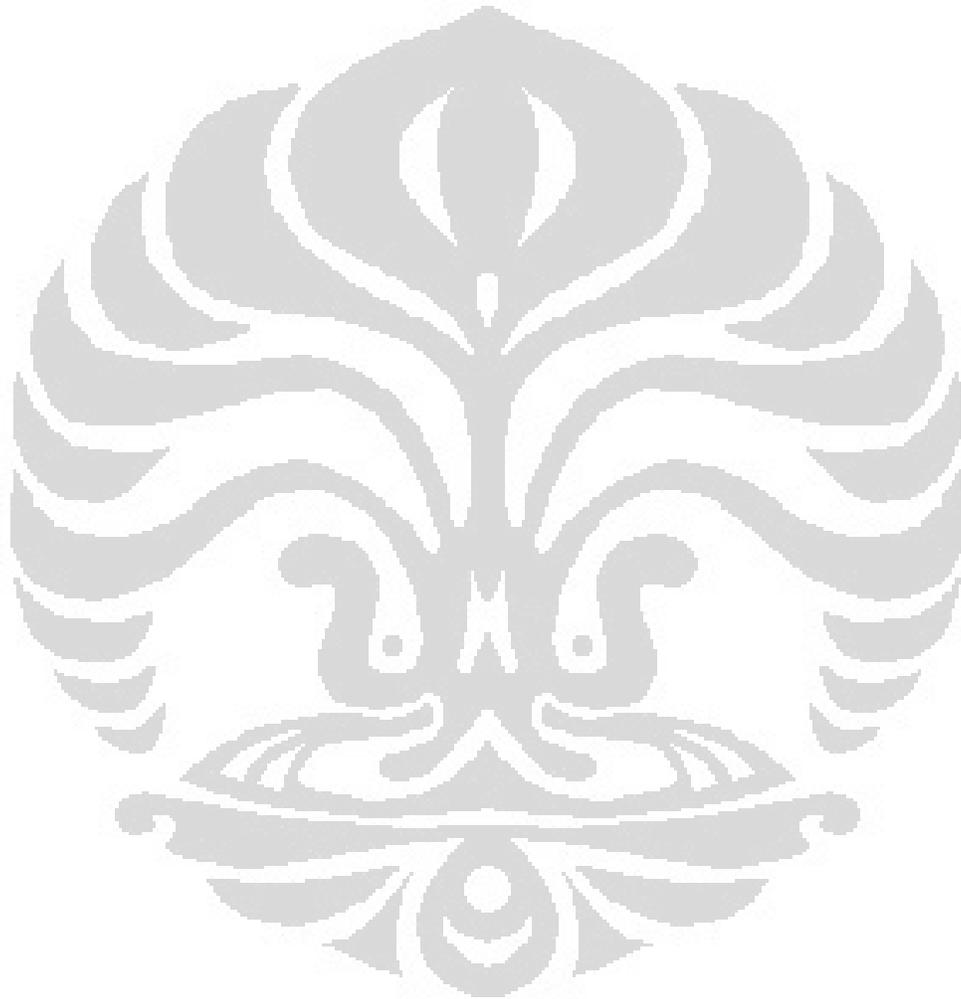
Gambar 2.1 Bentuk-bentuk <i>Paving Block</i>	8
Gambar 2.2 Bagian-bagian terpenting perkerasan <i>paving block</i>	8
Gambar 2.3 Pasir	16
Gambar 3.1 Penentuan Kadar Semen dan Pasir	45
Gambar 4.1 Kulit Kerang	49
Gambar 4.2 Serbuk Kerang yang Telah Disaring	50
Gambar 4.3 Serbuk Kerang	51
Gambar 4.4 (a) Alat penghancur batuan, (b) Agregat halus daur ulang yang telah disaring.....	51
Gambar 4.5 Proses Penyaringan Pasir Daur Ulang Beton	52
Gambar 4.6 Grafik Sieve Analysis CSW	56
Gambar 4.7 Alat pemadatan dan cetakan paving block	58
Gambar 4.8 Alat pengaduk campuran	58
Gambar 4.9 Campuran paving block saat dicampur serbuk kerang.....	59
Gambar 4.10 Pembacaan dial gauge hingga 100 kgf/cm ²	59
Gambar 4.11 Campuran paving block yang siap dicetak.....	60
Gambar 4.12 Proses penekanan cetakan paving block.....	60
Gambar 4.13 Paving block yang telah selesai dicetak	61
Gambar 4.14 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 7 Hari	63
Gambar 4.15 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 14 Hari	65
Gambar 4.16 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 28 Hari	66
Gambar 4.17 Grafik Kuat Tekan Paving Block	67
Gambar 4.18 Patahan 1/3 Bagian Tengah Bentang pada Uji Kuat Lentur.....	69
Gambar 4.19 Dimensi pelat baja pada uji lentur dengan metode Third-point loading.....	70
Gambar 4.20 Grafik kuat lentur paving block pada umur 7 hari.....	72
Gambar 4.21 Grafik kuat lentur paving block pada umur 14 hari.....	74
Gambar 4.22 Grafik kuat lentur paving block pada umur 28 hari.....	76
Gambar 4.23 Grafik kuat lentur paving block dengan campuran serbuk kerang..	76
Gambar 4.24 Pola retak diantara 3 titik pembebanan benda uji.....	78
Gambar 4.25 Permukaan Retak Uji Kuat Lentur	78
Gambar 4.26 Grafik penyerapan paving block pada umur 14 hari	80
Gambar 4.27 Grafik penyerapan paving block pada umur 28 hari	82
Gambar 4.28 Grafik penyerapan paving block pada umur 56 hari	84
Gambar 4.29 Grafik penyerapan paving block dengan campuran serbuk kerang.	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kombinasi Mutu, Bentuk, Tebal dan Pola Pemasangan <i>Paving Block</i> . Sumber : SK SNI T – 04 – 1990 – F.....	9
Tabel 2.2 Sifat-sifat fisika <i>Paving Block</i>	10
Tabel 2.3 Susunan Unsur Semen Biasa.....	13
Tabel 2.4 Senyawa Utama Penyusun <i>Portland Cement</i>	13
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Serbuk Kulit Kerang	19
Tabel 3.1 Kandungan Serbuk Kerang untuk Tes <i>Paving Block</i>	27
Tabel 3.2 Barchart Penelitian	30
Tabel 3.3 Ukuran Agregat Maksimum.....	37
Tabel 3.4 PFA.....	44
Tabel 3.5 Volume Semen dan Agregat Halus untuk 1 Sampel.....	45
Tabel 3.6 Berat Semen dan Agregat Halus untuk 180 Sampel	46
Tabel 3.7 Tipe Mix Design.....	47
Tabel 3.8 Jumlah Bahan yang Diperlukan untuk Mix Design	48
Tabel 4.1 Data pengujian analisa specific gravity dan absorpsi.....	52
Tabel 4.2 Hasil perhitungan pengujian analisa specific gravity dan absorpsi.....	53
Tabel 4.3 Data pengujian berat isi.....	53
Tabel 4.4 Hasil perhitungan pengujian berat isi.....	54
Tabel 4.5 Data dan Hasil Perhitungan Fineness Modulus (FM).....	55
Tabel 4.6 Zona Pasir Menurut British Standard.....	56
Tabel 4.7 Data dan hasil perhitungan pemeriksaan bahan lewat saringan no.200	57
Tabel 4.8 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Tanpa Campuran Serbuk Kerang	62
Tabel 4.9 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang.....	62
Tabel 4.10 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang	63
Tabel 4.11 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang	63
Tabel 4.12 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 0 % Serbuk Kerang	64
Tabel 4.13 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang.....	64
Tabel 4.14 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang	64
Tabel 4.15 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang	64
Tabel 4.16 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 0 % Serbuk Kerang	65
Tabel 4.17 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang	65
Tabel 4.18 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang	66
Tabel 4.19 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang	66
Tabel 4.20 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 7 hari.....	70
Tabel 4.21 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 7 hari.....	71
Tabel 4.22 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 7 hari.....	71

Tabel 4.23 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 7 hari	71
Tabel 4.24 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 14 hari	72
Tabel 4.25 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 14 hari	72
Tabel 4.26 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 14 hari	73
Tabel 4.27 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 14 hari	73
Tabel 4.28 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 28 hari	74
Tabel 4.29 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 28 hari	74
Tabel 4.30 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2% pada umur 28 hari	75
Tabel 4.31 Data dan hasil perhtungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 28 hari	75
Tabel 4.32 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 14 hari	79
Tabel 4.33 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 14 hari	79
Tabel 4.34 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 14 hari	79
Tabel 4.35 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3% pada umur 14 hari	80
Tabel 4.36 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 28 hari	81
Tabel 4.37 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 28 hari	81
Tabel 4.38 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2% pada umur 28 hari	81
Tabel 4.39 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 28 hari	82
Tabel 4.40 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 56 hari	83
Tabel 4.41 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 56 hari	83
Tabel 4.42 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 56 hari	83

Tabel 4.43 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block
dengan campuran serbuk kerang 3% pada umur 56 hari 84



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam aplikasi dunia teknik sipil, *paving block* merupakan salah satu contoh produk yang digunakan pada perkerasan tanah. ***Paving block*** merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan tanah. *Paving block* dibuat dari campuran semen *Portland* dan bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat tanpa mengurangi mutu *paving block* tersebut. Diantara berbagai macam alternatif penutup permukaan tanah, paving blok lebih memiliki banyak variasi baik dari segi bentuk, ukuran, warna, corak dan tekstur permukaan, serta kekuatan. Penggunaan paving blok juga dapat divariasikan dengan jenis paving atau bahan bangunan penutup tanah lainnya. Paving block memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah menjaga keseimbangan air tanah untuk menopang betonan / rumah di atasnya, berat *paving block* yang relatif lebih ringan dari beton/aspal menjadikan satu penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil, dan dapat menjadi serapan air yang baik di sekitar rumah sehingga menjamin ketersediaan air.

Paving block berasal dari komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat sejenis, air dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu dari pada beton tersebut (SK.SNI S-04-1989). *Paving block* sendiri merupakan bahan bangunan yang dikembangkan dari bahan mortar yang diberi perlakuan pada proses pembuatannya seperti dipadatkan (cara pressing yang banyak dilakukan), digetarkan, dan atau keduanya. *Paving block* banyak digunakan untuk trotoar, area bermain, perkerasan kelas jalan ringan, serta penutup permukaan lain yang fungsinya masih mampu menyerap air di permukaan.

Selain itu, *Paving block* merupakan bahan yang sangat penting dan banyak digunakan pada perkerasan jalan. Banyaknya jumlah penggunaan paving block dalam perkerasan jalan mengakibatkan peningkatan kebutuhan material paving block, sehingga memicu penambangan pasir sebagai salah satu bahan

pembentuk paving block secara besar-besaran. Hal ini menyebabkan turunnya jumlah sumber alam yang tersedia untuk keperluan pembangunan dengan menggunakan material *paving block*. Keterbatasan kemampuan alam dalam menyediakan material pembentuk *paving block* merupakan sebuah persoalan yang penting. Paving block banyak digunakan untuk trotoar, area bermain, perkerasan kelas jalan ringan, serta penutup permukaan lain yang fungsinya masih mampu menyerap air di permukaan. Disisi lain ada beberapa kerusakan jalan dan area bermain serta kerusakan paving block yang tidak dapat menyerap air dengan baik sehingga menimbulkan banjir di pinggir jalan. Untuk menghemat dalam pembuatan paving block maka penulis mencoba untuk menggunakan limbah daur ulang karena pembuangan limbah yang tidak terawat. Sedangkan, pembuangan limbah tersebut memerlukan biaya dan tempat pembuangan serta dapat mengganggu kesuburan tanah. Disamping itu, pada saat ini beton siap pakai (*ready mix*) sedang marak digunakan untuk pembuatan konstruksi bangunan, namun pada penerapannya sering terjadi kelebihan supply dan sisanya terkadang dibuang di sembarang tempat, sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah dan merusak keseimbangan ekosistem (Suhawanto, 2005) Permasalahan kerusakan alam yang diakibatkan oleh penambangan batuan yang berlebihan dan pembuangan limbah beton tersebut mendorong peneliti untuk memanfaatkan atau mendaur ulang limbah beton yang dihasilkan dari suatu aktifitas pembongkaran atau pengadaan konstruksi sebagai agregat alternatif yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran beton. Campuran beton yang dipakai oleh penulis adalah pasir beton daur ulang atau pasir BDU yang digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan *paving block*.

Perkembangan teknologi pada masa kini memicu terciptanya inovasi dalam merekayasa suatu material. Salah satu usaha pengembangannya adalah mendaur ulang limbah *paving block* dengan tambahan serbuk kerang yang menjadi bahan utama dalam pembuatan *paving block*. Kerang merupakan nama sekumpulan *moluska dwi cangkerang* daripada *family cardidae* yang merupakan salah satu komoditi perikanan yang telah lama dibudidayakan sebagai salah satu usaha sampingan masyarakat pesisir. Teknik budidaya mudah dikerjakan, tidak memerlukan modal yang besar dan dapat dipanen setelah berumur 6-7 bulan.

Hasil panen kerang per hektar per tahun dapat mencapai 200-300 ton kerang utuh atau sekitar 60-100 ton daging kerang (*Porsepwandi, 1998*). Didalam pemanfaatan *paving block*, penulis mencoba untuk menggunakan bahan tambahan serbuk kulit kerang sebagai pengganti semen dengan kandungan tertentu. Serbuk kulit kerang merupakan serbuk yang dihasilkan dari pembakaran kulit kerang yang dihaluskan. Serbuk ini dapat digunakan sebagai bahan campuran atau tambahan pada pembuatan *paving block*. Penambahan serbuk kulit kerang yang homogen akan menjadikan campuran *paving block* yang lebih reaktif. Dari hasil studi literatur, penelitian penambahan abu cangkang lokan terhadap kuat tekan beton ini mempelajari kemungkinan pemanfaatan kandungan kalsium yang terdapat pada jenis cangkang kerang jenis lokan. Abu cangkang lokan kemungkinan dapat menjadi bahan tambah untuk mempercepat ikatan umur awal beton, dimana dapat mempengaruhi absorpsi dari beton tersebut. Bahan tambahan abu cangkang lokan yang digunakan adalah sebesar 1 %,2% dan 3% (Parro Belly Warman, 2011).

Dari hasil studi literatur lainnya, penulis mengetahui bahwa limbah daur ulang beton hanya diperlukan sedikit untuk mendapatkan kekuatan tekan *paving block* yang maksimal dan penggunaan dalam jumlah yang besar akan mengurangi kuat tekan dari *paving block* tersebut. Selain kuat tekan *paving block*, penulis juga meninjau studi literatur hasil kuat lentur dari beton. Dari hasil penelitian mengindikasikan bahwa kuat lentur beton hanya turun sebesar 6,33 % dari kuat lentur beton murni agregat alam (Heidi Puma, 2004).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mencoba untuk melakukan penelitian mengenai sifat mekanik dari *paving block* yaitu sifat kuat lentur, kuat tekan, dan absorpsi dengan menggunakan pasir beton daur ulang untuk memanfaatkan daur ulang limbah beton yang dihasilkan dari suatu aktifitas pembongkaran atau pengadaan konstruksi sebagai agregat alternatif yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran *paving block*. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa jarang ditemukan hasil kuat lentur, kuat tekan dan absorpsi dari *paving block* tersebut sehingga penulis mencoba untuk meneliti sifat mekanik tersebut yang dituangkan dalam bentuk skripsi dengan bahan tambahan kulit kerang sebagai bahan campuran dengan

kadar 1 %, 2 %, dan 3 % untuk mencapai sifat mekanik dari *paving block* secara optimal.

1.1 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini, rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana peranan limbah pasir daur ulang beton dengan serbuk kerang terhadap karakteristik *paving block* tersebut ?
2. Bagaimana pengaruh limbah pasir daur ulang beton terhadap sifat-sifat mekanik terhadap pembuatan *paving block* tersebut ?
3. Bagaimanakah *Mix Design* optimum pembuatan *paving block* dengan menggunakan limbah pasir daur ulang beton dengan bahan tambahan serbuk kerang ?

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memanfaatkan kembali limbah pasir daur ulang beton sebagai bahan pembuatan *paving block*.
2. Mengetahui pengaruh limbah pasir daur ulang beton terhadap sifat-sifat mekanik dari pembuatan *paving block*.
3. Mengetahui campuran serbuk kerang yang optimum terhadap sifat-sifat mekanik dari pembuatan *paving block*

1.3 Hipotesis

Kulit kerang dapat berfungsi sebagai *accelerating admixture* yaitu bahan tambahan semen yang berfungsi untuk mempercepat waktu ikat semen dan mempercepat kecepatan hidrasi semen sehingga peningkatan kekuatan dapat dilakukan dalam tempo yang singkat dan tidak berpengaruh besar pada kekuatan tekan beton namun berpengaruh terhadap kekuatan lentur dan daya absorpsi dari *paving block* tersebut.

1.4 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Limbah yang digunakan adalah limbah pasir daur ulang beton dan pemanfaatan kulit kerang dengan perbandingan tertentu sebagai alternatif bahan pembuatan *paving block*.
2. Pengujian terhadap *paving block* hasil rekayasa adalah kuat tekan, kuat lentur dan absorpsi.
3. Penambahan serbuk kerang adalah sebesar 0, 1, 2, dan 3 % dari berat semen.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 (lima) bab, yaitu :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini antara lain membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, hipotesis, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : DASAR TEORI

Pada bab ini membahas mengenai dasar-dasar teori tentang tinjauan khusus dari *paving block*, bahan penyusun *paving block* serta studi literatur berdasarkan jurnal yang ada.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

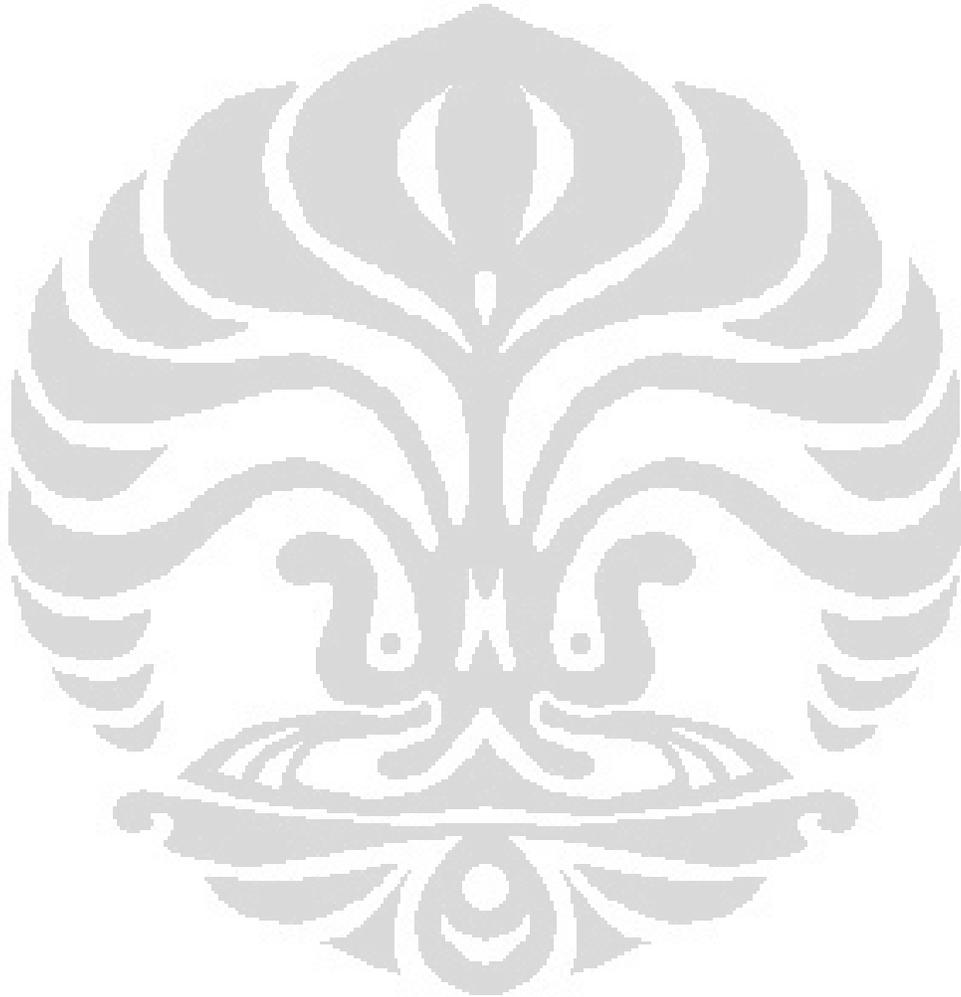
Pada metodologi penelitian dijelaskan hal-hal apa saja yang dilakukan dalam penelitian ini serta langkah kerjanya.

BAB 4 : PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi proses analisa dan diskusi mengenai hasil yang diperoleh berdasarkan hasil praktikum mengenai kuat lentur, absorpsi, dan kuat tekan terhadap *paving block*.

BAB 5 : KESIMPULAN

Berisi penarikan kesimpulan dari hasil keseluruhan penelitian yang dilakukan serta pengemukaan saran-saran yang diperlukan untuk kelanjutan penelitian.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Khusus

Untuk lebih mendalami mengenai penelitian yang akan dilakukan terhadap penggunaan kerang terhadap kekuatan *paving block*, maka penulis meninjau secara khusus mengenai pengertian *paving block*, bahan-bahan pembentuk *paving block*, serta *mix design* untuk pembuatan *paving block*.

2.1.1 Paving Block

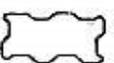
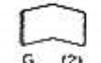
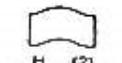
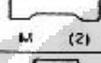
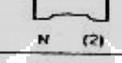
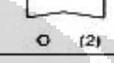
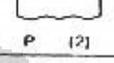
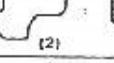
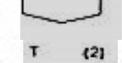
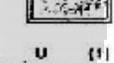
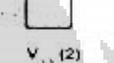
Menurut SNI 03-0691-1996 *paving block* (bata beton) merupakan komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

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

Pemakaian *paving block* ini semakin meningkat pada umumnya dan dipakai untuk perkerasan halaman parkir hotel, pertokoan, perkantoran, dan perumahan. Keunggulan dari perkerasan *paving block* diantaranya yaitu pengerjaan yang mudah, biaya yang murah, serta perawatan yang mudah. Berbeda kondisinya pada jalan lingkungan yang menggunakan *paving block* dari hasil produksi industri rakyat dan terjadi kerusakan cukup parah seperti patah dan aus permukaannya bahkan banyak yang terlepas.

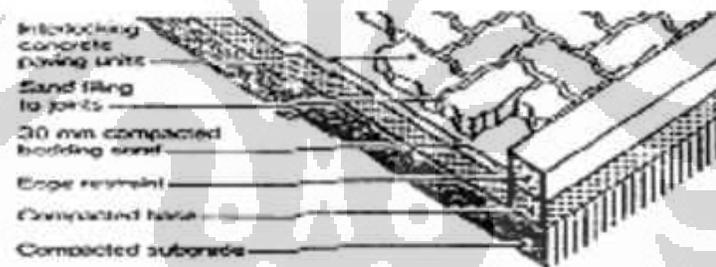
Paving block banyak ditemui dipasaran dengan beraneka bentuk dan ketebalan. Biasanya *paving* dibuat dengan panjang 200-250 mm, lebar 100-112 mm dan ketebalan berkisar antara 60,80,100, 120 mm, dan seterusnya. Secara umum terdapat beberapa bentuk *paving block* yaitu *horizontally interlocking blocks*, *vertically interlocking blocks* dan *grass stones and grids*. Namun yang sering digunakan adalah tipe *horizontally interlocking blocks*, karena relatif sederhana dan murah untuk produksi serta mudah dalam pemasangannya. Adapun

bentuk-bentuk *paving block* yang sering dijumpai di pasaran dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

CATEGORY A						
	A (1)	B (1)	C (1)	D (1)	E (1)	F (1)
CATEGORY B						
	G (2)	H (2)	I (2)	J (2)	K (2)	L (2)
						
	M (2)	N (2)	O (2)	P (2)	Q (2)	R (1)
CATEGORY C						
	S (2)	T (2)	U (1)	V (2)		
NOTES	(1) Suitable for a variety of bonds including herringbone		(2) Suitable only for stretcher bond		Blocks known to have had load-distribution studies or traffic tests	

Gambar 2.1 Bentuk-bentuk *Paving Block*

Di dalam perkerasan *paving block*, bagian-bagian yang penting yang terdapat pada *paving block* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Bagian-bagian terpenting perkerasan *paving block*

1. Kombinasi Pola Pemasangan *Paving Block*

Kombinasi antara pola pemasangan, bentuk, mutu, tebal dan pola pemasangannya dapat dilihat pada Tabel 2.4 Pemasangan *paving block* dapat dibuat mosaik dengan kombinasi warna sesuai estetika yang dirancang, dapat berupa logo, tulisan dan batasan area parkir atau penunjuk arah pada suatu daerah pemukiman.

Tabel 2.1 Kombinasi Mutu, Bentuk, Tebal dan Pola Pemasangan *Paving*

No.	Penggunaan	Kombinasi			
		Kelas	Bentuk	Tebal (mm)	Pola
1	Trotoar dan Pertamanan	II	A,B,C,X	60	SB, AT, TI
2	Tempat Parkir & Garasi	II	A, B, C	60	SB, AT, TI
3	Jalan Lingkungan	I/II	A atau C	60/80	TI
4	Terminal Bus	I	A atau C	80	TI
5	Container Yard, Taxy way	I	A	100	TI

Catatan Pola : SB = Susun Bata; AT = Anyaman Tikar; TI = Tulang Ikan. Kombinasi Pola Pemasangan Paving Block

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo.1994

Bata beton dapat berwarna seperti warna aslinya atau diberi zat pewarna pada komposisinya dan digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan.

- Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
- Bata beton mutu B : digunakan untuk peralatan parkir
- Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
- Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lain

2. Syarat Mutu

Paving block ini harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, pada bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapikan dengan kekuatan tangan

Selain itu bata beton atau *paving block* ini harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisika *Paving Block*

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

Sumber : SNI 03-0691-1996.

3. Mix Design *Paving Block*

Berdasarkan jurnal *Mix design for Concrete block paving* (A.J. Dowson, et.all), Pembuatan mix design pada *Paving Block* ditentukan oleh beberapa faktor yaitu :

1. *Cement content*

Proses pembuatan pada *Paving Block* ini bergantung pada nilai *workability* yang rendah, air yang terdapat pada *mix design* ini tidak berhidrasi secara penuh pada semen sehingga penambahan semen akan mengakibatkan pengurangan nilai *workability* dan karena kekurangan air maka semen bertindak sebagai filler dan dapat mengurangi kekuatan semen

2. Pigmen

Dilihat dari bentuk partikel, perbedaan warna pigmen dapat mengakibatkan perbedaan *water content*. Jika w/c konstan maka mungkin untuk dihitung *workability* dengan mengukur sebaran dari beton tersebut.

3. Semen

Masa jenis semen di Indonesia berkisar antara 3-3,15 gr/cm³

4. Agregat

Propertis agregat dapat mempengaruhi beton dan aspek yang sangat dinilai penting adalah kebersihanm bentuk dan tekstur permukaan serta *grading*. Semua agregat halus harus bersih dari material yang tidak diinginkan baik kimiawi dan ukuran harus sesuai yaitu lolos saringan no.200. Selain itu,

karakteristik agregat mempunyai peranan penting dalam pembuatan beton segar dan nilai kuat tekan pada beton mutu tinggi.

Untuk agregat *paving block*, dimana membutuhkan mesin produksi, maka agregat halus harus memiliki tekstur yang lembut dan berbentuk *angular*.

5. Efek dari kepadatan pada kekuatan dan absorpsi

Untuk pembuatan *mix design* yang baik, maka beton harus memiliki kepadatan yang penuh sehingga hasil yang diperoleh akan sesuai dengan *target strength*.

6. Efek dari kandungan air

Efek kandungan air ini berpengaruh pada kekuatan dan durabilitas beton tersebut. Semakin nilai kandungan air pada agregat semakin tinggi maka nilai *cement content* semakin tinggi.

7. Kondisi *Curing*

Kondisi *curing* pada *paving block* sangat dibutuhkan untuk memelihara kualitas dari *paving block* tersebut. Prinsipnya sama dengan *curing* pada beton konvensional.

Curing dapat dikategorisasikan sebagai *natural air curing* dan *accelerated curing*. *Natural air curing* adalah proses *curing* pada beton dimana dikeringkan melalui udara sedangkan *accelerated curing* adalah proses *curing* pada beton dengan mempercepat proses *curing* itu sendiri dengan memasukkan beton ke dalam air.

2.1.2 Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/bulk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi satu massa yang padat. Meskipun definisi ini dapat diterapkan untuk banyak jenis bahan, semen yang dimaksudkan untuk konstruksi beton adalah bahan jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidrolik.

Hidraulis berarti semen bereaksi dengan air dan membentuk suatu bahan massa. Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa : Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk clinkernya, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (gypsum) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

2.1.2.1 Tipe-tipe Semen

Menurut SII 0031-81 (Tjokrodimuljo, 1996) semen *portland* atau lebih dikenal dengan semen dibagi menjadi lima tipe, yaitu :

1. Tipe I : digunakan untuk konstruksi pada umumnya dimana property khusus tidak digunakan, seperti konstruksi :
 - a. Bangunan bertingkat tinggi
 - b. Perumahan
 - c. Jembatan dan Jalan Raya
 - d. Landasan Bandar Udara
 - e. Beton Pratekan
 - f. Bangunan Irigasi
2. Tipe II : digunakan untuk beton yang membutuhkan ketahanan terhadap sulfat dan memiliki panas hidrasi yang sedang.
3. Tipe III : digunakan untuk beton yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi (cepat mengeras), memiliki panas hidrasi yang lebih tinggi dari tipe I
4. Tipe IV : digunakan untuk beton yang memerlukan panas hidrasi yang rendah, seperti beton massal (*mass concrete*).
5. Tipe V : digunakan untuk beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dan diaplikasikan untuk pondasi, dinding *basement*, terowongan, juga beton yang bersentuhan dengan tanah.

2.1.2.2 Susunan Kimia Semen

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-unsur pokok semennya.

Tabel 2.3 Susunan Unsur Semen Biasa

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo.1994

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O. Keempat oksida utam tersebut diatas didalam semen berupa senyawa C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF, dengan mempunyai perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya.

Tabel 2.4 Senyawa Utama Penyusun *Portland Cement*

Nama senyawa	Rumus empiris	Rumus oksida	Notasi	Rata-rata (%)
Tricalcium silikat	Ca ₃ SiO ₅	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
<i>Dicalcium silikat</i>	Ca ₂ SiO ₄	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25
<i>Tricalcium aluminat</i>	Ca ₃ Al ₂ O ₆	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
<i>Tetracalcium aluminoferrit</i>	Ca ₂ AlFeO ₃	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
<i>Calcium sulfat dihidrat</i>		CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	3,5

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo.1994

2.1.2.3 Sifat Fisik Semen

Sifat fisik dari semen adalah bahan berbutir halus yang lolos ayakan 2 μm dan mempunyai berat jenis antara 3 sampai 3,15 gr/cm^3 .

2.1.2.4 Sifat Kimia Semen

Semen mengandung C_3S dan C_2S sebesar 70% sampai dengan 80%. Unsur-unsur ini merupakan unsur paling dominan dalam memberikan sifat semen. C_3S segera mulai berhidrasi bila semen terkena air secara eksotermis dan berpengaruh besar terhadap pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. C_2S bereaksi dengan air lebih lambat dan hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. Unsur ini membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan mengurangi penyusutan karena pengeringan. C_3A berhidrasi secara eksotermis, bereaksi secara cepat dan memberikan kekuatan sesudah 24 jam. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10% kurang tahan terhadap serangan sulfat. C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap pengerasan beton.

2.1.2.5 Hidrasi Semen

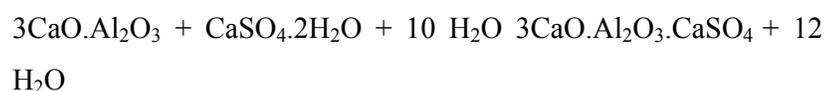
Bila semen bersentuhan dengan air, maka proses hidrasi berlangsung dalam arah keluar dan arah ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi dibagian dalam secara bertahap akan terhidrasi, sehingga volume mengecil.

- Mekanisme hidrasi *silicate* (C_3S dan C_2S)



- Mekanisme hidrasi Aluminat (C_3A)

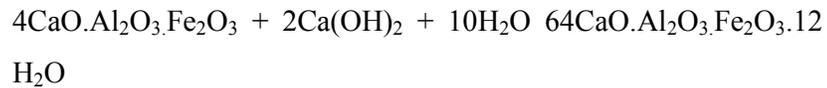
Adanya gipsum di dalam semen menyebabkan reaksi *calcium aluminat* menghasilkan *calcium sulfo aluminat hidrat*.



(*gypsum*)



- Mekanisme hidrasi tetracalsium aluminoferrit (C₄AF)



(*tetracalsium aluminoferrat*)

2.1.3 Air

Air diberikan kepada bahan dasar pembuat beton untuk membuat reaksi dengan semen *Portland*. Air yang dapat diminum biasanya dapat pula dipakai untuk bahan campuran beton. Air yang mengandung banyak minyak, asam, alkali, garam-garam, atau bahan-bahan organis sebaiknya jangan dipakai untuk pencampur beton, karena dapat mengurangi kekuatan betonnya. Air laut dapat dipakai akan tetapi biasanya kekuatan beton setelah keras hanya sekitar 80 % sampai 90 % saat jika dibandingkan dengan beton memiliki air tawar.

Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sbb :

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/ liter
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 jam
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

Kandungan zat-zat tersebut apabila terlalu banyak dapat berpengaruh jelek terhadap beton adalah :

1. Mempengaruhi proses kimia dari semennya
2. Mempengaruhi lekatan antara pasta semen dan butir batuan
3. Mengurangi kekuatan atau keawetan beton
4. Dapat juga membuat beton mengembang sehingga terjadi retak-retak

Secara umum air yang dapat dipakai untuk bahan campuran beton ialah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang memakai air suling.

2.1.4 Pasir (Agregat Halus)



Gambar 2.3 Pasir

Agregat halus menurut SK SNI 3-2847-2002 adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat halus ialah agregat yang melewati ayakan 3/8 in (9,5 mm) dan hampir seluruhnya melewati saringan 4,75 mm (saringan No.4 Standar ASTM) dan tertahan pada ayakan 75- μ m (No. 200).

Agregat halus yang digunakan untuk membuat *paving block* adalah pasir. Pasir merupakan material yang didapat dari gunung atau sungai yang disaring sehingga memiliki butiran dengan ukuran tertentu yang tidak terlalu kecil tapi tidak terlalu besar. Standar penggunaan pasir untuk bahan campuran beton adalah pasir dengan ukuran berkisar antara 1 mm- 5 mm. Adapun syarat pasir yang baik digunakan diantaranya adalah :

1. Berbutir tajam dan keras ;
2. Bersifat kekal, yaitu tidak mudah lapuk dan hancur oleh perubahan cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % dari berat keringnya, jika kadar lumpur lebih dari 5 % maka pasir tersebut harus dicuci ;
4. Tidak boleh menggunakan pasir laut, kecuali dengan petunjuk staff ahli, karena pasir laut mengandung garam yang dapat merusak beton/ baja tulangan.

Berikut adalah sifat-sifat dari *paving block* yang dipengaruhi oleh sifat-sifat dasar agregat halus yang membentuknya (sesuai dengan ACI 221R-89) :

1. Ketahanan *Paving block*

Ketahanan *Paving block* dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat halus, antara lain :

- Absorpsi, semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air mengurangi ketahanan *paving block*. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah dibawah 2 % (ASTM C 128)
- Kandungan sulfat, kandungan sulfat agregat halus yang diizinkan menurut ASTM C 88 adalah 1 sampai 10 %.
- Kadar lumpur, keberadaan lumpur akan meningkatkan kebutuhan air atau mengurangi rongga udara. Keberadaan material yang lebih halus dari ayakan 75- μm (No.200) dapat ditoleransi asal bebas dari kandungan lumpur. Kadar lumpur yang diijinkan pada agregat halus menurut ASTM C 117 adalah 0.2-6 %.
- Kekerasan dan kekuatan agregat halus berpengaruh terhadap ketahanan abrasi dari *paving block*.
- Indeks durabilitas dari agregat halus menunjukkan besarnya jumlah agregat yang bereaksi seperti lumpur bila bercampur dengan air.

2. Ketahanan terhadap reaksi alkalis

Ketahanan *paving block* terhadap unsur alkalis dipengaruhi oleh sifat reaktif agregat terhadap *alkali-silica*, *alkali-carbonate* dan semen. Sifat reaktif yang tidak diinginkan dapat menyebabkan perpanjangan, keretakan atau kehilangan kekuatan dari *paving block*.

3. Ketahanan terhadap pemanasan dan pendinginan

Koefisien pengembangan termal dari agregat berpengaruh dalam hal ini, walaupun biasanya tidak menimbulkan persoalan yang berarti terhadap *paving block*.

4. Kekuatan *paving block*

Kekuatan *paving block* biasanya dipengaruhi oleh kuat tekan dan kuat lentur. Selain itu, sifat-sifat agregat halus yang mempengaruhi kekuatan *paving block* adalah :

- Kandungan organik, yang dapat melemahkan kekuatan *paving block*. Pengujian agregat halus harus dilakukan dengan memperhatikan warnanya di dalam larutan NaOH, dimana tidak boleh melebihi standar No.3 (ASTM C 40).
- Bentuk partikel, semakin bersudut dan tajam bentuk partikel agregat halus akan semakin kuat diikat oleh pasta semen. Bentuk partikel yang tidak dianjurkan adalah bentuk bulat, pipih, dan panjang

2.1.5 Kulit Kerang

Kerang merupakan nama sekumpulan *moluska dwicangkerang* daripada *family cardidae* yang merupakan salah satu komoditi perikanan yang telah lama dibudidayakan sebagai salah satu usaha sampingan masyarakat pesisir. Teknik budidaya mudah dikerjakan, tidak memerlukan modal yang besar dan dapat dipanen setelah berumur 6-7 bulan. Hasil panen kerang per hektar per tahun dapat mencapai 200-300 ton kerang utuh atau sekitar 60-100 ton daging kerang (Porsepwandi, 1998).

Kulit kerang berbentuk seperti hati, bersimetri dan mempunyai tulang di luar. Kulit kerang mempunyai tiga bukaan *inhalen*, *ekshalen*, dan *pedal* untuk mengalirkan air serta untuk mengeluarkan kakinya. Kerang biasanya mengorek lubang dengan kakinya dan makan plankton yang didapat dari aliran air yang masuk dan keluar. Kerang-kerang juga berupaya untuk melompat dengan membengkokkan lalu meluruskan kakinya. Berbeda dengan kebanyakan dwicangkerang, kerang ialah hermafrodit.

Serbuk kulit kerang merupakan serbuk yang dihasilkan dari pembakaran kulit kerang yang dihaluskan, serbuk ini dapat digunakan sebagai bahan campuran atau tambahan pada pembuatan beton. Penambahan serbuk kulit kerang yang homogeny akan menjadikan campuran beton yang lebih reaktif.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Serbuk Kulit Kerang

Komponen	Kadar (% berat)
CaO	66,70
SiO ₂	7,88
Fe ₂ O ₃	0,03
MgO	22,28
Al ₂ O ₃	1,25

Sumber : Shinta Marito Siregar,2009.

Serbuk kulit kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat *pozzolan* yang mengandung zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silica sehingga sesuai digunakan sebagai bahan baku beton (*Shinta Marito Siregar, 2009*).

2.2 Studi Literatur

Untuk lebih mendalami mengenai penelitian yang akan dilakukan terhadap penggunaan kerang terhadap kekuatan *paving block*, maka penulis perlu melakukan studi literatur di dalam penulisan skripsi ini untuk membantu dalam pelaksanaan penelitian. Studi literatur ini difokuskan pada jurnal yang didapat dari berbagai sumber serta skripsi yang berasal dari perpustakaan Universitas Indonesia . Berikut hasil studi literatur yang didapat yaitu :

2.2.1 Pengaruh Penggunaan Limbah Konstruksi sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus pada Kuat Tekan Beton Daur Ulang

Pada penelitian ini limbah beton digunakan sebagai agregat kasar untuk beton daur ulang, sedangkan untuk limbah konstruksi dinding bata digunakan sebagai agregat halus untuk beton daur ulang, yang dibagi dalam dua kelompok agregat halus, yaitu kelompok agregat halus yang berasal dari bata dengan plesterannya dan kelompok agregat halus berasal batu bata saja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan mix design yang optimal untuk beton daur ulang.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diketahui bahwa perbedaan kuat tekan pada limbah beton yang digunakan tidak mempengaruhi kuat tekan beton daur ulang. Penggunaan agregat kasar maupun agregat halus yang berasal dari limbah menurunkan kuat tekan beton daur ulang yang dihasilkan. Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa terjadi penurunan sebesar 27 % untuk limbah tembok dan sebesar 33 % untuk limbah bata.

Berdasarkan hasil mix design yang didapat dengan $w/c = 0,5$ ternyata kuat tekan beton daur ulang mengalami penurunan yang cukup besar sehingga perlu perbaikan untuk *mix design* untuk mencapai kuat tekan yang diharapkan. Pada pembuatan sampel beton daur ulang limbah batu bata dengan $w/c = 0,35$ ternyata dapat meningkatkan peningkatan kekuatan tekan beton.

Dari hasil penelitian diatas, maka penulis menyimpulkan bahwa w/c kurang dari 0,35 sangat ideal dalam pembuatan *mix design* beton daur ulang.

2.2.2 Pemanfaatan Sludge Fly Ash untuk Paving Block

Pada penelitian ini digunakan *sludge ash* yang secara fisik menyerupai pasir dan dimanfaatkan sebagai bahan penambah pasir dalam pembuatan *paving block*. Metode penelitian yang dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996, dimana mutu dan uji paving block dilakukan dengan menambah 0%,20%,30%, dan 40% sludge ash ke dalam campuran 1 PC : 4 Abu batu : 4 Kerikil : 4 Pasir serta 1 PC : 3 Abu batu: 3 Kerikil: 3 Pasir. Benda uji mortar dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm serta *paving block* dengan ukuran P = 21 cm, L = 10,5 cm dan T = 6 cm.

Uji tekan pada umur 7 hari dan 28 hari. Dari hasil penelitian diatas didapatkan bahwa kuat tekan tertinggi adalah komposisi campuran 1 PC : 3 Abu batu : 3 Kerikil : 3 Pasir pada penambahan 20 % *sludge fly ash* dengan kuat tekan rata-rata sebesar 304,07 kg/cm². Campuran tersebut memenuhi persyaratan standar mutu *paving block* dengan klasifikasi mutu B pada SNI 03-0691-1996.

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa *sludge fly ash* dapat digunakan sebagai bahan penambah pembuatan *paving block* yang dapat dilihat dari hasil uji kuat tekan dan penyerapan air pada benda uji *paving block*. Jurnal ini juga

menyarankan untuk diadakan penelitian dalam jangka waktu panjang untuk mengetahui kuat tekan pada umur 60 dan 90 hari.

2.2.3 Teknologi Pembuatan Paving Block dengan menggunakan material FCA (*Fine Coarse Aggregate*)

Pada penelitian ini digunakan material agregat halus dalam pembuatan *paving block*. Variasi komposisi paving block yang terdiri dari Semen, Pasir, FCA yaitu 1:4:0, 1:4:3, 1:4:5, 1:8:0, 1:8:3, 1:8:5. Setiap variasi dibuat dengan metode pressing (40, 60, 80 dan 100 kg/cm²) dan vibrating baik secara langsung (*full*) maupun bertahap (*partial*) dengan total benda uji 540 paving (setiap variasi dibuat 3 benda uji). Perawatan dilakukan dengan menyiram permukaan paving sampai umur 7, 14, dan 21 hari. Paving FCA dengan cara pemadatan langsung dapat mencapai mutu paving kelas-II dengan kuat tekan 276 kg/cm² pada komposisi 1:4:3, sedangkan untuk pemadatan bertahap nilai terbesar terdapat pada komposisi 1:4:0 (paving non FCA) dengan kuat tekan 283 kg/cm².

Dari hasil penelitian diatas dapat diketahui bahwa Paving FCA dengan cara pemadatan langsung dapat mencapai mutu paving kelas-II dengan kuat tekan 276 kg/cm² pada komposisi 1:4:3, sedangkan untuk pemadatan bertahap nilai terbesar terdapat pada komposisi 1:4:0 (paving non FCA) dengan kuat tekan 283 kg/cm². Metode pressing jauh lebih baik dibandingkan dengan paving yang dipadatkan dengan cara digetarkan dimana kuat tekan yang diperoleh lebih dari 200 kg/cm², sedangkan pada paving yang digetarkan secara bertahap (kuat tekan maksimal 199 kg/cm² pada campuran 1:4:5, umur 21 hari) menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan getaran penuh (kuat tekan 163 kg/cm² pada campuran 1:8:0, umur 21 hari)

Dari hasil penelitian diatas, penulis menyimpulkan bahwa *paving* dengan memakai FCA dengan pemadatan secara langsung (*full-pressing* 100 kg/cm²) akan menghasilkan kuat tekan cenderung bertambah sesuai dengan penambahan tekanan *pressing* dengan campuran sebesar 1:4:3 sedangkan metode pemadatan secara *vibrating* diperoleh kuat tekan *paving* yang rendah dan kurang dari 200 kg/cm². Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya maka penulis akan

menggunakan metode pemadatan secara langsung untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang maksimal.

2.2.4 Pengaruh Penggunaan Limbah Kulit Kerang Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton

Dari hasil studi literatur, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan optimal pada umur 28 hari. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari, dengan dimensi benda uji silinder 15 cm x 30 cm, dan mix design menggunakan metode ACI, setiap umur beton dibuat 3 buah, sehingga jumlah keseluruhannya 27 buah. Hasil kuat tekan sampel beton kulit mengalami penurunan sebesar 28,3% dan beton campuran mengalami penurunan sebesar 19,05% terhadap beton normal pada umur 28 hari. Walaupun kuat tekan beton kulit kerang dan beton campuran mengalami penurunan, tetapi masih bisa dipakai pada pembuatan beton struktural. (Andry Andriansyah, 2008)

Dari hasil penelitian diatas maka dapat diketahui bahwa kulit kerang memang dapat menurunkan nilai kuat tekan sebesar 28,3 % namun penelitian tersebut hanya berlaku pada beton saja dan tidak menutupi kemungkinan akan terjadi peningkatan kuat tekan pada *paving block*.

2.2.5 Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Lokan terhadap Kuat Tekan Beton

Dari hasil studi literatur, penelitian penambahan abu cangkang lokan terhadap kuat tekan beton ini mempelajari kemungkinan pemanfaatan kandungan kalsium yang terdapat pada jenis cangkang kerang jenis lokan. Tujuan dari penelitian diatas yaitu untuk mengetahui kuat tekan beton akibat dari abu cangkang lokan yang digunakan sebagai *accelerating admixture*, dimana *accelerating admixture* adalah yaitu bahan tambahan semen yang berfungsi untuk mempercepat waktu ikat semen dan mempercepat kecepatan hidrasi semen sehingga peningkatan kekuatan dapat dilakukan dalam tempo yang singkat. Bahan tambahan yang digunakan adalah sebesar 5 %,10% dan 15% dan uji tekan beton dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.

Hasil penelitian tersebut adalah terjadi penurunan pada umur 3, 7, dan 28 hari sedangkan pada umur 14 dan 21 hari terjadi penungkatan kekuatan beton. Hasil yang ditunjukkan dari penelitian tersebut adalah kenaikan dengan rata-rata sebesar 3,73 % terhadap beton normal. Secara teoritis, kuat tekan beton normal akibat penambahan air dan kenaikan nilai w/c untuk umur 3 dan 7 hari menunjukkan kekuatan beton. Abu cangkang lokan kemungkinan dapat menjadi bahan tambah untuk mempercepat ikatan umur awal beton. (Parro Belly Warman, 2011)

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa abu cangkang kerang dapat berfungsi sebagai *accelerating admixture* namun tidak berpengaruh besar pada kekuatan tekan beton.

2.2.6 Pembuatan Paving Block dari Recycled Aggregate

Dari hasil studi literature, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknik penggunaan recycled aggregate dalam pembuatan paving block. Adapun dimensi paving block yang dibuat dalam penelitian tersebut adalah 22,5 X 10,5 x 7,5 cm. Dalam penelitian tersebut, terdapat beberapa jenis mix design yang dipersiapkan, diantaranya pembuatan paving block dengan memanfaatkan *recycled aggregate*, dimana untuk tiap mix design juga menggunakan presentase penggantian agregat alam dengan *recycled aggregate* yang bervariasi. Pada pembuatan *paving* ini juga dibuat *control mixture* memakai 100% *natural aggregate* dan empat campuran lainnya menggunakan *recycled aggregate* dengan penggantian *natural aggregate* mencapai 50% dan 100% perbandingan berat. Untuk campuran campuran tersebut, dipersiapkan kebutuhan semen dan agregat dengan perbandingan berat 670 kg : 3030 kg.

Hasil tes menunjukan bahwa penggantian agregat alami pada level 25 % dan 50 % mempunyai efek kecil terhadap kuat tekan *paving*, namun penggantian agregat alami dengan agregat limbah beton dalam jumlah besar akan mengurangi kuat tekan paving tersebut.

Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa limbah daur ulang beton hanya diperlukan sedikit untuk mendapatkan kekuatan tekan *paving block*

yang maksimal dan penggunaan dalam jumlah yang besar akan mengurangi kuat tekan dari *paving block* tersebut.

2.2.7 Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut Beton Agregat Daur Ulang

Dari hasil studi perilaku kuat lentur dan susut beton agregat daur ulang, didapatkan bahwa campuran beton yang mencapai target strength yaitu f_c' sebesar 28 MPa dimana campuran yang digunakan adalah agregat kasar dan halus dengan agregat kasar dan halus daur ulang. Hasil tersebut diperoleh bahwa komposisi yang optimal untuk kuat lentur tersebut adalah 100 % agregat kasar alami, 0 % agregat kasar daur ulang, 75 % agregat halus alami dan 25 % agregat halus daur ulang. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa kuat lentur beton hanya turun sebesar 6,33 % dari kuat lentur beton murni agregat alam (Heidi Puma, 2004).

2.2.8 Studi Kuat Tekan Paving Block

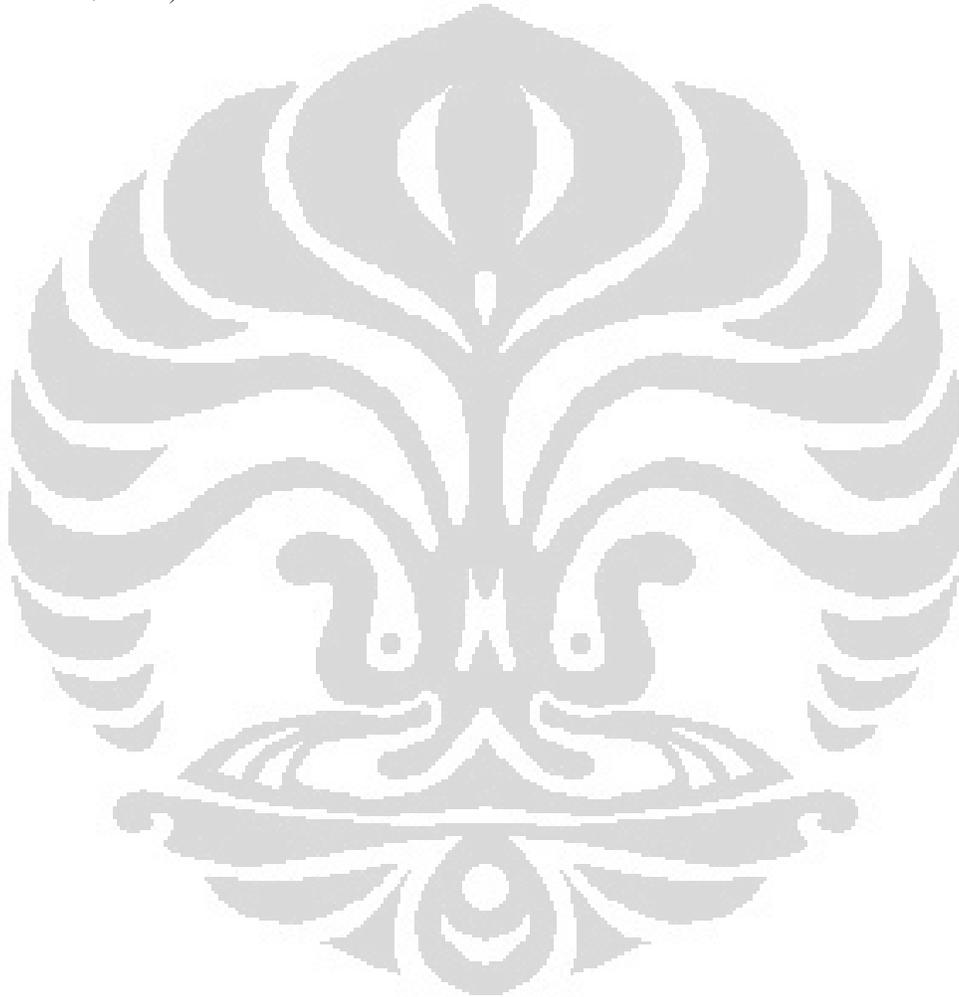
Paving dengan menggunakan bahan campuran semen dan pasir galian dan pasir sungai sebagai agregat halus serta campuran yang digunakan 1:4, 1:5 yang di uji pada umur 7 hari, 14 hari dan 21 hari dengan variasi pemberian tekanan (*pressing*) mulai dari 20 kg/cm² sampai dengan 120 kg/cm² mendapatkan kuat tekan paving yang konstan. (Novita dan Indriana, 2001)

2.2.9 Studi Komposisi Campuran *Paving Block*

Pemberian nilai *pressing* yang makin besar pada proses pembuatan paving akan meningkatkan kekuatan paving tersebut. Kualitas paving block sangat ditentukan oleh beberapa variabel yakni pemberian *pressing* yang tepat, komposisi campuran semen pasir serta umur perawatan. Untuk komposisi campuran 1 : 4 dengan *pressing* sebesar 120 kg/cm² akan diperoleh mutu paving kelas I dengan kuat tekan mencapai diatas 340 kg/cm² pada umur 7 hari atau mutu yang sama dapat juga diperoleh pada campuran 1 : 5 dengan *pressing* 100 kg/cm² setelah umur 14 hari. Sedangkan untuk mutu paving kelas II diperoleh pada komposisi campuran 1 : 6 dengan *pressing* 100 kg/cm² diman kuat tekan yang dihasilkan berada diatas 250 kg/cm² pada umur 14 hari (Erwin, 2003).

2.2.10 Studi Pressing pada Paving Block

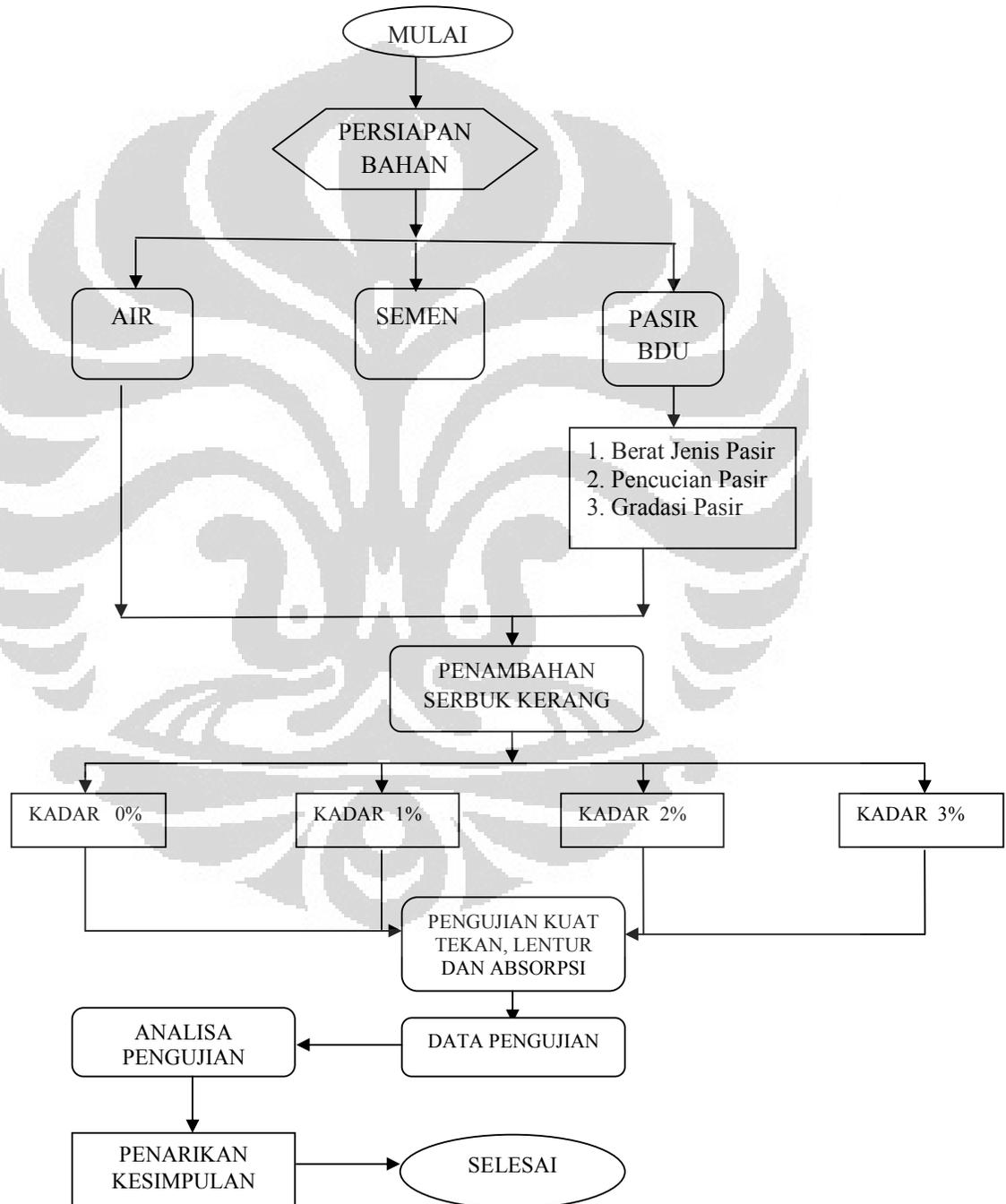
Pemberian *pressing* tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap ketahanan kejut paving, tetapi sangat bergantung bagaimana pola pemasangan paving tersebut. Dengan type paving dan pola pemasangan yang menghasilkan interlocking yang baik akan memberikan ketahanan kejut yang besar. (*Erwin dan Ninik, 2003*).



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Berikut alur dari metode penelitian yang akan dilakukan :



Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, dimana percobaan dilakukan untuk mendapatkan kumpulan data, yang kemudian akan dianalisa secara statistik kuantitatif dan kualitatif. Metode statistik kuantitatif akan digunakan untuk mengolah data mentah yang dihasilkan dari pengujian, sedangkan metode statistik kualitatif akan digunakan dalam menganalisa hasil visual dari pengujian yang dilakukan. Tahapan dalam penelitian ini adalah :

1. Perancangan Mix Design

Penulis merancang mix design untuk benda uji yang memiliki $f_c' = 25$ Mpa. Prosedur pembuatan mix design akan dibahas kemudian.

2. Menyiapkan Sampel *Paving Block*

Penulis menyiapkan sampel *paving block* untuk dilakukannya tes kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Kuat lentur pada umur 7, 14 hari dan 28 hari serta absorpsi pada umur bata beton mencapai 14, 28 hari dan 56 hari. Masing- masing sampel berjumlah 5 buah untuk tes kuat tekan, 5 buah untuk kuat lentur dan 5 buah untuk tes penyerapan air (absorpsi). Sampel disiapkan dengan variasi dengan variasi kandungan serbuk kerang 1%, 2% dan 3%. Selain itu juga disiapkan benda uji kontrol dengan kandungan serbuk 0%. Jumlah sampel dan variasinya dijabarkan dalam tabel berikut :

Tabel 3.1 Kandungan Serbuk Kerang untuk Tes *Paving Block*.

No	Kadar Serbuk	Jumlah Benda Uji Kuat Tekan	Jumlah Benda Uji Kuat Lentur	Jumlah Benda Uji Absorpsi
1	0%	5 Buah (7 hari)	5 Buah (7 hari)	5 Buah (14 hari)
		5 Buah (14 hari)	5 Buah (14 hari)	5 Buah (28 hari)
		5 Buah (28 hari)	5 Buah (28 hari)	5 Buah (56 hari)
2	1%	5 Buah (7 hari)	5 Buah (7 hari)	5 Buah (14 hari)
		5 Buah (14 hari)	5 Buah (14 hari)	5 Buah (28 hari)
		5 Buah (28 hari)	5 Buah (28 hari)	5 Buah (56 hari)
3	2%	5 Buah (7 hari)	5 Buah (7 hari)	5 Buah (14 hari)
		5 Buah (14 hari)	5 Buah (14 hari)	5 Buah (28 hari)
		5 Buah (28 hari)	5 Buah (28 hari)	5 Buah (56 hari)
4	3%	5 Buah (7 hari)	5 Buah (7 hari)	5 Buah (14 hari)
		5 Buah (14 hari)	5 Buah (14 hari)	5 Buah (28 hari)
		5 Buah (28 hari)	5 Buah (28 hari)	5 Buah (56 hari)
Jumlah		60 Buah	60 Buah	60 Buah

Sumber : Analisis Data

3.1.1 Alur Penelitian

Dalam penelitian ini dibutuhkan tiga jenis material yaitu semen, pasir, serta serbuk kerang yang dihasilkan dari pembakaran kulit kerang yang dihaluskan, serbuk ini dapat digunakan sebagai bahan tambahan dengan kadar 0% , 1% , 2% dan 3% dimana kadar 0% digunakan sebagai benda uji kontrol.

Sedangkan yang dimaksud dengan pengadaan material disini adalah proses mempersiapkan material yang dibutuhkan pada lokasi pengecoran. Semen dan agregat halus daur ulang yang berasal dari *batching* plant didapatkan dari PT *Adhi-mix* akan diantar langsung ke lab struktur material FTUI, Depok untuk dilakukan uji terlebih dahulu pada agregat halus daur ulang di lab struktur dan material FTUI, Depok yaitu analisa specific gravity dan absorpsi dari agregat halus yang meliputi uji berat jenis butir (*bulk specific gravity*), *apparent specific gravity*, dan penyerapan air (*absorption*), pemeriksaan berat isi agregat halus untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan padat dan gembur, analisa

saringan agregat halus untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan, serta pemeriksaan kotoran organik pada agregat halus dengan menggunakan larutan NaOH.

Setelah dilakukan uji pada agregat halus, maka penulis melakukan pengecoran paving block di pabrik *paving block* yang berlokasi di Jl. Joe no.38 RT 002 RW 03 Lenteng Agung, Jakarta Selatan pada waktu yang ditentukan (dapat dilihat di *schedule* penelitian) dengan total yang berjumlah 140 buah sampel (detail sampel dapat dilihat pada tabel 3.1) dengan masing-masing berjumlah 5 buah untuk masing-masing tes tekan, tarik, dan lentur sehingga dapat mengurangi resiko cacat pada benda uji. Pembuatan benda uji dilaksanakan di pabrik *paving block* tersebut dengan menggunakan alat-alat yang tersedia di pabrik tersebut.

Setelah pembuatan benda uji selesai maka benda uji tersebut dites kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi dari *paving block* tersebut. Data-data pengujian tersebut kemudian dilakukan analisis dan diambil kesimpulan berdasarkan studi literatur dan hasil yang didapatkan dari ketiga uji tersebut.

3.1.2 Waktu Pelaksanaan

Berikut ini adalah jadwal pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan. Tabel 3.2. menggambarkan minggu yang diperlukan untuk melaksanakan seluruh penelitian.

Tabel 3.2 Barchart Penelitian

No.	Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni							
		Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Studi Literatur																																				
2	Pengadaan Material																																				
3	Pengujian Material																																				
4	Pembuatan Benda Uji																																				
5	Pengujian Benda Uji																																				
6	Analisis																																				

Sumber : Analisis Data

Sehingga dari tabel diatas dapat dilihat waktu penelitian dari mulai pembuatan benda uji hingga analisis memerlukan waktu selama 20 minggu.

3.1.1 Standar Pengujian

Standar pengujian adalah acuan yang digunakan dalam melakukan penelitian. Standar ini penting, agar hasil penelitian yang dilakukan dapat diakui dan diterima dalam masyarakat. Dalam penelitian ini, standar yang digunakan adalah standar dalam pengujian material bahan pembentuk beton, khususnya agregat kasar dan agregat halus, serta pengujian terhadap *paving block*.

Pengujian material dasar pembentuk *paving block* dilakukan untuk memperoleh nilai *properties* dari material dasar tersebut, sehingga dapat digunakan dalam analisa rancang campur serta analisa hasil penelitian. Untuk semen sendiri tidak dilakukan pengujian, karena semen yang digunakan merupakan produk manufaktur yang sudah terstandarisasi dari prabiknya.

Standar yang digunakan diambil dari standar ASTM (*American Society For Testing And Materials*). Metode standar yang digunakan antara lain :

1. Standar Spesifikasi

- ASTM C 31

Standar Praktis untuk pembuatan dan *curing* benda uji di laboratorium

- ASTM C 33-03

Spesifikasi Standar untuk Agregat *Paving Block*

- ASTM C 125-03

Terminologi Standar berhubungan dengan *Paving Block* dan Agregat *Paving Block*

2. Metode Standar untuk Tes Agregat.

- ASTM C 29

Metode Uji Standar untuk berat isi dan *Voids* dalam agregat

- ASTM C 128-04a

Metode Uji Standar untuk Kepadatan, *Specific Gravity* dan Absorpsi agregat halus

- ASTM C 40

Metode Uji Standar untuk Kandungan Organik dalam Agregat Halus

- ASTM C 117

Metode Uji Standard untuk pemeriksaan bahan lewat saringan no. 200

3. Metode Standar untuk Pengujian *Paving Block*

- ASTM C 143
Metode Uji Standar untuk *Slump* Beton dengan Semen Hidrolis
- ASTM C 78-94
Metode Uji Standar untuk Kuat Lentur *Paving Block*
- SNI bata beton 03-0691-1996
Metode Uji Standar untuk Kuat Tekan dan Absorpsi *Paving Block*

3.1.2 Material Dasar Pembentuk *Paving Block*

Material dasar pembentuk *paving block* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat Halus

Tipe	:	Pasir BDU
Sumber	:	<i>Batching Plant</i>
Ukuran	:	0,074 mm – 4,75 mm

2. Air

Jenis	:	Air PAM
Sumber	:	Laboratorium Struktur dan Material Sipil FTUI

3. Semen

Penyediaan semen dilakukan pada saat penelitian berjalan. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan semen akibat kontak dengan udara dan kelembaban ruangan.

Merk	:	Semen Tiga Roda
Tipe	:	PCC (<i>Portland Composite Concrete</i>)
Sumber	:	Produk Manufaktur
Berat Jenis	:	3150 kg/m ³

4. Serat Tambahan

Jenis	:	Kerang
Bentuk	:	Serbuk
Sumber	:	Hasil pembakaran kulit kerang
Ukuran	:	0,074 mm – 4,75 mm

3.2 Penentuan dan Pemeriksaan Bahan

3.2.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus digunakan untuk mengecek agregat halus daur ulang sehingga dapat digunakan untuk praktikum selanjutnya.

1. Analisa Specific Gravity dan Absorption dari Agregat Halus

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air meliputi penentuan berat jenis butir (*bulk specific gravity*), *apparent specific gravity*, dan penyerapan air (*absorption*) pada umumnya digunakan untuk perhitungan volume pasir yang akan dicampur pada *paving block*.

Alat-alat yang digunakan :

- Timbangan dengan kapasitas 1 kg dengan spesifikasi 0,1 gram
- Piknometer untuk kapasitas 500 gram pasir
- Cetakan (*mold*) logam dengan bentuk kerucut terpancung

Persiapan percobaan :

1. Mengira-ngira 1000 gram pasir diperoleh dengan cara membagi empat (*quartering*).
2. Mengeringkan pasir di dalam oven dengan menggunakan pan dengan temperature $100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ selama satu hari
3. Mengangkat pan yang diinginkan, kemudian direndam air dan biarkan selama 24 ± 4 jam.
4. Dengan hati-hati menuangkan yang kelebihan untuk menghindari kehilangan butir pasir, menebarkan contoh bahan di atas permukaan rata terbuka untuk diangin-anginkan udara panas dan gerakkan berulang-ulang sampai kering secara merata. Meneruskan prosedur ini sampai contoh bahan ini mendekati keadaan mengalir bebas (*free flowing condition*).
5. Kemudian memasukkan sebagian dari pasir kering ke dalam *Metal sand cone mold*, kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat (*tamper*) sebanyak 25 kali tumbukkan, lalu angkat *mold* tersebut tegak lurus.
6. Jika permukaan masih lembab, maka pasir akan bertahan dalam bentuk cetakan *mold*.
7. Mengeringkan terus pasir dengan gerakkan tetap dan dilakukan tes berulang-ulang sampai slump pasir yang dipukul berpindah sedikit dari atas *mold*. Hal

ini membuktikan bahwa pasir sudah mencapai kering permukaan SSD (*Surface Dry Condition*) diperoleh jika cetakan diangkat, pasir akan runtuh/longsor.

Prosedur pemeriksaan :

1. Memasukkan 500 gram pasir BDU dengan SSD ke dalam piknometer kemudian isi dengan air sampai 90 % dari kapasitas tabung. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyangkan piknometer. Merendam dalam air dengan temperatur air $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ selama paling sedikit 1 hari. Menentukan berat piknometer benda uji dan air.
2. Mengeluarkan pasir dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur air $212 \pm 30^{\circ}\text{F}$ selama 1 hari.
3. Menentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur air $73.4 \pm 30^{\circ}\text{F}$ dengan ketelitian 0,1 gram

Perhitungannya :

$$\text{Bulk Specific Gravity (SSD)} = \frac{500}{B+500-C} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B+A-C} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Persentase Absorpsi} = \frac{500-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

- A = Berat dari benda uji *oven dry* (gram)
 B = Berat dari piknometer berisi air (gram)
 C = Berat dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi (gram).

2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Pemeriksaan berat isi dan gembur pasir dimaksudkan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan padat dan gembur.

Alat-alat yang digunakan :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
2. Talang kapasitas cukup besar untuk mengeringkan agregat
3. Tongkat Pemasak
4. Mistar perata
5. Wadah baha berbentuk silinder

Keadaan pasir kering udara : Gembur (lepas) dan padat

Prosedur percobaan :

1. Berat isi lepas
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Memasukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - c. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - d. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - e. Mengitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
2. Berat isi padat agregat dengan ukuran butir maksimum dengan cara penusukkan
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Mengisi wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 - c. Memadatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah sebagai berikut :
 - o Meletakkan wadah diatas tempat yang kokoh dan datar, kemudian mengangkat salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian melepaskannya.
 - o Mengulangi hal ini di sisi yang berlawanan. Memadatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
 - d. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - e. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - f. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

Perhitungannya :

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{w_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{).....(3.4)}$$

V = isi wadah (dm³)

3. Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan.

Alat-alat yang digunakan :

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari benda uji.
2. Satu set saringan : 76,2 mm(3”) ; 63,5 mm (2 ½ “) ; 50,8 mm (2 “) ; 37,5 mm(1 ½ “) ; 25 mm (1”) ; 19,1 mm (¾ “) ; 12,5 mm (½ “) ; 9,5 mm (¼ “) ; No.4 ; No.8 ; No.16 ; No.30 ; No.50 ; No.100 ; No.200 (standar ASTM).
3. Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai (110 ±50) °C
4. Alat pemisah contoh (*Sample Splitter*)
5. Mesin penggetar saringan
6. Talam-talam
7. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

Bahan yang digunakan :

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak :

- Ukuran maksimum No.4 ; berat minimum 500 gram.
- Ukuran maksimum No.8 ; berat minimum 100 gram.

Benda uji disiapkan sesuai dengan prosedur, kecuali apabila butiran yang melalui saringan No.200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

Prosedur pemeriksaan :

- Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu 110 ± 5 °C, sampai berat tetap.
- Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran paling besar ditempatkan paling atas, kemudian mengguncangkan saringan dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit
- Percobaan ini dilakukan dua atau tiga kali agar lebih akurat hasil yang didapatkan.
- Menimbang berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan. Kemudian dicatat dan dihitung persentase agregat yang lolos saringan.
- Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai susunan butir dari agregat, dibuat suatu gambaran secara grafik yang disebut diagram butir.

4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200

Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no.200 dengan cara pencucian.

Alat-alat yang digunakan :

1. Saringan no.16 dan no.200.
2. Wadah pencucian benda uji berkapasitas cukup besar sehingga pada waktu diguncang-guncang benda uji dan atau air pencuci tidak tumpah.
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai [110 ± 5] °C.
4. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.
5. Talam berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.

Bahan yang digunakan :

- a. Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai tabel 3.1

Tabel 3.3 Ukuran Agregat Maksimum

UKURAN AGREGAT MAKSIMUM		BERAT CONTOH AGREGAT KERING MINIMUM
MM	INCI	GRAM
2,36	No.8	100
1,18	No.4	500
9,5	$\frac{1}{4}$	2000
19,1	$\frac{3}{4}$	2500
38,1	1 $\frac{1}{2}$	5000

Sumber :Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton.Universitas Indonesia

- b. Persiapan benda uji

- a) Masukkan contoh agregat $\pm 1,25$ kali berat benda uji kedalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu [110 ± 5] °C sampai berat tetap.
- b) Siapkan benda uji dengan berat [w_1] sesuai tabel 3.1

Prosedur Pemeriksaan

- a. Masukkan benda uji kedalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- b. Guncang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian kedalam susunan saringan no.16 dan no.200. Pada waktu menunangkan air cucian, usahakan agar bahan-bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
- c. Masukkan air pencuci baru, dan ulanglah pekerjaan [2] sampai air cucian menjadi jernih.
- d. Semua bahan yang tertahan saringan no.16 dan no.200 kembalikan kedalam wadah; kemudian masukkan seluruh bahan tersebut kedalam talam yang telah diketahui beratnya $[w_2]$ dan keringkan dalam oven dengan suhu $[110 \pm 5] ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
- e. Setelah kering timbang dan catatlah beratnya $[w_3]$.
- f. Hitunglah berat bahan kering tersebut $[w_4 = w_3 - w_2]$

Perhitungan :

$$\text{Jumlah bahan lewat saringan No.200} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

5. Pemeriksaan Kotoran Organik Pada Agregat Halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campuran mortar atau beton. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat di dalam pasir dan menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar beton.

Alat-alat yang digunakan :

1. Botol gelas tidak berwarna yang mempunyai tutup dari karet, gabus atau lainnya yang tidak larut dalam larutan NaOH, dengan isi sekitar 300 ml.
2. Standar warna (organik plate).
3. Larutan NaOH 3% yang dibuat dengan melarutkan 3 bagian berat NaOH dalam 97 bagian berat air suling.

Bahan yang digunakan :

1. Pasir 115 ml (kira-kira 1/3 isi botol).

Prosedur

1. Benda uji dimasukkan ke dalam botol.
2. Tambahkan larutan NaOH 3%, setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira 2/3 isi botol.
3. Tutuplah botol, kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam.
4. Setelah 24 jam bandingkan warna cairan yang terlihat di atas benda uji dengan warna standar no.3.

3.2.2 Pembuatan Benda Uji *Paving Block*

Pembuatan *paving block* menggunakan mesin pencetak paving yang dilaksanakan di pabrik *paving block* Lenteng Agung dan pengujian sifat mekanik yaitu kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi akan diuji di Laboratorium Properti dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Agregat halus dari sisa Beton Daur Ulang
- b. semen
- c. Air
- d. Serbuk kerang hasil pembakaran

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan paving ini sebagai berikut :

- a. Mesin Pengaduk
- b. Cetakan Paving Block
- c. Ayakan Pasir (Besar dan kecil)
- d. Sekop
- e. Sendok Semen
- f. Ember

3. Proses Pembuatan Benda Uji Paving Block

- a. Hancurkan sisa limbah BDU dan ayak untuk mendapatkan pasir BDU dengan menggunakan mesin.
- b. Ayak kembali dengan mengenakan ayakan kecil/saringan No.200 untuk mendapatkan pasir BDU yang halus.

- c. Aduk rata semen menggunakan mesin pengaduk dan setelah rata ditambahkan air
- d. Aduk kembali adonan pasir BDU, semen dan air tersebut sehingga didapat adukan yang rata dan siap dipakai.
- e. Tempatkan adukan yang siap dipakai di mesin pencetak batako/*paving block* dengan menggunakan sekop dan di atasnya boleh ditambahkan pasir halus hasil ayakan (bergantung pada jenis produk batako/*paving block* yang akan dibuat).
- f. Tekan sampai padat dan rata mekanisme tekan pada mesin cetak dengan menggunakan lempeng besi khusus tersebut
- g. Keluarkan *paving block* dari cetakan dengan cara menempatkan potongan papan di atas seluruh permukaan alat cetak.
- h. Balik alat cetak dengan hati-hati
- i. Keringkan batako/*paving block* mentah dengan cara menjemur di bawah terik matahari sehingga didapat batako/ *paving block* yang sudah jadi.

4. Pengujian Terhadap *Paving Block* Muda

- a. Basahi cetakan dan pelat dengan kain basah.
- b. Letakkan cetakan di atas pelat.
- c. Isilah cetakan sampai penuh dengan *paving block* muda dalam 3 lapis. Tiap lapis berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan dan dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Pada pemadatan, tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukkan bagian tepi tongkat dimiringkan, sesuai dengan kemiringan cetakan.
- d. Setelah selesai pemadatan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat. Tunggu selama setengah menit dan dalam jangka waktu ini, semua benda uji yang jatuh disekitar cetakan harus disingkirkan.
- e. Cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
- f. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji.

- g. Ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

3.2.3 Pengujian Terhadap Paving Block yang Sudah Mengeras

Pengujian paving block ini meliputi kuat tekan, kuat lentur dan absorpsi. Paving block yang diuji ini mempunyai ukuran 20 x 10 x 8 cm. Pengujian dilakukan pada paving block dengan umur 7, 14, 28 hari untuk pengujian kuat tekan, 7,14,28 hari untuk pengujian kuat lentur dan 14,28, dan 56 hari untuk pengujian absorpsi.

1. Uji Kuat Tekan

Uji tekan ini sesuai dengan SNI 03-0691-1996 *paving block* dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan *paving block* yang berbentuk balok yang dibuat di pabrik *paving block* dan dirawat (curing) di laboratorium struktur dan material, Depok.

Alat yang digunakan :

- Bak perendam
- Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh
- Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan

Bahan

Paving block yang sudah mengeras

Prosedur

- Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris
- Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2-4 kg/cm² per detik
- Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

Perhitungan

$$\text{Kekuatan tekan beton} = P/A \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{Dimana} \quad P = \text{beban maksimum (kg)}$$

$$A = \text{Luas penampang benda uji (cm}^2\text{)}$$

2. Uji Absorpsi

Uji absorpsi atau uji penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996 *paving block* ini dimaksudkan untuk mengetahui persentase *absorpsi* benda uji dengan perbandingan antara berat air yang terkandung pada *paving block* dengan berat *paving block* yang kering

Alat yang digunakan :

- a. Bak perendam
- b. Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh
- c. Oven

Bahan

Paving block yang sudah mengeras

Prosedur

1. Rendam benda uji dalam keadaan utuh hingga jenuh (24 jam) pada bak perendam
2. Timbang berat benda uji dalam keadaan basah
3. Keringkan di oven selama kurang lebih 24 jam pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2 % penimbangan yang terdahulu

Perhitungan

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{A} \times 100 \%$$

Dimana A = berat *paving block* basah (kg)

 B = berat *paving block* kering (kg)

3. Uji Kuat Lentur

Pengujian ini dilakukan sesuai ASTM C 78-94 dengan metode *Third-Point Loading*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah *paving block*

pada *paving block* yang sudah mengeras. Benda uji *paving block* berukuran 200 x 100 x 80 mm.

Alat yang digunakan :

- a. Mesin Uji Lentur (*Flexural Strength Testing Machine*) kapasitas 100 kN
Laboratorium Beton Universitas Indonesia

Bahan

Paving block yang sudah mengeras

Prosedur

1. Siapkan benda uji *paving block* sudah mengalami proses perawatan dan pengeringan dan ukur dimensi *paving block*.
2. Tentukan panjang bentang yaitu tiga kali dari tinggi *paving block* pada posisi simetris memanjang dan atur posisi roda baja bagian bawah untuk meletakkan benda uji
3. Letakkan balok di kedua perletakkan mesin uji lentur secara simetris dan beri beban garis sejarak 1/3 bagian dari perletakan secara simetris
4. Hidupkan mesin dan berikan beban secara tetap dan berkesinambungan tanpa ada beban kejut sampai keruntuhan terjadi.
5. Catat besar beban maksimum yang terjadi

Perhitungan

Perhitungan nilai *modulus of rupture* tergantung pada lokasi patahan yang terjadi pada balok, yaitu :

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tengah bentang dari *paving block*, tidak lebih 5 % panjang bentang *paving block*, maka perhitungannya :

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Dimana :

- R = modulus runtuh (Mpa)
 P = maksimum beban (N)
 l = panjang bentang (mm)

- b = rata-rata lebar benda uji (mm)
 d = rata-rata ketinggian benda uji (mm)

3.3 Mix Design Paving Block

Metode Mix Design yang dipakai berdasarkan jurnal *Mix design for concrete block paving* yaitu :

1. Menentukan kandungan dari semen dan PFA (*Pulverished Fuel Ash*)

PFA atau abu terbang adalah limbah yang dihasilkan dari energy listrik dan dapat mempercepat pengerasan dari beton tersebut dan berpengaruh untuk penambahan kekuatan beton pada umur yang tua. Dari Penelitian yang dilakukan, penulis tidak memakai abu terbang sehingga berdasarkan tabel 3.1 didapatkan bahwa nilai *average strength* sebesar 60 MPa.

Tabel 3.4 PFA

Cement	PFA	Av.Strength(Mpa)
100%	-	60
75%	25%	60
64%	36%	59

Sumber : Analisis Data

2. Menentukan Nilai *Characteristic Strength*

Characteristic Strength adalah kekuatan yang diperoleh dimana hasil yang diperkirakan akan kurang dari pencapaian yang akan diperoleh.

$$\text{Characteristic Strength} = \text{average strength} - (k \times \text{SD})$$

- Dimana k adalah konstanta untuk produk cacat yaitu sebesar 1,64 yang merepresentasikan 5 % cacat pada *paving block*
- SD adalah standar deviasi dengan nilai 3,5 MPa untuk mesin bertekanan tinggi dan 7 MPa untuk mesin yang bervibrasi.

Pada penelitian ini penulis menggunakan mesin bertekanan tinggi sehingga didapatkan nilai SD sebesar 3,5 MPa.

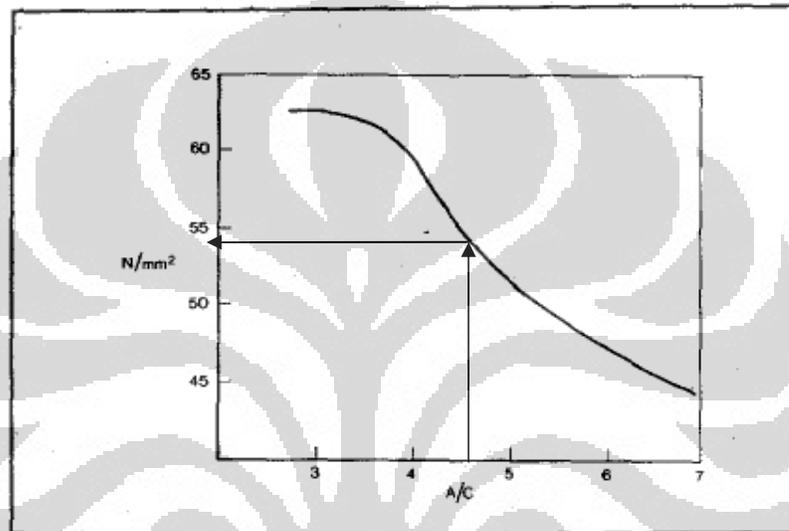
$$\text{Characteristic Strength} = 60 - (1,64 \times 3,5) = 54,26 \text{ MPa}$$

3. Menentukan *Water Contents*

Nilai water Content yang normal berkisar antara 5 – 7 % dan penulis menggunakan 5 % untuk water content.

4. Menentukan *Cement Content*

Cement Content didapat dari nilai *Characteristic Strength* yaitu sebesar 54,26 MPa dan dengan menggunakan grafik dibawah maka didapatkan perbandingan semen dengan pasir sebesar 1 : 4,5



Gambar 3.1 Penentuan Kadar Semen dan Pasir

5. Menentukan berat semen dan agregat halus

Setelah mendapatkan perbandingan berat semen dan agregat halus sebesar 1 : 4,5 maka ditentukan terlebih dahulu berat dari *paving block* yang akan dibuat yaitu sebesar 3 kg.

Tabel 3.5 Volume Semen dan Agregat Halus untuk 1 Sampel

Untuk 1 Sampel	Semen	Agregat Halus
Perbandingan	1	4,5
Berat yang dibutuhkan (kg)	0,55	2,45

Sumber : Analisis Data

Dari berat diatas maka dapat diketahui bahwa berat yang dibutuhkan untuk 180 buah sampel didapatkan :

Tabel 3.6 Berat Semen dan Agregat Halus untuk 180 Sampel

Untuk 180 Sampel	Semen	Agregat Halus
Perbandingan	1	4,5
Berat yang dibutuhkan (kg)	99	441

Sumber : Analisis Data

6. Menentukan jumlah air yang dibutuhkan berdasarkan fas.

Nilai fas yang diperoleh adalah sebesar 0,3 berdasarkan hasil praktikum. Maka jumlah air yang dibutuhkan untuk 180 buah sampel adalah $0,3 \times 99 = 29,7$ kg.

7. Menentukan jumlah sampel dan tipe mix design.

Jumlah sampel yang direncanakan adalah sejumlah 45 benda uji untuk tiap *mix design*. Di dalam penelitian ini ada 4 tipe *mix design*. Yang dimaksud dengan tipe *mix design* adalah variasi prosentase serbuk kerang yang dibutuhkan untuk tiap *mix design*. Penelitian ini menggunakan 4 variabel serbuk kerang yaitu sebesar 0,1,2, dan 3% dari volume semen.

Tabel 3.7 Tipe Mix Design

Type	PC	Air	Agregat	Serbuk kerang	Uji	Jumlah sampel
Type 1	100 %			0 % (volume semen)		
					Kuat Tekan	15
					Kuat Lentur	15
					Absorpsi	15
Type	PC	Air	Agregat	Serbuk kerang	Uji	Jumlah sampel
Type 2	99%			1 % (volume semen)		
					Kuat Tekan	15
					Kuat Lentur	15
					Absorpsi	15
Type	PC	Air	Agregat	Serbuk kerang	Uji	Jumlah sampel
Type 3	98 %			2 % (volume semen)		
					Kuat Tekan	15
					Kuat Lentur	15
					Absorpsi	15
Type	PC	Air	Agregat	Serbuk kerang	Uji	Jumlah sampel
Type 4	97 %			3 % (volume semen)		
					Kuat Tekan	15
					Kuat Lentur	15
					Absorpsi	15

Sumber : Analisis Data

Untuk tiap mix design, maka jumlah agregat halus, air, dan pasir yang diperoleh dibagi 4 karena *mix design* terdiri dari 4 tipe maka tiap- tiap mix design membutuhkan :

1. Tipe 1
 - Jumlah agregat pasir bahan daur ulang = $441 \text{ kg} / 4 = 110,25 \text{ kg}$
 - Jumlah air = $29,7 \text{ kg} / 4 = 7,425 \text{ kg}$
 - Jumlah semen = $99 \text{ kg} / 4 = 24,75 \text{ kg}$
2. Tipe 2
 - Jumlah agregat pasir bahan daur ulang = $441 \text{ kg} / 4 = 110,25 \text{ kg}$
 - Jumlah air = $29,7 \text{ kg} / 4 = 7,425 \text{ kg}$
 - Jumlah semen = $99 \% \times 24,75 \text{ kg} = 24,5 \text{ kg}$

- Jumlah serbuk kerang = 1 % x 24,75 kg = 0,25 kg
3. Tipe 3
- Jumlah agregat pasir bahan daur ulang = 441 kg / 4 = 110,25 kg
 - Jumlah air = 29,7 kg/4 = 7,425 kg
 - Jumlah semen = 98 % x 24,75 kg = 24,25 kg
 - Jumlah serbuk kerang = 2 % x 24,75 kg = 0,50 kg
4. Tipe 4
- Jumlah agregat pasir bahan daur ulang = 441 kg / 4 = 110,25 kg
 - Jumlah air = 29,7 kg/4 = 7,425 kg
 - Jumlah semen = 97 % x 24,75 kg = 24 kg
 - Jumlah serbuk kerang = 3 % x 24,75 kg = 0,74 kg

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.8 Jumlah Bahan yang Diperlukan untuk Mix Design

Tipe Mix Design	Pasir BDU(kg)	Air (kg)	Semen (kg)	Serbuk Kerang (kg)
1	110,25	7,425	24,75	-
2	110,25	7,425	24,5	0,25
3	110,25	7,425	24,25	0,5
4	110,25	7,425	24	0,74
Total	441	29,7	97,5	1,5

Sumber : Analisis Data

BAB 4

PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Praktikum

Persiapan praktikum merupakan kegiatan pra praktikum yang dilaksanakan sebelum melakukan kegiatan hasil pengujian pendahuluan. Persiapan praktikum meliputi :

- a. Pembuatan serbuk kerang
- b. Pembuatan agregat halus daur ulang beton

4.1.1 Pembuatan Serbuk Kerang

Pembuatan serbuk kerang merupakan langkah awal sebelum melakukan pembuatan benda uji *paving block* di pabrik. Serbuk kerang didapatkan dari pengumpulan kulit kerang yang berasal dari rumah makan *sea food* dimana kulit kerang tersebut tidak dimanfaatkan kembali oleh rumah makan *sea food*. Kulit kerang dikumpulkan sebanyak 20 kg dimana kulit kerang ini berfungsi sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan *paving block*.



Gambar 4.1 Kulit Kerang

Setelah melakukan pengumpulan sebanyak 20 kg maka kulit kerang tersebut dipanaskan di oven pada lab Metalurgi pada suhu 1000°C dan suhu tersebut ditahan selama 30 menit dimana kulit kerang tersebut akan bersifat *pozzolan* yang mengandung zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silica sehingga sesuai digunakan sebagai bahan baku *paving block* (Shinta Marito Siregar, 2009). Dari hasil pola difraksi sinar-X diketahui pada suhu dibawah 500°C tersusun atas kalsium karbonat (CaCO_3) pada phase Aragonite dengan

struktur Kristal *orthorombik* dimana fase Aragonite adalah fase dimana fase tidak stabil pada kalsium karbonat dan membuat kulit kerang menjadi tidak reaktif. Sedangkan pada suhu diatas 500°C berubah menjadi phase *calcite* dengan struktur Kristal *Hexagonal*. Dimana fase *calcite* adalah fase stabil pada kalsium karbonat dan membuat kulit kerang menjadi reaktif untuk pencampuran *paving block*. (Syahrul Humaidi, 1997)

Setelah dilakukan pembakaran kulit kerang, maka kulit kerang ditumbuk pada mesin *Los Angeles* agar kulit kerang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen. Mesin *Los Angeles* ini berfungsi untuk menghancurkan kulit kerang menjadi serbuk kerang sehingga kulit kerang menjadi bubuk yang siap digunakan untuk pembuatan *paving block*. Penghancuran dilaksanakan sebanyak dua kali agar kulit kerang menjadi bubuk.



Gambar 4.2 Serbuk Kerang yang Telah Disaring

Serbuk kerang yang telah menjadi bubuk disaring kembali menggunakan mesin penggetar saringan dimana serbuk yang digunakan adalah serbuk yang telah lolos saringan no.200 sehingga serbuk tersebut dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen.



Gambar 4.3 Serbuk Kerang

Serbuk kerang yang dihasilkan dari kulit kerang adalah sebanyak 5 kg dimana hanya 25 % dari berat kulit kerang tersebut. Serbuk kerang ini sudah dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen dimana digunakan dengan komposisi sebanyak 1,2, dan 3 % dari berat semen.

4.1.2 Pembuatan Agregat Halus Daur Ulang Beton

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah adukan beton *concrete batching plant* PT Adhimix di Lenteng Agung. Limbah hasil adukan beton ini diangkut menuju pabrik untuk diproses lebih lanjut. Limbah tersebut masih berbentuk lumpur dengan bongkahan-bongkahan beton yang sudah mengering. Limbah tersebut dikeringkan terlebih dahulu di bawah sinar matahari agar dapat dihancurkan dengan mesin penghancur.

Setelah limbah tersebut dihancurkan, limbah tersebut berubah menjadi pasir limbah daur ulang beton dan pasir tersebut perlu untuk disaring terlebih dahulu sehingga dapat digunakan untuk bahan baku pembuatan *paving block*.

(a)



(b)



Gambar 4.4 (a) Alat penghancur batuan, (b) Agregat halus daur ulang yang telah disaring



Gambar 4.5 Proses Penyaringan Pasir Daur Ulang Beton

4.2 Hasil Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan merupakan kegiatan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian sifat mekanik *paving block*. Berikut adalah pengujian pendahuluan yang telah dilaksanakan :

- a. Analisis *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Halus (ASTM C 128-04)
- b. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C 29/29 M-97)
- c. Analisis Saringan Agregat Halus (ASTM C 136-05)
- d. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 (ASTM C 117-04)

4.2.1 Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi

Analisa *Specific Gravity* dan absorpsi ini dilakukan bertujuan untuk menentukan *bulk specific gravity*, *apparent specific gravity*, dan *absorption* untuk perhitungan volume pasir yang akan dicampur pada *paving block*.

Berikut hasil praktikum yang dilakukan di lab Material dan Bahan :

Tabel 4.1 Data pengujian analisa specific gravity dan absorpsi

Berat benda uji <i>oven dry</i>	A	406 gram
Berat piknometer + air	B	645 gram
Berat piknometer + air + benda uji	C	916 gram

Sumber : Analisis Data

Dari data-data tersebut dapat dihitung nilai berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*), berat jenis jenuh kering permukaan (*SSD*), berat jenis semu

(*Apparent Specific Gravity*) dan penyerapan (*Absorption*) dari agregat halus daur ulang berdasarkan ASTM C 128-04. Berikut ini adalah hasil perhitungannya :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan pengujian analisa specific gravity dan absorpsi

<i>Bulk specific gravity</i>	$\frac{A}{B + 500 - C}$	1,772926
SSD	$\frac{500}{B + 500 - C}$	2,183406
<i>Apparent specific gravity</i>	$\frac{A}{B + A - C}$	3,007407
<i>Absorption</i>	$\frac{500 - A}{A} \times 100\%$	23,1527

Sumber : Analisis Data

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai *bulk specific gravity* yang didapatkan sebesar 1,77 dimana perhitungan ini berlaku untuk menentukan berat jenis dari pasir dari agregat pasir daur ulang. Sedangkan dari hasil absorpsi yang didapatkan yaitu cukup tinggi yaitu sebesar 23,15 %.

Semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air maka akan mengurangi kekuatan nilai *paving block*. (Heidi Duma,2008). Nilai absorpsi yang baik menurut ASTM C 128 adalah dibawah 2 % namun absorpsi dari agregat halus daur ulang beton ini melewati 2 % sehingga dapat menurunkan kekuatan dari *paving block* tersebut.

4.2.2 Pemeriksaan Berat Isi

Pemeriksaan berat isi dan gembur pasir dimaksudkan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan padat dan gembur. Berikut ini adalah tabel data dari pengujian berat isi agregat halus daur ulang.

Tabel 4.3 Data pengujian berat isi

Berat Wadah	1039 gram
Berat Wadah + Air	3055 gram
Berat Lepas	3167 gram
Berat dengan Penusukan	3537 gram
Berat dengan Penggoyangan	3651 gram
Volume Wadah	2016 cm ³

Sumber : Analisis Data

Dari data-data tersebut dapat dihitung nilai berat isi dan rongga udara untuk tiap perlakuan berdasarkan ASTM C 29/29M-97. Berikut ini adalah hasil perhitungannya.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan pengujian berat isi

Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/dm ³)	Rongga Udara
Lepas	2,128	1,055556	0,404625068
Dengan Penusukan	2,498	1,239087	0,301105931
Dengan Penggoyangan	2,612	1,295635	0,269210845

Sumber : Analisis Data

4.2.3 Analisa Saringan Agregat Halus

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat, baik agregat kasar maupun halus. Agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan volume pori antar-butiran menjadi besar. Sebaliknya agregat yang mempunyai ukuran bervariasi mempunyai volume pori yang kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit. (Teknologi Bahan, Muhtarom Riyadi, SST).

Gradasi agregat akan mempengaruhi sifat-sifat *paving block* dimana pada *paving block* segar, gradasi agregat akan mempengaruhi *workability*, jumlah air pencampur, sifat kohesif, dan jumlah semen yang dibutuhkan. Sedangkan pada *paving block* yang sudah mengeras akan mempengaruhi kekuatan tekan *paving*, kekuatan lentur *paving* dan durabilitasnya. Untuk mengetahui gradasi agregat maka dilakukan dengan hasil analisis dengan ayakan dan hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

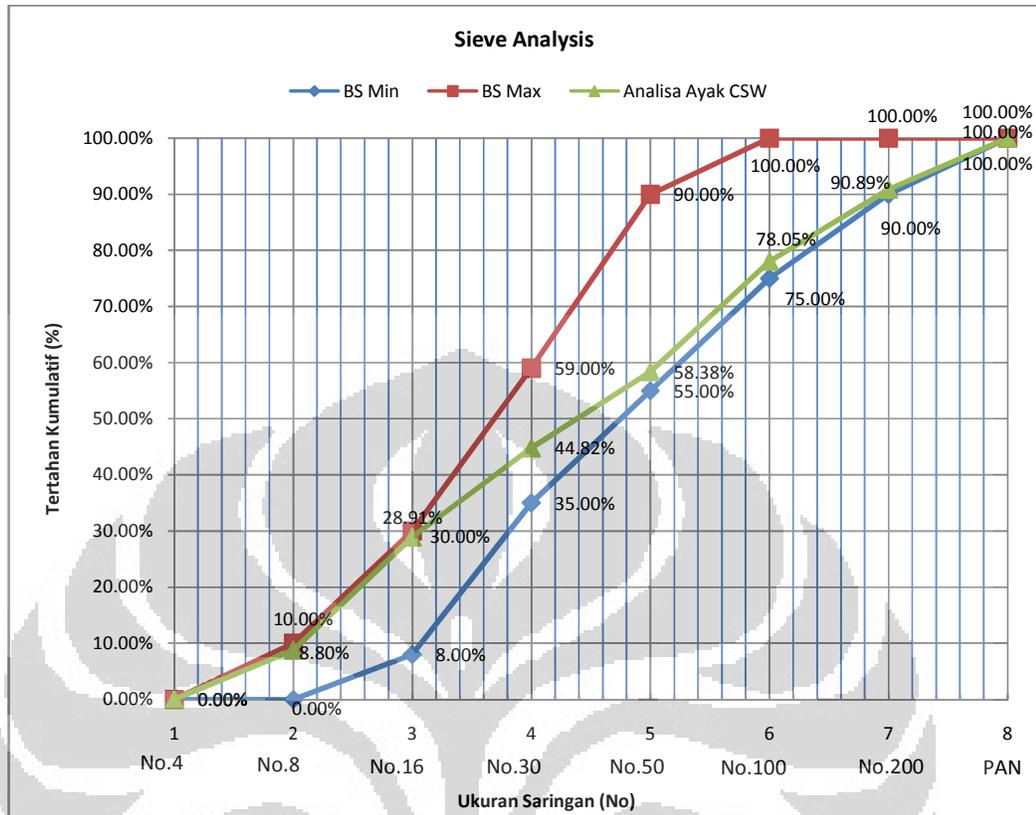
Tabel 4.5 Data dan Hasil Perhitungan Fineness Modulus (FM)

No	Ukuran Saringan (No)	Sampel			Persen Kumulatif Tertahan BS	
		Tertahan	Kumulatif	Lolos Kumulatif	Min	Max
1	4	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2	8	9.11%	9.11%	90.89%	90.00%	100.00%
3	16	12.84%	21.95%	78.05%	75.00%	100.00%
4	30	19.67%	41.62%	58.38%	55.00%	90.00%
5	50	13.56%	55.18%	44.82%	35.00%	59.00%
6	100	15.91%	71.09%	28.91%	8.00%	30.00%
7	200	6.62%	77.71%	22.29%	0.00%	10.00%
8	Pan	22.29%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Jumlah	100.00%	203.98%	FM	1.934	

Sumber : Analisis Data

Dari tabel diatas, maka dapat diketahui nilai dari Modulus Kehalusan (FM) dimana modulus kehalusan butir adalah jumlah persen tertinggal kumulatif pada tiap-tiap ayakan dari suatu seri ayakan yang ukuran lubangnya berbanding dua kali lipat, dimulai dari ayakan berlubang 0.15 mm dan dibagi dengan 100. Nilai Modulus Kehalusan yang didapat adalah sebesar 1,934. Semakin besar nilai modulus kehalusan berarti semakin besar butiran agregatnya (semakin kasar). Menurut ASTM C 128, nilai modulus kehalusan pasir berkisar antara 1,50 – 3,8 sehingga modulus kehalusan pasir daur ulang beton berada diantara *range* tersebut.

Dari tabel diatas, maka dapat diketahui grafik persentase kumulatif sampel tertahan di setiap no saringan :



Gambar 4.6 Grafik Sieve Analysis CSW

Menurut *British Standard* (BS) memberikan syarat gradasi untuk pasir dengan 4 kelompok yaitu pasir halus (zona 4) pasir agak halus (zona 3), agak kasar (zona 2) dan kasar (zona 1) seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.6 Zona Pasir Menurut British Standard

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang Lewat Ayakan			
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
10	100	100	100	100
4,8	90 -100	90 -100	90 -100	95 -100
2,4	60 – 95	75 -100	85 -100	95 -100
1,2	30 -70	55 - 90	75 -100	90 -100
0,6	15 – 34	35 - 59	60 - 79	80 -100
0,3	5 – 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 -10	0 -10	0 -10	0 -15

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo.1994

Dari hasil analisa, maka dapat diketahui bahwa pasir limbah daur ulang beton ini termasuk pada pasir dengan kategori zona 2 (agak kasar). Hal ini dapat dilihat dari grafik dimana BS max dan BS min diambil berdasarkan kategori zona 2 dan terlihat bahwa grafik tersebut memenuhi dengan zona 2.

4.2.4 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200

Berikut ini adalah tabel data dan hasil perhitungan dari pemeriksaan bahan lewat saringan no.200 agregat halus daur ulang.

Tabel 4.7 Data dan hasil perhitungan pemeriksaan bahan lewat saringan no.200

Berat Benda Uji Semula	500 gram
Berat Benda Uji Tertahan Saringan No.200	421 gram
% Lewat Saringan No.200	17,6 %

Sumber : Analisis Data

Kandungan material halus yang diizinkan untuk agregat halus adalah berkisar 0.2 -6% (ASTM C 117). Dilihat dari hasil penelitian Tabel 4.7 kandungan material halus pada agregat halus daur ulang adalah sekitar 17,6 %. Keberadaan dari lumpur dan abu yang melebihi batas 6 % tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen dan air sehingga dapat melemahkan pengikatan yang terjadi dan akhirnya menurunkan kekuatan *paving block* itu sendiri.

4.2. Pembuatan Benda Uji *Paving Block*

Sampel *paving block* pada penelitian ini dibuat dengan pemadatan oleh mesin. Alat tersebut memiliki 8 cetakan dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm dengan rata-rata produksi 5 menit / 8 cetakan. Pada mesin tersebut terdapat pelat besi untuk menekan cetakan *paving block*. Mesin itu juga dapat menggetarkan campuran semen dan agregat yang telah dimasukkan pada cetakan. Kapasitas tekanan alat ini bisa mencapai 250 kg/cm².



Gambar 4.7 Alat pemadatan dan cetakan paving block

Sebelum dicetak, campuran semen dan agregat diaduk di alat pengaduk. Pertama-tama, agregat dan semen dimasukkan ke dalam alat pengaduk dan diaduk hingga rata. Setelah agregat dan semen tercampur rata, air dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam pengaduk. Untuk campuran yang menggunakan serbuk kerang maka serbuk kerang dimasukkan ketika semen dan pasir sudah tercampur. Campuran yang mengandung serbuk kerang terlihat mudah untuk dilarutkan bersama air. Adukan *paving block* tersebut terlihat menyatu antara campuran pasir, semen dan air.



Gambar 4.8 Alat pengaduk campuran



Gambar 4.9 Campuran paving block saat dicampur serbuk kerang

Setelah adukan tercampur rata, campuran *paving block* tersebut dimasukkan ke dalam cetakan pada alat pemadatan. Cetakan tersebut digetarkan agar campuran tersebut mengisi rongga-rongga kosong pada bagian dasar cetakan. Setelah cetakan terisi penuh oleh campuran tersebut, cetakan tersebut ditekan oleh pelat besi dari alat pemadatan. Tekanan yang diberikan sampai pada sekitar 100 kgf/cm^2 . Saat ditekan, cetakan juga digetarkan agar campuran lebih padat.

Suhu saat pengujian di pabrik *paving* ini adalah sebesar $29,8^{\circ} \text{C}$ dengan kelembapan sebesar 59 %.



Gambar 4.10 Pembacaan dial gauge hingga 100 kgf/cm^2 .



Gambar 4.11 Campuran paving block yang siap dicetak



Gambar 4.12 Proses penekanan cetakan paving block

Setelah selesai dicetak, paving block diangkat dari mesin pemadatan. *Paving block* dibiarkan mengering sekitar 2-3 jam lalu dilakukan proses curing secara jenuh dengan cara menyiram paving block dengan air yang cukup. Setelah kering, *paving block* didiamkan pada kondisi kering udara sampai umur uji siap dilakukan.



Gambar 4.13 Paving block yang telah selesai dicetak
Untuk lebih lanjut, penulis melampirkan foto pembuatan paving block pada lampiran di gambar 12 – 18.

4.3 Hasil Pengujian Paving Block

Paving block yang telah dibuat dilakukan perawatan berupa *curing* secara jenuh. Proses *curing* jenuh dilakukan dengan cara menyiram *paving block* yang sudah kering secara merata dan dibiarkan basah selama beberapa jam. Setelah itu perawatan yang dilakukan terhadap *paving block* berupa *curing* udara sampai umur uji yang akan dilakukan.

Sampel *paving block* yang telah mencapai umur uji akan dites kuat tekan, kuat lentur, dan penyerapan dari sampel tersebut. Dari hasil pengujian tersebut, penulis menggunakan standar deviasi dari tiap tabel untuk menentukan range dari data yang telah diperoleh. Tanda yang diberi label merah berarti data tersebut tidak termasuk dalam pengolahan data.

Pada saat pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi, suhu ruangan di laboratorium Material dan Struktur FTUI adalah sebesar 30⁰ celcius dengan kelembapan sebesar 57 %.

4.3.1 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Paving block diuji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving*

Block). Untuk menghitung nilai kuat tekan *paving block* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

f_c' = Kuat tekan benda uji (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Contoh perhitungan kuat tekan *paving block* pada umur 7 hari :

$$f_c' = \frac{16780}{200} = 8.39 \text{ MPa}$$

Berikut merupakan data hasil kuat tekan 7 hari dengan kandungan serbuk kerang 0,1,2, dan 3% :

Tabel 4.8 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Tanpa Campuran Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan(mm^2)	Kuat tekan (MPa)
1	2810	167800	20000	8.39
2	2722	176600	20000	8.83
3	2567	168200	20000	8.41
4	2681	202900	20000	10.145
5	2527	151000	20000	7.55
			Rata-rata	8.665

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.9 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (Ton)	Luas Bidang Tekan (mm^2)	Kuat Tekan (MPa)
1	2661	186800	20000	9.34
2	2499	186100	20000	9.305
3	2748	197000	20000	9.85
4	2791	169700	20000	8.485
5	2386	157600	20000	7.88
			Rata-rata	8.972

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.10 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	3353	205000	20000	10.25
2	3191	195000	20000	9.75
3	3229	195000	20000	9.75
4	3541	185000	20000	9.25
5	3226	225000	20000	11.25
			Rata-rata	10.05

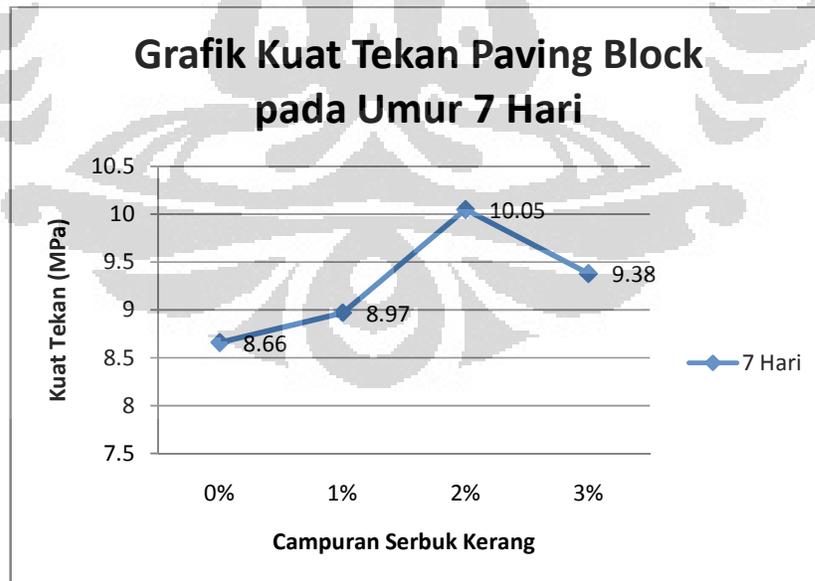
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.11 Data Hasil Kuat Tekan 7 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2893	174000	20000	8.7
2	2473	185000	20000	9.25
3	3117	176000	20000	8.8
4	2568	205000	20000	10.25
5	2965	198000	20000	9.9
			Rata-rata	9.38

Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik kuat tekan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 7 hari.



Gambar 4.14 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 7 Hari

Berikut merupakan data hasil kuat tekan 14 hari dengan kandungan serbuk kerang 0,1,2, dan 3% :

Tabel 4.12 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 0 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat tekan (MPa)
1	2858	250000	20000	12.5
2	2274	150000	20000	7.5
3	2869	207500	20000	10.375
4	2673	192500	20000	9.625
5	2732	237500	20000	11.875
			Rata-rata	10.375

Tabel 4.13 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2525	225000	20000	11.25
2	2496	235000	20000	11.75
3	2651	262500	20000	13.125
4	2545	252500	20000	12.625
5	2670	275000	20000	13.75
			Rata-rata	12.5

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.14 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang

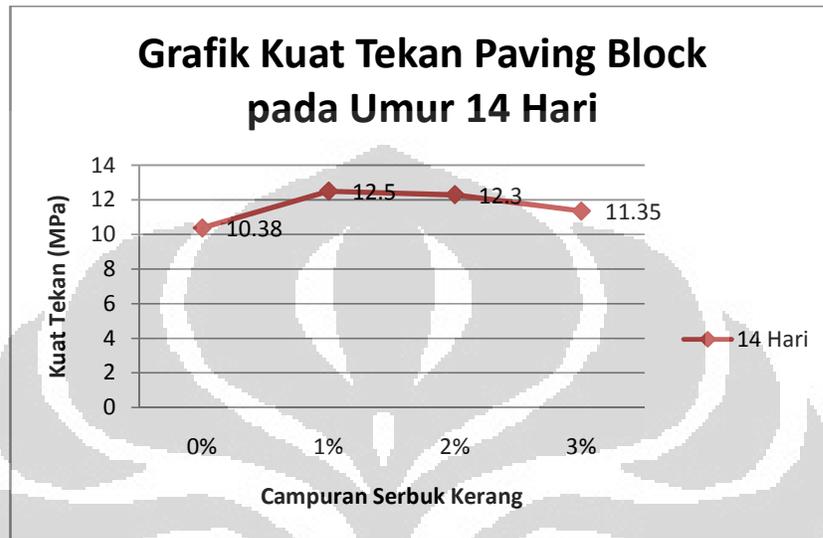
No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2760	232500	20000	11.625
2	2342	155000	20000	7.75
3	2533	312500	20000	15.625
4	2544	255000	20000	12.75
5	2655	275000	20000	13.75
			Rata-rata	12.3

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.15 Data Hasil Kuat Tekan 14 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2866	225000	20000	11.25
2	2410	140000	20000	7
3	2283	230000	20000	11.5
4	2657	265000	20000	13.25
5	2749	275000	20000	13.75
			Rata-rata	11.35

Grafik berikut adalah grafik kuat tekan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 14 hari.



Gambar 4.15 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 14 Hari

Tabel 4.16 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 0 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat tekan (MPa)
1	2396	185000	20000	9.25
2	2435	235000	20000	11.75
3	2520	182500	20000	9.125
4	2562	242500	20000	12.125
5	2458	265000	20000	13.25
			Rata-rata	11.1

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.17 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 1 % Serbuk Kerang

No	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2708	255000	20000	12.75
2	2498	282500	20000	14.125
3	2404	237500	20000	11.875
4	2565	265000	20000	13.25
5	2678	275000	20000	13.75
			Rata-rata	13.15

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.18 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 2 % Serbuk Kerang

Sampel	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	3069	270000	20000	13.5
2	3029	266000	20000	13.3
3	3200	272500	20000	13.625
4	3150	285000	20000	14.25
5	2890	300000	20000	15
			Rata-rata	13.935

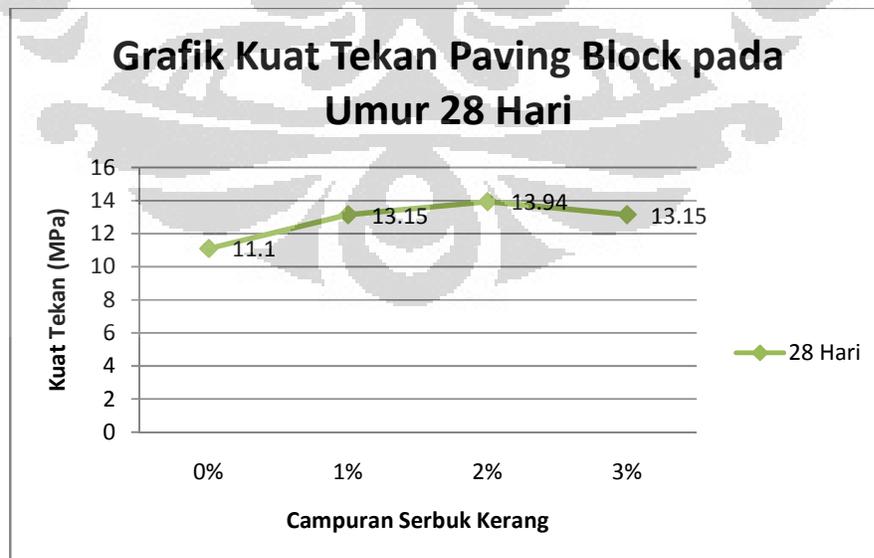
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.19 Data Hasil Kuat Tekan 28 Hari Campuran 3 % Serbuk Kerang

Sampel	Berat (gram)	Gaya (N)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2420	225000	20000	11.25
2	2736	237500	20000	11.875
3	3293	275000	20000	13.75
4	2765	265000	20000	13.25
5	2895	275000	20000	13.75
			Rata-rata	12.775

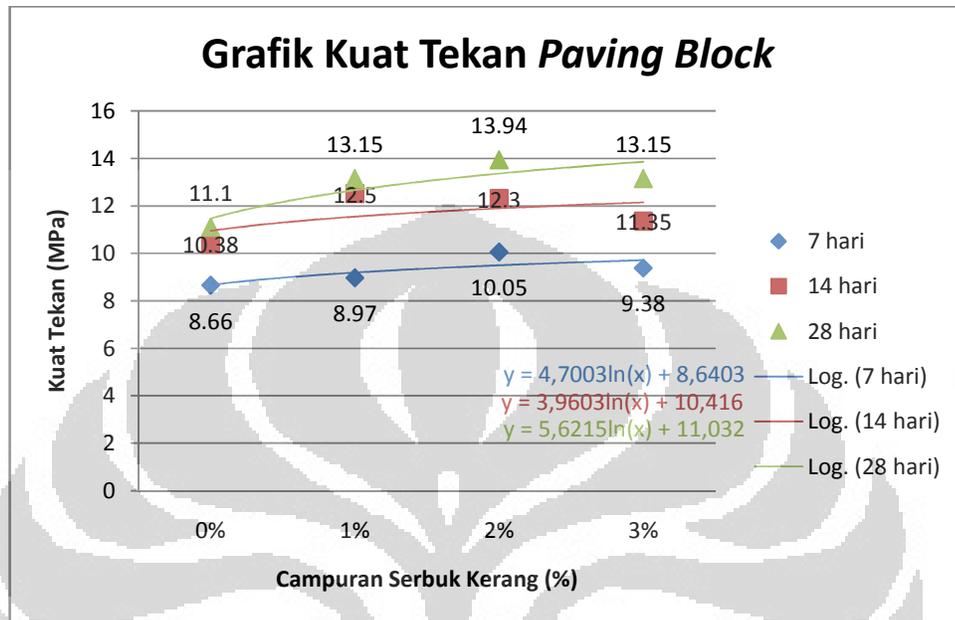
Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik kuat tekan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 28 hari.



Gambar 4.16 Grafik Kuat Tekan Paving Block pada Umur 28 Hari

Dan berikut ini adalah grafik gabungan kuat tekan rata-rata sampel *paving block* untuk semua campuran dan semua umur uji.



Gambar 4.17 Grafik Kuat Tekan *Paving Block*

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah campuran serbuk kerang *paving block*, semakin besar pula kuat tekan *paving block*. Sama seperti beton, semakin lama umur *paving block* saat diuji, kuat tekan *paving block* tersebut juga akan bertambah. Hal ini disebabkan oleh kandungan kimia semen yang semakin bereaksi dan mengikat agregat seiring dengan bertambahnya umur *paving block*. Namun, pada campuran serbuk kerang sebesar 3 % terjadi penurunan kuat tekan *paving block*. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran serbuk kerang sebesar 3 % tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran dari *paving block* tersebut. Hal ini disebabkan bahwa campuran serbuk kerang hanya berfungsi sebagai *accelerating admixture*, dimana *accelerating admixture* adalah bahan tambahan semen yang berfungsi untuk mempercepat waktu ikat semen dan mempercepat kecepatan hidrasi semen sehingga peningkatan kekuatan dapat dilakukan dalam tempo yang singkat. Pada grafik 4.17 dapat diketahui bahwa campuran optimal untuk kuat tekan *paving block* adalah sebesar 2 %.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), *paving block* dengan campuran serbuk kerang sebesar 1%, 2% dan 3 %, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 13,25, 13,67 dan 13,15 MPa dapat dimasukkan ke dalam kategori mutu C yang digunakan untuk pejalan kaki. Tentunya, dengan penelitian ini, limbah yang dihasilkan oleh *batching plan* dapat dimanfaatkan kembali menjadi suatu produk bahan bangunan lingkungan yang tentunya dapat pula meminimalisir dampak lingkungan disekitar *batching plan*. Sedangkan yang tanpa menggunakan campuran serbuk kerang hanya bisa dikategorikan sebagai Mutu D dengan kuat tekan rata-rata sebesar 11,94 MPa hanya dapat digunakan sebagai taman dan pengguna lain.

4.3.2 Pengujian Kuat Lentur *Paving Block*

Paving block diuji kuat lentur pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Third-Point Loading* berdasarkan ASTM C 78 – 94. Untuk menghitung nilai *modulus of rupture* dibedakan berdasarkan lokasi patahan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tengah bentang benda uji, tidak lebih dari 5% panjang bentang benda uji, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(4.2)$$



Gambar 4.18 Patahan 1/3 Bagian Tengah Bentang pada Uji Kuat Lentur

Keterangan:

R = Modulus runtuh (MPa)

P = Beban maksimum (N atau kN)

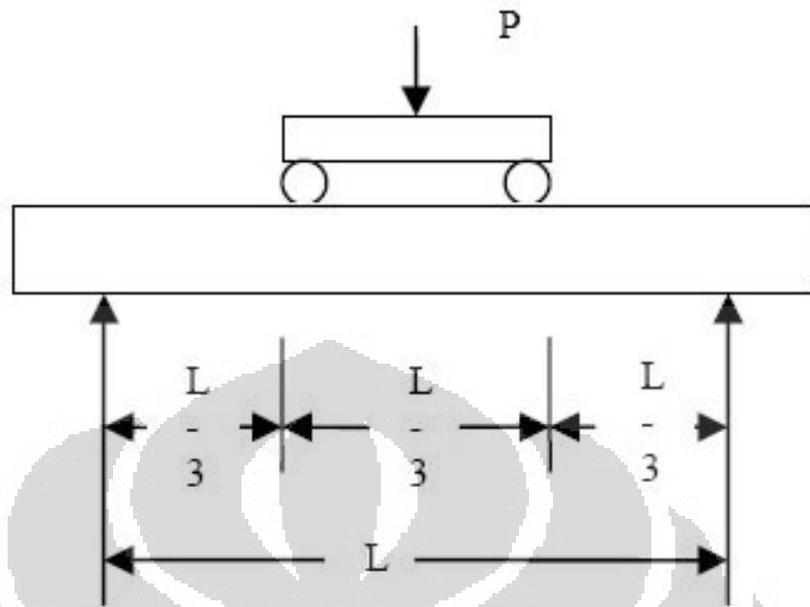
l = Panjang bentang (mm)

b = Rata-rata lebar benda uji (mm)

d = Rata-rata ketinggian benda uji (mm)

Ada beberapa penyesuaian pada pelat baja yang digunakan sebagai perletakan dan titik pembebanan. Panjang antar perletakan adalah 15 cm, bukan sepanjang bentang paving block. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam pembagian tiga bentangan pada panjang perletakan. Jadi panjang bentang dibagi menjadi 3 bagian dengan masing-masing panjang 5 cm tiap antara titik pembebanan. Sehingga nilai l , b dan d untuk perhitungan modulus of rupture adalah sebagai berikut :

$$l = 15 \text{ cm} ; b = 10 \text{ cm} ; d = 8 \text{ cm}$$



Gambar 4.19 Dimensi pelat baja pada uji lentur dengan metode Third-point loading

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat lentur paving block :

$$R = \frac{600N \cdot 150mm}{100mm \cdot 80mm^2} = 1.40625MPa$$

Berikut ini adalah data hasil uji kuat lentur sampel *paving block* tersebut.

- Umur 7 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan kuat lentur atau *modulus of rupture* sampel *paving block* pada umur 7 hari.

Tabel 4.20 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 7 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Modulus Runtuh (MPa)
1	2576	0.6	Tengah	1.40625
2	2412	0.75	Tengah	1.7578125
3	2398	0.375	Tengah	0.87890625
4	2543	0.5	Tengah	1.171875
5	2479	0.425	Tengah	0.99609375
			Rata-Rata	1.303710938

Tabel 4.21 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 7 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur(MPa)
1	2456	1.525	Tengah	3.57421875
2	2569	1.55	Tengah	3.6328125
3	2500	1.55	Tengah	3.6328125
4	2645	1.45	Tengah	3.3984375
5	2656	1.65	Tengah	3.8671875
			Rata-rata	3.62109375

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.22 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 7 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Modulus Runtuh (MPa)
1	2679	2.1	Tengah	4.921875
2	2567	1.87	Tengah	4.3828125
3	2659	1.75	Tengah	4.1015625
4	2760	1.65	Tengah	3.8671875
5	3200	1.65	Tengah	3.8671875
			Rata-Rata	4.228125

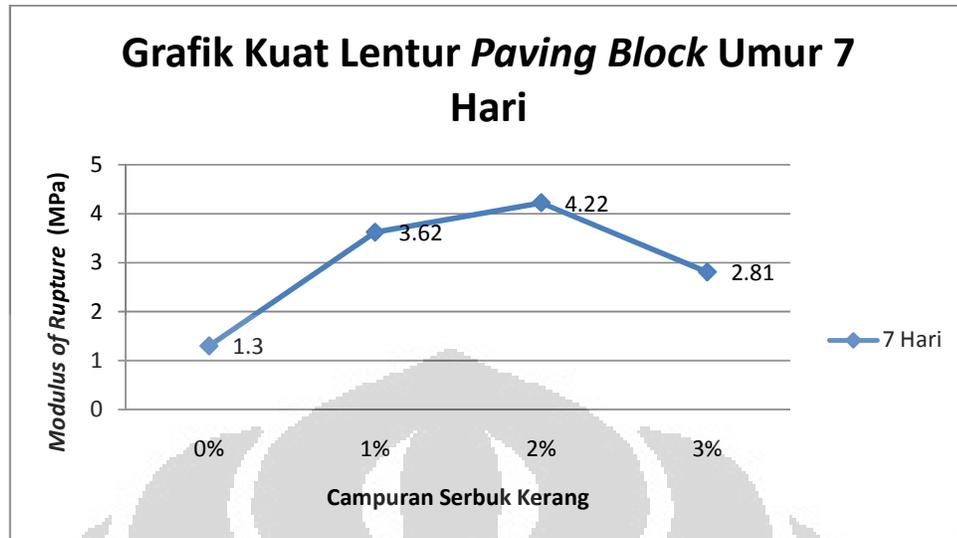
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.23 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 7 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	2869	1.15	Tengah	2.6953125
2	2572	1.25	Tengah	2.9296875
3	2654	1.21	Tengah	2.8359375
4	2969	1.24	Tengah	2.90625
5	3100	1.15	Tengah	2.6953125
			Rata-rata	2.8125

Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik kuat lentur rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 7 hari.



Gambar 4.20 Grafik kuat lentur paving block pada umur 7 hari

- Umur 14 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan kuat lentur atau *modulus of rupture* sampel *paving block* pada umur 14 hari.

Tabel 4.24 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 14 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur(MPa)
1	2877	1	Tengah	2.34375
2	2271	0.8	Tengah	1.875
3	2633	1	Tengah	2.34375
4	2456	1.2	Tengah	2.8125
5	2670	1	Tengah	2.34375
			Rata-rata	2.34375

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.25 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 14 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	2547	1.35	Tengah	3.1640625
2	2767	1.25	Tengah	2.9296875
3	2465	3	Tengah	7.03125
4	2569	2.21	Tengah	5.1796875
5	2756	1.8	Tengah	4.21875
			Rata-rata	4.5046875

Tabel 4.26 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 14 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	2850	2.85	Tengah	6.6796875
2	3027	2.85	Tengah	6.6796875
3	3058	2.65	Tengah	6.2109375
4	2501	2.7	Tengah	6.328125
5	2390	2.67	Tengah	6.2578125
			Rata-rata	6.43125

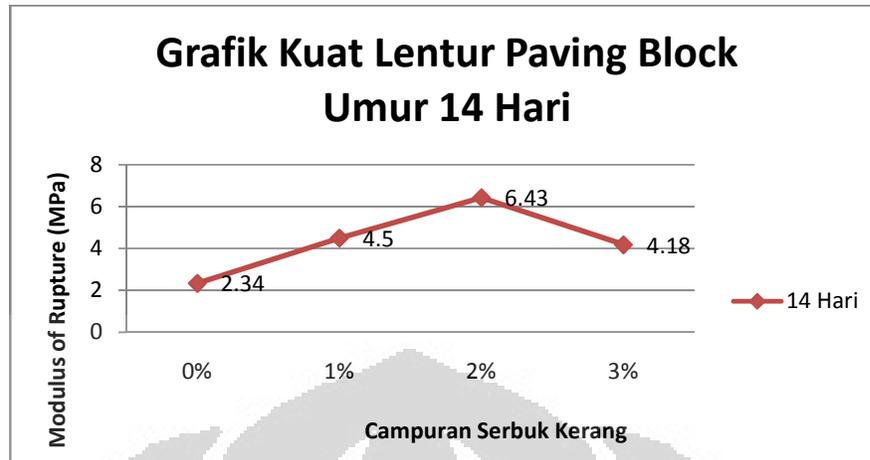
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.27 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 14 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	2778	1.825	Tengah	4.27734375
2	2565	1.25	Tengah	2.9296875
3	2304	2	Tengah	4.6875
4	2657	1.85	Tengah	4.3359375
5	2750	2	Tengah	4.6875
			Rata-rata	4.18359375

Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik kuat lentur rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 14 hari.



Gambar 4.21 Grafik kuat lentur paving block pada umur 14 hari

- Umur 28 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan kuat lentur atau *modulus of rupture* sampel *paving block* pada umur 28 hari.

Tabel 4.28 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 28 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur(MPa)
1	2418	1	Tengah	2.34375
2	2500	1.25	Tengah	2.9296875
3	2281	0.5	Tengah	1.171875
4	2231	1.25	Tengah	2.9296875
5	2523	2.25	Tengah	5.2734375
			Rata-rata	2.9296875

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.29 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 28 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur(MPa)
1	2962	2.5	Tengah	5.859375
2	2668	2	Tengah	4.6875
3	2748	1.625	Tengah	3.80859375
4	2589	2.05	Tengah	4.8046875
5	2728	2.5	Tengah	5.859375
			Rata-rata	5.00390625

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.30 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2% pada umur 28 hari

Sampel	Berat(gram)	Beban(Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	3011	2.75	Tengah	6.4453125
2	2574	2.85	Tengah	6.6796875
3	2612	2.75	Tengah	6.4453125
4	2450	2.195	Tengah	5.14453125
5	3166	3.15	Tengah	7.3828125
			Rata-rata	6.41953125

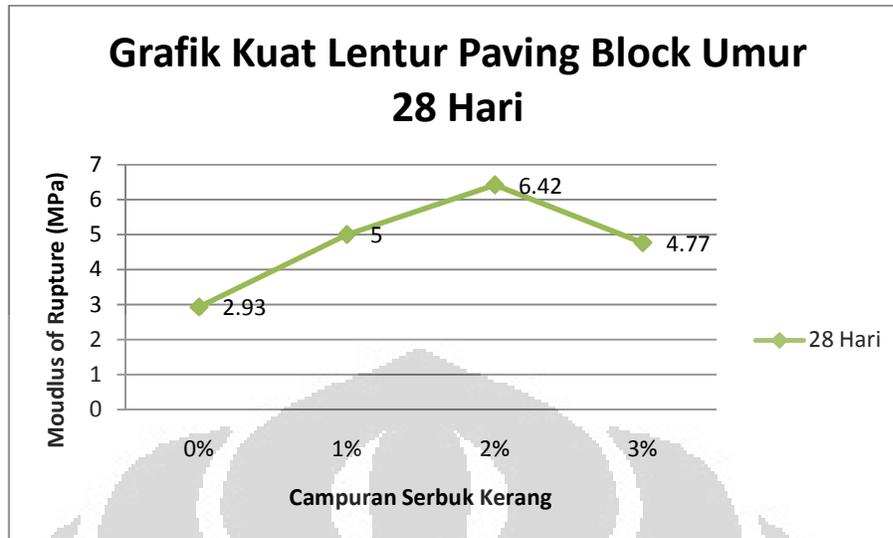
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.31 Data dan hasil perhtungan uji lentur sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 28 hari

Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Posisi Runtuh	Kuat Lentur (MPa)
1	2778	1.825	Tengah	4.27734375
2	2565	1.75	Tengah	4.1015625
3	2304	2	Tengah	4.6875
4	2656	2.25	Tengah	5.2734375
5	2555	2.35	Tengah	5.5078125
			Rata-rata	4.76953125

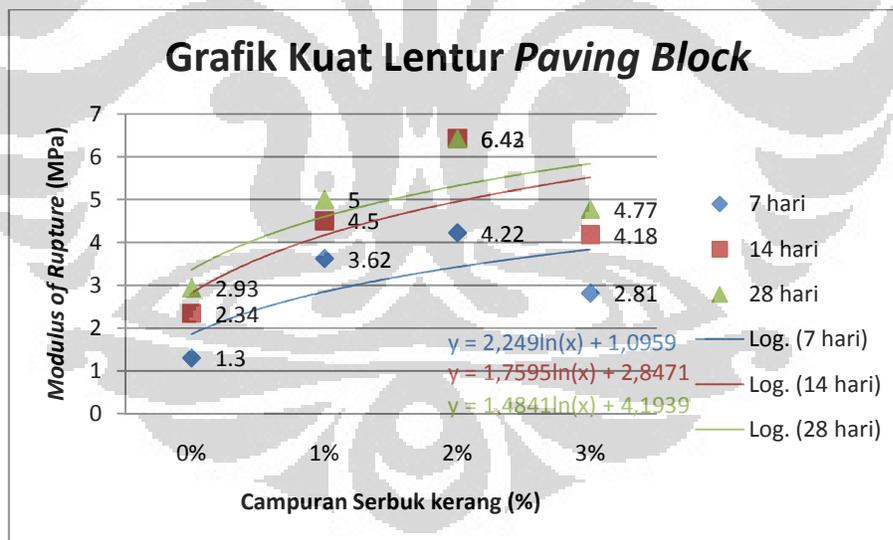
Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik kuat lentur rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 28 hari.



Gambar 4.22 Grafik kuat lentur paving block pada umur 28 hari

Dan berikut ini adalah grafik histogram gabungan kuat lentur rata-rata sampel *paving block* untuk semua campuran dan semua umur uji.



Gambar 4.23 Grafik kuat lentur paving block dengan campuran serbuk kerang

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah campuran serbuk kerang *paving block*, semakin besar pula kuat lentur dari *paving block*.

Sama seperti beton, semakin lama umur *paving block* saat diuji, kuat lentur *paving block* tersebut juga akan bertambah. Pada grafik 4.23 dapat diketahui bahwa campuran optimal untuk kuat lentur *paving block* adalah sebesar 2 %.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, pada penelitian absorpsi dan *specific gravity* dari agregat halus menunjukkan bahwa nilai absorpsi yang cukup besar yaitu sebesar 23,16 % dan melebihi ASTM C 128 yaitu 2 % sehingga nilai kuat lentur dari *paving block* mengalami penurunan pada campuran serbuk kerang 3 %.

Jika dilihat dari kondisi fisiknya, bentuk agregat daur ulang memiliki bentuk yang bulat, pipih, dan panjang. Ini merupakan bentuk yang tidak dianjurkan dalam pembentukan *paving*, karena akan melemahkan ikatan agregat dengan pasta semen. Dimana pasir yang baik harus berbutir tajam dan keras. Hal ini berpengaruh pada menurunnya kekuatan lentur dari *paving block* tersebut.

Selain itu kandungan material halus pada agregat halus daur ulang adalah sekitar 17,6 %. Keberadaan dari lumpur dan abu yang melebihi batas 6 % tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen dan air sehingga dapat melemahkan pengikatan yang terjadi dan akhirnya menurunkan kekuatan lentur dari *paving block* itu sendiri.

Dilihat dari gambar 4.24, pola retak pada *paving* agregat daur ulang terletak pada daerah momen antara dua titik beban, sehingga dapat dikatakan retak akibat momen lentur murni

Dilihat dari gambar 4.25, kondisi permukaan retak pada *paving block* memiliki rongga-rongga kosong. Hal ini dikarenakan kandungan semen pada agregat halus daur ulang mempengaruhi ikatan antara matriks penyusun partikel dan agregat itu sendiri dan kandungan semen yang melekat pada agregat halus daur ulang beton ini dapat memperlemah ikatan matriks yang akan menurunkan kekuatan lentur *paving*.



Gambar 4.24 Pola retak diantara 3 titik pembebanan benda uji



Gambar 4.25 Permukaan Retak Uji Kuat Lentur

4.3.3 Pengujian Penyerapan *Paving Block*

Paving block diuji penyerapan pada umur 14 hari dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Untuk menghitung nilai penyerapan *paving block* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A - B}{B} \times 100 \% \dots\dots\dots(4.4)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji dalam keadaan jenuh (kg)

B = Berat benda uji dalam keadaan kering (kg)

Contoh perhitungan absorpsi *paving block* :

$$\frac{2396 - 1822}{1822} \times 100\% = 31.504\%$$

Berikut ini adalah data hasil uji penyerapan sampel *paving block* tersebut.

- Umur 14 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan penyerapan sampel *paving block* pada umur 14 hari.

Tabel 4.32 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 14 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2396	1822	31.50384193
2	2456	1954	25.69089048
3	2568	1950	31.69230769
4	2289	1832	24.94541485
5	2321	1754	32.32611174
		Rata-rata	29.23171334

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.33 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 14 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2798	2272	23.15140845
2	2697	2134	26.38238051
3	2578	2134	20.80599813
4	2457	2034	20.79646018
5	2605	2143	21.55856276
		Rata-rata	22.538962

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.34 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 14 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2657	2256	17.7748
2	3435	2973	15.5399
3	3212	2860	12.3077

4	2341	2000	17.05
5	2452	2132	15.0094
		Rata-rata	15.5364

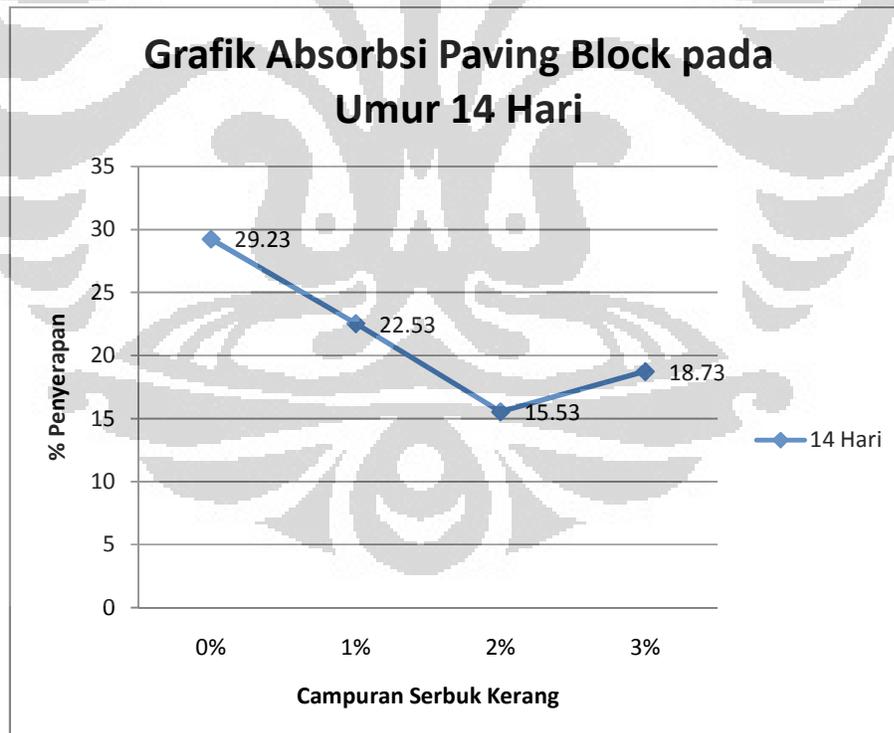
Sumber : Analisis Data

Tabel 4.35 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3% pada umur 14 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	3224	2666	20.93023256
2	3144	2640	19.09090909
3	2655	2243	18.3682568
4	2633	2173	21.16889093
5	2421	2122	14.09048068
		Rata-rata	18.72975401

Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah histogram penyerapan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 14 hari.



Gambar 4.26 Grafik penyerapan paving block pada umur 14 hari

- Umur 28 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan penyerapan sampel *paving block* pada umur 28 hari.

Tabel 4.36 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 28 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2320	1917	21.02243088
2	2663	2191	21.54267458
3	2595	2150	20.69767442
4	2530	2214	14.27280939
5	2431	2106	15.43209877
		Rata-rata	18.59353761

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.37 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1 % pada umur 28 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2607	2322	12.27390181
2	2440	2134	14.33926898
3	2320	1852	25.2699784
4	2456	2122	15.73986805
5	2345	2122	10.50895382
		Rata-rata	15.62639421

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.38 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2% pada umur 28 hari

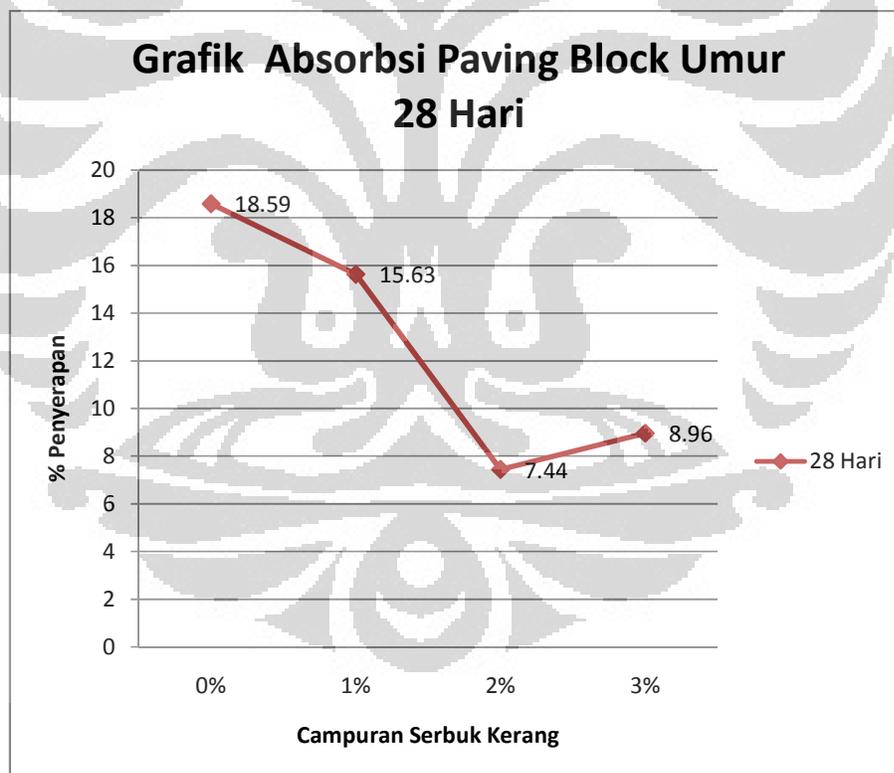
Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2576	2345	9.850746269
2	2662	2422	9.909165979
3	2124	2000	6.2
4	2540	2432	4.440789474
5	2243	2100	6.80952381
		Rata-rata	7.442045106

Tabel 4.39 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3 % pada umur 28 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2798	2595	7.82274
2	2526	2346	7.67263
3	2342	2123	10.3156
4	2214	2045	8.26406
5	2596	2345	10.7036
		Rata-rata	8.95573

Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah histogram penyerapan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 28 hari.



Gambar 4.27 Grafik penyerapan paving block pada umur 28 hari

- Umur 56 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan penyerapan sampel *paving block* pada umur 56 hari.

Tabel 4.40 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 0% pada umur 56 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2315	2008	15.28884462
2	2590	2223	16.50922177
3	2140	1900	12.63157895
4	2234	1960	13.97959184
5	2456	2102	16.84110371
		Rata-rata	15.05006818

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.41 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 1% pada umur 56 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2908	2768	5.057803468
2	3409	3183	7.100219918
3	2780	2545	9.233791749
4	2254	2122	6.220546654
5	2214	1960	12.95918367
		Rata-rata	8.114309093

Sumber : Analisis Data

Tabel 4.42 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 2 % pada umur 56 hari

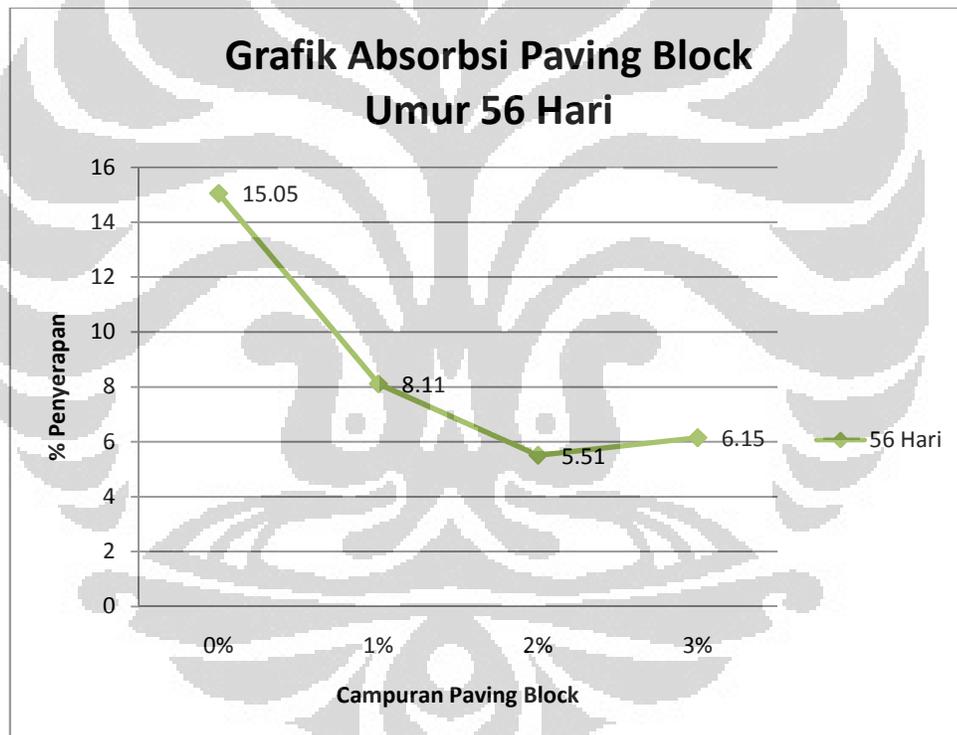
Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2475	2342	5.678906917
2	2667	2533	5.290169759
3	2342	2165	8.17551963
4	2312	2222	4.050405041
5	2214	2122	4.335532516
		Rata-rata	5.506106773

Tabel 4.43 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel paving block dengan campuran serbuk kerang 3% pada umur 56 hari

Sampel	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	% Penyerapan
1	2879	2680	7.42537
2	2531	2379	6.38924
3	2324	2212	5.06329
4	2342	2211	5.92492
5	2142	2022	5.93472
		Rata-rata	6.14751

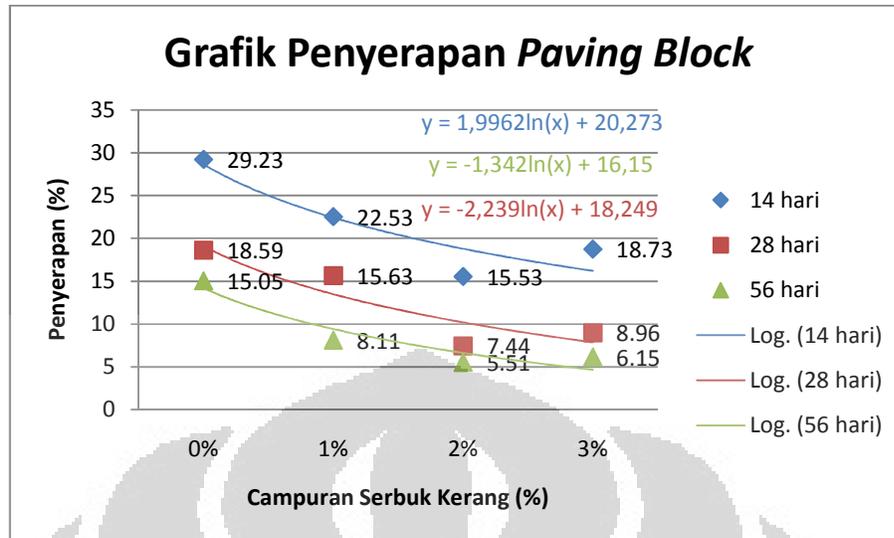
Sumber : Analisis Data

Grafik berikut adalah grafik penyerapan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 56 hari.



Gambar 4.28 Grafik penyerapan paving block pada umur 56 hari

Dan berikut ini adalah grafik histogram gabungan dari sampel *paving block* untuk semua campuran dan semua umur uji.



Gambar 4.29 Grafik penyerapan paving block dengan campuran serbuk kerang

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah campuran serbuk kerang *paving block*, semakin kecil pula absorpsi dari *paving block*. Semakin lama umur *paving block* saat diuji, absorpsi dari *paving* akan berkurang yang membuat ketahanan *paving* menjadi bertambah. Hal ini disebabkan oleh kandungan kimia semen yang semakin bereaksi dan mengikat agregat seiring dengan bertambahnya umur *paving block* sehingga absorpsi yang dihasilkan makin sedikit dari hari ke hari.

Pada campuran serbuk kerang sebesar 3 % terjadi peningkatan absorpsi dari *paving block*. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran serbuk kerang sebesar 3 % tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran dari *paving block* tersebut.

Apabila dilihat dari gambar 4.29, terjadi penurunan absorpsi yang signifikan antara *paving block* dengan campuran dan tanpa campuran. Hal ini disebabkan bahwa campuran serbuk kerang berfungsi sebagai *accelerating admixture*, dimana *accelerating admixture* adalah yaitu bahan tambahan semen yang berfungsi untuk mempercepat waktu ikat semen dan mempercepat kecepatan hidrasi semen sehingga absorpsi dari *paving block* itu semakin sedikit. Pada grafik 4.26 dapat diketahui bahwa campuran optimal untuk absorpsi dari *paving* adalah sebesar 2 %.

Nilai absorpsi yang tinggi yaitu sebesar 15.53 % yang terjadi pada umur 14 hari dikarenakan pemberian *pressing* pada *paving block* yang tidak merata ketika di pabrik sehingga masih terdapat rongga-rongga yang tidak terisi oleh agregat yang mengakibatkan penyerapan air pada *paving block* terjadi secara berlebihan.

Nilai absorpsi optimum terjadi pada campuran serbuk kerang 2 % yaitu sebesar 15.53 % pada umur 14 hari, 7.44 % pada umur 28 hari dan 5.51 % pada umur 56 hari. Apabila dilihat dari syarat mutu *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 Bata Beton, pada umur 14 hari, *paving block* tidak termasuk dari mutu yang ada. Pada umur 28 hari, *paving block* termasuk ke dalam mutu C dimana nilai absorpsi kurang dari 8 %. Sedangkan, pada umur 56 hari *paving block* termasuk ke dalam mutu B dimana nilai absorpsi kurang dari 6 %.

Dari seluruh percobaan uji kuat tekan, uji kuat lentur, dan uji absorpsi maka dapat diketahui bahwa campuran optimal untuk serbuk kerang adalah sebesar 2 %, dimana untuk uji kuat lentur dan uji kuat tekan terjadi penurunan antara campuran serbuk kerang 2 % dan 3 % sedangkan pada uji absorpsi terjadi peningkatan antara campuran serbuk kerang 2 % dan 3 %. Sedangkan, menurut SNI 03-0691-1996 Bata Beton, *Paving block* dikategorikan ke dalam mutu C apabila dilihat dari nilai kuat tekan dan absorpsi yang berarti dapat digunakan sebagai pejalan kaki.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada bab kesimpulan ini, dibuat berdasarkan uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya mengenai pemakaian agregat halus daur ulang beton dan serbuk kerang terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Kuat tekan untuk setiap variasi campuran di tes hingga benda uji berumur 28 hari. Untuk campuran kerang sebesar 0,1,2, dan 3 % didapatkan kuat tekan sebesar 11.1, 13.15, 13.94, 13.15 MPa
- b. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* dengan campuran 0 % digolongkan sebagai *paving block* dengan mutu D yang dapat digunakan sebagai taman dan pengguna lain. Sedangkan *paving block* dengan campuran 1, 2, dan 3 % digolongkan ke dalam kategori mutu C yang dapat digunakan sebagai pejalan kaki.
- c. Campuran optimum penggunaan serbuk kerang adalah sebesar 2 % untuk kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi dari *paving block*.
- d. Nilai modulus kehalusan dari pasir daur ulang beton adalah sebesar 1.934 dan pasir daur ulang beton dikategorikan masuk dalam zona 2 (agak kasar).
- e. Kuat lentur dari *paving block* pada umur 28 hari untuk campuran kerang 0,1,2, dan 3 % adalah sebesar 2.93, 5, 6.42, 4.77 Mpa. Pola retak pada uji lentur dari *paving block* terletak pada daerah momen antara dua titik beban sehingga dikatakan retak akibat momen lentur murni.
- f. Nilai absorpsi dari *paving block* pada umur 56 hari dengan campuran serbuk kerang 0, 1, 2, dan 3 % adalah sebesar 15.05 % , 8.11%, 5.51%, 6.15 % dimana dapat dikategorikan ke dalam mutu C yaitu digunakan sebagai pejalan kaki dan terjadi penurunan absorpsi dari *paving block* seiring bertambahnya umur *paving block*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan berkaitan dengan penelitian yang dilakukan ini adalah :

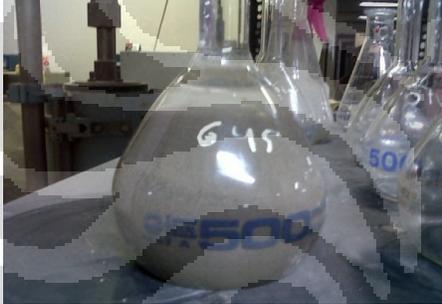
- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap *Concrete sludge waste* (CSW) sehingga didapatkan nilai persentase pemakaian yang maksimum terhadap sifat mekanik *paving block*.
- b. Penggunaan CSW yang berlebihan, akan menurunkan kuat tekan dan kuat lentur pada *paving block* sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan penggunaannya setara dengan penggunaan pasir pada *paving block*.
- c. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi penekanan yang diberikan dalam pembuatan *paving block* ini.
- d. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai campuran serbuk kerang antara 2%, 2,5 %, dan 3% untuk menentukan nilai optimum yang akurat.
- e. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang metode dari *mix design* dari *paving block* tersebut.
- f. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai komposisi dari semen dan agregat serta faktor air semen sehingga didapatkan nilai kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsi yang optimum.
- g. Perlu dilakukan penelitian terhadap keekonomisan dari penggunaan CSW ini, mengingat penggunaan CSW ternyata dapat digunakan sebagai campuran agregat halus pendamping pasir. Sehingga penggunaannya dapat dimanfaatkan oleh industri sebagai sebuah produk konstruksi secara komersial serta dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan.
- h. Jumlah pembuangan limbah beton disetiap batching plan sangat bervariasi di Indonesia, sehingga perlu ada penelitian lanjutan mengenai inovasi pemanfaatan CSW dalam dunia konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standard C39. (2005). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*. West Conshocken.
- ASTM Standard C78. (2008). *Standard Test Method for Flexure Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. West Conshocken.
- ASTM Standard C143. (2008). *Standard Test Method for Slump of Hydraulics-Cement Concrete*. West Conshocken.
- ASTM Standard C192. (2007). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. West Conshocken.
- A.Manap, dkk. 1987. Analisis Batako dan Genteng Semen sebagai Bahan Murah di DIY. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian IKIP Yogyakarta.
- Cain, Craig. J., 1994. Mineral admixture. Significance of Test and Properties of concrete and Concrete-Making Material – STP 169 C, Philadelphia, ASTM, pp.500-508.
- Claudia Müller, Eva Fitriani, Halimah, dan Ira Febriana. 2006. Modul Pelatihan Pembuatan Ubin Atau Paving Blok Dan Batako. Kantor Perburuhan International (ILO). Jakarta
- Dicky Rezady Munaf. 2005. Kajian Experimental Nilai Kuat Tarik, Permeabilitas Dan Susut Beton Daur Ulang Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 5 No. 2 Departement of Civil Engineering. ITB
- Erwin Rommel. 2005. Teknologi Pembuatan *Paving Block* dengan Material FCA (*Fine Coarse Aggregate*). *Jurnal Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah
- Mohammad Faiz Wirawan. 2008. Kajian Kekuatan Dan Analisis Biaya Beton Daur Ulang. *Journal*. Vol. XII.no.86 . 37 – 45.
- Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete*. London : Pitman Publishing Ltd.
- Pusoko Prapto. 1997. Pemanfaatan Pasir Laut untuk Keperluan Bahan Bangunan (Pembuatan Batako). *Laporan Penelitian*. Lembaga Penelitian IKIP Yogyakarta.

- SNI 03-0348-1989, Bata Beton untuk Pasangan Dinding, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- SNI 03-0691-1996, *Paving Block* (Bata Beton) , Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Suharwanto. 2005. Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang : Aspek Material Struktural. PhD Theses . Departemen of Civil Engineering. ITB. Bandung.
- Sunaryo. 1992. Batako: Terobosan Teknologi dalam Pembuatan Dinding. *Jurnal Penelitian*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian IKIP Yogyakarta.
- Young J.F., Mindess, S., Bentur, A. (editor). (1993). *The Science and Technology of Civil Engineering Material*. Prentice Hall.
- Yuli Tridawati. 2002. Pengaruh Variasi Gradasi Beton Pecah Pasca Bakar Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kekuatan Beton Daur Ulang (Recycling Concrete). journal.
- Yusa Krisnanto. 2005. Perilaku Beton Agregat Daur Ulang Terhadap Pembebanan. Journal Vol.VI. N0.6 .15:54. Departement of Civil Engineering. ITB

LAMPIRAN

	
<p>Gambar.1 Limbah Adukan Beton</p>	<p>Gambar 2. Agregat Halus Limbah Adukan Beton</p>
	
<p>Gambar.3 Berat Jenis Agregat Halus</p>	<p>Gambar 4. Sieve Analysis</p>
	
<p>Gambar 5. Berat Isi Agregat Halus</p>	<p>Gambar 6. Pengujian Saringan No.200</p>



Gambar 7. Kulit Kerang



Gambar 8. Serbuk Kerang yang Sudah Dihancurkan



Gambar 9. Mixer



Gambar 10. Proses Pengadukan Material

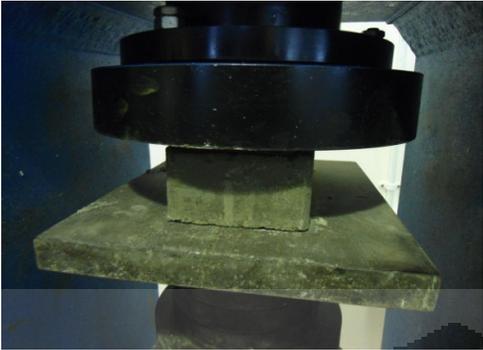
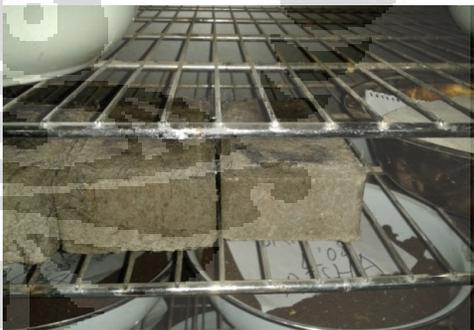


Gambar 11. Alat Hidrolik Pembuat *Paving Block*



Gambar 12. *Dial Gauge* Tekanan Alat Pemasakan *Paving Block*

	
<p>Gambar 13. Campuran <i>Paving Block</i> yang Telah Diaduk</p>	<p>Gambar 14. Campuran <i>Paving Block</i> Siap Dicetak</p>
	
<p>Gambar 15. Campuran <i>Paving Block</i> Siap Dipadatkan</p>	<p>Gambar 16. Proses Pemadatan dengan cara Pengetaran</p>
	
<p>Gambar 17. <i>Paving Block</i> yang sudah dicetak</p>	<p>Gambar 18. Pengelompokkan <i>Paving Block</i></p>

	
<p>Gambar 19. Uji Kuat Tekan</p>	<p>Gambar 20. Bongkahan <i>Paving Block</i> yang telah Diuji Kuat Tekan</p>
	
<p>Gambar 21. Uji Kuat Lentur</p>	<p>Gambar 22. Bongkahan <i>Paving Block</i> yang telah Diuji Kuat Lentur</p>
	
<p>Gambar 23. Uji Penyerapan Air (Jenuh)</p>	<p>Gambar 24. <i>Paving Block</i> pada Keadaan Kering</p>