



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SIFAT MEKANIK *PAVING BLOCK* TERBUAT DARI
CAMPURAN LIMBAH ADUKAN BETON DAN BAHAN
TAMBAHAN SERAT IJUK**

SKRIPSI

**GIWANGKARA RICKY PERDANA
0806329230**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SIFAT MEKANIK *PAVING BLOCK* TERBUAT DARI
CAMPURAN LIMBAH ADUKAN BETON DAN BAHAN
TAMBAHAN SERAT IJUK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**GIWANGKARA RICKY PERDANA
0806329230**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
BIDANG KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya Saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah Saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Giwangkara Ricky Perdana

NPM : 0806329230

Tanda Tangan : 

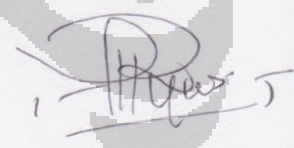
Tanggal : 22 Juni 2012

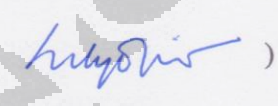
HALAMAN PENGESAHAN

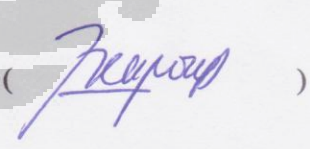
Skripsi Ini Diajukan Oleh :
Nama : Giwangkara Ricky Perdana
NPM : 0806329230
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat dari Campuran Limbah Adukan Beton dan Bahan Tambahan Serat Ijuk

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 ()

Penguji II : Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, ridho, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai syarat kelulusan Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Semoga skripsi dan penelitian yang telah dilakukan bisa berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dapat diterapkan di masyarakat, khususnya di bidang teknik sipil.

Selama proses penelitian dan penyelesaian skripsi, penulis banyak mendapatkan bantuan, baik saran, dukungan, tenaga dan materi, dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Ir. Essy Arijoeni, M.Sc, Ph.D dan Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah memberikan masukan dan pengarahan selama pembuatan skripsi.
2. Seluruh staf Laboratorium Struktur dan Material FTUI (Pak Apri, Pak Agus, Mas Soni, dll) yang telah memberikan bantuan selama proses pengujian benda uji di laboratorium.
3. Pak Abdul Karim, Mas Fikri, dan keluarga yang telah meminjamkan alat cetak *paving block* dan membantu proses pembuatan *paving block*.
4. PT Adhimix, Lenteng Agung, yang telah memberikan material berupa limbah sisa adukan beton.
5. Kedua Orang Tua ku tercinta, Papa Firdaus dan Mama Tri, serta adik-adikku, Gilang dan Galang, dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa, semangat, dan bantuan lain berupa material dan spiritual, hingga aku bisa menyelesaikan skripsi ini.
6. Annisa Ayuningtyas yang telah menemaniku dari awal hingga lulus kuliah. Terima kasih atas semua dukungan, motivasi dan semangat yang telah diberikan selama proses pembuatan skripsi ini.

7. Andre dan Rida Madya, teman seperjuangan dalam penelitian ini, yang telah berjuang bersama dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh teman-teman Departemen Teknik Sipil FTUI angkatan 2008 yang telah saling membantu dalam hal belajar, keorganisasian dan lain-lain selama hampir 4 tahun di kampus FTUI.
9. Dan seluruh sahabat dan teman yang lain, yang tidak bisa disebutkan satu per satu, atas doa dan dukungannya.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penelitian dan penulisan skripsi ini.

Depok, 22 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 : Giwangkara Ricky Perdana
NPM : 0806329230
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 BAHAN TAMBAHAN SERAT IJUK**

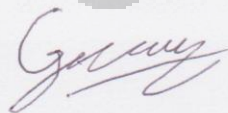
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 22 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Giwangkara Ricky Perdana)

ABSTRAK

Nama : Giwangkara Ricky Perdana
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Sifat Mekanik Paving *Block* Terbuat dari Campuran
Limbah Adukan Beton dan Bahan Tambahan Serat Ijuk

Pada proses pengadukan beton, akan menghasilkan limbah beton yang mengering pada tempat adukan dan air sisa dari adukan beton. Dari hasil limbah adukan beton tersebut, timbullah ide penelitian untuk memanfaatkan kembali limbah tersebut sebagai campuran *paving block*. *Paving block* tersebut dicampur bahan tambahan berupa serat ijuk. Parameter yang diuji adalah kuat tekan, kuat lentur dan penyerapan. Dari hasil penelitian, *paving block* tersebut memiliki kuat tekan serta kuat lentur yang rendah dan penyerapan yang tinggi. Dengan menambahkan serat ijuk ke dalam campuran, kuat tekan dan kuat lentur *paving block* tersebut dapat meningkat.

Kata kunci:

Paving block; limbah adukan beton; serat ijuk; kuat tekan; kuat lentur; penyerapan

ABSTRACT

Name : Giwangkara Ricky Perdana
Study Program: Civil Engineering
Title : Study of Mechanical Behaviours of Paving Block Made of Concrete
Sludge Waste and Palm Fiber

In the process of concrete mixing, concrete sludge waste will be produced from dry concrete and remaining water in place of concrete mixing. There is an idea to recycle concrete sludge waste as the material for paving block. That paving block will be added with palm fiber. The parameters that will be tested are compressive strength, flexural strength and absorption. As the results of research, the paving block has low compressive strength and flexural strength. But its absorption is high. By adding palm fiber into the mix, compressive strength and flexural strength of paving block can be increased.

Key words:

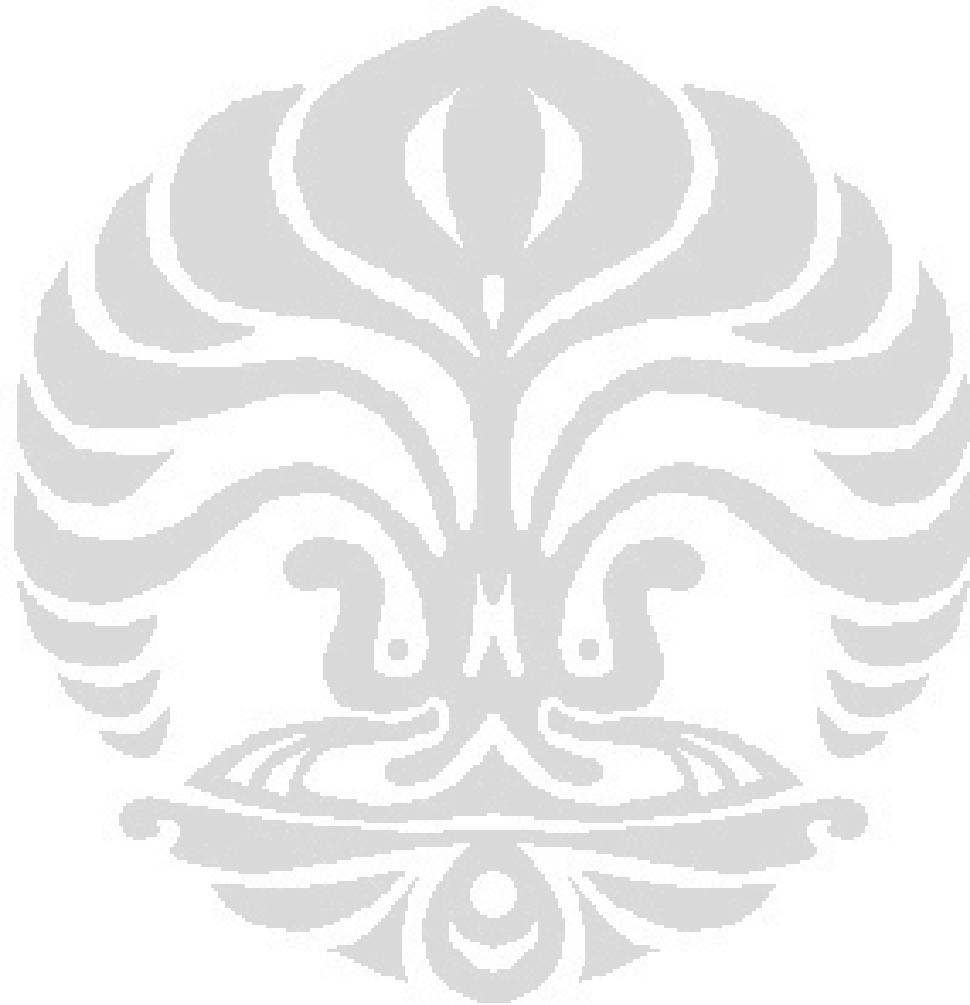
Paving block; concrete sludge waste; palm fiber; compressive strength; flexural strength; absorption

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK/ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Hipotesis.....	5
1.6. Metodologi Penelitian.....	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1. Beton Daur Ulang	7
2.2. Paving Block.....	9
2.2.1. Klasifikasi <i>Paving Block</i>	10
2.2.2. Penggunaan Agregat Daur Ulang Pada Paving Block	11
2.3. Bahan Pembentuk Paving Block.....	13
2.3.1. Semen.....	13
2.3.2. Agregat.....	15

2.3.3. Air	18
2.4. Serat Ijuk	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Pengambilan Agregat Halus Daur Ulang	22
3.2. Pengujian Agregat Halus	22
3.2.1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi	22
3.2.2. Pemeriksaan Berat Isi	24
3.2.3. Analisa Saringan	27
3.2.4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	28
3.3. Pembuatan Benda Uji <i>Paving Block</i>	30
3.3.1. Mix Design <i>Paving Block</i>	31
3.3.2. Jumlah Benda Uji <i>Paving Block</i>	33
3.3.3. Jumlah Material yang Digunakan	34
3.4. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	35
3.5. Pengujian Kuat Lentur <i>Paving Block</i>	36
3.6. Pengujian Penyerapan <i>Paving Block</i>	38
BAB 4 ANALISA HASIL PENELITIAN	39
4.1. Hasil Pengujian Agregat Daur Ulang	39
4.1.1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi	40
4.1.2. Pemeriksaan Berat Isi	41
4.1.3. Analisa Saringan	42
4.1.4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	43
4.2. Proses Pembuatan Benda Uji <i>Paving Block</i>	44
4.3. Hasil Pengujian <i>Paving Block</i>	48
4.3.1. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	49
4.3.2. Pengujian Kuat Lentur <i>Paving Block</i>	57
4.3.3. Pengujian Penyerapan <i>Paving Block</i>	67

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	80



DAFTAR TABEL

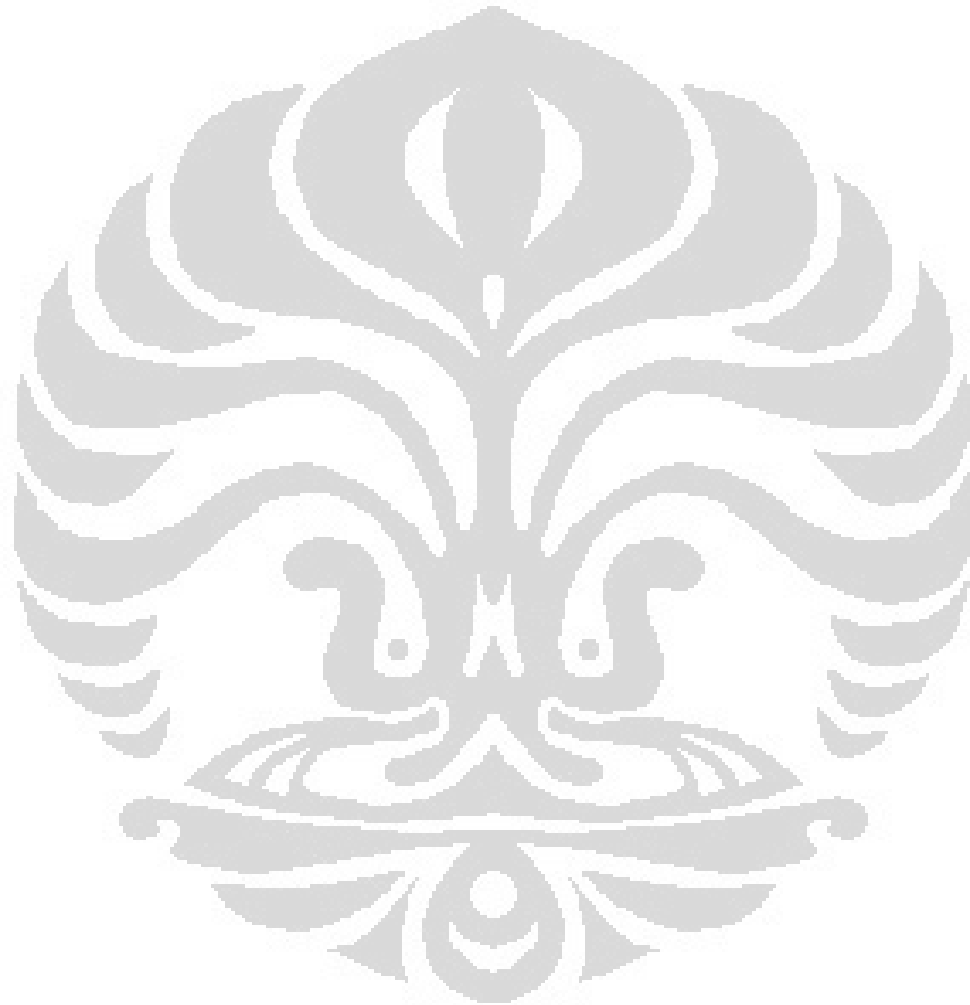
Tabel 2.1	Sifat Fisika <i>Paving Block</i> Berdasarkan Mutunya	10
Tabel 2.2	Senyawa Komponen Utama Semen	14
Tabel 3.1	Kapasitas wadah	25
Tabel 3.2	Berat contoh agregat kering minimum pada pemeriksaan bahan lewat saringan no.200	29
Tabel 3.3	Perbandingan <i>cement</i> dengan PFA dan nilai <i>average strength</i>	31
Tabel 3.4	Jumlah Benda Uji <i>Paving Block</i>	34
Tabel 4.1	Data pengujian analisa specific gravity dan absorpsi.....	40
Tabel 4.2	Hasil perhitungan pengujian analisa specific gravity dan absorpsi....	41
Tabel 4.3	Data pengujian berat isi	41
Tabel 4.4	Hasil perhitungan pengujian berat isi	42
Tabel 4.5	Data dan hasil perhitungan pengujian analisa saringan.....	42
Tabel 4.6	Data dan hasil perhitungan pemeriksaan bahan lewat saringan no.200.....	44
Tabel 4.7	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 7 hari	49
Tabel 4.8	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 7 hari	50
Tabel 4.9	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 7 hari	50
Tabel 4.10	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 7 hari	50
Tabel 4.11	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari	51
Tabel 4.12	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari	52

Tabel 4.13	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari	52
Tabel 4.14	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari	52
Tabel 4.15	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari	53
Tabel 4.16	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari	54
Tabel 4.17	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari	54
Tabel 4.18	Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari	54
Tabel 4.19	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 7 hari	59
Tabel 4.20	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 7 hari	59
Tabel 4.21	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 7 hari	60
Tabel 4.22	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 7 hari	60
Tabel 4.23	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari	61
Tabel 4.24	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari	62
Tabel 4.25	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari	62
Tabel 4.26	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari	62

Tabel 4.27	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari	63
Tabel 4.28	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari	64
Tabel 4.29	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari	64
Tabel 4.30	Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari	64
Tabel 4.31	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari	67
Tabel 4.32	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari	68
Tabel 4.33	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari	68
Tabel 4.34	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari	68
Tabel 4.35	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari	69
Tabel 4.36	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari	70
Tabel 4.37	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari	70
Tabel 4.38	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari	70
Tabel 4.39	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 49 hari	71
Tabel 4.40	Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel <i>paving block</i> dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 49 hari	72

Tabel 4.41 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 49 hari72

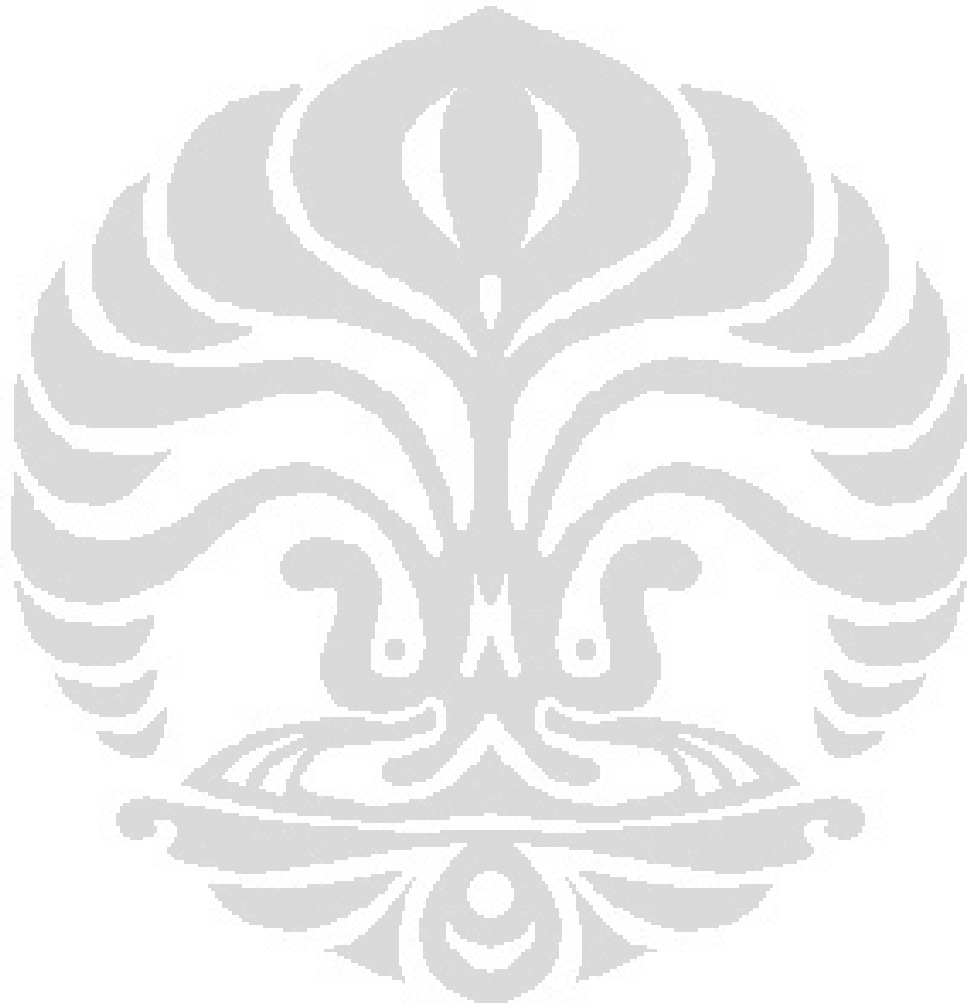
Tabel 4.42 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 49 hari72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-Macam Bentuk <i>Paving Block</i> dengan Properti Ukurannya...	11
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah-Langkah Penelitian <i>Paving Block</i> dengan Agregat Daur Ulang dan Bahan Tambahan Serat Ijuk	21
Gambar 3.2	Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Rasio Agregat Semen	33
Gambar 4.1	(a) Alat penghancur batuan, (b) Agregat halus daur ulang yang telah disaring.....	39
Gambar 4.2	Grafik analisa saringan	43
Gambar 4.3	Alat pemadatan dan cetakan <i>paving block</i>	45
Gambar 4.4	Alat pengaduk campuran	46
Gambar 4.5	Penggumpalan campuran <i>paving block</i> saat dicampur serat ijuk	46
Gambar 4.6	Campuran <i>paving block</i> yang siap dicetak	47
Gambar 4.7	Proses penekanan cetakan <i>paving block</i>	47
Gambar 4.8	<i>Paving block</i> yang telah selesai dicetak	48
Gambar 4.9	Grafik kuat tekan <i>paving block</i> pada umur 7 hari	51
Gambar 4.10	Grafik kuat tekan <i>paving block</i> pada umur 14 hari	53
Gambar 4.11	Grafik kuat tekan <i>paving block</i> pada umur 28 hari	55
Gambar 4.12	Grafik kuat tekan <i>paving block</i> dengan campuran ijuk	55
Gambar 4.13	Dimensi pelat baja pada uji lentur dengan metode <i>Third-point loading</i>	58
Gambar 4.14	Grafik kuat lentur <i>paving block</i> pada umur 7 hari.....	61
Gambar 4.15	Grafik kuat lentur <i>paving block</i> pada umur 14 hari.....	63
Gambar 4.16	Grafik kuat lentur <i>paving block</i> pada umur 28 hari.....	65
Gambar 4.17	Grafik kuat lentur <i>paving block</i> dengan campuran ijuk	65
Gambar 4.18	Grafik penyerapan <i>paving block</i> pada umur 14 hari	69

Gambar 4.19 Grafik penyerapan *paving block* pada umur 28 hari71
Gambar 4.20 Grafik penyerapan *paving block* pada umur 49 hari73
Gambar 4.21 Grafik penyerapan *paving block* dengan campuran serat ijuk.....73



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah salah satu komponen struktur yang paling sering digunakan dalam kegiatan konstruksi di Indonesia. Penggunaan beton dalam sebuah konstruksi bangunan, khususnya bangunan tingkat tinggi, sangatlah masif. Beton tersebut digunakan sebagai pondasi, kolom, balok, dan pelat lantai dalam sebuah struktur bangunan. Dalam pelaksanaan di lapangan, beton dapat dicor langsung ke dalam cetakan bekisting atau dalam bentuk beton precast.

Beton terbuat dari campuran agregat-agregat, dari batu kerikil, batu pecah, pasir halus, dan pasir kasar yang diikat dengan campuran semen dan air. Seluruh material tersebut dicampur dan diaduk menjadi satu. Saat campuran beton muda tersebut masih basah, adukan tersebut dicetak sebagai struktur dalam suatu bangunan. Kegiatan pencampuran dan pencetakan beton menjadi komponen struktur biasa disebut dengan istilah pengecoran.

Untuk skala kecil, pengadukan campuran beton dapat menggunakan alat mixer. Pada skala yang lebih kecil lagi, campuran beton dapat diaduk secara manual dengan sekop. Pada konstruksi bangunan yang besar, dibutuhkan beton dengan jumlah yang sangat banyak. Beton tersebut dicampur di tempat pengadukan beton yang dikenal dengan istilah *concrete batching plant*. Beton tersebut diantarkan ke lokasi pengecoran dengan truk mixer. Dari proses pengadukan tersebut, timbullah limbah dalam bentuk padat maupun cair.

Penggunaan beton yang masif, akan menghasilkan limbah adukan beton yang masif pula. Diperlukan prosedur yang tepat dalam membuang limbah adukan beton tersebut agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Pemanfaatan limbah adukan beton adalah salah satu cara untuk menangani limbah tersebut

agar tidak mencemari lingkungan. Pemanfaatan tersebut berupa penggunaan limbah adukan beton sebagai campuran agregat beton daur ulang.

Limbah adukan beton dalam jumlah yang masif akan lebih bermanfaat jika diolah kembali daripada dibuang percuma. Dengan pemanfaatan tersebut jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan akan semakin berkurang. Sehingga dampak negatif limbah tersebut terhadap lingkungan bisa diminimalisasikan.

Selain bisa mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah, pemanfaatan limbah adukan beton dapat mengurangi pemakaian bahan baku agregat yang digunakan. Hal ini sangat sesuai dengan pembangunan hijau yang mengedepankan proses yang hemat energi dan bahan baku yang ramah lingkungan serta tidak menghabiskan sumber daya alam yang ada.

Salah satu aplikasi penggunaan limbah beton adalah menggunakannya sebagai bahan pembuat *paving block*. *Paving block* adalah semacam bata yang terbuat dari beton yang digunakan sebagai perkerasan. Biasanya *paving block* digunakan sebagai perkerasan tempat parkir, jalanan kompleks perumahan, atau taman bermain. Untuk jalanan, *paving block* lebih diperuntukkan bagi pejalan kaki dan kendaraan dengan tingkat lalu lintas yang kecil.

Pada *paving block*, biasanya campuran beton yang digunakan adalah semen, agregat halus dan air sama seperti mortar. Biasanya campurannya tidak menggunakan agregat kasar karena *paving block* harus dalam keadaan padat saat dicetak untuk mendapatkan densitas yang tinggi. Pada pembuatan *paving block*, limbah beton dapat digunakan sebagai agregat halus daur ulang.

Salah satu bahan tambahan yang ramah lingkungan adalah serat ijuk. Serat ijuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada *paving block* untuk menaikkan kekuatan *paving block*. Karena adanya penurunan kekuatan pada *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang, serat ijuk sebagai bahan tambahan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dari *paving block*. Hal ini diharapkan

dapat membuat produk *paving block* ramah lingkungan yang terbuat dari bahan daur ulang dan bahan serat alami.

1.2. Rumusan Masalah

Dari penelitian yang dilakukan oleh Heidi Duma dan Annie Wulandari, mahasiswa teknik sipil Universitas Indonesia angkatan 2004, pada tahun 2008, beton yang menggunakan agregat daur ulang, baik kasar ataupun halus, akan mengalami penurunan kekuatan. Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wiryawan Sarjono P dan Agt. Wahjono, penggunaan serat ijuk pada campuran semen pasir dalam *paving block* akan meningkatkan kekuatan *paving block*.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), *paving block* dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam berdasarkan mutunya, yaitu:

- a. *Paving block* mutu A, digunakan untuk jalan, dengan kuat tekan rata-rata 40 MPa.
- b. *Paving block* mutu B, digunakan untuk peralatan parkir, dengan kuat tekan rata-rata 20 MPa.
- c. *Paving block* mutu C, digunakan untuk pejalan kaki, dengan kuat tekan rata-rata 15 MPa.
- d. *Paving block* mutu D, digunakan untuk taman dan penggunaan lain, dengan kuat tekan rata-rata 10 MPa.

Karena adanya penurunan kekuatan akibat penggunaan agregat daur ulang dan peningkatan kekuatan akibat penggunaan serat ijuk, timbullah pertanyaan seperti berikut:

- a. Apakah kekuatan *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang dapat memenuhi standar mutu yang berlaku, khususnya SNI?
- b. Berapakah peningkatan kekuatan pada *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang dengan bahan tambahan serat ijuk?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Paving block* menggunakan 100% agregat daur ulang tanpa agregat alami.
- b. Agregat yang digunakan hanya agregat halus tanpa agregat kasar seperti campuran mortar.
- c. Agregat daur ulang yang digunakan berasal dari limbah adukan beton, bukan limbah penghancuran beton.
- d. Standar yang akan digunakan pada *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*).
- e. Serat ijuk yang digunakan pada campuran sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4% dari berat semen dalam campuran.
- f. Parameter yang akan diuji pada benda uji adalah kuat tekan, kuat lentur, dan penyerapan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengaplikasikan beton daur ulang sebagai bahan campuran pembuat *paving block*.
- b. Membuat produk beton ramah lingkungan yang terbuat dari material daur ulang dan serat alami.
- c. Menguji kuat tekan, kuat lentur dan penyerapan *paving block* yang menggunakan bahan beton daur ulang.
- d. Menguji peningkatan kekuatan pada *paving block* yang menggunakan bahan beton daur ulang akibat penambahan serat ijuk dalam campuran *paving block*.

1.5. Hipotesis

Dengan penggunaan agregat daur ulang sebagai pengganti agregat alami pada *paving block*, kekuatan pada *paving block* akan berkurang. Dan dengan penambahan serat ijuk dapat meningkatkan kekuatan *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang. Penggunaan agregat daur ulang dan penambahan serat ijuk pada *paving block* dapat menghasilkan *paving block* mutu C, berdasarkan klasifikasi SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), dengan kuat tekan rata-rata 15 MPa.

1.6. Metodologi Penelitian

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah membuat dan menguji sampel *paving block* di laboratorium. Dari hasil pengujian tersebut, akan dianalisa data yang didapat. Selain itu, akan dilakukan studi literatur untuk membandingkan data hasil penelitian dengan teori yang ada. Juga untuk melakukan standar-standar material yang akan digunakan dan standar pengujiannya.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Pendahuluan

Bagian ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, hipotesis, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

b. Dasar Teori

Bagian ini berisi tentang teori-teori yang digunakan berdasarkan studi literatur yang sesuai dengan topik penelitian. Penjelasan ini bersumber dari buku-buku referensi, jurnal dan hasil penelitian terkait yang pernah dilakukan.

c. Metodologi Penelitian

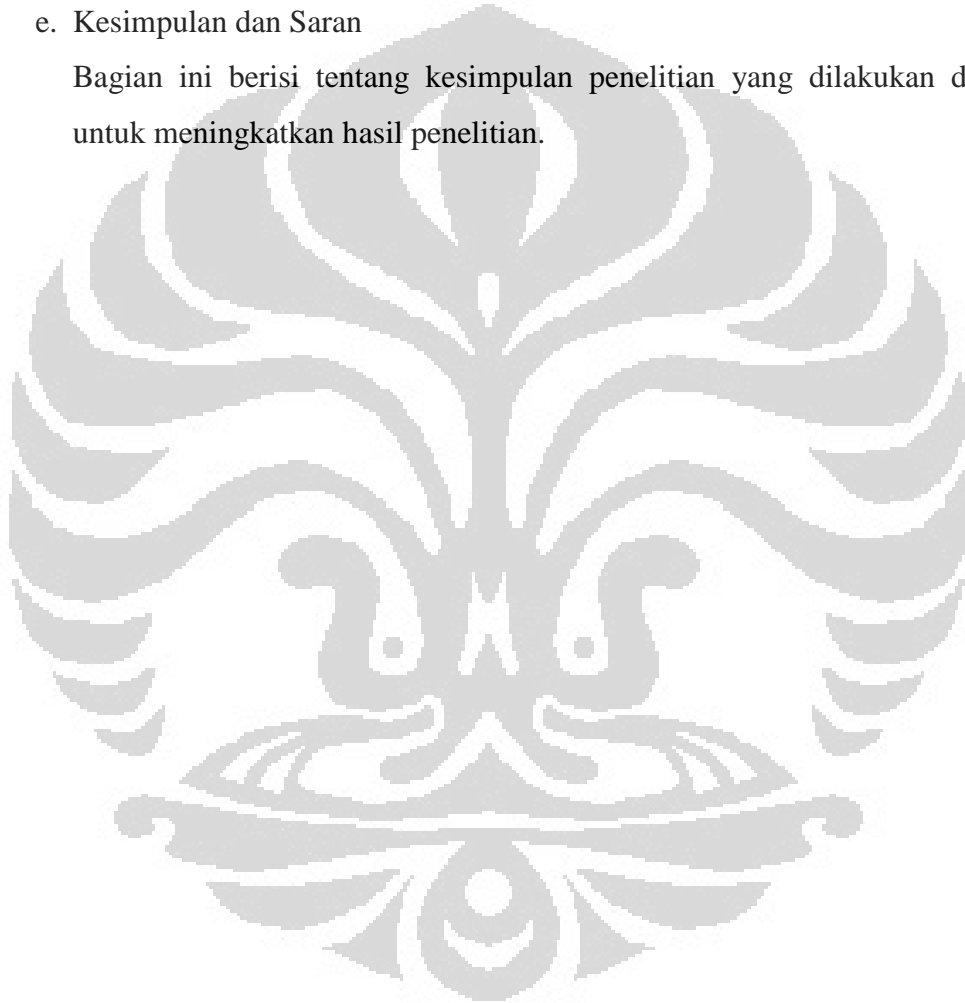
Bagian ini berisi tentang metode dan prosedur apa saja yang akan digunakan untuk mendapatkan hasil data percobaan.

d. Analisa Hasil Penelitian

Bagian ini berisi tentang data percobaan yang telah dilakukan di laboratorium dan analisa hasil percobaan dan perbandingan hasil tersebut dengan teori-teori yang digunakan.

e. Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi tentang kesimpulan penelitian yang dilakukan dan saran untuk meningkatkan hasil penelitian.



BAB 2

DASAR TEORI

2.1. Beton Daur Ulang

Beton daur ulang adalah beton yang menggunakan campuran agregat yang berasal limbah beton. Agregat yang berasal dari agregat daur ulang sudah banyak digunakan di berbagai negara dan telah diaplikasikan di banyak pekerjaan teknik sipil. Contoh dari penggunaannya adalah sebagai material perkerasan jalan, material sub-base, stabilitas tanah, peningkat kekuatan tanah dasar, berbagai macam produk beton, dan lain-lain. Limbah tersebut bisa berasal dari sisa adukan beton yang tidak terpakai dan sudah mengering atau berasal dari limbah penghancuran beton yang sudah mengeras. Kedua jenis limbah tersebut akan menghasilkan penurunan kekuatan pada beton.

Limbah penghancuran beton dapat menghasilkan tiga tipe agregat daur ulang berdasarkan RILEM (RILEM TC 121-DRG. *Specifications for concrete with recycled aggregates. Mater. Struct.* 1994;27:557–9), yaitu :

- Tipe I, yaitu agregat daur ulang yang memiliki komposisi utama berupa pecahan batu bata.
- Tipe II, yaitu agregat daur ulang yang memiliki komposisi utama berupa pecahan beton.
- Tipe III, yaitu agregat daur ulang yang memiliki komposisi campuran dari agregat daur ulang (max 20%) dan agregat alami (min 80%).

Limbah sisa beton yang sudah mengering dihancurkan dan digunakan sebagai bahan agregat pada campuran beton baru. Limbah beton tersebut bisa didapatkan dari *concrete batching plant*. Di *concrete batching plant* biasanya dihasilkan limbah-limbah beton sisa yang tidak terpakai di sebuah proyek dan sisa-sisa adukan beton yang sudah mengering.

Dalam pembentukan agregat hasil daur ulang ini mempunyai karakteristik yang berbeda dengan agregat alam. Hal ini disebabkan sudah adanya bahan pencampur lain yang terkandung pada butiran agregat tersebut, yaitu lapisan mortar yang melekat pada agregat. Lapisan mortar itu terdiri dari agregat dan pasta semen yang digunakan pada campuran beton sebelumnya. Oleh sebab itu, perlu ada pengujian terhadap agregat daur ulang untuk mengetahui karakteristik agregat tersebut. Pengujian tersebut memiliki standar dan persyaratan tertentu sesuai dengan pengujian agregat pada campuran beton. Pengujian itu dilakukan untuk menentukan apakah agregat tersebut layak digunakan sebagai campuran beton.

Dengan demikian, akan terdapat perbedaan properti pada agregat alami dan agregat daur ulang. Perbedaan tersebut antara lain adalah :

a. Berat Jenis

Agregat dari sisa campuran beton telah mengandung bahan-bahan pasta dari semen air sehingga berat jenis dari agregat ini akan berbeda dibandingkan dengan agregat alami. Hal ini akan mempengaruhi desain campuran beton yang akan digunakan. Selain itu, berat jenis dari agregat juga akan mempengaruhi berat beton atau *paving block*.

b. Penyerapan

Agregat sisa campuran beton telah mengalami penyerapan air dari campuran sebelumnya. Air telah masuk ke dalam pori-pori agregat. Air dalam pori-pori ini cenderung akan merusak agregat sehingga akan menimbulkan lebih banyak pori dan cenderung melemahkan agregat. Oleh karena itu, agregat sisa campuran ini akan memiliki tingkat penyerapan tinggi serta keawetannya akan kurang dibandingkan dengan agregat alami.

c. Gradasi

Dari segi penampilan, agregat sisa campuran beton memiliki ukuran yang bervariasi. Namun agregat tersebut mudah hancur menjadi agregat yang berukuran kecil. Oleh karena itu, sebenarnya agregat ini berukuran seragam dalam bentuk kecil.

2.2. *Paving Block*

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. *Paving block* mulai diperkenalkan di Belanda pada awal tahun 1950 untuk menggantikan perkerasan bata di jalanan (Van der Vlist 1980).

Paving block dikenal juga dengan sebutan bata beton. Pada umumnya, Agregat yang digunakan dalam campuran *paving block* adalah agregat halus berupa pasir. *Paving block* dapat berwarna seperti warna aslinya atau diberi zat warna pada komposisinya dan digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan.

Paving block dibuat dari campuran semi kering dengan rasio air semen kurang dari 0,4. Namun, tidak seperti balok beton pada bangunan, *paving block* harus dipadatkan secara penuh agar menghasilkan densitas yang lebih tinggi. Pematatan dapat dilakukan dengan proses ditekan (*pressing*) atau digetarkan (*vibrating*). Proses pembuatan *paving block* meliputi penempatan beton cair ke dalam cetakan baja. Sebelum diratakan, *paving block* digetarkan dan ditekan ($>10 \text{ N/mm}^2$). *Paving block* langsung dibuka dari cetakan begitu mengering dan dimasukkan ke dalam ruang *curing* dengan kelembaban $\geq 80\%$. Biasanya, *paving block* diberikan perawatan *curing* secara jenuh selama satu jam kemudian diberikan perawatan *curing* di udara terbuka selama 28 hari.

Biasanya *paving block* dibuat dengan cara manual. Pasir dan semen dicampur untuk bagian utama dalam dua tahap. Pertama pencampuran dilakukan dalam keadaan kering. Setelah itu, campuran ditambahkan air hingga adukan homogen dengan kondisi campuran tidak terlalu basah dan tidak terlalu kering. Adukan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan dengan pelat besi bertekanan $100\text{-}125 \text{ kg/cm}^2$ (Rut Maria BR. Ginting, 2009). *Paving block* yang dikerjakan dengan mesin dan otomatis (*preprogrammed*) hasilnya tentu lebih baik, lebih kuat dan lebih rapat dibandingkan dengan yang manual

karena adanya getaran dan pemadatan serta kontinuitas produksi yang terpercaya (Habibi Aswin, 2004).

2.2.1. Klasifikasi *Paving Block*

Dalam SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), *paving block* dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam berdasarkan mutunya, yaitu:

- e. *Paving block* mutu A, digunakan untuk jalan
- f. *Paving block* mutu B, digunakan untuk peralatan parkir
- g. *Paving block* mutu C, digunakan untuk pejalan kaki
- h. *Paving block* mutu D, digunakan untuk taman dan penggunaan lain

Ada beberapa syarat mutu yang harus dipenuhi pada sebuah *paving block*. Syarat mutu tersebut berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Syarat-syarat tersebut adalah :

a. Sifat Tampak

Paving block harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan.

b. Ukuran

Paving block harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

c. Sifat Fisika

Paving block harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti berikut:

Tabel 2.1 Sifat Fisika *Paving Block* Berdasarkan Mutunya

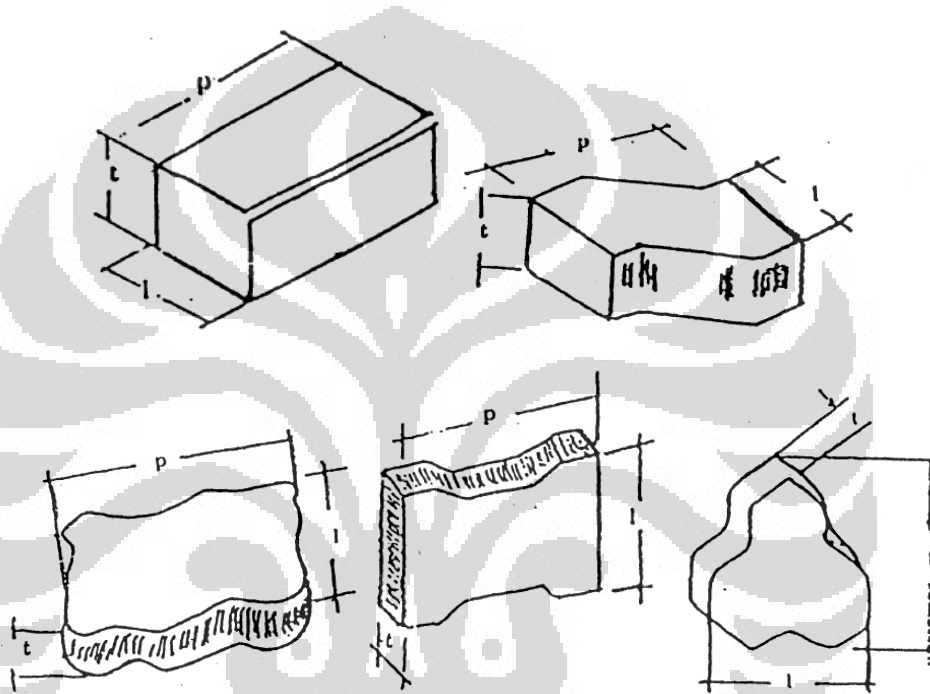
Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-Rata Maks %
	rata-rata	min	rata-rata	min	
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber : SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*)

d. Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Paving block apabila diuji dengan Natrium Sulfat tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1 %.

Pada umumnya, *paving block* memiliki ketebalan sekitar 6 cm sampai 8 cm dengan toleransi ± 2 cm untuk ukuran bidang dan ± 3 mm untuk ukuran tebal. Bentuk *paving block* bervariasi berdasarkan keperluannya.



Gambar 2.1 Macam-Macam Bentuk *Paving Block* dengan Properti Ukurannya

Keterangan: P=Panjang, L=Lebar, T=Tebal

Sumber : SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*)

2.2.2. Penggunaan Agregat Daur Ulang Pada *Paving Block*

Banyak penelitian yang membahas tentang pengaruh penggunaan agregat daur ulang pada campuran *paving block*. Penelitian tersebut telah dilakukan hampir di setiap negara. Kriteria agregat daur ulang yang digunakan pada tiap-tiap penelitian berbeda-beda. Begitu juga parameter yang diuji dalam penelitian tersebut.

Salah satu penelitian yang pernah dilakukan adalah penelitian tentang penggunaan agregat daur ulang limbah penghancuran beton sebagai produk

beton *precast, paving block*. Penelitian yang berjudul *Use of Recycled Demolition Aggregate in Precast Products, Phase II: Concrete Paving Blocks* ini dilakukan oleh Marios N. Soutsos, Kangkang Tang, dan Stephen G. Millard dari *Department of Engineering, University of Liverpool, Liverpool* pada tahun 2010. Pada penelitian tersebut, agregat daur ulang dari limbah penghancuran beton dibagi menjadi dua jenis yaitu agregat daur ulang yang terdiri dari pecahan batu bata dan agregat daur ulang yang terdiri dari pecahan beton. Campuran yang diuji, menggunakan agregat alami dan agregat daur ulang dengan jumlah yang berbeda. Parameter yang diuji pada penelitian tersebut adalah kuat tekan, kuat tarik, dan penyerapan.

Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa penurunan kekuatan, baik kuat tekan maupun kuat tarik, dengan mengganti agregat alami dengan agregat daur ulang yang terdiri dari pecahan beton relatif kecil. Kekuatannya sekitar 60% dari kekuatan standar. Sedangkan penurunan kekuatan pada paving block yang menggunakan agregat daur ulang yang terdiri dari pecahan batu bata lebih besar. Kekuatannya hanya sekitar 40% dari kekuatan standar. Sedangkan penyerapan paving block dengan kedua jenis agregat daur ulang meningkat menjadi sekitar 12% dari standarnya sekitar 6%.

Selain penelitian yang disebutkan ada lagi penelitian yang dilakukan oleh E. Dapena, P. Alaejos, A. Lobet, dan D. Pérez dari *Politechnical University of Madrid* dengan judul *Effect of Recycled Sand Content on Characteristics of Mortars and Concretes*. Pada penelitian ini, mereka menggunakan agregat halus daur ulang atau disebut juga pasir daur ulang sebagai bahan campuran mortar. Campuran hanya menggunakan agregat halus, tanpa agregat kasar, sebagai bahan campuran. Pasir daur ulang yang digunakan berasal dari penghancuran struktur beton. Mereka menggunakan pasir bersilikat, pasir kapur, dan pasir daur ulang sebagai perbandingan campuran benda uji mortar. Tipe semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen CEM I 42.5 R/SR dan semen CEM I 4.25 N/SR. Parameter yang diuji adalah kuat tekan dan kuat lentur dari mortar.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tekan mortar yang menggunakan pasir daur ulang, sebagai pengganti pasir silikat, dengan semen CEM I 42.5 R/SR berkurang sebesar 0,5 kali. Sedangkan, kuat tekan mortar yang menggunakan pasir daur ulang, sebagai pengganti pasir silikat, dengan CEM I 4.25 N/SR berkurang sebesar 0,7 kali. Dan kuat tekan mortar yang menggunakan pasir daur ulang sebagai pengganti pasir kapur berkurang sebesar 0,7 kali. Penggunaan 5 – 20% pasir daur ulang pada mortar juga menurunkan kekuatan lentur. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh efek polusi dari pasir daur ulang.

2.3. Bahan Pembentuk *Paving Block*

2.3.1. Semen

Semen adalah sebuah material dengan properti yang bersifat adesif dan kohesif yang membuatnya dapat mengikat mineral menjadi satu kesatuan. Untuk tujuan konstruksi, semen digunakan untuk mengikat material yang digunakan seperti batu, pasir, bata, dan lain-lain.

Dalam dunia konstruksi, semen yang sering digunakan adalah jenis semen Portland atau biasa disebut Portland Cement (PC). Nama ini diambil dari suatu daerah di Inggris yang memiliki batuan kapur berwarna sama dengan semen. Semen Portland terdiri dari komposisi utama berupa kapur, silika, alumina dan besi oksida.

Proses pembuatan semen secara garis besar terdiri dari penghancuran bahan baku, mencampur bahan tersebut menjadi satu kesatuan dengan proporsi tertentu dan membakarnya di sebuah tempat pembakaran berputar dengan temperatur sekitar 1400 °C dan bahan-bahan tersebut sebagian menyatu menjadi bola-bola yang disebut klinker. Klinker tersebut didinginkan dan ditumbuk menjadi bubuk halus, dengan ditambahkan gipsum.

Seperti yang disebutkan di atas, semen memiliki komposisi utama berupa kapur, silika, alumina dan besi oksida. Senyawa-senyawa tersebut

berinteraksi satu dengan yang lain di dalam tempat pembakaran membentuk sebuah produk yang lebih kompleks, dan, terpisah dari residu kecil dari kapur yang tidak tercampur yang tidak memiliki cukup waktu untuk bereaksi, akibat dari kesetimbangan kimia yang telah tercapai. Namun, kesetimbangan tidak didapat dari proses pendinginan dan tingkat pendinginan dapat mempengaruhi derajat pengkristalan dan keberadaan amorf material pada klinker yang didinginkan. Properti dari amorf material tersebut sangat berbeda dengan senyawa kristalisasi dari komposisi kimia yang sama secara nominal.

Empat senyawa yang biasanya dianggap sebagai komponen utama semen adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Senyawa Komponen Utama Semen

Nama Senyawa	Komposisi Oksida	Singkatan
Tricalcium silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium aliminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3S
Tetracalcium aliuminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Sumber : *Properties of Concrete*, Neville AM (1990)

Notasi singkatan ini digunakan oleh para ahli kimia semen untuk mendeskripsikan tiap oksida dengan satu huruf, $\text{CaO} = \text{C}$; $\text{SiO}_2 = \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$; dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$. Selain itu, H_2O pada semen terhidrasi dinotasikan dengan huruf H.

Semen Portland yang diproduksi di Indonesia dibagi menjadi lima jenis, yaitu tipe I, II, III, IV, dan V. Perbedaan dari kelima jenis semen tersebut adalah untuk mencapai tujuan atau target bangunan tertentu. Tipe-tipe semen yang digunakan di Indonesia, adalah sebagai berikut :

- a) Semen Tipe I, adalah semen yang paling sering digunakan untuk bangunan dan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan tertentu seperti jenis yang lainnya.

- b) Semen Tipe II, merupakan modifikasi semen tipe I dengan maksud untuk meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah. Semen jenis ini biasanya digunakan untuk bangunan yang terletak di daerah dengan tanah berkadar sulfat rendah. Semen ini memiliki kandungan C_3A yang rendah.
- c) Semen Tipe III, adalah semen yang cepat mengeras. Beton yang menggunakan semen tipe ini akan cepat mengeras. Kekuatan yang dicapainya dalam 24 jam setara dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Dan dalam 3 hari kekuatan tekannya akan setara dengan kekuatan tekan beton dengan semen biasa dalam 28 hari. Semen ini memiliki kandungan C_3A yang tinggi.
- d) Semen tipe IV, merupakan semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Semen ini memiliki kandungan C_3S dan C_3A yang rendah.
- e) Semen tipe V, biasanya digunakan untuk melindungi terhadap korosi akibat air laut, air danau, air tambang, maupun pengaruh garam sulfat pada air tanah. Semen tipe ini memiliki resistansi terhadap sulfat yang lebih baik dibanding semen tipe II.

2.3.2. Agregat

Agregat adalah material pengisi beton. Agregat biasanya berupa batuan dan pasir yang saling terikat oleh semen dan mengisi rongga-rongga dalam beton. Sebesar $\pm 70\%$ material pembentuk beton adalah agregat. Oleh sebab itu kualitas agregat sangat menentukan kualitas beton. Agregat juga digunakan sebagai bahan pengisi pada *paving block*.

Ukuran agregat yang digunakan pada campuran beton biasanya bervariasi dari ± 10 mm hingga lebih kecil lagi. Ukuran agregat yang digunakan harus bergradasi baik dari yang paling besar hingga yang paling kecil. Dalam penggunaannya, agregat dibagi menjadi agregat kasar dan agregat halus.

Agregat kasar yang digunakan dalam beton biasanya berupa batu pecah atau kerikil. Batuan tersebut memberikan kekuatan pada beton untuk menahan beban struktur. Agregat kasar akan mengisi bagian dalam beton dan terikat satu sama lain dengan semen. Agregat kasar memiliki ukuran minimal atau lebih besar dari 5 mm atau 3/16 in dan tertahan saringan no.4 ASTM.

Agregat halus yang digunakan dalam beton biasanya berupa pasir. Pasir tersebut akan mengisi rongga-rongga kosong di antara agregat kasar dalam beton. Hal ini akan membuat beton menjadi padat dan tidak terjadi rongga kosong dalam beton. Agregat halus memiliki ukuran yang tidak lebih besar dari 5 mm atau 3/16 in dan lolos saringan no.4 ASTM.

Berdasarkan sumber dan proses pembuatannya, agregat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu agregat mineral alam dan agregat mineral buatan. Agregat mineral alam adalah agregat yang langsung digunakan dari alam, misalnya pasir dan kerikil. Sedangkan agregat mineral buatan adalah agregat yang didapat dari hasil penghancuran batu induk, seperti pasir buatan dan batu pecah.

Beberapa karakteristik agregat sebagai bahan campuran beton yang perlu diketahui adalah :

a) Berat Jenis

Berat jenis pada agregat terdapat tiga macam, yaitu :

- *Absolute Specific Gravity*, yaitu perbandingan antara berat agregat dalam keadaan kering dengan air murni yang sama dengan volume agregat. Termasuk volume pori-pori yang tidak tembus air dan tidak termasuk volume pori-pori kapiler yang dapat terisi air.
- *Saturated Surface Dry (SSD)*, yaitu perbandingan antara berat agregat pada keadaan jenuh kering muka dengan berat air murni yang sama dengan volume agregat. Termasuk volume pori-pori yang tidak tembus air dan tidak termasuk volume pori-pori kapiler yang dapat terisi air.

- *Apparent Specific Gravity*, yaitu perbandingan antara berat agregat dalam keadaan kering mutlak dengan berat air murni yang sama dengan volume agregat termasuk seluruh pori-pori yang terkandung di dalamnya.

Pengujian berat jenis agregat dilakukan dengan standar ASTM C 128-04.

b) Berat Isi

Berat isi adalah massa agregat dibagi volume agregat. Pengujian berat isi agregat dilakukan dengan standar ASTM C 29/29M-97.

c) Rongga Udara (*Void*)

Rongga udara menggambarkan jumlah udara yang terdapat pada spasi partikel agregat.

d) Penyerapan Air (*Absorption*)

Penyerapan air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dari kering mutlak menjadi keadaan SSD. Penyerapan air dipengaruhi oleh banyaknya pori, diameter pori, serta kontinuitas pori. Agregat yang memiliki porositas tinggi, lubang pori yang besar dan lubang porinya menerus penyerapannya akan tinggi. Agregat dengan tingkat penyerapan yang tinggi akan memiliki daya rekat dengan semen yang tinggi. Tetapi, makin tinggi penyerapannya akan membuat mineral mudah larut dalam air. Pengujian penyerapan pada agregat dilakukan berdasarkan standar ASTM C 128-04, dilakukan bersamaan dengan pengujian berat jenis agregat.

e) Gradasi

Gradasi adalah proporsi dari partikel yang didistribusikan pada range-range ukuran tertentu. Gradasi dapat diperoleh dengan menggunakan analisa saringan. Modulus kehalusan adalah angka yang diperoleh dengan menjumlahkan persen tertahan setiap saringan dibagi 100. Modulus kehalusan agregat biasanya berkisar antara 2,0 – 4,0. Semakin besar nilai modulus kehalusan menunjukkan bahwa butiran agregat semakin kasar. Dan sebaliknya makin kecil nilai modulus kehalusan menunjukkan bahwa

butiran agregat semakin halus. Gradasi agregat pada campuran beton didapat dari uji analisa saringan agregat dengan standar ASTM C 136-05.

2.3.3. Air

Air diperlukan sebagai bahan pembentuk beton dan mortar untuk hidrasi semen dan membasahi butiran-butiran agregat agar mempermudah proses pencampuran bahan beton. Air juga dibutuhkan untuk reaksi pengikatan pada beton. Selain itu, air digunakan untuk masa perawatan beton setelah pengecoran. Beton yang telah jadi akan direndam dalam air atau disiram secara berkala. Proses perawatan tersebut dikenal dengan istilah curing.

Dalam perhitungan campuran beton atau *paving block*, perbandingan jumlah air dan jumlah semen sangat berpengaruh dengan kekuatan dan proses pencampuran beton. Perbandingan tersebut dikenal dengan sebutan *water-cement ratio* (W/C). Perbandingan tersebut dinyatakan dalam jumlah berat air (kg) dibagi jumlah berat semen (kg) dalam adukan beton. Semakin sedikit air yang digunakan, semakin besar kekuatan beton tetapi semakin sulit dalam proses pencampuran. Sedangkan semakin besar air yang digunakan, semakin kecil kekuatan beton tetapi akan semakin mempermudah dalam proses pencampuran.

Kualitas air perlu diperhatikan karena kandungan kotoran yang ada di dalamnya akan mempengaruhi mutu beton dan mengurangi kekuatan beton. Selain dilakukan pemeriksaan visual dalam kejernihannya, perlu dilakukan pemeriksaan mengenai kandungan bahan-bahan perusak seperti asam, alkali, bahan-bahan organik, dan lain-lain. Secara umum, air yang baik digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

2.4. Serat Ijuk

Ijuk merupakan bahan alami yang dihasilkan oleh pangkal pelepah enau (*arenga pinnata*) yaitu sejenis tumbuhan bangsa palma. Serabut ijuk biasa dipintal sebagai tali (tali ijuk), sapu atau dijadikan atap, selain itu dalam konstruksi bangunan ijuk digunakan sebagai lapisan penyaring (*filter*) pada sumur resapan. Ijuk mempunyai sifat awet dan tidak mudah busuk baik dalam keadaan terbuka (tahan terhadap cuaca) maupun tertanam dalam tanah. Ijuk mempunyai kemampuan tarik yang cukup sehingga diharapkan dapat mengurangi retak dini maupun akibat beban. Ijuk juga memiliki sifat yang lentur dan tidak mudah rapuh. Selain itu ijuk juga tahan terhadap genangan asam termasuk genangan air laut yang mengandung garam.

Serat ijuk yang memuaskan diperoleh dari pohon yang sudah tua, tetapi sebelum tandan (bakal) buah muncul (sekitar umur 4 tahun), karena saat tandan (bakal) buah muncul ijuk menjadi kecil-kecil dan jelek. Ijuk yang dihasilkan pohon aren mempunyai sifat fisik diantaranya : berupa helaian benang berwarna hitam, berdiameter kurang dari 0,5 mm, bersifat kaku dan ulet sehingga tidak mudah putus (Supatmi, 2011).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Randing (1995), serat ijuk dapat menambahkan kekuatan pada pembuatan genteng beton. Serat ijuk yang digunakan sebanyak 1–2 % dari berat semen. Hal ini membuat peningkatan kekuatan lentur sebesar 12–16 % dan mengatasi sifat regas dari genteng beton.

Selain itu, ada penelitian yang dilakukan oleh Wiryawan Sarjono dan Agt. Wajono (2008) yang menggunakan serat ijuk pada *paving block*. Parameter yang diuji pada penelitian tersebut adalah kuat tarik belah, kuat desak, dan ketahanan kejut. Serat ijuk yang digunakan pada penelitian tersebut dipotong-potong dengan ukuran sebesar $\pm 2,5$ cm. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa penambahan ijuk sampai 4 % (dari berat semen) mampu memperbaiki *performance* campuran semen-pasir. Peningkatan *performance* campuran lebih lanjut, dapat dilakukan dengan menambah jumlah semen namun akan berdampak pada biaya produksi.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penambahan serat ijuk sebagai campuran beton, khususnya *paving block*, yaitu :

a) Ketersediaan ijuk

Ijuk merupakan produk pertanian sehingga ketersediaannya di alam selalu dapat diperbaharui, yang berarti proses penyediaannya tidak merusak lingkungan. Disamping itu ijuk hanya merupakan produk sampingan dari pohon enau sehingga memiliki nilai ekonomis. Kendala yang dihadapi apabila ijuk akan dijadikan serat adalah proses pabrikasinya yang masih dikerjakan secara manual dan memakan waktu.

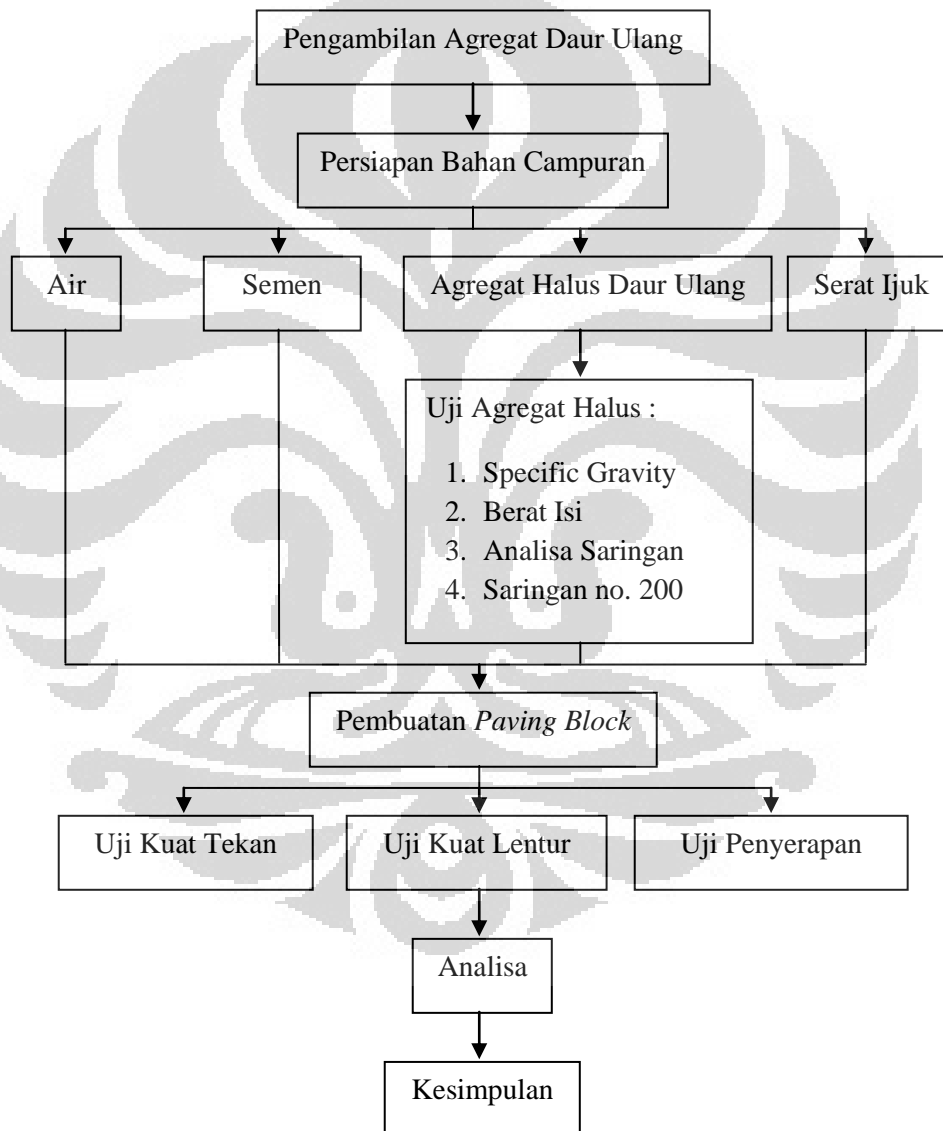
b) Teknik pencampuran

Dari penelitian terdahulu dapat dikatakan bahwa makin banyak jumlah serat yang ditambahkan dalam adukan beton, akan menurunkan kelecakan (*workability*) dari adukan tersebut. Di lain pihak penambahan serat dalam adukan beton akan mampu memperbaiki beberapa sifat mekanik beton. Hal ini tentunya juga berlaku bagi penambahan ijuk ke dalam campuran semen-pasir pada *paving block*.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan langkah-langkah berdasarkan diagram alur sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-Langkah Penelitian *Paving Block* dengan Agregat Daur Ulang dan Bahan Tambahan Serat Ijuk
Sumber : Pengolahan Data

3.1. Pengambilan Agregat Halus Daur Ulang

Agregat halus daur ulang yang akan digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah adukan beton yang sudah mengeras di *concrete batching plant*. Limbah yang akan digunakan berasal dari *concrete batching plant* PT Adhimix. Limbah tersebut berupa bongkahan-bongkahan adukan beton yang sudah mengeras. Limbah tersebut akan dihancurkan dan ditumbuk untuk mendapatkan butiran-butiran yang halus dan digunakan sebagai agregat halus. Sebelum digunakan, agregat tersebut akan diuji terlebih dahulu untuk mengetahui properti agregat daur ulang tersebut.

3.2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat daur ulang untuk menggantikan pasir sebagai agregat halus alami. Agregat daur ulang tersebut telah mengalami proses *setting* dan properti agregat tersebut telah berubah akibat adanya ikatan dengan semen. Oleh sebab itu, diperlukan pengujian untuk mengetahui properti agregat daur ulang untuk menentukan komposisi yang efektif pada penelitian. Pengujian ini juga bertujuan untuk membandingkan properti agregat daur ulang dengan agregat alami. Pengujian yang perlu dilakukan pada agregat halus adalah sebagai berikut :

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

3.2.1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 128-04.

A. Tujuan Percobaan

Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton.

B. Peralatan

- Neraca timbangan dengan kepekaan 0,1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg
- Piknometer kapasitas 500 gram
- Cetakan kerucut pasir
- Tongkat pemadat (*Tamper*) dari logam untuk cetakan kerucut pasir
- Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $[110\pm 5]^{\circ}\text{C}$.

C. Bahan

Agregat halus 1000 gram [2 x 500 gram], diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

D. Prosedur

1. Agregat disaring melalui saringan No.4.
2. Dikeringkan di ruangan terbuka (diangin-anginkan) selama satu hari.
3. Agregat halus diuji hingga didapat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan cara agregat halus dimasukkan ke dalam *metal sand cone mold* lalu dipadatkan dengan tongkat pemadat selama 25 kali tumbukan. Kondisi SSD didapat jika cetakan diangkat agregat halus runtuh atau longsor.
4. Sebanyak 500 gram agregat halus dimasukkan kedalam piknometer kemudian ditambahkan air hingga 90% kapasitas piknometer.
5. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.
6. Piknometer diendapkan selama satu hari.
7. Ditimbang piknometer yang telah diendapkan, didapat bobot piknometer berisi benda uji (agregat halus) dan air.

8. Benda uji (agregat halus) dikeluarkan dari piknometer, lalu dikeringkan dalam oven selama satu hari.
9. Ditimbang piknometer berisi air, didapatkan bobot piknometer berisi air.
10. Ditimbang benda uji yang telah dikeringkan dalam oven, didapat bobot benda uji (*oven dry*).

E. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)} = \frac{A}{B + 500 - C} \dots\dots(3.1)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} \dots\dots(3.2)$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{A}{B + A - C} \dots\dots(3.3)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{500 - A}{A} \times 100 \dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

A = Berat dari benda uji *oven dry* (gram)

B = Berat dari piknometer berisi air (gram)

C = Berat dari piknometer berisi benda uji dan air (gram)

3.2.2. Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 29/29M-97

A. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat halus.

B. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0.1% berat contoh
- Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat

- Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
- Mistar perata [*straight edge*].
- Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut:

Tabel 3.1 Kapasitas wadah

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal wadah minimum (mm)		Ukuran butir maksimum (mm)
			Dasar	Sisi	
2,832	152,4 \pm 2,5	154,9 \pm ,5	5,08	2,54	12,7
9,435	203,2 \pm 2,5	292,1 \pm 2,5	5,08	2,54	25,4
14,158	254,0 \pm 2,5	279,4 \pm 2,5	5,08	3,00	38,1
28,316	355,6 \pm 2,5	284,4 \pm 2,5	5,08	3,00	101,6

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton, Laboratorium Struktur dan Material FTUI (2008)

C. Bahan

Agregat halus sebanyak kapasitas wadah yang telah dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}$ C sampai berat tetap.

D. Prosedur

- Berat Isi Lepas
 1. Timbang dan catat berat wadah (w_1).
 2. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 5. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

- Berat isi padat agregat dengan butir maksimum 38,1 mm (1 ½”) dengan cara Penusukan
 1. Timbang dan catat berat wadah (w_1).
 2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
 3. Ratakan permukaan benda uji dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2).
 4. Hitung berat uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
- Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1 ½”) sampai 101,6 mm (4”) dengan cara penggoyangan
 1. Timbang dan catat berat wadah (w_1).
 2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 3. Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut :
 - i. Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu isinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan.
 - ii. Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
 4. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 5. Timbang dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2).
 6. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

E. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan:

V = Isi Wadah (dm^3)

A = Bulk Specific Gravity Agregat (kg/dm^3)

B = Berat Isi Agregat (kg/dm^3)

W = Berat Isi Air (kg/dm^3)

3.2.3. Analisa Saringan

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 136-05

A. Tujuan Percobaan

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

B. Peralatan

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dari berat uji
- Satu set saringan : No. 4 ; No. 8 ; No. 16 ; No. 30 ; No. 50 ; No. 100 ; No. 200 [Standar ASTM]
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $[110 \pm 5] ^\circ\text{C}$
- Alat pemisah contoh [*Sample Splitter*]
- Mesin penggetar saringan
- Talam-talam
- Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya

C. Bahan

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

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

D. Prosedur

1. Sediakan agregat halus sebanyak 500 gram.
2. Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu $[110 \pm 5]^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
3. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan susunan ukuran No.8, 16, 30, 50, 100, 200, pan. Kemudian saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Timbang agregat halus yang tertahan di setiap saringan.

E. Perhitungan

Menghitung persentase berat benda uji yang tertahan pada tiap saringan terhadap berat benda uji total. Lalu menghitung persentase berat benda uji lolos pada tiap saringan terhadap benda uji total dan akumulasinya.

3.2.4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 117-04.

A. Tujuan Percobaan

Menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no. 200 dengan cara pencucian.

B. Peralatan

- Saringan no. 16 dan no. 200.
- Wadah pencucian benda uji berkapsitas cukup besar sehingga pada waktu diguncang-guncangkan benda uji dan atau air tidak tumpah.
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $[110 \pm 5]^{\circ}\text{C}$.
- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.
- Talam berkapsitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.

C. Bahan

- Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai tabel berikut :

Tabel 3.2 Berat contoh agregat kering minimum pada pemeriksaan bahan lewat saringan no.200

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, Laboratorium Struktur dan Material FTUI (2008)

- Persiapan benda uji :
 1. Masukkan contoh agregat lebih kurang 1,25 kali berat benda uji ke dalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu $[110 \pm 5]$ °C sampai berat tetap.
 2. Siapkan benda uji dengan berat $[w_1]$ sesuai tabel di atas

D. Prosedur

1. Masukkan benda uji ke dalam wadah, dan diberi air secukupnya hingga benda uji terendam.
2. Tuang air rendaman di dalam wadah sambil menahan dengan saringan no. 16 dan no.200 (saringan no.16 berada diatas no.200) agar agregat yang ikut tertuang dapat tertampung.
3. Cuci masing-masing agregat yang tertahan di kedua saringan bergantian hingga air cucian bersih.

4. Setelah itu masukkan semua agregat yang telah bersih ke dalam wadah dan oven dengan suhu $[110 \pm 5]$ °C sampai berat tetap.
5. Kemudian timbang agregat dan catat beratnya.
6. Hitung berat bahan kering tersebut $[w_4 = w_3 - w_2]$

E. Perhitungan

$$\text{Jumlah bahan lewat saringan No. 200} = \frac{W_1 - W_4}{W_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :

W_1 = Berat benda uji semula (gram)

W_4 = Berat benda uji tertahan saringan No. 200 (gram)

3.3. Pembuatan Benda Uji *Paving Block*

Paving block yang akan diuji pada penelitian ini berukuran panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tebal 8 cm. Campuran pada benda uji tersebut akan menggunakan jumlah perbandingan semen agregat halus sebesar 1 : 4,5. Agregat halus yang digunakan adalah 100 % agregat daur ulang. Campuran ini tidak menggunakan agregat kasar sama sekali. Pada campuran juga akan ditambahkan serat ijuk sebesar 0 %, 2 %, 3 %, dan 4 % dari berat semen. Serat ijuk diperoleh dengan mengurai pangkal pelepah enau sehingga berwujud serat. Serat ijuk tersebut dipotong-potong sepanjang $\pm 2,50$ cm (Wiryawan Sarjono dan Agt. Wajono, 2008).

Pembuatan benda uji *paving block* membutuhkan proses pemadatan saat mencetak campuran ke dalam cetakan. Pemadatan bisa dilakukan dengan proses ditekan (*pressing*) atau digetarkan (*vibrating*). Pada penelitian ini, metode pemadatan akan menggunakan metode *pressing*.

Karena penggunaan agregat halus daur ulang sebagai pengganti pasir, kekuatan dari benda uji *paving block* tersebut akan berkurang. Oleh sebab itu, target mutu *paving block* yang dibuat dari agregat halus daur ulang adalah *paving block* mutu C berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). *Paving block* mutu C adalah *paving block* yang diperuntukkan sebagai perkerasan

jalanannya bagi pejalan kaki. Kuat tekan rata-rata dari paving block mutu C tersebut adalah 15 MPa.

3.3.1. Mix Design Paving Block

Mix design *paving block* yang digunakan pada penelitian ini mengikuti cara dari jurnal berjudul *Mix Design for Concrete Block Paving* oleh A.J. Dowson dari S. Marshall & Sons Ltd, UK. Mix design ini dihitung berdasarkan standar BS, *British Standards Institute*. Langkah-langkah perhitungan mix design *paving block* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai *compressive strength*

Nilai *compressive strength* ditentukan oleh perbandingan jumlah kandungan semen dan PFA (*Pulverized Fuel Ash*) dalam campuran. PFA atau abu terbang adalah limbah yang dihasilkan dari energi listrik dan dapat mempercepat pengerasan dari beton tersebut dan berpengaruh untuk penambahan kekuatan beton pada umur yang tua. Untuk menentukan nilai *compressive strength* dibutuhkan tabel perbandingan semen dengan PFA dan nilai kekuatan rata-ratanya (*average strength*) sebagai berikut :

Tabel 3.3 Perbandingan *cement* dengan PFA dan nilai *average strength*

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

Sumber : *Mix Design for Concrete Block Paving*, A.J. Dowson

Pada penelitian ini, PFA tidak digunakan atau dengan kata lain nilai kandungan semen dalam campuran adalah 100%. Pada tabel di atas, untuk nilai semen 100% didapat nilai *average compressive strength* sebesar 60 MPa.

2. Menentukan nilai *characteristic strength*

Characteristic strength adalah kekuatan yang diperoleh yang diperkirakan besarnya akan berkurang dari nilai kekuatan rata-rata. Hal ini disebabkan karena adanya kemungkinan kekuatan yang didapat lebih kecil dari kekuatan yang telah ditentukan. Nilai *characteristic strength* ditentukan dari perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Characteristic strength} = \text{Average strength} - (k \times SD) \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

k = konstanta produk yang cacat.

SD = Standar deviasi untuk paving block

Besar nilai k adalah 1,64 yang merepresentasikan 5% cacat dari produk. Sedangkan nilai SD, jika tidak tersedia, adalah sebesar $3,5 \text{ N/mm}^2$ untuk paving block yang menggunakan mesin bertekanan tinggi dan 7 N/mm^2 untuk mesin vibrasi.

Pada penelitian ini, akan digunakan mesin bertekanan tinggi sehingga nilai SD sebesar $3,5 \text{ N/mm}^2$. Jadi, didapat nilai *characteristic strength* sebesar:

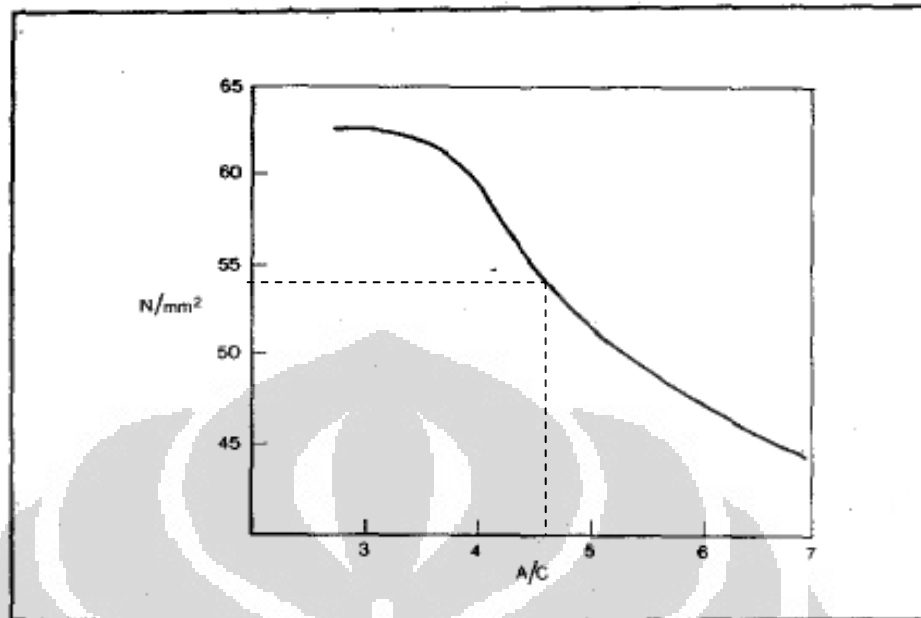
$$\text{Characteristic strength} = 60 - (1,64 \times 3,5) = 54,26 \text{ MPa}$$

3. Menentukan *water content*

Pada jurnal *Mix Design for Concrete Block Paving* disebutkan bahwa nilai *water content* biasanya berkisar antara 5 – 7 %. Tapi pada umumnya di Indonesia, *paving block* menggunakan air sebanyak W/C (*water cement ratio*) kurang dari 0,4. Dan pada penelitian ini jumlah air yang akan digunakan didapatkan berdasar nilai W/C sebesar 0,3.

4. Menentukan *cement content*

Cement content didapat dari nilai *characteristic strength* dan ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan antara kuat tekan dengan rasio agregat semen.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Rasio Agregat Semen

Sumber : *Mix Design for Concrete Block Paving*, A.J. Dowson

Dengan nilai *characteristic strength* sebesar 54,26 MPa, dari grafik didapat nilai rasio semen agregat sebesar 1 : 4,5.

3.3.2. Jumlah Benda Uji *Paving Block*

Benda uji *paving block* akan diuji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Uji kuat lentur pada umur 14 hari dan 28 hari. Dan uji penyerapan pada umur 28 hari dan 49 hari. Masing-masing benda uji berjumlah 3 buah untuk uji tekan, 3 buah untuk uji lentur, dan 3 buah untuk uji penyerapan. Benda uji akan disiapkan dengan variasi kandungan serat ijuk dalam campuran yaitu sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4% dari total berat semen yang digunakan. Berikut ini adalah tabel jumlah benda uji *paving block* yang akan dibuat.

Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji *Paving Block*

No	Kadar Serat Ijuk	Jumlah Benda Uji Kuat Tekan	Jumlah Benda Uji Kuat Lentur	Jumlah Benda Uji Penyerapan
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 (49 hari)
2	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 (49 hari)
3	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 (49 hari)
4	4%	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 (49 hari)
Jumlah		60 Buah	60 Buah	60 Buah

Sumber : Pengolahan Data

3.3.3. Jumlah Material yang Digunakan

Perbandingan semen dan agregat pada paving block adalah perbandingan berat. Rata-rata berat paving block dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm adalah sekitar 3 kg.

Perbandingan berat semen dan agregat, dengan rasio semen agregat 1 : 4,5, dalam benda uji adalah sebagai berikut :

$$\text{Semen} = 1/5,5 \times 3 \text{ kg} = 0,545 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat} = 4,5/5,5 \times 3 \text{ kg} = 2,455 \text{ kg}$$

Jumlah *paving block* untuk tiap campuran adalah 45 buah, sehingga berat semen dan agregat yang dibutuhkan untuk tiap campuran adalah :

$$\text{Semen} = 0,545 \text{ kg} \times 45 \text{ buah} = 24,525 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat} = 2,455 \text{ kg} \times 45 \text{ buah} = 114,525 \text{ kg}$$

Dan jumlah air yang digunakan untuk tiap campuran, dengan nilai W/C sebesar 0,3 adalah :

$$\text{Air} = 24,525 \text{ kg} \times 0,3 = 7,3575 \text{ kg}$$

Sehingga total semen, agregat dan air yang digunakan untuk 180 buah sampel *paving block* adalah :

$$\text{Semen} = 24,525 \text{ kg} \times 4 = 102,1 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat} = 114,525 \text{ kg} \times 4 = 458,1 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 7,3575 \text{ kg} \times 4 = 29,43 \text{ kg}$$

Berat serat ijuk yang digunakan adalah 0%, 2%, 3%, dan 4% dari berat semen. Sehingga jumlah serat ijuk yang dibutuhkan untuk tiap campuran yaitu sebesar:

$$\text{Serat Ijuk : } 0\% \rightarrow 24,525 \text{ kg} \times 0\% = 0 \text{ kg}$$

$$2\% \rightarrow 24,525 \text{ kg} \times 2\% = 0,51048 \text{ kg}$$

$$3\% \rightarrow 24,525 \text{ kg} \times 3\% = 0,76572 \text{ kg}$$

$$4\% \rightarrow 24,525 \text{ kg} \times 4\% = 1,02096 \text{ kg}$$

3.4. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan, f_c' , dari benda uji *paving block*. Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan berdasarkan standar SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Benda uji ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan penekanan, dari mulai pemberian beban sampai contoh uji hancur, diatur dalam waktu 1 sampai 2 menit. Arah penekanan pada benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban di dalam pemakaiannya.

Peralatan

- Mesin Uji Tekan (*Compressive Strength Testing Machine*) Beton

Prosedur

1. Benda uji ditimbang beratnya dan diukur dimensinya.
2. Benda uji diletakkan pada alat uji tekan dengan sisi atas dan sisi bawah harus rata dan berada pada posisi sentris.
3. Pembebanan dilakukan perlahan-lahan secara kontinu dengan mesin hidrolis sampai benda uji mengalami kehancuran. Penambahan beban yang dilakukan konstan $\pm 2 - 4 \text{ kg/cm}^2$ tiap detik.

4. Beban maksimum yang ditunjukkan oleh jarum pengukur pada alat uji tekan dicatat.

Perhitungan

Perhitungan nilai kuat tekan dari benda uji dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan:

f_c' = Kuat tekan benda uji (MPa)

P = Beban maksimum (N atau kN)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

3.5. Pengujian Kuat Lentur Paving Block

Pengujian kuat lentur dilakukan berdasarkan standar ASTM C 78 – 94 dengan metode *Third-Point Loading*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah benda uji.

Peralatan

- Mesin Uji Tekan (*Compressive Strength Testing Machine*) Beton
- Pelat baja yang dimodifikasi sedemikian rupa sebagai perletakan dan titik pembebanan agar tercipta kondisi *Third-Point Loading*.

Prosedur

1. Benda uji yang sudah mengalami proses perawatan dan sudah mengeras disiapkan dan diukur dimensinya.
2. Benda uji diletakkan pada alat penguji kuat lentur. Benda uji harus diletakkan di tengah antara kedua perletakan.
3. Beban diberikan pada dua titik dengan jarak antara kedua titik tersebut adalah $1/3$ bagian dari perletakan ($L/3$).
4. Pembebanan dilakukan secara tetap dan berkesinambungan tanpa ada beban kejat sampai keruntuhan terjadi.

5. Besar beban maksimum yang terjadi dicatat untuk perhitungan.

Perhitungan

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

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

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

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)

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{3Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(3.10)$$

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)

3.6. Pengujian Penyerapan *Paving Block*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya nilai penyerapan air yang bisa diserap oleh benda uji *paving block*. Uji penyerapan ini dilakukan berdasarkan standar SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Nilai penyerapan air dinyatakan dalam persentase berat air yang diserap dibandingkan berat benda uji. Semakin besar nilai persentase, semakin besar jumlah air yang dapat diserap benda uji *paving block*.

Peralatan

- Bak perendam benda uji
- Oven pengering

Prosedur

1. Siapkan lima buah benda uji dan timbang berat benda uji.
2. Lima buah benda uji tersebut direndam di dalam bak perendam selama 24 jam hingga keadaan jenuh.
3. Benda uji tersebut ditimbang dalam keadaan basah. Catat berat benda uji dalam keadaan basah.
4. Benda uji dikeringkan di dalam oven selama kurang lebih 24 jam pada suhu ± 105 °C. Timbang kembali benda uji pada keadaan kering setelah dioven.
5. Berat penimbangan setelah dioven pada dua kali penimbangan selisihnya tidak lebih dari 0,2 % dari berat sebelum direndam.

Perhitungan

Nilai penyerapan air dihitung sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A - B}{B} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji dalam keadaan jenuh (kg)

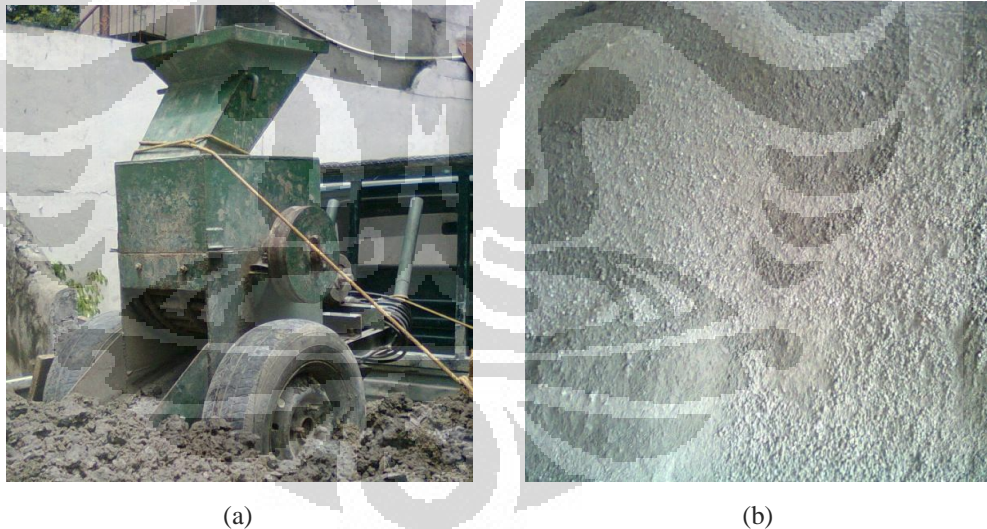
B = Berat benda uji dalam keadaan kering (kg)

BAB 4

ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus Daur Ulang

Agregat halus daur ulang yang akan digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah adukan beton pada *concrete batching plant* PT Adhimix di Lenteng Agung. Limbah yang diambil masih dalam bentuk seperti lumpur dengan beberapa bongkahan-bongkahan beton yang sudah mengering. Sebelum dihancurkan, limbah tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari. Limbah yang sudah mengering dan mengeras dihancurkan dengan alat penghancur batuan. Limbah yang sudah dihancurkan disaring untuk mendapatkan agregat halus atau pasir daur ulang. Berikut ini adalah foto alat penghancur dan agregat halus daur ulang yang telah dihancurkan dan disaring.



Gambar 4.1 (a) Alat penghancur batuan, (b) Agregat halus daur ulang yang telah disaring

Sumber : Dokumentasi Peneliti

Foto-foto bahan-bahan dasar yang lain dan proses persiapannya dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 1 – 2.

Sebelum menggunakan agregat halus atau pasir daur ulang tersebut, dilakukan beberapa pengujian terhadap agregat tersebut, yaitu :

- e. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus (ASTM C 128-04)
- f. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C 29/29M-97)
- g. Analisa Saringan Agregat Halus (ASTM C 136-05)
- h. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 (ASTM C 117-04)

Langkah-langkah pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM masing-masing pengujian, yang telah disampaikan pada Metodologi Penelitian. Perhitungan untuk pengolahan data juga dilakukan berdasarkan ASTM masing-masing pengujian. Dokumentasi pengujian-pengujian tersebut dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 3 – 4. Berikut ini adalah hasil pengujian-pengujian tersebut.

4.1.1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi

Berikut ini adalah tabel data dari pengujian analisa specific gravity dan absorpsi agregat halus daur ulang.

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 : Pengolahan 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
<i>SSD</i>	$\frac{500}{B + 500 - C}$	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 : Pengolahan Data

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa penyerapan air agregat daur ulang tersebut cukup tinggi dengan nilai sebesar 23,1527 %.

4.1.2. Pemeriksaan Berat Isi

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 : Pengolahan 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 : Pengolahan Data

4.1.3. Analisa Saringan

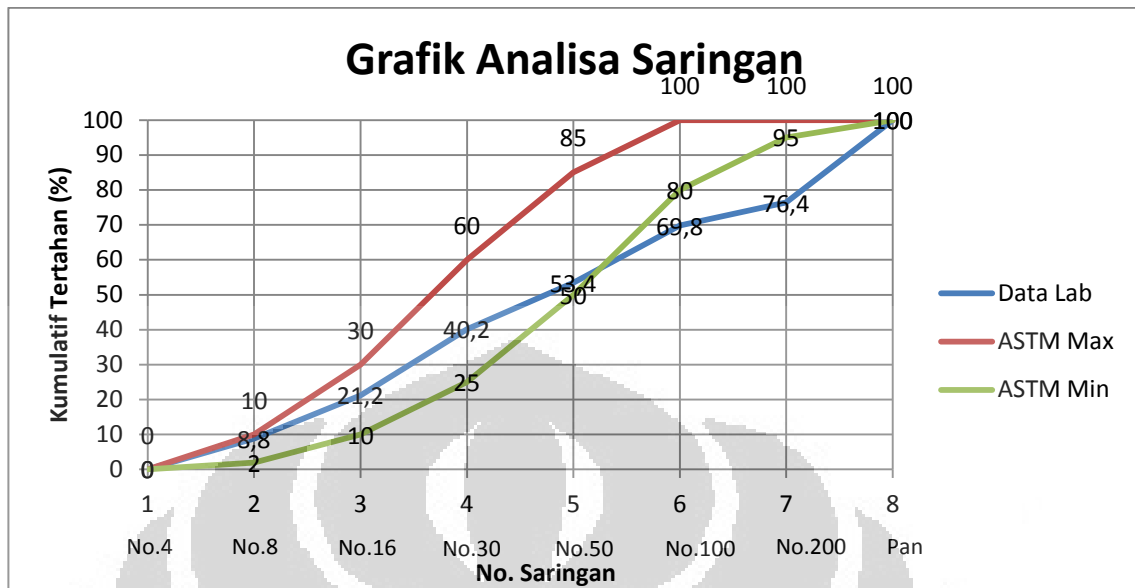
Berikut ini adalah tabel data dan hasil perhitungan dari pengujian analisa saringan agregat halus daur ulang.

Tabel 4.5 Data dan hasil perhitungan pengujian analisa saringan

No Saringan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lewat
4	0	0	0	100
8	44	8,8	8,8	91,2
16	62	12,4	21,2	78,8
30	95	19	40,2	59,8
50	66	13,2	53,4	46,6
100	82	16,4	69,8	30,2
200	33	6,6	76,4	23,6
Pan	118	23,6	100	0
Total	500	100		
Fineness Modulus		1,934		

Sumber : Pengolahan Data

Dan berikut ini adalah grafik persentase kumulatif sampel tertahan di setiap no saringan.



Gambar 4.2 Grafik analisa saringan

Sumber : Pengolahan Data

Dari perhitungan tersebut didapat nilai fineness modulus sebesar 1,934.

Nilai fineness modulus didapat dari perhitungan sebagai berikut :

$$FM = \frac{\sum (no.4 - no.100)}{100} \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

FM = Fineness modulus

$\Sigma (no.4 - no.100)$ = Persentase kumulatif sampel yang tertahan dari saringan no.4 sampai no.100

Dengan nilai fineness modulus sebesar 1,934, menandakan bahwa butiran-butiran dari sampel agregat halus tersebut tergolong sangat halus.

4.1.4. 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 4.6 Data dan hasil perhitungan pemeriksaan bahan lewat saringan no.200

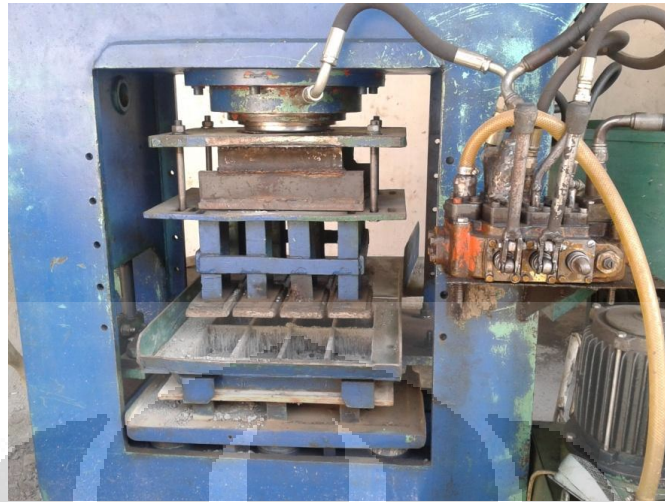
Berat Benda Uji Semula	500 gram
Berat Benda Uji Tertahan Saringan No.200	421 gram
% Lewat Saringan No.200	17,6 %

Sumber : Pengolahan Data

Dari hasil perhitungan, agregat yang larut dan lolos melewati saringan no.200 adalah sebesar 17,6% dari 500 gram. Berdasarkan standar ASTM C 117 – 04, persentase jumlah bahan yang lewat saringan No. 200 menurut standar deviasi adalah 0,15%, namun masih bisa diperbolehkan sampai 0,43% untuk agregat halus. Jadi, agregat halus dari limbah beton tersebut tidak sesuai dengan standar ASTM.

4.2. Proses 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. 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 kgf/cm². Pembuatan *paving block* dilakukan di Jl. Joe no.38 RT 002 RW 003, Jagakarsa, Lenteng Agung. Perhitungan campuran yang digunakan sama seperti yang telah disampaikan pada Metodologi Penelitian, dengan menggunakan perbandingan berat semen agregat sebesar 1 : 4,5 dan nilai W/C sebesar 0,3. Dokumentasi proses pembuatan *paving block* dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 5 – 9.



Gambar 4.3 Alat pemadatan dan cetakan *paving block*

Sumber : Dokumentasi Peneliti

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 serat ijuk, serat ijuk dimasukkan sebelum memasukan air ke dalam alat pengaduk. Sebelum dimasukkan ke dalam campuran, serat ijuk dipotong-potong dengan panjang sekitar $\pm 2,5$ cm. Campuran yang mengandung serat ijuk akan lebih menggumpal dibandingkan yang tanpa serat ijuk. Adukan *paving block* tersebut terlihat lebih mengikat satu sama lain saat diaduk. Gumpalan pada adukan campuran itu akan mempengaruhi kelecakan pada adonan *paving block*. Hal tersebut akan mempersulit dalam proses pencetakan dan pemadatan *paving block*.



Gambar 4.4 Alat pengaduk campuran

Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 4.5 Penggumpalan campuran *paving block* saat dicampur serat ijuk

Sumber : Dokumentasi Peneliti

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. Bila tekanan yang diberikan kurang besar, *paving block* akan menjadi kurang padat.



Gambar 4.6 Campuran *paving block* yang siap dicetak

Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 4.7 Proses penekanan cetakan *paving block*

Sumber : Dokumentasi Peneliti

Setelah selesai dicetak, *paving block* diangkat dari mesin pemadatan. *Paving block* dibiarkan mengering beberapa jam lalu dilakukan proses *curing*

secara jenuh dengan cara menyiram *paving block* dengan air yang cukup banyak. Setelah kering, *paving block* didiamkan pada kondisi kering udara sampai umur uji siap dilakukan.



Gambar 4.8 *Paving block* yang telah selesai dicetak

Sumber : Dokumentasi Peneliti

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 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. Semua pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material FTUI, Depok. Dan berikut ini adalah hasil pengujian-pengujian tersebut.

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:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan:

f_c' = Kuat tekan benda uji (MPa)

P = Beban maksimum (N atau kN)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Langkah-langkah pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan sesuai dengan yang telah disampaikan pada Metodologi Penelitian. Dokumentasi proses pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 10 (a) dan (b).

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

- Umur 7 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan kuat tekan sampel *paving block* pada umur 7 hari.

Tabel 4.7 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 0%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2810	16,78	200	8,39
2	2722	17,66	200	8,83
3	2567	16,82	200	8,41
4	2681	20,29	200	10,145
5	2527	15,1	200	7,55
Rata-Rata				8,665

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.8 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 2%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2443	25,5	200	12,75
2	2101	24,05	200	12,025
3	2036	23,25	200	11,625
4	2189	22,5	200	11,25
5	2112	23,5	200	11,75
Rata-Rata				11,88

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.9 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 3%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2979	24,42	200	12,21
2	2938	27,31	200	13,655
3	3108	26,76	200	13,38
4	2907	28,38	200	14,19
5	2741	30,42	200	15,21
Rata-Rata				13,729

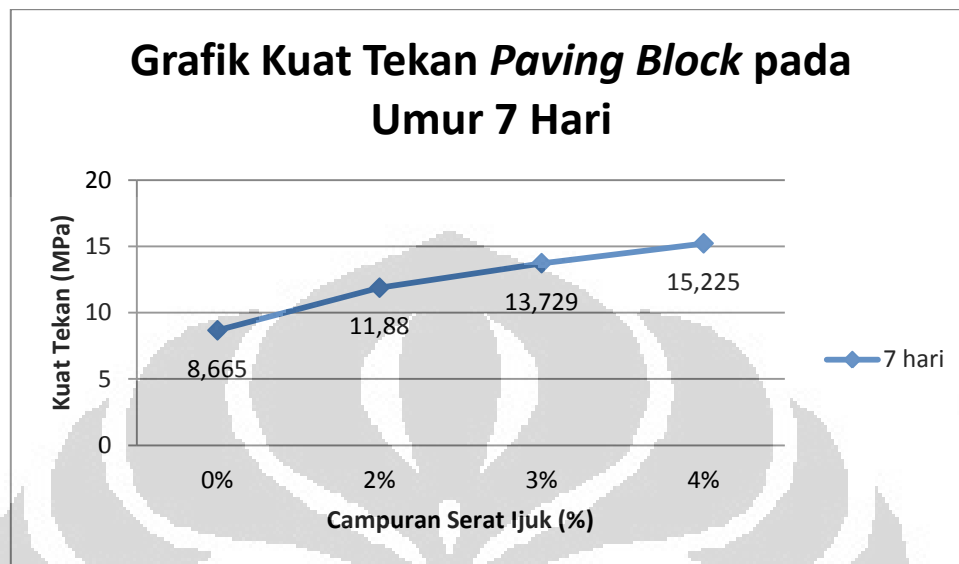
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.10 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 4%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2484	32,5	200	16,25
2	2485	30,25	200	15,125
3	2489	32,75	200	16,375
4	2630	29,5	200	14,75
5	2489	27,25	200	13,625
Rata-Rata				15,225

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.9 Grafik kuat tekan *paving block* pada umur 7 hari

Sumber : Pengolahan Data\

- Umur 14 hari

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

Tabel 4.11 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 0%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2858	25	200	12,5
2	2274	18	200	9
3	2869	20,75	200	10,375
4	2673	19,25	200	9,625
5	2732	23,75	200	11,875
Rata-Rata				10,675

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.12 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 2%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2645	21,5	200	10,75
2	2178	22,75	200	11,375
3	2315	27,5	200	13,75
4	2432	28,5	200	14,25
5	2354	26,25	200	13,125
Rata-Rata				12,65

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.13 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 3%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2467	31,5	200	15,75
2	2813	26,25	200	13,125
3	2570	27,25	200	13,625
4	2631	30,5	200	15,25
5	2689	32	200	16
Rata-Rata				14,75

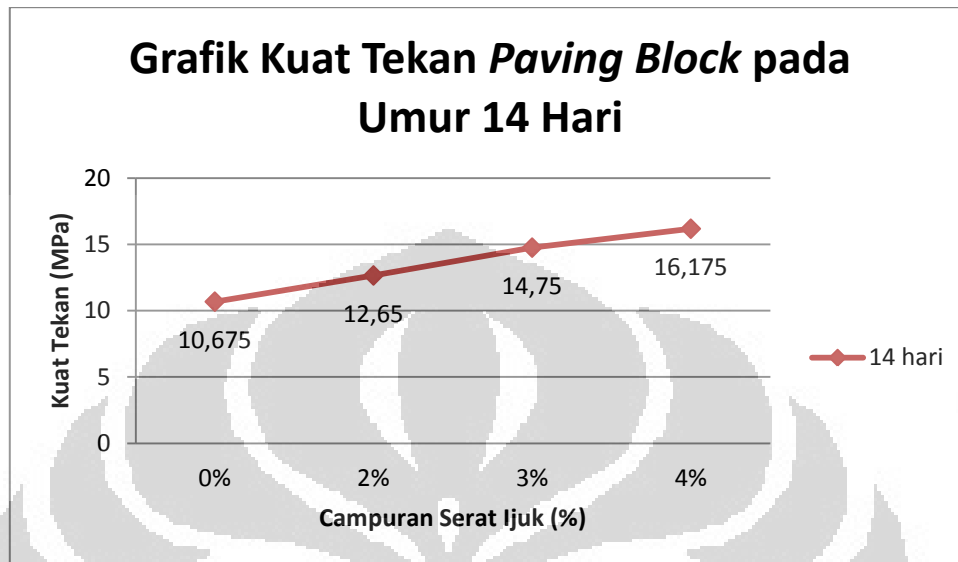
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.14 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 4%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2312	32,5	200	16,25
2	2686	32	200	16
3	2643	31	200	15,5
4	2578	33,25	200	16,625
5	2473	33	200	16,5
Rata-Rata				16,175

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.10 Grafik kuat tekan *paving block* pada umur 14 hari

Sumber : Pengolahan Data

- Umur 28 hari

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

Tabel 4.15 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 0%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2396	18,7	200	9,35
2	2435	23,5	200	11,75
3	2520	18,25	200	9,125
4	2562	24,25	200	12,125
5	2458	26,5	200	13,25
Rata-Rata				11,12

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.16 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 2%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2474	25,75	200	12,875
2	2504	27	200	13,5
3	2299	32,5	200	16,25
4	2457	33	200	16,5
5	2389	31,5	200	15,75
Rata-Rata				14,975

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.17 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 3%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2737	34,5	200	17,25
2	2961	29,75	200	14,875
3	2659	33,25	200	16,625
4	2863	35,25	200	17,625
5	2792	34	200	17
Rata-Rata				16,675

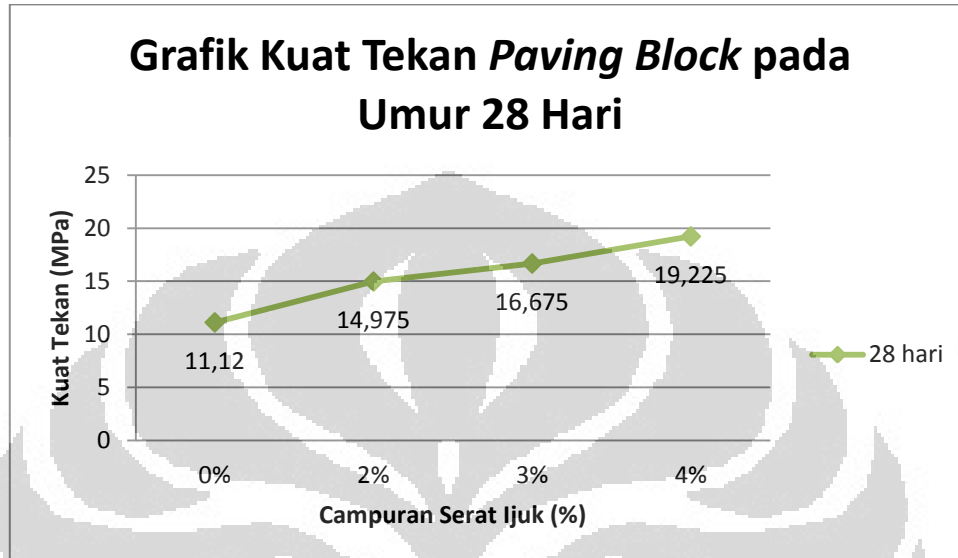
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.18 Data dan hasil perhitungan uji tekan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 4%				
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Luas Alas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	2305	37,75	200	18,875
2	2648	38,75	200	19,375
3	2441	38,25	200	19,125
4	2583	39	200	19,5
5	2486	38,5	200	19,25
Rata-Rata				19,225

Sumber : Pengolahan Data

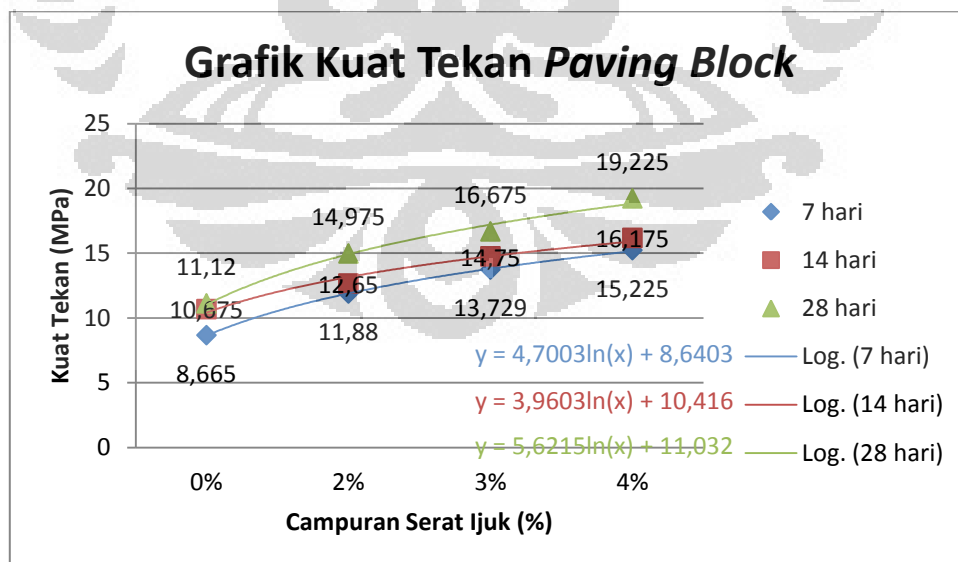
Grafik berikut adalah grafik kuat tekan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 28 hari.



Gambar 4.11 Grafik kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.12 Grafik kuat tekan *paving block* dengan campuran ijuk

Sumber : Pengolahan Data

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah campuran serat ijuk, 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*. Kondisi fisik *paving block* menjadi semakin keras karena seiring dengan bertambahnya umur *paving block*.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), *paving block* dengan campuran serat ijuk sebesar 4%, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 19,225 MPa, dapat dimasukkan ke dalam kategori mutu B. Dan *paving block* dengan campuran serat ijuk sebesar 3% dan 2%, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 16,675 dan 14,975 MPa, dapat dimasukkan ke dalam kategori Mutu C. Sedangkan yang tanpa menggunakan campuran serat ijuk, hanya bisa dikategorikan sebagai Mutu D dengan kuat tekan rata-rata sebesar 11,1 MPa.

Penggunaan agregat daur ulang dari limbah adukan beton menghasilkan *paving block* yang kuat tekannya rendah. Kuat tekan rata-rata *paving block* tersebut adalah 11,9375 MPa. Mutu *paving block* yang menggunakan agregat halus daur ulang dari limbah beton hanya bisa dikategorikan ke dalam Mutu D, dengan kuat tekan rata-rata 10 MPa dan kuat tekan minimal 8,5 MPa.

Sesuai dengan studi literatur yang telah dilakukan, serat ijuk dapat meningkatkan kekuatan dari *paving block*. Pada penelitian ini, semakin banyak jumlah serat ijuk yang dimasukkan dalam campuran, semakin besar kuat tekan *paving block*. Dengan penggunaan serat ijuk pada *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang, mutu kuat tekan *paving block* tersebut dapat bertambah dari mutu D menjadi mutu C, bahkan mutu B. Persentase peningkatan kuat tekan *paving block* tanpa serat ijuk dan dengan

campuran serat ijuk sebesar 2%, 3% dan 4% untuk setiap umur uji dapat dilihat pada Lampiran, Tabel 1 – 3.

Namun, bila persentase serat ijuk ditambah lebih banyak lagi, akan mempengaruhi kelecakan dan mempersulit dalam proses pencetakan *paving block*. Selain itu, massa serat ijuk sangat ringan. Sehingga semakin bertambah berat serat ijuk, jumlah serat ijuk yang digunakan bisa melebihi jumlah campuran yang akan dibuat. Hal ini akan membuat proses pencetakan *paving block* tidak bisa menjadi padat.

4.3.2. Pengujian Kuat Lentur *Paving Block*

Paving block diuji kuat lentur pada umur 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:

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(4.3)$$

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{3Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(4.4)$$

Keterangan:

R = Modulus runtuh (MPa)

P = Beban maksimum (N atau kN)

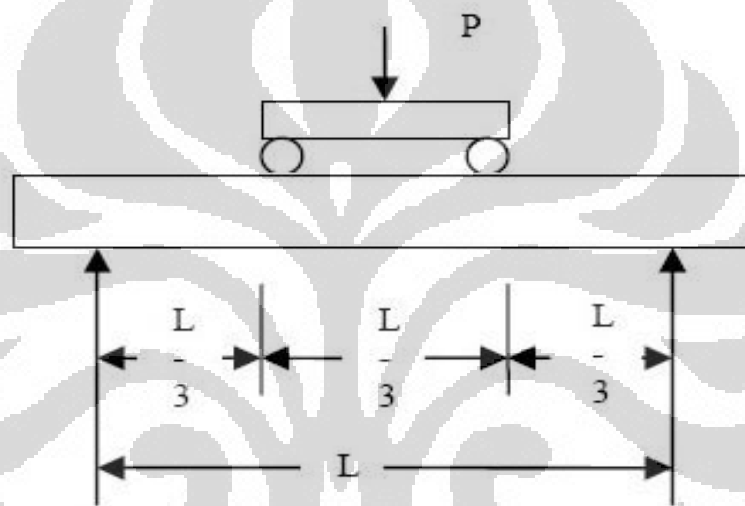
l = Panjang bentang (mm)

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 4.13 Dimensi pelat baja pada uji lentur dengan metode *Third-point loading*

Sumber : <http://www.roklinsystems.com/images/u/site/air-force-fig1.jpg>

Langkah-langkah pengujian kuat lentur *paving block* dilakukan sesuai dengan yang telah disampaikan pada Metodologi Penelitian. Dokumentasi proses pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 11 (a) dan (b).

Karena semua sampel patah pada bagian tengah, *modulus of rupture* dihitung dengan perhitungan Rumus 4.3. Contoh perhitungan *modulus of rupture* dari *paving block*, dengan data-data di atas, adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{(6000 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm})}{(100 \text{ mm} \cdot (80 \text{ mm})^2)} = 1,40625 \text{ MPa}$$

Dengan cara yang sama, semua *modulus of rupture* dihitung menggunakan Microsoft Excel dan data disajikan dalam tabel.

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 4.19 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2576	0,6	1,40625
2	2412	0,75	1,7578125
3	2398	0,375	0,87890625
4	2543	0,5	1,171875
5	2479	0,425	0,99609375
Rata-Rata			1,2421875

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.20 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2467	1	2,34375
2	2378	1,25	2,9296875
3	2690	0,875	2,05078125
4	2518	0,725	1,69921875
5	2591	1,1	2,578125
Rata-Rata			2,3203125

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.21 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2802	1,325	3,10546875
2	2767	2	4,6875
3	2903	1,5	3,515625
4	2887	1,75	4,1015625
5	2716	1,25	2,9296875
Rata-Rata			3,66796875

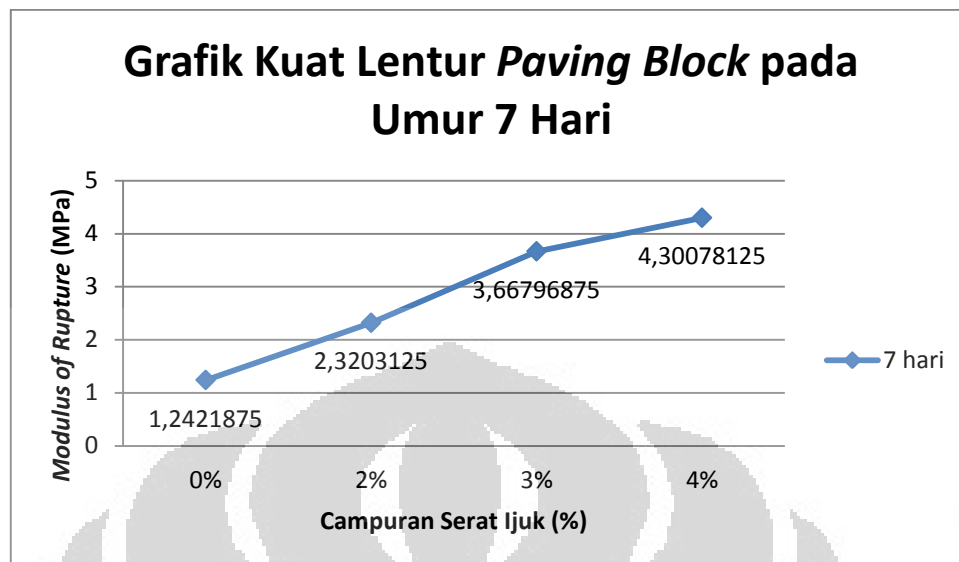
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.22 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 7 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2478	1,6	3,75
2	2412	1,725	4,04296875
3	2389	2,1	4,921875
4	2410	1,9	4,453125
5	2343	1,85	4,3359375
Rata-Rata			4,30078125

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.14 Grafik kuat lentur *paving block* pada umur 7 hari

Sumber : Pengolahan Data

- Umur 14 hari

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

Tabel 4.23 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2418	1	2,34375
2	2500	0,825	1,93359375
3	2281	0,5	1,171875
4	2231	1,25	2,9296875
5	2523	2,25	5,2734375
Rata-Rata			2,73046875

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.24 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2587	0,85	1,9921875
2	2166	2	4,6875
3	2797	2,125	4,98046875
4	2211	1,625	3,80859375
5	2203	2,5	5,859375
Rata-Rata			4,265625

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.25 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2764	1,6	3,75
2	2979	1,85	4,3359375
3	2925	2,05	4,8046875
4	2980	2,125	4,98046875
5	3055	2,75	6,4453125
Rata-Rata			4,86328125

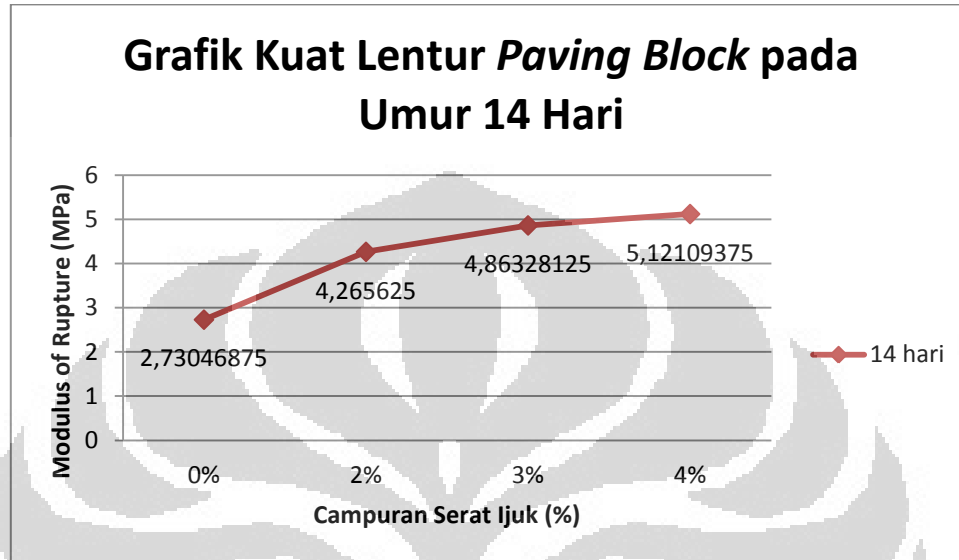
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.26 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2417	2,8	6,5625
2	2372	2,325	5,44921875
3	2327	1,5	3,515625
4	2422	1,8	4,21875
5	2424	2,5	5,859375
Rata-Rata			5,12109375

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.15 Grafik kuat lentur *paving block* pada umur 14 hari

Sumber : Pengolahan Data

- Umur 28 hari

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

Tabel 4.27 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2877	1	2,34375
2	2271	1,8	4,21875
3	2633	1	2,34375
4	2763	2,5	5,859375
5	2589	2,75	6,4453125
Rata-Rata			4,2421875

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.28 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2485	1,825	4,27734375
2	2342	2,35	5,5078125
3	2603	2,625	6,15234375
4	2516	2,25	5,2734375
5	2467	2	4,6875
Rata-Rata			5,1796875

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.29 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2621	1,9	4,453125
2	2711	1,875	4,39453125
3	2619	2,725	6,38671875
4	2589	2,75	6,4453125
5	2603	2,9	6,796875
Rata-Rata			5,6953125

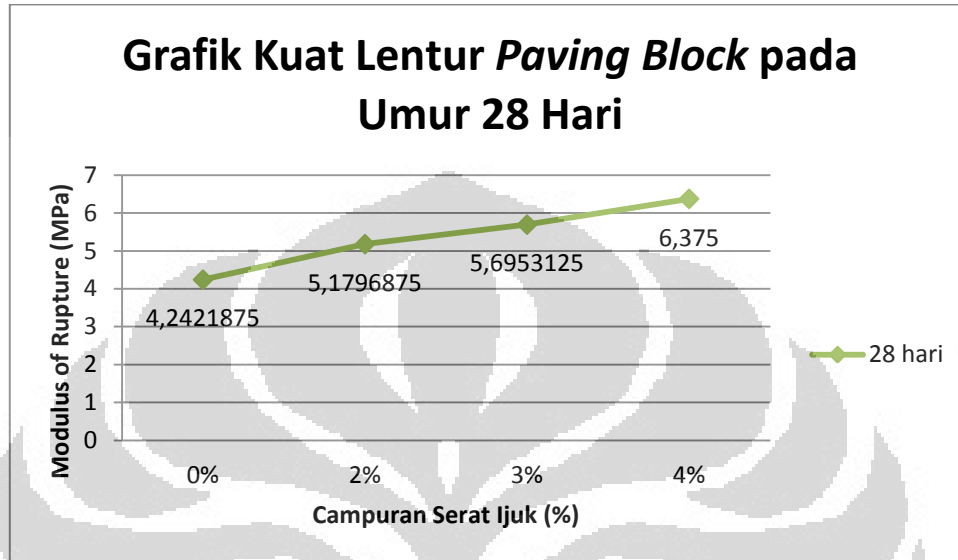
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.30 Data dan hasil perhitungan uji lentur sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat (gram)	Beban (Ton)	Modulus of Rupture (MPa)
1	2402	3,125	7,32421875
2	2152	1,35	3,1640625
3	2277	2,625	6,1523437
4	2489	3,5	8,203125
5	2573	3	7,03125
Rata-Rata			6,375

Sumber : Pengolahan Data

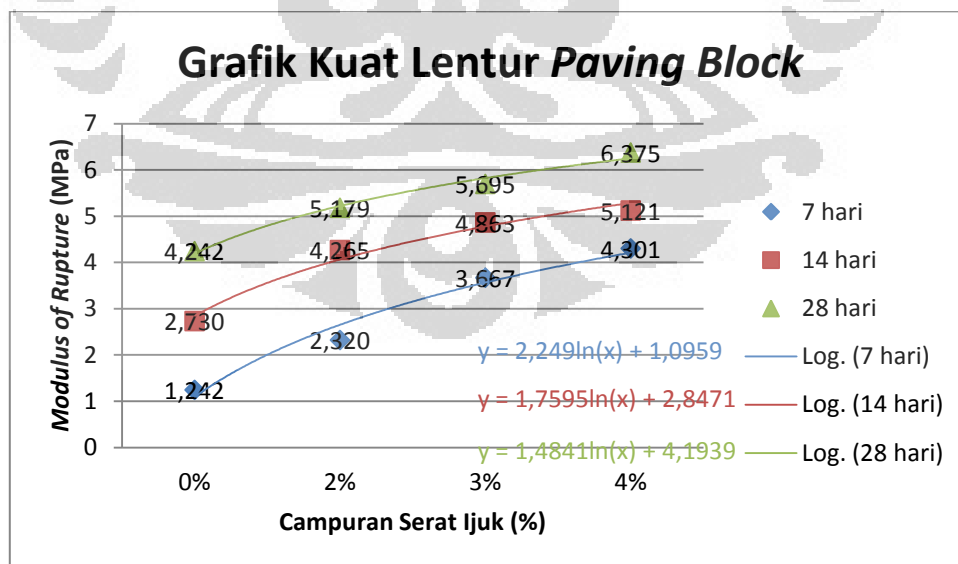
Grafik berikut adalah grafik kuat lentur rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 28 hari.



Gambar 4.16 Grafik kuat lentur *paving block* pada umur 28 hari

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.17 Grafik kuat lentur *paving block* dengan campuran ijuk

Sumber : Pengolahan Data

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah campuran serat ijuk, semakin besar pula kuat lentur *paving block*. Semakin bertambah umur *paving block*, kuat lentur juga semakin besar. Hal ini sama seperti dengan kuat tekan *paving block*. Ini terjadi karena semakin bertambah umurnya, *paving block* semakin keras dan kuat secara fisiknya. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan kimia semen yang semakin mengikat agregat seiring dengan bertambahnya umur *paving block*.

Bertambahnya nilai kuat lentur pada *paving block* seiring dengan bertambahnya jumlah serat ijuk dalam *paving block* terjadi karena serat ijuk dalam *paving block* berperan seperti tulangan pada beton bertulang. Sifat serat ijuk yang elastis dapat menambah kekuatan *paving block* pada bagian tarik saat dibebani momen lentur. Selain itu, serat ijuk juga memiliki daya ikat yang kuat dalam campuran *paving block*. Hal ini dapat terlihat saat pencampuran adukan *paving block* dengan serat ijuk. Adukan *paving block* yang telah tercampur dengan serat ijuk terlihat lebih menggumpal dibandingkan dengan campuran tanpa serat ijuk. Adonan yang menggumpal tersebut agak sulit dipisahkan dengan tangan. Saat ditarik dengan tangan, terlihat serat ijuk saling mengikat di dalam campuran *paving block*. Persentase peningkatan kuat lentur *paving block* tanpa serat ijuk dan dengan campuran serat ijuk sebesar 2%, 3% dan 4% untuk setiap umur uji dapat dilihat pada Lampiran, Tabel 4 – 6.

Sebenarnya dalam SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*) tidak ada ketentuan kuat lentur untuk tiap mutunya. Tidak ada batas minimal kuat lentur *paving block* berdasarkan mutu dalam SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Jadi, berdasarkan kuat lenturnya, *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang dan serat ijuk tidak dapat dimasukkan ke dalam kategori mutu SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*). Dengan kata lain, jika dinilai berdasarkan kuat lentur, *paving block* pada penelitian ini dapat digunakan sesuai dengan mutu kuat tekannya.

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:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A - B}{B} \times 100 \% \dots\dots\dots(4.5)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji dalam keadaan jenuh (kg)

B = Berat benda uji dalam keadaan kering (kg)

Langkah-langkah pengujian penyerapan *paving block* dilakukan sesuai dengan yang telah disampaikan pada Metodologi Penelitian. Dokumentasi proses pengujian penyerapan dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 12 (a) dan (b).

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 4.31 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2798	2272	23,15140845
2	2697	2134	26,38238051
3	2578	2215	16,38826185
4	2457	2034	20,79646018
5	2605	2267	14,90957212
Rata-Rata			20,32561662

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.32 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2604	2152	21,00371747
2	2467	2025	21,82716049
3	2589	2102	23,16841104
4	2685	2207	21,65835976
5	2432	2012	20,87475149
Rata-Rata			21,70648005

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.33 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2523	2046	23,31378299
2	2450	2018	21,40733399
3	2657	2167	22,61190586
4	2579	2078	24,10972089
5	2421	2034	19,02654867
Rata-Rata			22,09385848

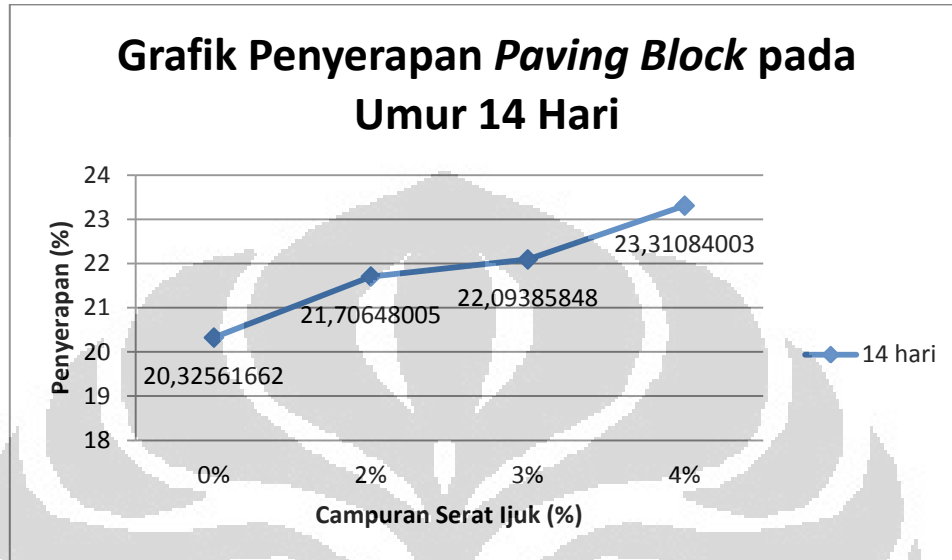
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.34 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 14 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2499	2034	22,86135693
2	2622	2130	23,09859155
3	2756	2146	28,4249767
4	2567	2057	24,79338843
5	2648	2256	17,37588652
Rata-Rata			23,31084003

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.18 Grafik penyerapan *paving block* pada umur 14 hari

Sumber : Pengolahan Data

- Umur 28 hari

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

Tabel 4.35 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2320	1957	18,54879918
2	2663	2191	21,54267458
3	2595	2150	20,69767442
4	2530	2204	14,79128857
5	2431	2086	16,53883031
Rata-Rata			18,42385341

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.36 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2430	2068	17,50483559
2	2526	2213	14,14369634
3	2346	2001	17,24137931
4	2387	2054	16,21226874
5	2478	2134	16,11996251
Rata-Rata			16,2444285

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.37 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2839	2484	14,29146538
2	2859	2475	15,51515152
3	2496	2157	15,7162726
4	2756	2378	15,89571068
5	2653	2234	18,75559534
Rata-Rata			16,0348391

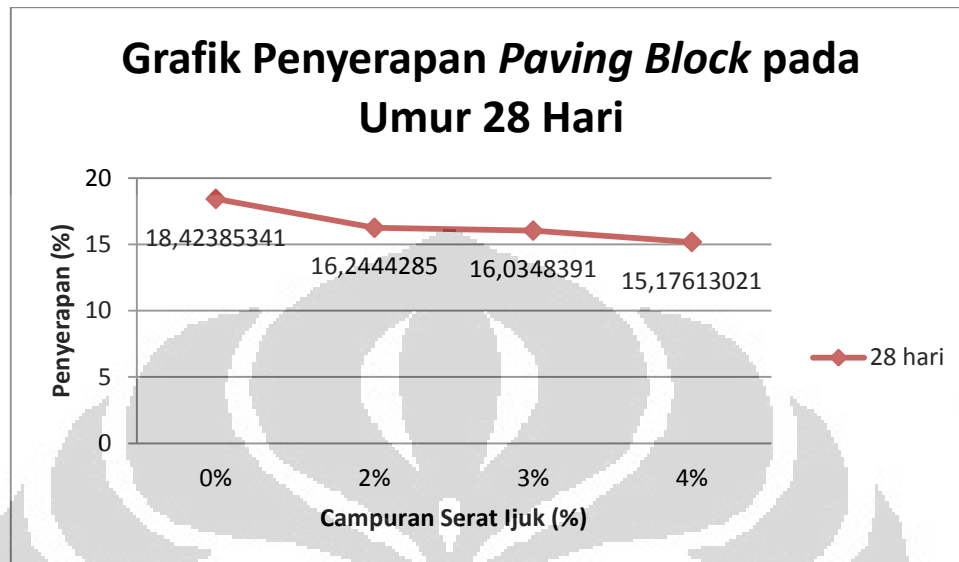
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.38 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 28 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2569	2204	16,56079855
2	2422	2121	14,19141914
3	2439	2145	13,70629371
4	2412	2102	14,74785918
5	2554	2189	16,67428049
Rata-Rata			15,17613021

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.19 Grafik penyerapan *paving block* pada umur 28 hari

Sumber : Pengolahan Data

- Umur 49 hari

Tabel berikut adalah hasil perhitungan penyerapan sampel *paving block* pada umur 49 hari.

Tabel 4.39 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 0% pada umur 49 hari

Serat Ijuk 0%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2307	1987	16,10468042
2	2647	2206	19,99093382
3	2585	2178	18,68686869
4	2413	2095	15,17899761
5	2732	2433	12,28935471
Rata-Rata			16,45016705

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.40 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 2% pada umur 49 hari

Serat Ijuk 2%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2576	2287	12,63664189
2	2180	1849	17,90156842
3	2781	2487	11,82147165
4	2638	2309	14,24859246
5	2597	2250	15,42222222
Rata-Rata			14,40609933

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.41 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 3% pada umur 49 hari

Serat Ijuk 3%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2537	2222	14,17641764
2	2453	2096	17,03244275
3	2480	2145	15,61771562
4	2512	2201	14,12994094
5	2476	2153	15,00232234
Rata-Rata			15,19176786

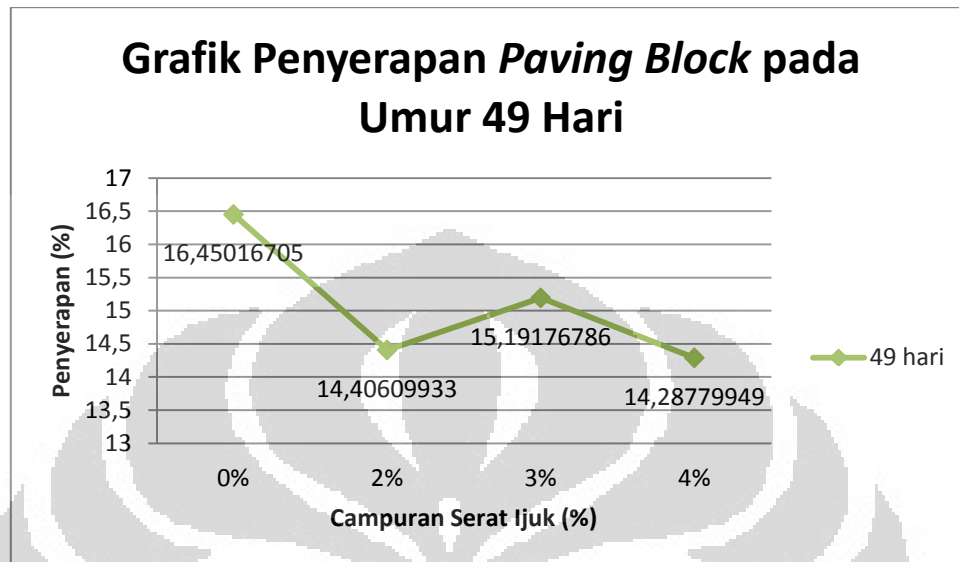
Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4.42 Data dan hasil perhitungan uji penyerapan sampel *paving block* dengan campuran serat ijuk 4% pada umur 49 hari

Serat Ijuk 4%			
No Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	% Penyerapan
1	2396	2103	13,93247741
2	2413	2128	13,39285714
3	2565	2272	12,89612676
4	2367	2057	15,07049101
5	2496	2149	16,14704514
Rata-Rata			14,28779949

Sumber : Pengolahan Data

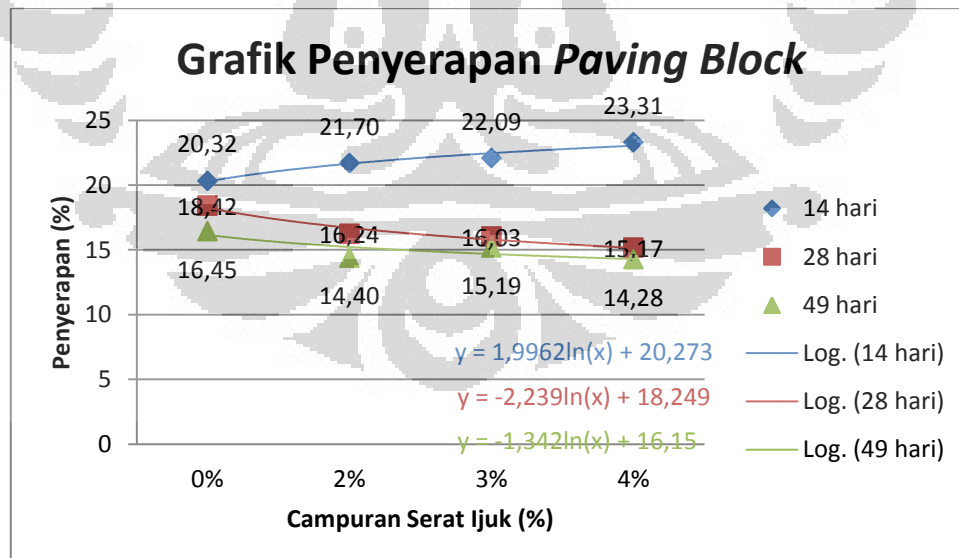
Grafik berikut adalah grafik penyerapan rata-rata *paving block* untuk setiap campuran pada umur 49 hari.



Gambar 4.20 Grafik penyerapan *paving block* pada umur 49 hari

Sumber : Pengolahan Data

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



Gambar 4.21 Grafik penyerapan *paving block* dengan campuran serat ijuk

Sumber : Pengolahan Data

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa semakin bertambah umur *paving block*, semakin kecil persentase penyerapannya. Hal ini terjadi karena semakin bertambah umurnya, *paving block* semakin kering sehingga kandungan dalam air dalam *paving block* semakin berkurang. Hal ini menyebabkan, saat proses pengeringan, jumlah kandungan air yang menguap semakin kecil seiring dengan bertambahnya umur *paving block*.

Berdasarkan kategori mutu SNI, persentase penyerapan *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang dari limbah adukan beton melewati semua batas maksimal untuk setiap kategori mutu. Batas maksimal untuk mutu D, mutu paling rendah berdasarkan SNI, adalah 10 %. Sedangkan semua persentase penyerapan *paving block* pada penelitian ini adalah diatas 10 %. Hal ini mungkin disebabkan oleh penyerapan agregat daur ulang sangat besar, yaitu sebesar 23,1527 %. Sehingga *paving block* tersebut menyerap banyak air.

Selain dipengaruhi oleh penyerapan agregat, penyerapan *paving block* yang tinggi mungkin juga disebabkan oleh sampel yang kurang padat dan pori-pori sampel yang besar. Kurang padatnya sampel *paving block* disebabkan oleh pemadatan yang sulit akibat penggunaan serat ijuk pada campuran *paving block*. Penggunaan serat ijuk akan mengakibatkan penggumpalan pada campuran *paving block*. Penggumpalan tersebut yang membuat butiran-butiran agregat tidak bisa mengisi rongga-rongga kosong saat proses pemadatan oleh alat tekan.

Pengaruh jumlah serat ijuk pada penyerapan *paving block* pada umur 14 hari berbeda dengan umur 28 dan 49 hari. Pada umur 14 hari, penyerapan *paving block* meningkat seiring bertambahnya jumlah persentase serat ijuk. Sedangkan pada umur 28 dan 49 hari, penyerapan *paving block* yang menggunakan serat ijuk relatif menurun jika dibandingkan dengan yang tidak menggunakan serat ijuk. Persentase penurunan penyerapan *paving block* tanpa serat ijuk dan dengan campuran

serat ijuk sebesar 2%, 3% dan 4% untuk setiap umur uji dapat dilihat pada Lampiran, Tabel 7 – 9.

Hal tersebut terjadi mungkin dikarenakan pada umur 14 hari bagian dalam *paving block* masih belum kering. Serat ijuk di dalam *paving block* juga masih basah. Sehingga saat dikeringkan, kandungan air yang menguap lebih banyak dibandingkan dengan yang tanpa campuran serat ijuk. Karena daya serap serat ijuk cukup tinggi, semakin besar kandungan serat ijuk, semakin besar pula kandungan airnya.

Sedangkan, pada umur 28 dan 49 hari bagian dalam *paving block* dan serat ijuk telah kering. Serat ijuk tersebut dapat menutup pori-pori di dalam *paving block*. Sehingga air yang masuk melalui pori-pori *paving block* terhalang oleh serat ijuk. Hal ini yang membuat *paving block* yang menggunakan serat ijuk penyerapannya relatif lebih rendah dibandingkan yang tanpa campuran serat ijuk.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Agregat halus daur ulang dari limbah adukan beton memiliki persentasi penyerapan air yang tinggi, yaitu sebesar 23,1527 %.
- b. Penggunaan agregat halus daur ulang dari limbah adukan beton pada *paving block* membuat kuat tekan *paving block* menjadi rendah.
- c. Mutu *paving block* tersebut, berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*), hanya tergolong sebagai mutu D.
- d. Penggunaan serat ijuk sebagai bahan tambahan pada *paving block* dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur *paving block*. Serat ijuk menambah daya ikat antar partikel agregat di dalam *paving block*.
- e. Penyerapan *paving block* yang menggunakan agregat daur ulang dari limbah adukan beton sangat tinggi, melewati batas maksimal mutu D, mutu paling rendah berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*).
- f. Semakin banyak penggunaan serat ijuk pada campuran *paving block*, membuat adonan campuran *paving block* menggumpal dan sulit tercampur.

5.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. *Paving block* yang menggunakan agregat halus daur ulang dari limbah adukan beton, jika ditinjau berdasarkan kuat tekan, dapat digunakan sebagai

perkerasan area pertamanan, sesuai dengan peruntukkan *paving block* mutu D berdasarkan SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*).

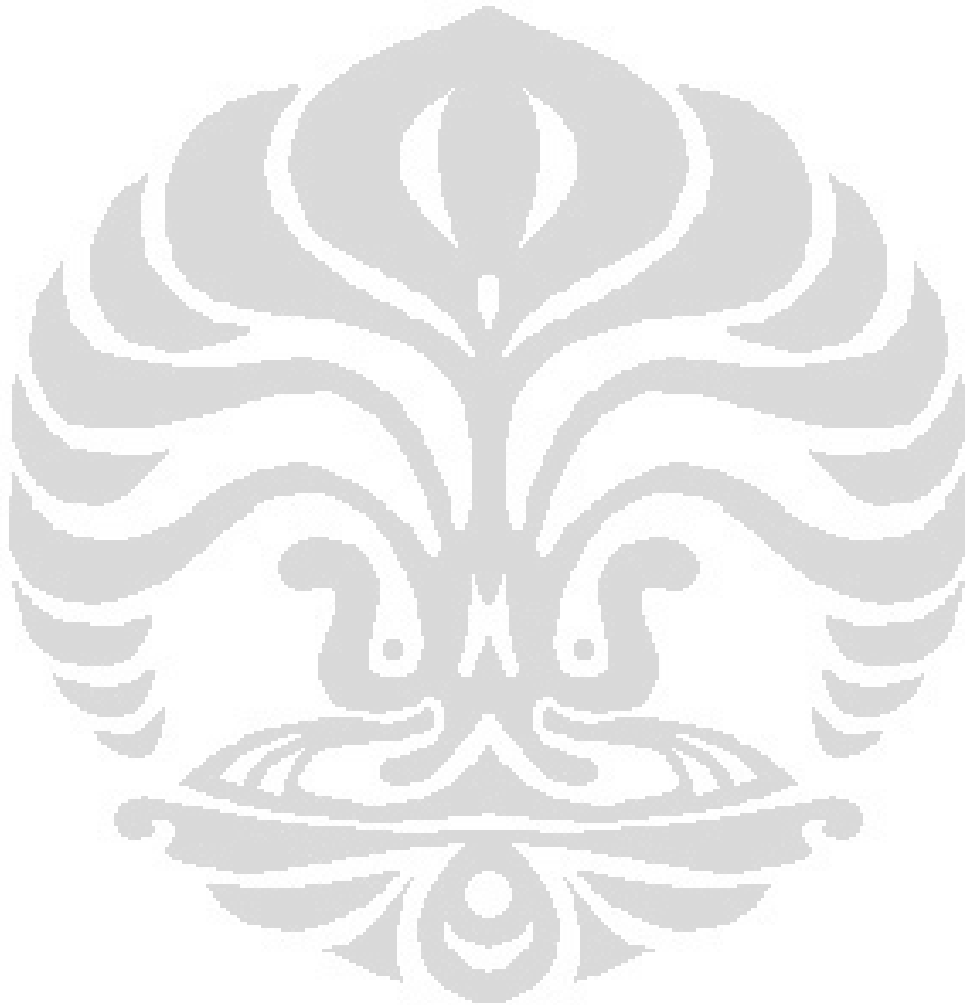
- b. Serat ijuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada *paving block* untuk menambah kekuatan, baik kuat tekan maupun kuat lentur. Tapi serat ijuk yang digunakan tidak boleh terlalu banyak karena akan mempengaruhi kelecakan campuran *paving block*. Semakin banyak serat ijuk yang digunakan, campuran *paving block* akan semakin menggumpal. Gumpalan tersebut membuat agregat tidak bisa mengisi ruang kosong di dalam *paving block* dan membuat *paving block* tidak padat saat ditekan. Berdasarkan literatur dan penelitian terkait yang pernah dilakukan, jumlah serat ijuk yang optimum untuk menambahkan kekuatan *paving block* adalah 4%.
- c. Untuk mengatasi penyerapan *paving block* yang tinggi, *paving block* harus ditekan dengan tekanan yang sangat tinggi sehingga *paving block* sangat padat dan pori-porinya kecil. Oleh sebab itu, jumlah serat ijuk juga harus optimal agar *paving block* bisa menjadi padat dan serat ijuk bisa menutup celah-celah kecil di dalam *paving block*.

DAFTAR PUSTAKA

- AM, Neville. (1990). *Properties of Concrete*. New York:McGraw-Hill
- Dapena, E., Alaejos, P., Lobet, A., & Pérez, D. (2011). *Effect of Recycled Sand Content on Characteristics of Mortars and Concretes*. Politechnical University of Madrid
- Dowson, A.J. (1996). *Mix Design for Concrete Block Paving*. S.Marshall & Sons Ltd, UK
- Duma, Heidi. (2008). *Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut pada Beton Agregat Daur Ulang*. Universitas Indonesia
- Ginting, Rut Maria BR. (2009). *Pemanfaatan Limbah (Oil Sludge) Sebagai Bahan Utama Dalam Pembuatan Bata Konstruksi Paving Block*. Universitas Sumatera Utara
- Laboratorium Struktur dan Material FTUI. (2008). *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton*. Universitas Indonesia
- Oikonomou, Nik.D. (2004). *Recycle Concrete Aggregate*. Aristotle University of Thessaloniki
- RILEM TC 121-DRG. (1994). *Specifications for concrete with recycled aggregates. Mater. Struct;27:557-9*
- Rommel, Erwin. (2007). *Teknologi Pembuatan Paving Block dengan Material FCA (Fine Coarse Aggregate)*. Universitas Muhammadiyah Malang
- Sarjono P, Wiryawan., & Wahjono, Agt. (2008). *Pengaruh Penambahan Serat Ijuk pada Kuat Tarik Campuran Semen-Pasir dan Kemungkinan Aplikasinya*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- SNI 03-0691-1996 Bata Beton (*Paving Block*)

Soutsos, Marios N., Kangkang Tang., & Millard, Stephen G. (2010). *Use of Recycled Demolition Aggregate in Precast Products, phase II: Concrete Paving Blocks*. University of Liverpool

Wulandari, Annie (2008). *Studi Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik pada Beton Agregat Daur Ulang*. Universitas Indonesia



LAMPIRAN

• Foto-Foto Penelitian



(a)

(b)

Gambar 1. (a) Bongkahan Limbah Adukan Beton
(b) Agregat Halus dari Limbah Adukan Beton

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)

(b)

Gambar 2. (a) Proses Penyaringan Agregat Halus
(b) Serat Ijuk yang Belum Dipotong-Potong

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Pengujian Specific Gravity Agregat Halus

(b) Analisa Saringan Agregat Halus

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Pengujian Berat Isi Agregat Halus

(b) Pengujian Saringan No.200 Agregat Halus

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)

(b)

Gambar 5. (a) Proses Pengadukan Semen dan Agregat Halus
(b) Proses Pencampuran Serat Ijuk dengan Campuran Semen Agregat

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)

(b)

Gambar 6. (a) Cetakan dan Alat Pemasakan *Paving Block*
(b) *Dial Gauge* Tekanan Alat Pemasakan *Paving Block*

Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 7. (a) Campuran *Paving Block* yang Telah Diaduk
(b) Campuran *Paving Block* Siap Dicetak

Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 8. (a) Campuran *Paving Block* Siap Dipadatkan
(b) Proses Pencetakan dan Pemasakan *Paving Block*

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)

(b)

Gambar 9. (a) Jumlah *Paving Block* Sekali Cetak, 8 Buah
 (b) *Paving Block* yang Baru Dicetak

Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a)

(b)

Gambar 10. (a) Pengujian Kuat Tekan Sampel *Paving Block*
 (b) Sampel *Paving Block* yang Hancur Setelah Diuji Tekan

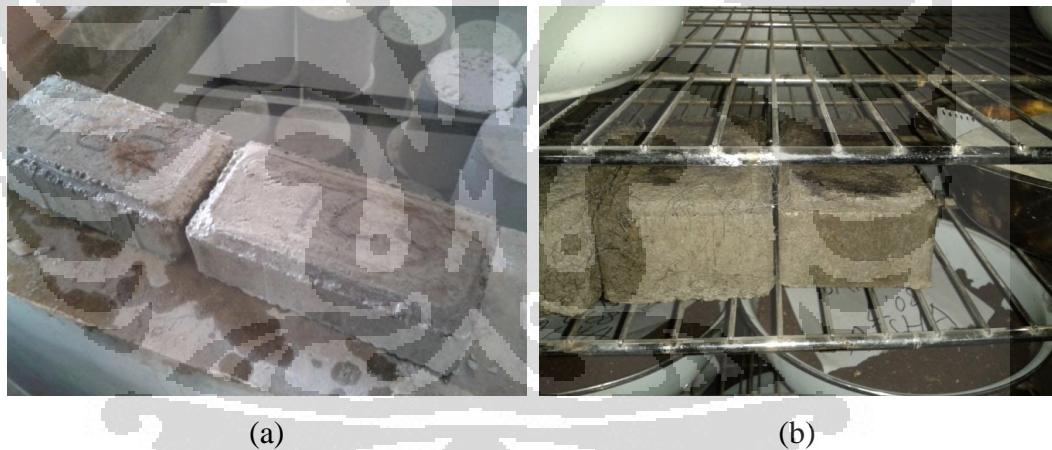
Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 11. (a) Pengujian Kuat Lentur Sampel *Paving Block*

(b) Sampel *Paving Block* yang Patah di Tengah Setelah Diuji Lentur

Sumber : Dokumentasi Peneliti



Gambar 12. (a) *Paving Block* Direndam untuk Uji Penyerapan

(b) Proses Pengeringan *Paving Block* Basah di Dalam Oven

Sumber : Dokumentasi Peneliti



TABEL PENINGKATAN KUAT TEKAN

Tabel 1. Peningkatan Kuat Tekan pada Umur 7 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Tekan		
% Serat Ijuk	Kuat Tekan (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	8,665	-
2%	11,88	37,1
3%	13,729	58,44
4%	15,225	75,71

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 2. Peningkatan Kuat Tekan pada Umur 14 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Tekan		
% Serat Ijuk	Kuat Tekan (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	10,675	-
2%	12,65	18,5
3%	14,75	38,17
4%	16,175	51,52

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 3. Peningkatan Kuat Tekan pada Umur 28 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Tekan		
% Serat Ijuk	Kuat Tekan (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	11,12	-
2%	14,975	34,67
3%	16,675	49,95
4%	19,225	72,89

Sumber : Pengolahan Data



TABEL PENINGKATAN KUAT LENTUR

Tabel 4. Peningkatan Kuat Lentur pada Umur 7 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Lentur		
% Serat Ijuk	Kuat Lentur (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	1,2421875	-
2%	2,3203125	86,9
3%	3,66796875	195,28
4%	4,30078125	246,24

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 5. Peningkatan Kuat Lentur pada Umur 14 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Lentur		
% Serat Ijuk	Kuat Lentur (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	2,73046875	-
2%	4,265625	56,22
3%	4,86328125	78,11
4%	5,12109375	87,55

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 6. Peningkatan Kuat Lentur pada Umur 28 Hari

Hasil Peningkatan Kuat Lentur		
% Serat Ijuk	Kuat Lentur (Mpa)	Peningkatan (%)
0%	4,2421875	-
2%	5,1796875	22,1
3%	5,6953125	34,25
4%	6,375	50,27

Sumber : Pengolahan Data



TABEL PENURUNAN PENYERAPAN AIR

Tabel 7. Penurunan Penyerapan pada Umur 14 Hari

Hasil Penurunan Penyerapan		
% Serat Ijuk	Absorpsi (%)	Penurunan (%)
0%	20,32561662	-
2%	21,70648005	-6,79
3%	22,09385848	-8,7
4%	23,31084003	-14,69

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 8. Penurunan Penyerapan pada Umur 28 Hari

Hasil Penurunan Penyerapan		
% Serat Ijuk	Absorpsi (%)	Penurunan (%)
0%	18,42385341	-
2%	16,2444285	11,83
3%	16,0348391	12,97
4%	15,17613021	17,63

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 9. Penurunan Penyerapan pada Umur 49 Hari

Hasil Penurunan Penyerapan		
% Serat Ijuk	Absorpsi (%)	Penurunan (%)
0%	16,45016705	-
2%	14,40609933	12,45
3%	15,19176786	7,65
4%	14,28779949	13,15

Sumber : Pengolahan Data