

**PEMANFAATAN LIMBAH SERAT KELAPA SEBAGAI BAHAN
TAMBAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

(Skripsi)

Oleh

PATRICE KEVIN MARCUS



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH SERAT KELAPA SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

BY

PATRICE KEVIN MARCUS

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil buah kelapa terbesar di dunia. Menurut data Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung memiliki lahan perkebunan kelapa sebesar 91,8 ribu hektar dengan hasil produksi sebesar 81,9 ribu ton pada tahun 2021. Salah satu penggunaan serabut kelapa adalah penggunaan serabut kelapa sebagai bahan pencampur *paving block porous*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *paving block porous* dengan bahan tambahan serat sabut kelapa dan mengetahui karakter fisik *paving block* dengan campuran serat sabut kelapa. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap yang terdiri dari 4 perlakuan dan 5 ulangan dengan jumlah sampel 40 buah yang terbagi untuk uji *destructive* dan *non-destructive*. Metode pembuatan *paving block* pada penelitian yaitu serabut dicampur dengan adonan semen dan pasir kemudian dicetak dan mengalami pengkondisian selama 28 hari. Sampel penelitian mengalami pengujian yaitu uji tampak, uji resapan air, uji infiltrasi, uji densitas dan uji kuat tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat sabut kelapa kedalam campuran *paving block* berpengaruh terhadap hasil pengujian *paving block porous*.

Pada pengujian Tampak *Paving block* memiliki warna cokelat keabu-abuan, tidak mudah rapuh dan berbentuk segi-enam dengan rata-rata tinggi 6,8 cm. Rentang nilai rata rata pengujian resap air yaitu 31,15% untuk P1 hingga 50,39% untuk P4. Pada pengujian laju infiltrasi nilai P1 sebesar 0,59 mm/s dan mengalami peningkatan sejalan penambahan serat kelapa. Nilai uji densitas dipengaruhi serat sabut kelapa seperti nilai P1 dengan penambahan serat paling sedikit menghasilkan nilai 1191,73kg/m³ dan P4 dengan penambahan paling banyak memperoleh nilai 768,11 kg/m³. Pengujian kuat tekan penelitian ini menghasilkan nilai P1 hingga P4 sebesar 1,64 MPa, 1 MPa, 0,71 MPa, 0,32 MPa. Penambahan serat sabut kelapa berpengaruh terhadap semua nilai pengujian yang telah dilakukan terhadap *paving block* yang dihasilkan.

Kata kunci : *Paving block*, Ruang Pori, Serat Kelapa, Ulet (*Ductile*), Deformasi.

ABSTRACT

UTILIZATION OF COCONUT FIBER WASTE AS AN ADDITIONAL MATERIAL FOR *PAVING BLOCK* PRODUCTION

By

PATRICE KEVIN MARCUS

Indonesia is one of the largest coconut-producing countries in the world. According to data from the Central Statistics Agency, Lampung Province has 91.8 thousand hectares of coconut plantations with a production yield of 81.9 thousand tons in 2021. One of the uses of coconut fiber that has been applied in general is the use of coconut fiber as a mixture for *porous paving block* paving. . This study aims to make *porous paving blocks* with additional ingredients of coco fiber and to know the physical characteristics of *paving blocks* with a mixture of coco fiber. This study used a completely randomized design consisting of 4 treatments and five repetitions with a total sample of 40 which were divided into *destructive* and *non-destructive* tests. The method for making *paving blocks* in this study was by the provisions of SNI-03-0691-1996 concerning concrete bricks (*paving blocks*) and several tests were carried out, namely the visible test, water absorption test, infiltration test, density test, and compressive strength test. The results showed that the addition of coco fiber into the *paving block* mixture affected the results of the *porous paving block* test.

In the test it appears that the *paving block* has a grayish-brown color, is not easily brittle, and is hexagonal in shape. The average value range of the water absorption test was 31.15% for treatment P1 to 50.39% for treatment P4. In testing the infiltration rate, the P1 value was 0.59 mm/s and it increased in line with the addition of coconut fiber. Density test values were influenced by coco fiber, such as the value of P1 with the least addition of fiber yielded a value of 1191.73, and P4 with the most additions obtained a value of 768.11. The compressive strength test of this study resulted in P1 to P4 values of 1.64 MPa, 1 MPa, 0.71 MPa, 0.32 MPa. The addition of coco fiber affects all the values of the tests that have been carried out on the resulting *paving blocks*.

Keywords: *Paving block*, Pore Space, Coconut Fiber, *Ductile*, Deformation.

**PEMANFAATAN LIMBAH SERAT KELAPA SEBAGAI BAHAN
TAMBAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

Oleh

PATRICE KEVIN MARCUS

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN LIMBAH SERAT
KELAPA SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN
PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

Nama Mahasiswa : **Patrice Kevin Marcus**

Nomor Pokok Mahasiwa : 1714071059

Jurusan/PS : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si
NIP. 198905202015042001

Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP. 199002262019031012

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

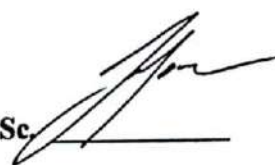
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si



Sekretaris : Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Januari 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Patrice Kevin Marcus** NPM **1714071059**.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Winda Rahmawati, S.T.P.,M.Si** dan 2) **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.** Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 1 September 2023
Yang membuat pernyataan


**METERA
TEMPIL**
2D9AKX625564374

Patrice Kevin Marcus
NPM. 1714071059

Persembahan

Sebuah karya sederhana namun usahanya sangat besar untukku,

Ku Persembahkan Karya ini untuk Bapak, Ibu dan Keluarga yang selalu mendoakanku dan memberikan semangat yang sangat luar biasa kepadaku

**Serta
Almamater tercinta
Keluarga Teknik Pertanian 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang, kota Bandar Lampung Provinsi Lampung pada tanggal 09 Oktober 1998. Anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Marcus Widodojoko dan Ibu Natalya Devi Mimi. Riwayat sekolah penulis yaitu telah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Fransiskus 1 Tanjungkarang Bandar Lampung pada tahun 2004-2005, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Fransiskus 1 Tanjungkarang sejak tahun 2005-2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Fransiskus Tanjungkarang tahun 2011-2014 dan Setelah lulus SMP penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Fransiskus Bandar Lampung tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan sebagai seorang mahasiswa di jurusan Teknik Pertanian penulis pernah menjadi asisten praktikum di beberapa mata kuliah seperti gambar teknik tahun 2018-2019 dan rekayasa pengolahan limbah yang berlangsung sejak 2019-2020. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus selama berkuliah di jurusan teknik pertanian, penulis tergabung kedalam organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai Anggota Bidang Dana dan Usaha pada periode 2018/2019 dan 2019/2020, penulis juga tergabung sebagai anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI) dan beberapa kali dipercaya menjadi panitia kegiatan IMATETANI.

Pada tanggal 02 Januari hingga 10 Februari 2020, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2020 selama 40 hari di Desa Gunung Tiga, kecamatan Batanghari Nuban, Kabupaten Lampung Timur. Sementara itu pada tanggal 01 Juli hingga 07 Agustus 2020, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di Sahabat Hidroponik Lampung dengan judul “MEMPELAJARI LINGKUNGAN BANGUNAN PERTANIAN DAN SISTEM HIDROPONIK PADA PERUSAHAAN JAYA ANGGARA FARM di Jaya Anggara Farm”.

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berupa skripsi dengan judul “**PEMANFAATAN LIMBAH SERAT KELAPA SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK***”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Selama pelaksanaan penulis menyadari dan memahami dalam penyusunan skripsi ini begitu banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Ucapan terima kasih, penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, bimbingan, dan arahan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Ibu Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si selaku pembimbing utama dan pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, nasihat, kritik, dan saran serta motivasi selama proses penyusunan skripsi;
4. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua, yang telah memberikan bimbingan, nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku pembahas yang telah memberikan nasihat, kritik, dan saran sebagai perbaikan selama proses penyusunan skripsi;
6. Bapak dan Ibu, selaku orang tua yang telah memberikan segala doa, dukungan dan kasih sayangnya kepada penulis;
7. Angela Chikita Marcus dan Agnes Shilvania Marcus yang selalu memberikan bantuan kepada penulis diwaktu yang tidak terprediksi;
8. Saudari Diannisa Widdi Eka Ningrum yang telah tanpa henti mengingatkan, membantu dan memberi semangat motivasi bagi penulis dalam proses pengerjaan skripsi.
9. Sahabat seperjuanganku Berto Aru Dewantara, Martinus Kelyn Erviando, Satrio Aji Pangestu, Valentinus Febrianugrah, selalu memberikan bantuan dukungan dan semangat kepada penulis;
10. Seluruh Keluarga Teknik Pertanian 2017 yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
11. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu namanya, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini belum sempurna. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandarlampung, 1 Mei 2023

Penulis,

Patrice Kevin Marcus

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	6
1.1. Latar Belakang	6
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Beton	5
2.1.1. Pengertian Beton	5
2.1.2. Hubungan Serat dengan Beton	5
2.2. <i>Paving block</i>	6
2.2.1. Pengertian <i>Paving block</i>	6
2.2.2. <i>Paving block Porous</i>	6
2.2.3. Klasifikasi <i>Paving block</i>	7
2.2.4. Syarat Mutu <i>Paving block</i>	8
2.2.5. Kelas Mutu <i>Paving block</i> dan Kegunaannya.....	8
2.3. Tanaman Kelapa.....	9
2.4. Buah Kelapa	9
2.4.1. Bagian-Bagian Buah Kelapa	10
2.4.2. Serat Sabut Kelapa	11
2.4.3. Bentuk Serat Sabut Kelapa.....	12
2.5. Kandungan Serat Sabut Kelapa.....	13

2.5.1.	Selulosa	13
2.5.2.	Hemiselulosa	14
2.5.3.	Lignin	14
2.6.	Dekomposisi	14
2.7.	Semen <i>Portland</i>	15
2.7.1.	Pengertian Semen <i>Portland</i>	15
2.7.2.	Kandungan Semen <i>Portland</i>	15
2.7.3.	Komposisi Unsur Utama Semen <i>Portland</i>	16
2.7.4.	Bahan Baku Semen <i>Portland</i>	16
2.7.5.	Jenis Semen <i>Portland</i>	17
2.8.	Ikatan Semen dan Air	17
2.8.1.	Kegunaan Air Pada Campuran Beton	17
2.8.2.	Mekanisme Pencampuran Air dan Semen	18
2.9.	Deformasi	19
2.9.1.	Deformasi Elastis	19
2.9.2.	Deformasi Plastis	19
III. METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1.	Waktu dan Tempat	21
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	21
3.2.1.	Alat	21
3.2.2.	Bahan	22
3.4.	Prosedur Penelitian	24
3.5.	Parameter Pengamatan	26
3.5.1.	Uji Resapan Air	26
3.5.2.	Uji Kuat Tekan	26
3.5.3.	Uji Infiltrasi	28
3.5.4.	Uji Density	28
3.5.5.	Uji Tampak Dan Warna	29
3.6.	Analisis Data	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		30
4.1.	<i>Paving block Porous</i>	30
4.2.	Pengamatan <i>Non destructive</i>	31
4.2.1.	Uji Tampak	31
4.2.2.	Uji Resapan Air	32

4.2.3.	Uji Infiltrasi	35
4.2.4.	Uji Densitas	38
4.3.	Pengujian <i>Destructive</i>	42
4.3.1.	Uji Tekan	42
V.	KESIMPULAN	47
	DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Kombinasi Perlakuan	22
Tabel 2. Rancangan Percobaan <i>Destructive</i> Dengan 5 Ulangan.....	23
Tabel 3. Rancangan Percobaan <i>Non-Destructive</i> Dengan 5 Ulangan.....	23
Tabel 4. Spesifikasi Mesin Uji Tekan Beton Merk Control	27
Tabel 5. Tabel Uji ANOVA Daya Resap Air	34
Tabel 6. Tabel <i>Grouping</i> Daya Serap	35
Tabel 7. Tabel Uji ANOVA Laju Infiltrasi	37
Tabel 8. Tabel <i>Grouping</i> Laju Infiltrasi	38
Tabel 9. Tabel Uji ANOVA Densitas	40
Tabel 10. Tabel <i>Grouping</i> Uji Densitas	41
Tabel 11. Tabel Uji ANOVA Kuat Tekan	44
Tabel 12. Tabel <i>Grouping</i> Uji Kuat Tekan	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gambar Grafik Tekanan-Regangan Bahan <i>Brittle</i> dan <i>Ductile</i>	20
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. Mesin Uji Tekan Beton Merk <i>Control</i>	27
Gambar 4. Penampakan <i>Paving</i> Perlakuan (a) P1, (b) P2, (c) P3, dan (d) P4	31
Gambar 5. Grafik Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Resapan Air <i>Paving</i>	33
Gambar 6. Grafik <i>Scatter</i> Perlakuan Terhadap Daya Resapan Air <i>Paving</i>	33
Gambar 7. Grafik Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Infiltrasi <i>Paving block</i> ...	36
Gambar 8. Grafik <i>Scatter</i> Perlakuan Terhadap Daya Infiltrasi <i>Paving</i>	36
Gambar 9. Grafik Pengaruh Perlakuan Terhadap Densitas <i>Paving block</i>	39
Gambar 10. Grafik <i>Scatter</i> Perlakuan Terhadap Densitas <i>Paving block</i>	39
Gambar 11. Grafik Pengaruh Perlakuan Terhadap Kuat Tekan <i>Paving block</i>	42
Gambar 12. Grafik <i>Scatter</i> Perlakuan Terhadap Kuat Tekan <i>Paving block</i>	43
Gambar 13. Grafik Uji Tekan Banding Waktu (a) P1, (b) P2, (c) P3, dan (d) P4	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil buah kelapa terbesar di dunia, menurut data Badan Pusat Statistik (2021) produksi buah kelapa di Indonesia pada tahun 2021 mencapai angka 2,85 juta ton dan nilai tersebut mengalami kenaikan sebesar 1,47% dari tahun sebelumnya. Menurut data Badan Pusat Statistik tentang luas tanaman perkebunan berdasarkan provinsi tahun 2021, Indonesia memiliki daerah perkebunan kelapa yang cukup luas yaitu kurang lebih 3,37 juta hektar. Luas perkebunan kelapa terbesar berada di Riau dengan luas kurang lebih 432 ribu hektar. Provinsi Lampung memiliki lahan perkebunan kelapa sebesar 91,8 ribu hektar dengan hasil produksi sebesar 81,9 ribu ton pada tahun 2021.

Buah kelapa menghasilkan berbagai bentuk produk antara lain daging buah, air, tempurung dan sabut. Industri pengolahan buah kelapa pada umumnya masih terfokus kepada pengolahan daging buah dan air buah kelapa. Sabut kelapa sebagai produk sampingan merupakan salah satu bagian yang cukup besar dari buah kelapa yaitu sekitar 35% dari berat keseluruhan buah kelapa. Sabut kelapa sendiri terbagi menjadi daging sabut kelapa (*Cocopeat/Cocodust*) dan serat sabut (*Cocofiber*).

Sabut kelapa merupakan salah satu komponen yang jarang diolah oleh masyarakat Indonesia dan kebanyakan hanya dibakar sebagai limbah. Oleh karena itu, sabut kelapa memiliki banyak potensi yang dapat dikembangkan di Indonesia terutama dalam bidang infrastuktur.

Pengembangan infrastruktur di Indonesia perlu ditunjang dengan penerapan daerah resapan air yang baik. Daerah resapan air merupakan sebuah kawasan atau area yang mampu menampung air hujan, kemudian air hujan diserap oleh tanah yang selanjutnya akan menjadi air tanah. Daerah resapan air biasanya merupakan daerah terbuka dengan banyak tanaman hijau didalamnya dengan tujuan agar akar tanaman dapat mengunci air hujan agar tidak langsung mengalir melalui permukaan. Air dapat meresap kedalam tanah melalui 2 proses yaitu infiltrasi dan perkolasi. Menurut Asdak (2010), infiltrasi merupakan proses aliran air masuk kedalam tanah sebagai akibat gaya kapiler dan gaya gravitasi. Air tanah merupakan salah satu sumber daya yang dibutuhkan bagi kegiatan manusia sehari-hari. Menurut Montarcih (2010), perkolasi yaitu gerakan aliran air meresap air tanah di Indonesia sangat luas mencakup 60% dari kebutuhan penduduk akan air baik digunakan sebagai sarana irigasi, industri, air minum, MCK, dll (Harnandi, 1997).

Pada era modern seperti saat ini daerah resapan air terkadang diabaikan dan akhirnya semakin berkurang seiring berjalannya waktu. Dampak dari berkurangnya daerah resapan air yang sering dijumpai di Indonesia yaitu mengalami kekeringan saat musim kemarau dan kebanjiran disaat musim penghujan akibat dari tidak memiliki daerah resapan air. Hal ini berbahaya apabila perkembangan suatu wilayah tidak didukung oleh daerah resapan air, terjadi secara terus menerus dan berlangsung lama. Menurut data Badan Pusat Statistik (2017) tentang Persentase Rumah Tangga Menurut Provinsi Dan Keberadaan Area Resapan Air, provinsi Lampung tercatat hanya memiliki 2,88 % daerah resapan air berupa sumur resapan dan 38,79 % daerah resapan berupa taman atau tanah berumput. Oleh karena itu perlunya menggunakan material atau bahan yang tetap mampu menunjang kebutuhan akan perkembangan wilayah akan tetapi juga memiliki daya resap air yang baik. Penggunaan *paving block* merupakan salah satu solusi dari permasalahan tentang daerah resapan air. *Paving block* merupakan material perkerasan jalan yang mampu menyerap air dan meneruskannya kedalam tanah.

Salah satu penggunaan serabut kelapa yang telah diterapkan secara umum adalah penggunaan serabut kelapa sebagai bahan pencampur *paving block porous*. Serabut kelapa yang tidak digunakan ternyata dapat membantu *paving block* memiliki sifat *porous* atau sifat menyerap yang lebih baik. Serabut kelapa dapat membantu *paving block* dalam menciptakan ruang pori lebih banyak sehingga *paving block* mampu menyerap air dengan lebih cepat. Selain dapat menciptakan ruang pori pada *paving block*, serabut kelapa juga merupakan bahan yang mudah terurai dan terbiodegradasi, serta merupakan salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia dan belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena semakin sedikitnya daerah resapan air di daerah perkotaan maka dibutuhkan sebuah sarana perkerasan jalan yang baru dengan sifat *porous* yang baik sebagai solusi atas permasalahan tentang daerah resapan air di perkotaan seperti *paving block porous*.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain yaitu :

1. Membuat *paving block porous* dengan bahan tambahan serat sabut kelapa
2. Mengetahui pengaruh penambahan serat sabut kelapa terhadap karakteristik fisik *paving block*.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi kepada masyarakat akan pentingnya daerah resapan air di suatu wilayah.
2. Memanfaatkan limbah sabut kelapa menjadi material yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi.
3. Mengurangi limbah sampingan dari buah kelapa yang masih banyak mencemari lingkungan.

1.4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini yaitu komposisi bahan baku limbah serat sabut kelapa mempengaruhi sifat fisik dari *paving block*.

1.5. Batasan Masalah

Berdasarkan pada tujuan yang ingin dicapai metode-metode penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

- 1 *Paving block Porous* menggunakan bahan baku limbah serat sabut kelapa.
- 2 Dalam pembuatan *Paving block Porous* mampu memenuhi standar SNI-03-0691-1996 dengan standar mutu D yang di tujukan untuk penggunaan taman dan penggunaan lainnya.
- 3 Menganalisis karakteristik sifat fisik *paving block*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

2.1.1. Pengertian Beton

Beton adalah suatu bahan yang terdiri dari ikatan material-material pembentuk seperti agregat kasar, agregat halus, semen, air dan material tambahan tertentu apabila dianggap dibutuhkan. Campuran semen dan air akan membentuk ikatan berbentuk pasta semen yang berfungsi untuk mengikat dan merekatkan. Material lain seperti agregat kasar dan halus digunakan untuk mengisi ruang pori pada material (Antoni dan Nugraha, 2007). Menurut Mulyono (2004) faktor yang harus dipertimbangkan untuk menghasilkan beton yang baik dan bermutu tinggi yaitu faktor air, semen, kualitas agregat halus, kualitas agregat kasar dan penggunaan komposisi bahan tambahan.

2.1.2. Hubungan Serat dengan Beton

Penambahan serat memperbaiki sifat-sifat struktural beton. Serat bersifat mekanis sehingga tidak akan bereaksi secara kimiawi dengan bahan pembentuk beton lainnya. Serat membantu mengikat dan menyatukan campuran beton setelah terjadinya pengikatan awal dengan pasta semen. Pasta beton akan semakin kokoh atau stabil dalam menahan beban karena aksi serat (*fiber bridging*) yang saling mengikat disekelilingnya. Serat yang tersebar secara merata dengan orientasi acak dalam adukan beton diharapkan dapat mencegah terjadinya retakan-retakan yang terlalu dini baik akibat panas hidrasi maupun akibat beban-beban yang bekerja pada beton. Dengan demikian diharapkan kemampuan beton untuk mendukung

tegangan- tegangan internal (aksial, lentur, dan geser) akan meningkat. (Purwanto, 2011).

2.2. *Paving block*

2.2.1. Pengertian *Paving block*

Paving block adalah salah satu bahan bangunan yang sering dijumpai dengan komposisi yang telah ditentukan. Menurut SNI 03-0691-1996 pengertian *paving block* yaitu suatu komposisi bangunan yang terbuat dari semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton. *Paving block* terbuat dari campuran semen atau bahan perekat, air, agregat halus dan agregat kasar. *Paving block* merupakan bahan bangunan yang dibuat dari campuran beberapa komposisi dengan karakteristik hampir mendekati karakteristik mortar. Menurut Smith (1979), Mortar merupakan bahan bangunan yang terbuat dari campuran pasir dan agregat halus lainnya dengan bahan pengikat dan air dalam keadaan keras seperti batuan. *Paving block* dapat berwarna seperti aslinya atau dapat diberi nama zat pewarna untuk merubah warna *paving block*.

Paving block memiliki nilai estetika dibandingkan dengan berbagai macam alternatif penutup permukaan tanah lainnya. *Paving block* memiliki banyak bentuk seperti segiempat, segi enam dan segi banyak. *Paving block* juga memiliki banyak variasi pada ukuran, warna, corak dan tekstur permukaan. Penggunaan *paving block* dapat divariasikan berdasarkan jenis tanah, jenis bahan penyusun *paving block*, dan fungsi *paving block* itu sendiri. *Paving block* biasa digunakan untuk penutup perkerasan jalan di luar bangunan.

2.2.2. *Paving block Porous*

Beton *porous* adalah jenis beton khusus yang memiliki porositas tinggi yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi aliran permukaan dan meningkatkan muka air tanah (Ginting, 2015). *Paving block porous* merupakan salah satu pengaplikasian

beton *porous* berbentuk *paving block* dimana *paving block* tersebut memiliki kemampuan untuk mampu meneruskan air menuju permukaan tanah lebih besar dibandingkan *paving block* konvensional.

Alasan mengapa *paving block porous* memiliki porositas yang tinggi karena *paving block porous* memiliki jumlah ruang pori yang lebih banyak dibandingkan *paving block* biasanya, hal ini disebabkan karena saat pencetakan hanya menggunakan sedikit atau bahkan tanpa menggunakan agregat halus dalam proses pencampurannya (Ciawi, 2022).

2.2.3. Klasifikasi *Paving block*

Berdasarkan surat keputusan SNI T- 04 – 1990 – F tentang tata cara pemasangan block beton terkunci, *paving block* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut :

1. Klasifikasi berdasarkan bentuk

Berdasarkan dari bentuk *paving block* sendiri terbagi menjadi dua macam antara lain *paving block* berbentuk segiempat atau *rectangular* dan *paving block* berbentuk segi banyak seperti segienam dan segi dua belas.

2. Klasifikasi berdasarkan ketebalan

Berdasarkan dari ketebalannya *paving block* dibagi kedalam beberapa macam. Secara umum *paving block* dibedakan menjadi 3 macam tergantung dari penggunaannya. Ketebalan *paving block* yang sering digunakan yaitu 60 mm, 80 mm, dan 100 mm.

3. Klasifikasi berdasarkan kekuatan

Berdasarkan kelas kekuatan *paving block* terbagi menjadi dua yaitu *paving block* dengan nilai mutu beton f_c' (kuat tekan) 37,35 MPa dan *paving block* dengan nilai mutu beton f_c' (kuat tekan) 27,0 MPa.

4. Klasifikasi berdasarkan warna

Berdasarkan warnanya *paving block* terbagi menjadi beberapa warna antara lain *paving block* berwarna abu-abu, *paving block* berwarna hitam dan *paving block* berwarna merah. Terdapat pula *paving block* yang berwarna lain dan biasanya digunakan sebagai pembatas seperti tempat parkir, tali air, dll.

2.2.4. Syarat Mutu *Paving block*

Berdasarkan syarat mutu *paving block* pada SNI 03 – 0691 – 1996 tentang bata beton (*paving block*), *paving block* harus memenuhi beberapa syarat antara lain :

1. Sifat tampak

Bata beton atau *paving block* harus memiliki permukaan tampak yang rata, tidak terdapat retakan ataupun cacat, bagian ujung sudut dan rusuk *paving block* tidak hancur jika ditekan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran

Bata beton atau *paving block* harus mempunyai ketebalan minimum 60 mm dengan nilai toleransi ketebalan kurang lebih 8%.

3. Sifat fisik

Bata beton atau *paving block* harus memenuhi syarat sifat fisik antara lain kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air rata rata

2.2.5. Kelas Mutu *Paving block* dan Kegunaannya

Berdasarkan kelas mutu *paving block* yang telah ditetapkan dalam SNI 03 – 0691 – 1996 tentang bata beton (*paving block*), *paving block* terbagi menjadi 4 kelas mutu yang memiliki keunggulan dan kegunaannya masing masing. Kelas mutu *paving block* dan kegunaannya antara lain:

1. Kelas mutu A

Paving block dengan kelas mutu A merupakan *paving block* dengan nilai kuat tekan tertinggi dengan rata rata nilai kuat tekan yaitu 40 MPa. *Paving block* kelas ini juga memiliki nilai rata rata ketahanan aus sebesar 0,090 mm/menit dan nilai penyerapan air maksimal sebesar 3 %. *Paving block* kelas ini sering digunakan sebagai bahan perkerasan jalan

2. Kelas mutu B

Paving block dengan kelas mutu B merupakan *paving block* dengan nilai rata rata kuat tekan 20 MPa dan nilai minimum kuat tekan yaitu 17 MPa. *Paving block* jenis ini memiliki nilai rata rata ketahanan aus sebesar 0,13 mm/menit dan nilai penyerapan ait maksimal sebesar 6%. *Paving block* dengan kelas mutu B sering digunakan sebagai bahan perkerasan lahan parkir.

3. Kelas mutu C

Paving block kelas C merupakan *paving block* dengan nilai minimum kuat tekan sebesar 12,5 MPa dan memiliki rata rata kuat tekan sebesar 15 MPa. *Paving block* kelas C memiliki nilai penyerapan air maksimal sebesar 8 % dan nilai ketahanan aus rata rata sebesar 0,16 mm/menit. *Paving block* dengan kelas mutu C sering digunakan sebagai bahan perkerasan pejalan kaki.

4. Kelas mutu D

Paving block kelas mutu D merupakan *paving block* dengan nilai kuat tekan terendah yaitu dengan minimum nilai kuat tekan sebesar 8,5 MPa dan nilai rata rata kuat tekan sebesar 10 MPa. *Paving block* mutu kelas D memiliki nilai rata rata ketahanan aus yaitu 0,219 mm/menit dan nilai penyerapan air maksimum sebesar 10%. *Paving block* dengan kelas mutu D biasanya digunakan sebagai bahan perkerasan taman dan penggunaan lainnya.

2.3. Tanaman Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera L.*) merupakan salah satu tanaman perkebunan industri yang banyak ditemukan di Indonesia. Tanaman yang memiliki batang lurus dari famili aren-arenan atau palmae (*Arecaceace*) merupakan tanaman serbaguna. Tumbuhan ini memiliki banyak manfaat bagi manusia, hampir semua bagian dari tumbuhan ini dapat digunakan dan dimanfaatkan menjadi sebuah produk yang memiliki nilai ekonomi. Semua bagian pohon kelapa dapat dimanfaatkan, mulai dari bunga, batang, pelepah, daun, buah, bahkan akarnya pun dapat dimanfaatkan (Mahmud dan Ferry, 2005).

2.4. Buah Kelapa

Bunga betina yang telah dibuahi mulai tumbuh menjadi buah, kira-kira 3 –4 minggu setelah manggar terbuka. Tidak semua buah yang terbentuk akan menjadi buah yang bisa dipetik, tetapi diperkirakan 1/2 - 2/3 buah muda berguguran, karena pohon tidak sanggup membesarkannya. Buah yang masih kecil dan muda sering disebut bluluk atau bungsil (bahasa Bali). Kelapa diklasifikasikan pula dalam tiga varietas berdasarkan bentuk buah dan asal

perkawinannya yaitu typical (Tall Varieties = kelapa Dalam) Nana (Dwarf Varieties = kelapa Genjah) dan kelapa Semi Dalam atau kelapa Hibrida (*aurantiaca*) (Perera et al., 1996).

2.4.1. Bagian-Bagian Buah Kelapa

Menurut Makfoeld (1982) dalam Yusra (1998), bagian-bagian buah kelapa terdiri dari *epicarp* (bagian kulit luar), *mesocarp* (bagian berserabut dan terdiri dari jaringan sel serat yang keras, antara sel-sel terdapat jaringan yang lunak/sabut), *endocarp* (lapisan keras dan banyak mengandung silika/tempurung), endosperm (daging buah yang berwarna putih, lunak dan dapat dimakan), air kelapa dan lembaga. Persentase berat dari sabut (*epicarp* dan *mesocarp*) sebesar 35%, tempurung (*endocarp*) 12%, daging buah (endosperm) 18% dan air kelapa 25%. Karakteristik bagian-bagian buah kelapa menurut Palungkun (2005), adalah sebagai berikut :

- a. Kulit Luar (*Epicarp*)
Bagian buah kelapa yang paling luar ini berwarna hijau, kuning atau jingga. Permukaannya licin dan keras, tebalnya sekitar 0,14 mm.
- b. Serat Sabut (*Mesocarp*)
Sekitar 35% dari total berat buah kelapa merupakan berat sabut kelapa. bagian yang berserabut ini merupakan kulit dari buah kelapa dan dapat dijadikan sebagai bahan baku aneka industri, seperti karpet, sikat, keset, bahan pengisi jok mobil, tali dan lain-lain.
- c. Tempurung (*Endocarp*)
Tempurung terletak di bagian dalam kelapa setelah sabut. Pada bagian pangkal tempurung terdapat 3 buah lubang tumbuh (*ovule*) yang menunjukkan bahwa bakal buah asalnya berongga 3 dan yang tumbuh biasanya hanya 1 buah. Tempurung merupakan lapisan keras dengan ketebalan 3 – 5 mm. Sifat kerasnya disebabkan oleh banyaknya kandungan silikat (SiO_2) di tempurung tersebut. Dari berat total buah kelapa, 15 – 19% merupakan berat tempurungnya. Selain itu, tempurung juga banyak mengandung lignin. Sedang kandungan methoxyl dalam tempurung hampir

sama dengan yang terdapat dalam kayu. Namun, jumlah kandungan unsur-unsur tersebut itu bervariasi tergantung lingkungan tumbuhnya.

d. Kulit Daging Buah (Testa)

Kulit daging buah akan terlihat setelah tempurung dikupas. Kulit berwarna coklat membungkus seluruh daging buah kelapa. Kulit tipis ini biasanya dibuang ketika daging buah akan diolah

e. Daging Buah (Endosperm)

Daging buah adalah jaringan yang berasal dari inti lembaga yang dibuahi sel kelamin jantan dan membelah diri. Daging buah kelapa berwarna putih, lunak, dan tebalnya 8 – 10 mm.

f. Air Kelapa

Buah kelapa yang terlalu muda belum memiliki daging buah, dan hanya terdapat air kelapa yang disebut degan. Air kelapa muda ini rasanya manis, mengandung mineral 4%, gula 2%, abu dan air. Semakin tua buah, rasa air kelapa semakin kurang manis. Air kelapa dari buah tua hanya mengandung beberapa vitamin dalam jumlah kecil. Kandungan vitamin C – nya hanya 0,7 – 3,7 mg/100 mg air buah, asam nikotinat 0,64 g/ml, asam panthoneat 0,52 g/ml, biotin 0,02 g/ml, riboflavin 0,01 g/ml dan asam folat hanya 0,003 g/ml.

g. Lembaga

Lembaga buah akan tumbuh menjadi bakal tanaman setelah buah tua. Selain lembaga juga tumbuh alat pengisap makanan yang disebut kentos. Kentos berfungsi sebagai penghubung antara cadangan makanan dengan bakal tanaman. Kentos akan membesar seiring dengan pertumbuhan lembaga. Sedang daging buahnya akan semakin lunak, berair dan akhirnya habis terserap oleh kentos. Proses penyusutan daging buah ini terjadi secara bersamaan dengan tumbuhnya tunas dan daun.

2.4.2. Serat Sabut Kelapa

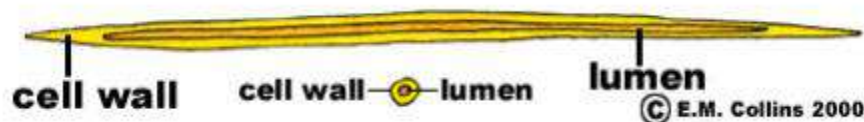
Serat sabut kelapa yang dikenal dengan nama latinnya *Cocos nucifera L*, saat ini sudah dimanfaatkan dan berkembang sebagai bahan baku produk komposit di bidang industri. Karakteristik unggulan serat sabut kelapa adalah modulus elastisitasnya cukup rendah dan daya mulurnya sangat tinggi dibandingkan

dengan serat alam yang lain. Sifat seratnya tidak kaku, sangat lentur, dan paling ulet. Struktur permukaan seratnya berongga menyerupai busa/*sponge*. Keunggulan lainnya adalah sabut kelapa memiliki berat yang relative ringan, tahan terhadap panas dan air garam, tahan terhadap cuaca, kuat, dan bahannya mudah untuk didapatkan.

Ketebalan sabut kelapa berkisar 5-6 cm yang terdiri dari lapisan terluar dan lapisan yang lebih dalam. Lapisan serat dalam mengandung serat yang lebih halus yang sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan karpet, tali, sikat, saringan, pengisi jok kursi, isolator dan papan partisi. Satu butir kelapa dapat mengandung serat sebesar 30-35% atau kurang lebih sebesar 0,4 kg (Nurmaulita, 2010).

2.4.3. Bentuk Serat Sabut Kelapa

Serat sabut kelapa merupakan salah satu bahan serat alan yang dapat diperoleh dari kulit buahna (*seed fiber*). Serat kelapa memiliki penampang melintang yang berbentuk melingkar atau lingkaran. Berdasarkan bentuk morfologi serat sabut kelapa menunjukkan bahwa serat kelapa memiliki banyak rongga.



Gambar 1. Bagian-Bagian Serat Sabut Kelapa

Berdasarkan strukturnya serat serabut kelapa memiliki permukaan menyerupai busa (*sponge*) bahkan terdapat lubang cukup besar yang berada di tengah tengah diameter serat sabut kelapa, penjelasan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Luas lubang ini diperkirakan kurang lebih 5 % dari luas lingkaran penampang melintang serat sabut. Serat sabut kelapa memiliki ukuran diameter rata-rata 236 μ m, serat sabut kelapa memiliki sifat yang paling ulet (Sunariyo, 2008).

2.5. Kandungan Serat Sabut Kelapa

Serabut yang berwarna coklat dan matang ini mengandung lebih banyak lignin dari serabut seperti rami dan kapas, sehingga umumnya serabut kelapa memiliki kekakuan dan ketangguhan yang lebih baik dibandingkan serat alami lainnya, tetapi memiliki kadar selulosa yang relatif lebih rendah dimana jumlah selulosa yang dikandung memengaruhi kelenturan serat (Khalil et al, 2006).

Tabel 1. Komposisi Beberapa Serat Alami

	Serabut Kelapa	Daun Nanas	Pelepah Pisang	Kayu Lunak	Kayu Keras
Ekstraksi(%)	6,4	5,5	10,6	0,2-8,5	0,1-7,7
Hemiselulosa(%)	56,3	80,5	65,2	60-80	71-89
Selulosa (%)	44,2	73,4	63,9	30-60	31-64
Lignin (%)	32,8	10,5	18,6	21-37	14-34
Abu (%)	2,2	2	1,5	<1	<1

2.5.1. Selulosa

Selulosa adalah senyawa organik dengan rumus ($C_6H_{10}O_5$) yang merupakan komponen utama lignoselulosa. Selulosa merupakan polisakarida yang terdiri dari rantai linear (memanjang, tidak bercabang) dengan beberapa ratus hingga ribuan unit D-glukosa terkait (Darojati, 2017). Menurut Mulyadi tahun 2019, selulosa dapat terbagi menjadi 3 jenis yaitu

1. Selulosa α (alpha cellulose): selulosa berantai panjang dengan derajat polimerisasi antara 600-1500, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5%. Selulosa α dipakai sebagai penentu tingkat kemurnian selulosa.
2. Selulosa β (betha cellulose): selulosa berantai pendek dengan derajat polimerisasi 15-90, larut dalam NaOH 17,5% atau dan dapat mengendap bila dinetralkan.

3. Selulosa γ (gamma cellulose): sama seperti selulosa β , tetapi memiliki derajat polimerisasi

2.5.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polisakarida yang dapat larut dalam larutan alkali. Hemiselulosa sangat dekat asosiasinya dengan selulosa dalam dinding tanaman. Rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer) seperti xilosa, atau dua monomer (heteropolimer) seperti xilosa dan glukomannan. Rantai hemiselulosa lebih pendek dibandingkan dengan selulosa. Xilan dan glukomanan adalah jenis hemiselulosa yang paling banyak. Hemiselulosa dapat terhidrolisis dengan mudah apabila dibandingkan dengan selulosa dengan penambahan basa cair atau asam dan penggunaan enzim seperti enzim hemiselulase (Hermiati dkk, 2017).

2.5.3. Lignin

Lignin adalah struktur kompleks yang berada pada dinding sel primer, sebagai penyokong struktur lignoselulosa. Lignin memiliki kandungan gugus-gugus metoksil (OCH₃) dan gugus-gugus hidroksil. Lignin merupakan salah satu polimer alami yang memiliki struktur dan heterogenitas dalam bentuk polimer-polimer polifenol yang bercabang-cabang dengan unit-unit berulang yang tidak teratur. Fungsi utama lignin adalah memperkuat struktur tanaman dalam menahan terhadap serangan mikroba dan tekanan oksidasi (Anindyawati, 2010). Lignin merupakan salah satu faktor utama yang menyulitkan degradasi lignoselulosa dengan enzim. Selain lignin adalah hambatan utama untuk mengakses selulosa dan hemiselulosa, Lignin adalah senyawa yang keras yang menyelimuti dan mengeraskan dinding sel (Hermiati dkk., 2017).

2.6. Dekomposisi

Dekomposisi merupakan suatu rangkaian proses yang disebabkan oleh interaksi dari proses fragmentasi, perubahan kimia, serta peluluhan. Pada saat bahan organik mulai mengalami proses dekomposisi, massabahan organik akan

mengalami penurunan secara eksponensial terhadap waktu. Sebagai contoh, serasah daun teruraikan 30-70% dari massanya dalam tahun pertama dan sisanya dalam lima hingga sepuluh tahun kemudian. Penurunan eksponensial dari massabahan organik menandakan bahwa terdapat proporsi konstan yang terurai setiap tahunnya.

Faktor yang mempengaruhi proses dekomposisi atau laju dekomposisi bahan organik dapat dikelompokkan ke dalam 3, yaitu:

1. Kualitas bahan organik yang akan didekomposisi
2. Mahluk hidup yang akan melakukan dekomposisi (dekomposer),
3. Faktor lingkungan

Beberapa contoh bahan organik yang sukar terdekomposisi adalah jerami jagung dan padi, sabut kelapa, tandan kosong kelapa sawit. Beberapa contoh bahan organik yang lebih mudah didekomposisi adalah sisa (residu) tanaman kacang-kacangan seperti kacang tanah, kedelai, kacang hijau (Wawan, 2017).

2.7. Semen *Portland*

2.7.1. Pengertian Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004 tentang semen *portland* menjelaskan bahwa semen *Portland* merupakan semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan lain.

2.7.2. Kandungan Semen *Portland*

Kandungan Semen *Portland* terbagi menjadi 2 bagian yaitu kandungan oksida mayor dan kandungan oksida minor. Semen *Portland* terdiri dari kandungan oksida mayor seberat kurang lebih 90% dari berat semen *portland* dan sisahnya terbentuk dari kandungan oksida minor. Kandungan oksida mayor yaitu oksida kapur (CaCO_3), oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Disamping itu oksida minor yang memiliki berat sebesar $\pm 10\%$ dari

semen *Portland* terdiri dari oksida magnesium (MgO), oksida alkali (Na₂O dan K₂O), oksida titan (TiO₂), oksida fosfor (P₂O₅), serta gypsum. Oksida mayor memberikan kontribusi terhadap proses pembentukan klinker dan sifat-sifat semen yang dihasilkan. CaO dan SiO₂ misalnya, memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan semen. Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dapat menurunkan temperatur sintering pada proses pembentukan klinker. Sebaliknya oksida-oksida minor dibatasi sampai presentase tertentu untuk menjaga kualitas semen atau untuk menghindari masalah proses

2.7.3. Komposisi Unsur Utama Semen *Portland*

Menurut Neville (1975) semen *portland* memiliki beberapa komposisi unsur utama antara lain

Tabel 2. Komposisi Unsur Utama Semen *Portland*

Nama Unsur	Komposisi Kimia	Simbol
Trikalsium silikat	3 CaO . SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium silikat	1 CaO . SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium aluminat	2 CaO . Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium aliminoforit	CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

C₃S dan C₂S merupakan dua unsur utama yang menempati kurang lebih 70-80% dari seluruh proporsi semen sehingga kedua unsur ini menjadi bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen.

2.7.4. Bahan Baku Semen *Portland*

Semen *portland* terbentuk dari batuan batuan alam yang mengandung oksida , kalsium, silika dan aluminium. Berdasarkan fungsinya bahan dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. Bahan baku utama adalah bahan baku yang mengandung komposisi kimia oksida oksida kalsium, silica, dan alumina. Batuan alam yang tergolong bahan baku utama adalah calcareous dan argillaceous. Calcareous pada

dasarnya adalah semua batuan alam yang mengandung senyawa CaCO_3 dan digunakan sebagai sumber oksida kalsium.

- b. Bahan baku korektif adalah bahan baku yang dipakai apabila pencampuran bahan baku utama komposisi oksida-oksidanya belum memenuhi persyaratan secara kualitatif dan kuantitatif.
- c. Bahan baku tambahan adalah bahan baku yang ditambahkan pada terak/klinker untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari semen yang dihasilkan. *Gypsum* merupakan salah satu dari semen yang dihasilkan.

2.7.5. Jenis Semen *Portland*

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 tentang semen *portland* menjelaskan bahwa penggunaannya semen *portland* terbagi menjadi 5 jenis yaitu:

- a. Jenis I yaitu semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

2.8. Ikatan Semen dan Air

2.8.1. Kegunaan Air Pada Campuran Beton

Air merupakan salah satu bahan penting dalam proses pencampuran beton karena penambahan air berguna sebagai rekatan dalam proses hidrasi semen. Tanpa penambahan volume air kedalam ikatan hidrolisis semen tidak dapat menjadi bahan perekat antar butir agregat. Air juga berguna dalam proses pelumasan

agregat sehingga sangat berpengaruh dalam proses pencampuran beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Persyaratan air untuk campuran beton segar dengan berbagai mutu adalah

- a. Air harus bersih, tidak berwarna, dan tidak berbau.
- b. Kandungan garam dan zat organik dalam air tidak melebihi 15 gr/lt.
- c. Kadar lumpur dan zat-zat lain tidak melebihi 2 gr/lt.
- d. Tidak mengandung klorida lebih dari 0.5 gr/lt.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat SO_3 lebih dari 1 gr/lt.

2.8.2. Mekanisme Pencampuran Air dan Semen

Menurut Tjokrodimuljo tahun 1996 berpendapat bahwa bila semen terkena air, maka unsur C_3S akan segera berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu, unsur ini juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen. Pada prosesnya unsur C_3S berperan penting dalam proses pengerasan awal terutama untuk mencapai umur 14 hari. Sebaliknya C_2S bereaksi dengan air berlangsung lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah proses C_3S dan berlangsung selama 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir. C_2S ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan akan mempengaruhi, susulan pengeringan. Unsur C_3A berhidrasi secara *exothermic*, dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam.

C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 % beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur C_3A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Unsur C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton. Namun sejumlah unsur C_3A dan C_4AF tetap ditambahkan pada semen mengingat pengaruhnya terutama untuk menurunkan temperatur dalam kilang atau tanur pembakaran (Neville,1975)

2.9. Deformasi

Deformasi dalam mekanika continuum yaitu transformasi suatu benda dari kondisi semula ke kondisi terkini. Makna dari kondisi mampu diartikan sebagai serangkaian posisi dari semua partikel yang ada didalam benda tersebut. Deformasi dapat disebabkan oleh gaya eksternal, gaya internal (gravitasi atau gaya elektromagnetik) atau perubahan temperature didalam benda pemuai.

Deformasi dalam ilmu material adalah perubahan bangun atau ukuran dari suatu objek karena diterapkannya suatu gaya (daya tarik, daya tekan, geser, lipatan atau torsi) atau perubahan suhu (pergerakan cacat struktural seperti mempunyai batasan butir, titik kekosongan dan dislokasi ulir). Sekecil apapun gaya yang bekerja pada benda akan menyebabkan benda mengalami perubahan bentuk dan ukuran (Suarsana, 2017).

2.9.1. Deformasi Elastis

Deformasi elastis adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Benda yang mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk, jika tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, perubahan bentuk itu akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan.

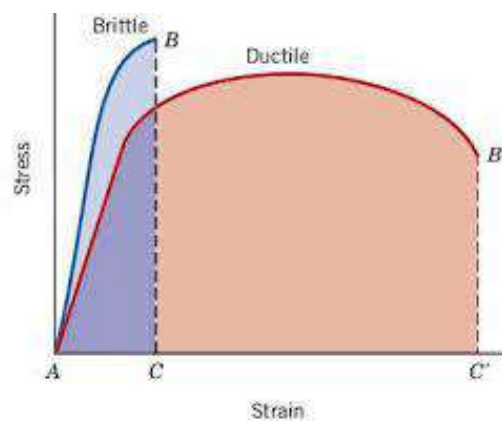
2.9.2. Deformasi Plastis

Deformasi plastis adalah kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi (yang permanen) tanpa mengakibatkan patah. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti forging, extruding, rolling dan lainnya. Sifat ini dikenal dengan keuletan (*ductility*) (Suarsana, 2017).

Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis cukup besar dikenal sebagai bahan yang mempunyai keuletan tinggi, bahan yang ulet (*ductile*), keuletan (*ductility*) menggambarkan kemampuan untuk berdeformasi secara plastis tanpa

menjadi patah dapat diukur dengan besarnya regangan plastis yang terjadi setelah batang uji putus. Bahan ulet mempunyai gaya regangan (tensile strain) relatif besar sampai dengan titik kerusakan.

Bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastis dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau getas (*brittle*). Bahan rapuh mempunyai gaya regangan yang relatif kecil sampai dengan titik yang sama. Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis disebut rapuh. Bahan yang mengalami sangat sedikit atau tidak ada deformasi plastis pada fraktur disebut getas. Bahan dianggap rapuh jika regangan pada saat patah kira-kira 5% (Muhammad, 2014).



Gambar 2. Gambar Grafik Tekanan-Regangan Bahan *Brittle* dan *Ductile*

Ketangguhan (*toughness*) merupakan kemampuan bahan untuk menyerap suatu energi tanpa mengakibatkan adanya kerusakan. Ketangguhan juga sering menjadi tolak ukur suatu energi yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu benda pada kondisi tertentu. Bahan dengan tingkat keuletan tinggi (*ductile*) memiliki nilai ketangguhan yang besar, sedangkan bahan dengan tingkat keuletan rendah (*getas/brittle*) memiliki nilai ketangguhan kecil. Ketangguhan dinyatakan dengan modulus ketangguhan yang dapat didefinisikan sebagai aktivitas energi yang diperlukan untuk mematahkan satu satuan volume suatu bahan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga bulan November tahun 2021 di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian dan Laboratorium Rekayasa Sumber daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian dan Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan *paving block*, sebagai alat yang digunakan untuk mencetak *paving block*. Cetakan *paving block* penelitian ini berbentuk segienam dengan tinggi 6 cm dan panjang sisi 10 cm
- b. Gelas ukur, sebagai alat untuk mengukur penggunaan air pada adonan *paving block*.
- c. Nampan, sebagai alat untuk meletakkan adonan yang telah dicetak agar adonan tetap pada tempatnya.
- d. Timbangan, sebagai alat untuk mengukur berat bahan seperti pasir, semen, dan limbah biomassa.
- e. Ember, sebagai wadah untuk mencampur adonan pasir, semen dan biomassa
- f. Sendok semen, sebagai alat untuk mengaduk adonan agar bahan tercampur merata
- g. Mesin uji tekan beton merk control, sebagai alat untuk menguji daya tekan *paving block* yang telah dicetak.

- h. Alat tulis, digunakan untuk mencatat kebutuhan kebutuhan selama penelitian berlangsung.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu

- a. Semen, sebagai bahan perekat yang digunakan pada campuran bahan pembuat *paving block*. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen merk tiga roda dengan ukuran 50kg yang telah sesuai SNI-7064-2014, dengan karakteristik memiliki panas hidrasi yang lebih rendah dibanding semen portlan lainnya sehingga pengerjaan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton atau plester yang lebih rapat.
- b. Air, sebagai bahan untuk mencampurkan adonan pasir dengan semen.
- c. Serabut Kelapa, bahan tabahan untuk menggantikan agregat kasar sehingga dapat menciptakan ruang pori lebih banyak. Serabut kelapa pada penelitian ini mengalami pengecilan ukuran dengan panjang kurang lebih 1 cm menggunakan gunting manual.
- d. Pasir , sebagai bahan pencampur adonan *paving block* bersama dengan semen. Pasir pada penelitian ini diayak menggunakan ayakan untuk memisahkan pasir dengan betuan kerikil.

3.3. Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), yang terdiri dari 4 taraf perlakuan dengan 5 ulangan. Penelitian ini menggunakan 40 sampel yang terbagi dalam 20 sampel untuk uji *destructive* dan 20 sampel untuk uji *non-destructive*.

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan

Perlakuan	Pasir + Semen (% berat)	Limbah Biomassa (Serat Sabut Kelapa) (% berat)
P1	97,5	2,5
P2	95	5

P3	90	10
P4	85	15

Tabel 4. Rancangan Percobaan *Destructive* Dengan 5 Ulangan

Perlakuan	Ulangan				
	U1	U2	U3	U4	U5
P1	P1 U1	P1 U2	P1 U3	P1 U4	P1 U5
P2	P2 U1	P2 U2	P2 U3	P2 U4	P2 U5
P3	P3 U1	P3 U2	P3 U3	P3 U4	P3 U5
P4	P4 U1	P4 U2	P4 U3	P4 U4	P4 U5

Tabel 5. Rancangan Percobaan *Non-Destructive* Dengan 5 Ulangan

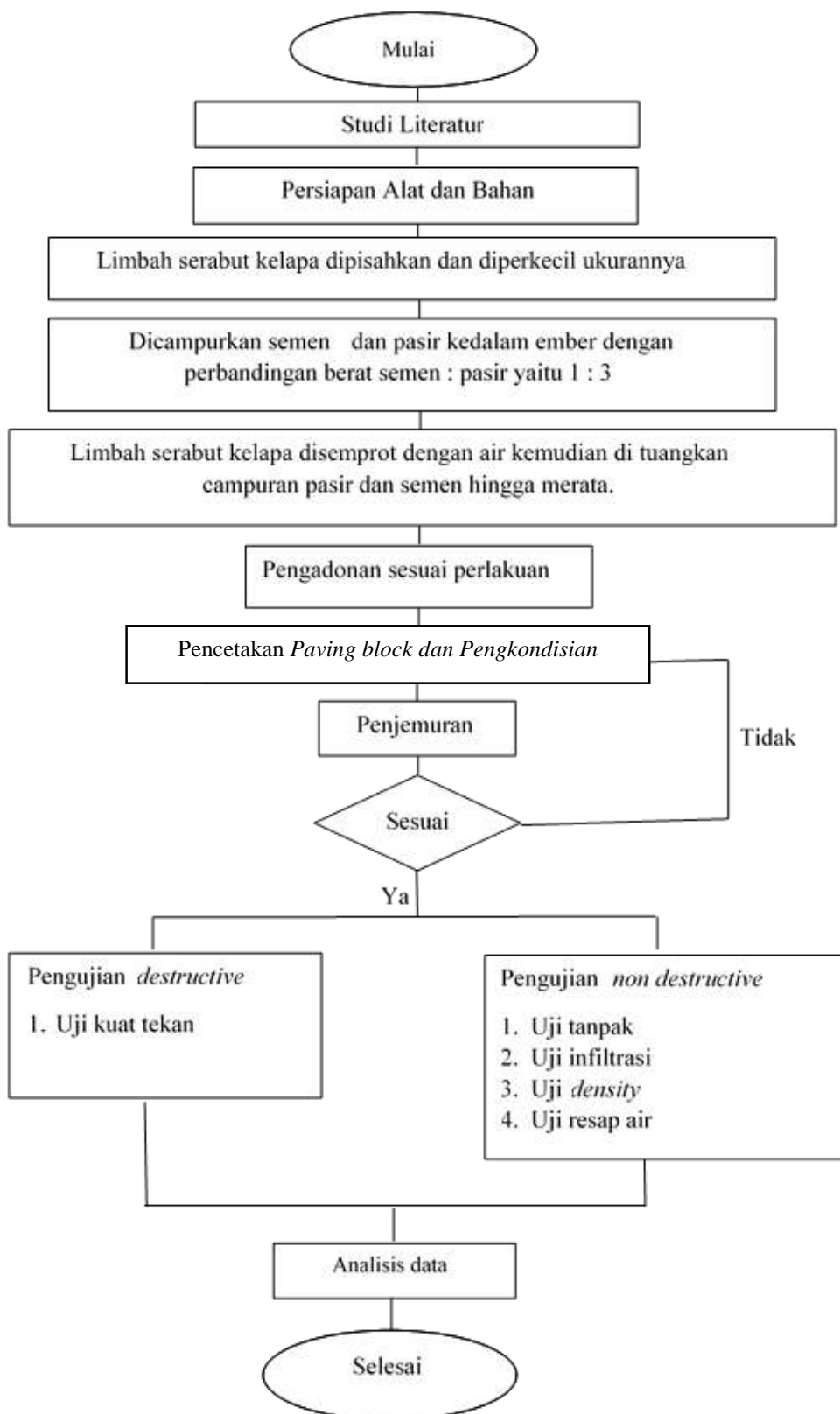
Perlakuan	Ulangan				
	U1	U2	U3	U4	U5
P1	P1 U1	P1 U2	P1 U3	P1 U4	P1 U5
P2	P2 U1	P2 U2	P2 U3	P2 U4	P2 U5
P3	P3 U1	P3 U2	P3 U3	P3 U4	P3 U5
P4	P4 U1	P4 U2	P4 U3	P4 U4	P4 U5

Rasio yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pencampuran bahan pasir dan semen yang dilakukan dengan rasio 1 : 3. Rasio semen dan pasir ini didapatkan berdasarkan penelitian Putri tahun 2019 tentang sifat fisik *paving block* komposit sebagai lapis perkerasan bebas genangan air (*permeable pavement*). Pasir yang digunakan pada penelitian ini merupakan pasir halus, sebelum di campur dengan semen pasir diayak terlebih dahulu menggunakan ayakan berukuran 2 mm. Pencampuran limbah serat sabut kelapa dengan campuran pasir dan semen dilakukan dengan cara membasahkan limbah serat sabut kelapa dengan alat semprot dan kemudian menaburkan campuran pasir dan semen. Proses ini dilakukan bertahap hingga seluruh pasir dan semen tercampur dan melekat dengan limbah sabut kelapa. Adonan *paving block* dengan beberapa perlakuan yang berbeda itu akan dicetak menggunakan cetakan *paving block* dan

di jemur. *Paving block* yang telah mengeras akan diberi beberapa pengujian untuk melihat tingkat mutu *paving block* tersebut. Uji yang diberikan terbagi menjadi 2 yaitu uji *destructive* dan uji *non-destructive*. Uji *non-destructive* terbagi menjadi uji resapan air, uji infiltrasi, uji densitas, dan uji tampak (warna dan tekstur) sedangkan uji *destructive* yaitu uji kuat tekan.

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pembuatan *paving block* menggunakan semen dan serabut kelapa dengan menggunakan mesin pencetak terbagi menjadi beberapa tahapan proses antara lain : pemisahan serabut kelapa dari buah kelapa dan pengecilan ukuran serabut kelapa. Proses pengecilan serabut kelapa dilakukan secara manual menggunakan gunting tangan dengan ukuran serabut kelapa yang diinginkan kurang lebih sebesar 1 cm. Langkah selanjutnya pencampuran semen dan pasir dengan rasio yaitu 1:3, semen dan pasir diukur menggunakan timbangan sesuai dengan rasio yang dibutuhkan dan kemudian semen dan pasir dicampur dan diaduk hingga merata. Tahap selanjutnya yaitu menambahkan pasir dan semen yang telah diaduk merata pada limbah serat sabut kelapa, pada tahap ini serabut kelapa diukur beratnya sesuai perlakuan yang diinginkan dan kemudian disemprot terlebih dahulu menggunakan semprotan hingga kondisi serabut kelapa terlapisi air dan kemudian ditabur campuran pasir dan semen secara perlahan agar tidak menggumpal. Kegiatan pencetakan *paving block* ini dilakukan berulang dengan perlakuan yang telah ditentukan hingga didapatkan jumlah sampel yang dibutuhkan. Tahapan berikutnya yaitu pembuatan *paving block* yang disajikan dalam diagram alir dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.5. Parameter Pengamatan

Pengamatan *paving block* dilaksanakan sesuai dengan parameter yang ditentukan, produk akan diuji dan diamati sesuai dengan standar mutu *paving block* SNI-03-0691-1996 tentang *paving block* (bata beton).

3.5.1. Uji Resapan Air

Pada pengujian resapan air, masing masing sampel akan dimasukan kedalam wadah berisi air selama 24 jam, lalu sampel yang telah direndam akan di timbang dalam kondisi jenuh dan didapatkan berat sampel basah, setelahnya sampel akan di keringkan dalam pengering bersuhu 105°C dan diukur berat kering *paving block*.

Adapun rumus pada uji resapan air yaitu :

$$\text{Resapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots 1$$

A = berat *paving block* setelah direndam

B = berat *paving block* setelah dikeringkan

3.5.2. Uji Kuat Tekan

Proses pengujian kuat tekan dilakukan setelah *paving block* melewati proses penjemuran dan telah mengeras sempurna. Pengujian kuat tekan ini diberikan kepada seluruh sampel *paving block* di setiap perlakuan yang diberikan. Pengujian dilakukan dengan cara menekan sampel *paving block* menggunakan alat press hingga menunjukkan retakan atau hancur. Jika tidak terjadi retak atau hancur maka besar beban tekan akan diukur dalam waktu 1 menit pertama.

Rumus yang digunakan adalah rumus standar pengujian kuat tekan *paving block* yaitu :

$$\text{kuat tekan} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2$$

F = beban tekan, N

A = luas bidang tekan, mm²

Pengujian dilakukan dengan mesin uji tekan beton otomatis merk Control dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 6. Spesifikasi Mesin Uji Tekan Beton Merk Control

Model 50-	C56C02 atau C56C04
Capacity kN	3000
Max vertical daylight, mm*	350
Horizontal daylight, mm	370
Max. piston travel*, mm	50
Platen dimensions	300 mm dia.
Platen surface hardness	55.5 HRC (600 HV)
Platens flatness toll.	0.03 mm
Overall dimensions, mm	985x505x1190
Weight, kg	1045
Volt	230 V
Power	1 ph



Gambar 4. Mesin Uji Tekan Beton Merk Control

3.5.3. Uji Infiltrasi

Uji infiltrasi dilakukan untuk melihat kecepatan *paving block* untuk meneruskan air menuju tanah. Proses pengujian ini dilakukan dengan meletakkan sebuah plastik mengelilingi *paving block*, lalu menuangkan air ke permukaan *paving*. Proses selanjutnya dilakukan dengan cara menghitung waktu kecepatan meneruskan air sejak air menyentuh permukaan *paving* hingga saat air tidak menetes kembali. Data yang telah diperoleh dapat dilanjutkan dengan rumus penghitungan agar mendapatkan nilai laju infiltrasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung laju infiltrasi yaitu:

$$I = \frac{4V}{D^2\pi t} \dots\dots\dots 3$$

- I = laju infiltrasi (mm/s)
- V = volume air yang lolos (mm³)
- D = diameter plastik (mm)
- T = waktu yang dibutuhkan meloloskan air (s)

3.5.4. Uji Density

Proses pengujian density dilakukan untuk mengetahui nilai kerapatan suatu sampel uji. Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang massa *paving block* yang telah kering terjemur matahari dan menghitung volume dari *paving block* itu sendiri. Pengujian ini diberikan kepada seluruh sampel di setiap perlakuan. Data massa dan volume sampel *paving block* kemudian dihitung agar mendapatkan nilai densitas dengan rumus :

$$densitas = \frac{\text{massa paving block}}{\text{volume paving block}} \dots\dots\dots 4$$

Luas Permukaan *Paving block Porous* Berbentuk Prisma Segi Enam

Diketahui panjang sisi = 10 cm

Penyelesaian :

$$L = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times S^2$$

$$L = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times 10^2$$

$$L = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times 100$$

$$L = \frac{519,61}{2}$$

$$L = 259,8 \text{ cm}^2$$

$$L = 2598 \text{ mm}^2 [\text{Ma1}]$$

3.5.5. Uji Tampak Dan Warna

Proses pengujian tampak dan warna diberikan kepada seluruh sampel di setiap perlakuan dengan cara menyusun *paving block* pada permukaan datar seperti pada pemasangan normal kemudian melihat dan membandingkan perbedaan. *Paving block* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak rapuh.

3.6. Analisis Data

Data diperoleh menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), untuk selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan parameter yang diamati. Data dianalisis dengan menggunakan sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji BNT apabila terdapat perlakuan yang berbeda signifikan, dengan menggunakan program aplikasi *Statistical Analysis System* (SAS).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. *Paving block Porous* pada penelitian menggunakan bahan tambahan yaitu serat sabut kelapa dengan komposisi serat sabut kelapa : pasir dan semen yang berbeda pada setiap perlakuannya. Komposisi limbah serabut kelapa : pasir dan semen pada penelitian ini yaitu perlakuan P1 sebesar 2,5% : 97,5%, perlakuan P2 sebesar 5% : 95%, perlakuan P3 sebesar 10% : 90% dan perlakuan P4 sebesar 15% : 85%. *Paving block* dinyatakan lulus uji apa bila sampel yang diambil dari kelompok tersebut memenuhi ketentuan klasifikasi mutu *paving block* mutu D yang biasa digunakan untuk taman, lingkungan terbuka hijau serta perkerasan jalan dengan tekanan ringan.
2. Penambahan serat sabut kelapa kedalam adonan *paving block* memiliki pengaruh terhadap karakteristik fisik *paving block*, hal ini dilihat dari hasil pengujian *destructive* dan *non-destructive* memiliki hasil yang berbeda dengan hasil pengujian *paving* tanpa penambahan serat sabut kelapa. Variasi komposisi terbaik pada penelitian ini yaitu perlakuan P1 dengan komposisi serat sabut kelapa 2,5%. Perlakuan P1 memiliki hasil uji tampak dengan nilai warna abu abu dengan kode RGB (105,95,87), laju infiltrasi sebesar 0,59 mm/s, dan rata rata nilai densitas sebesar 1191,73 kg/m³, dan nilai daya resap air sebesar 31,15%. Pada penelitian ini serat sabut kelapa juga memiliki sifat porositas yang tinggi sehingga memiliki nilai daya resap yang tinggi. Serat sabut kelapa memiliki karakteristik ulet (*ductile*) yang menyebabkan nilai ketahanan tarik tinggi sehingga pada pengujian gaya tekan *paving block* tidak mengalami retakan dan hanya meregang dengan nilai pengujian tekan sebesar 1,64 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreansyah. 2019. *Uji Tekanan Dan Daya Serap Air Pada Batako Berbahan Dasar Campuran Limbah Styrofoam, Serat Kelapa, Dan Abu Gosok*. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Anindyawati. 2010. *POTENSI SELULASE DALAM MENDEGRADASI LIGNOSELULOSA LIMBAH PERTANIAN UNTUK PUPUK ORGANIK*. Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. Bogor.
- Ciawi, Y. 2022. *KAJIAN AWAL PEMBUATAN BETON POROUS UNTUK PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN*. Universitas Udayana. Bali.
- Darojati. 2017. *Prospek Pengembangan Teknologi Radiasi Sebagai Perlakuan Pendahuluan Biomassa Lignoselulosa*. Institut Agama Islam Negeri Salatiga. Salatiga.
- Ginting. 2015. *Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi Styrofoam*. Universitas Janabadra. Yogyakarta.
- Hermiati, Mangunwidjaja, D. 2017. *Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu Untuk Produksi Bioethanol*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan LIPI. Bogor.
- Khalil, Alwani, dan Omar. 2006. *Chemical Composition, Anatomy, Lignin Distribution, and Cell Wall Structure of Malaysian Plant Waste Fibers*. J.Bioresources. Malaysia.
- Mahmud, Z. dan Ferry, Y. 2005. *Prospek Pengolahan Hasil Samping Buah Kelapa*. Jurnal Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, 4(2). Bogor
- Makfoeld, D. 1982. *Deskripsi Pengolahan Hasil Nabati*. Agritech, Yogyakarta.
- Marfranklin. 2019. *Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Pada Pembuatan Beton Ringan Cellular Lightweight Concrete*. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Muhammad. 2014. *Bahan Teknik*. Universitas Malikussaleh. Aceh.

- Mulyadi, I. 2019. *Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa*. Fakultas Teknik UNPAM. Pamulang.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton Edisi Kedua*. Andi. Yogyakarta.
- Neville. 1975. *PROPERTIES OF CONCRETE*. The English Language Book Society and Pitman Publishing. London.
- Nugraha, P dan Antoni., 2007. *Teknologi Beton Edisi Pertama*. Andi. Yogyakarta.
- Nurmaulita, 2010. *Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa dengan Resin Polyester terhadap Karakteristik Papan Lembaran*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Palungkun, R., 2004. *Aneka Produk Olahan Kelapa*. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Perera L, dan WMU Fernando. 1996. *Conservation of coconut (Cocos nucifera L.) biodiversity in Sri Lanka*. Plant Genetic Resources Newsletter. Sri Lanka.
- Purwanto, E. 2011. *Pengaruh Prosentase Penambahan Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan*. Universitas Lampung. Lampung.
- Putri, E. 2019. *SIFAT FISIK PAVING BLOCK KOMPOSIT SEBAGAI LAPIS PERKERASAN BEBAS GENANGAN AIR (PERMEABLE PAVEMENT)*. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Rais. 2021. *Sifat Fisik Dan Mekanis Papan Semen Berbahan Sabut Kelapa Pada Berbagai Komposisi Ukuran Partikel*. Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Rumbayan. 2020. *Kuat Tekan, Kuat Lentur Dan Daya Serap Air Untuk Batako Dengan Penambahan Serat Sabut Kelapa*. Politeknik Negeri Manado. Manado.
- Sahrudin. 2016. *Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta.
- Suarsana. 2017. *Ilmu Material Teknik*. Universitas Udayana. Denpasar.
- Sunariyo. 2008. *Karakteristik Komposit Termoplastik Polipropilena dengan Serat Sabut kelapa sebagai Pengganti Bahan Palet Kayu*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Waifilate, A. 2008. *Mechanical Property Evaluation of Coconut Fibre*. Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology. Sweden.
- Wawan. 2017. *Buku Ajar Pengolahan Bahan Organik*. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Wildan, A. 2010. *Studi Proses Pemutihan Serat Sabut Kelapa Sebagai Reinforced Fiber*. Universitas DiPonegoro. Semarang.
- Yuwanda. 2018. *Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Dan Abu Sekam Padi Pada Kuat Tekan Paving block*. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.