

**PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA BATANG SINGKONG SEBAGAI
BAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK POROUS***

(Skripsi)

Oleh :
Nia Hikmah Maharani
2114071029



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

Utilization of Cassava Stem Biomass Waste as a Material for Porous Paving Block Production

By

NIA HIKMAH MAHARANI

This study investigates the utilization of cassava stem waste as a pore-forming agent in the production of porous paving blocks. Cassava stem waste, which is abundantly available in Lampung Province and contains cellulose, hemicellulose, and lignin, presents potential for application in the construction sector. The use of porous paving blocks is considered a viable solution to urban waterlogging problems, as it facilitates the infiltration of rainwater into the soil. The objective of this research is to utilize cassava stem biomass waste in the manufacture of porous paving blocks and to examine the influence of its incorporation as an additive material. The experimental procedure involved adding cassava stem waste at varying proportions (2%, 4%, 6%, and 8%) into the paving block mixture. The specimens were subjected to a curing period of 28 days, followed by quality assessments. The evaluations included visual inspection, structural entirety, density, water absorption, infiltration rate, and compressive strength. The findings indicate that the produced paving blocks met the standard requirements for entirety and infiltration rate according to quality grade D, with the highest water absorption recorded at 35.036% in the P4 variation. Nevertheless, the highest compressive strength achieved was 4.81 MPa, which does not satisfy the minimum compressive strength requirement for grade D. An increase in the proportion of cassava stem waste was observed to enhance porosity and water absorption capacity, yet concurrently resulted in a reduction of both compressive strength and density.

Keywords: Cassava stem waste, porous paving block, infiltration rate, compressive strength, biomass utilization.

ABSTRAK

Pemanfaatan Limbah Biomassa Batang Singkong Sebagai Bahan Pembuatan *Paving Block Porous*

Oleh

NIA HIKMAH MAHARANI

Penelitian ini memanfaatkan limbah batang singkong sebagai bahan untuk membentuk pori pada paving block porous. Limbah batang singkong yang melimpah di Provinsi Lampung dan mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat dimanfaatkan dalam bidang konstruksi. Penggunaan paving block porous dapat menjadi solusi masalah genangan air di daerah perkotaan karena memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah. Tujuan dari penelitian ini ialah memanfaatkan limbah biomassa batang singkong untuk pembuatan *paving block porous* dan mempelajari pengaruh penggunaan limbah batang singkong sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving block porous*. Penelitian dilakukan dengan mencampurkan limbah batang singkong (variasi 2%, 4%, 6%, dan 8%) ke dalam adonan paving block. *Paving block* akan melalui masa *curing* selama 28 hari dan kemudian dilanjutkan dengan pengujian mutu. Pengujian meliputi tampilan fisik, kekuatan, densitas, daya resap air, laju infiltrasi, dan kuat tekan. Hasil menunjukkan paving block memiliki kekuatan dan laju infiltrasi yang sudah sesuai dengan standar mutu D, dengan daya resap air tertinggi 35,036% pada P4. Namun, kuat tekan tertinggi hanya 4,81 MPa, sehingga tidak memenuhi standar kuat tekan mutu D. Semakin tinggi persentase limbah batang singkong, semakin besar porositas dan daya resap, namun diiringi penurunan kuat tekan serta densitas.

Kata Kunci: Limbah batang singkong, paving block porous, laju infiltrasi, kuat tekan, pemanfaatan biomassa.

**PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA BATANG SINGKONG SEBAGAI
BAHAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK POROUS***

Oleh :
Nia Hikmah Maharani

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

**: PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA
BATANG SINGKONG SEBAGAI BAHAN
PEMBUATAN PAVING BLOCK POROUS**

Nama Mahasiswa

: **Nia Hikmah Maharani**

Nomer Pokok Mahasiswa

: 2114071029

Jurusan/PS

: Teknik Pertanian

Fakultas

: Pertanian



Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc.

NIP. 198905202015042001

Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.

NIP. 197801022003121001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.

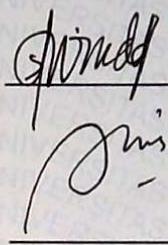
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

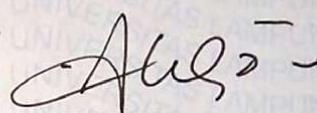
Ketua

: Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc.



Sekretaris

: Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.



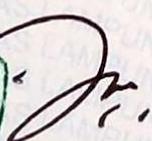
Pengaji Bukan

: Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.

Pembimbing

2. Dekan Fakultas Pertanian





Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 1 Agustus 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Nia Hikmah Maharani NPM. 2114071029. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, **1) Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc.** dan **2) Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.** 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 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Nia Hikmah Maharani

NPM. 2114071029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sidodadi, Kabupaten Lampung Selatan pada hari Selasa tanggal 1 April 2003. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Sri Agus Sunarno dan Ibu Yuliani. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Raudhatul Athfal (RA) Al-Khairiyah Sidomulyo pada tahun 2008-2009, Sekolah Dasar Negeri (SDN) 3 Sidodadi pada tahun 2009-2015, Sekolah Menengah Pertama Negri (SMPN) 1 Sidomulyo pada tahun 2015-2018 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Sidomulyo pada tahun 2018-2021. Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa,. Penulis aktif menjadi anggota di organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP).

Pada bulan Januari hingga Februari 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2024 selama 40 hari di Desa Talang Mangga, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan. Selain itu pada tanggal 01 Juli hingga 10 Agustus 2024, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) PT. Nudira Sumberdaya Indonesia (Greenhouse Nudira Fresh), Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat dengan judul kegiatan “Sistem Pengendalian Suhu Dan Kelembaban yang Diterapkan di *Greenhouse* Nudira Fresh”.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamiiin

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan ke-hadirat Allah SWT, atas Rahmat, karunia, serta hidayah-Nya yang senantiasa memberikan kekuatan, Kesehatan, dan kemudahan dalam setiap langkah kehidupan ini. Berkat Ridha-Nya, skripsi ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini kupersembahkan dengan penuh hormat, cinta, dan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada:

Orang tua tercinta

(Bapak Sri Agus Sunarno dan Ibu Yuliani)

yang telah memberikan segala bentuk pengorbanan, dukungan, dan doa selama proses pendidikan saya.Terima kasih atas kerja keras yang tidak pernah mengenal lelah dan atas keikhlasan kalian dalam membimbing dan mendoakan saya tanpa henti. Segala pencapaian ini tidak akan terwujud tanpa peran besar kalian di belakang saya.Semoga hasil dari usaha ini dapat menjadi kebanggaan dan bentuk penghargaan atas semua yang telah kalian berikan.

Kakakku tersayang

Tidak lupa, saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kakakku Nur Afni Apriani, yang dengan penuh keikhlasan telah memberikan dukungan secara materi maupun semangat. Bantuan yang diberikan, telah menjadi penyemangat selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas perhatian dan kedulian yang tidak pernah putus, yang membuat langkah saya terasa lebih ringan.

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi yang berjudul “**PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA BATANG SINGKONG SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN PAVING BLOCK POROUS**” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis berterimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Ibu Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing pertama dan pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, masukan, motivasi dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu Dr. Siti Suharyatun., S.T.P., M.Si., selaku dosen pembahas yang memberikan bimbingan, dukungan, motivasi, dan saran sebagai perbaikan skripsi ini.

5. Bapak dan mamak selaku orang tua tercinta serta kakak tersayang yang selalu memberikan dukungan berbentuk do'a, semangat, kasih saying dan materi untuk penulis demi kelancaran perkuliahan selama ini, terima kasih.
6. Para rekan penelitian penulis yang telah membantu dan membersamai selama penelitian dan penyelesaian skripsi.
7. Sahabat dan teman teman penulis yang ikut membantu proses penelitian dan memberikan semangat serta dukungan kepada penulis.
8. Kepada Xdinary Heroes atas kontribusinya dalam menciptakan suasana yang menyenangkan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi. Terima kasih atas lagu-lagu yang telah menemani.
9. Dan kepada diri saya sendiri Nia Hikmah Maharani, terima kasih telah bertahan dan tetap berjalan hingga saat ini, good job Nia.

Bandar Lampung, 15 Agustus 2025
Penulis

Nia Hikmah Maharani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Beton	6
2.2.1 Pengertian Beton	6
2.2.2 Hubungan Serat dan Beton.....	6
2.2.3 <i>Paving Block</i>	6
2.2.4 <i>Paving Block Porous</i>	7
2.2.5 Klasifikasi <i>Paving Block</i>	8
2.2.6 Syarta Mutu <i>Paving Block</i>	9
2.3 Limbah Biomassa	9
2.4 Tanaman Singkong.....	10
2.5 Kandungan Batang Singkong	11
2.5.1 Selulosa	11
2.5.2 Hemiselulosa.....	11
2.5.3 Lignin	12
2.6 Agregat	12

2.7	Semen portland.....	13
2.7.1	Pengertian Semen Portland	13
2.7.2	Komposisi Semen Portland.....	13
2.8	Ikatan Semen dan Air	14
2.8.1	Kegunaan Air pada campuran Beton	14
2.8.2	Mekanisme Pencampuran Air Dan Semen	15
2.9	Kerusakan Bahan.....	15
2.10	Deformasi	15
2.10.1	Deformasi Elastis	16
2.10.2	Deformasi Plastis.....	16
2.10.3	Patahan	17
III.	METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1	Waktu Dan Tempat	18
3.2	Alat Dan Bahan	18
3.3	Rancangan Percobaan.....	18
3.4	Prosedur Penelitian.....	19
3.5	Parameter Pengamatan	22
3.5.1	Uji Tampak.....	22
3.5.2	Uji Keutuhan	22
3.5.3	Uji Densitas.....	22
3.5.4	Uji Resap Air	23
3.5.5	Uji Infiltrasi.....	23
3.5.6	Uji Kuat Tekan	23
3.6	Analisis Data	24
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	<i>Paving Block Porous</i>	25
4.2.1	Uji Tampak.....	26
4.2.2	Uji Densitas	29
4.2.3	Uji Daya Resap Air	31
4.2.4	Uji Infiltrasi.....	33
4.3.1	Uji Keutuhan	36
4.3.2	Uji Kuat Tekan	37
V.	KESIMPULAN.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41

5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bentuk bentuk paving block.....	7
Gambar 2. Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 3. Paving block setelah cetak sebelum masa curing.....	26
Gambar 4. Hasil tampak paving P1, P2, P3, dan P4 setelah masa curing 28 hari	27
Gambar 5. Nilai RGB.....	28
Gambar 6. Nilai rerata uji densitas.....	29
Gambar 7. Nilai rerata uji daya resap air	31
Gambar 8. Proses pengujian infiltrasi	34
Gambar 9. Nilai rerata uji infiltrasi	34
Gambar 10. Uji keutuhan	36
Gambar 11. Proses pengujian kuat tekan	37
Gambar 12. Nilai rerata uji kuat tekan	37
Gambar 13. Proses men-chopper limbah batang singkong.....	51
Gambar 14. Limbah batang singkong setelah di-chopper.....	51
Gambar 15. Proses pengayakan limbah batang singkong.....	52
Gambar 16. Limbah batang singkong yang sudah diayak	52
Gambar 17. Proses penjemuran pasir.....	53
Gambar 18. Proses penimbangan bahan-bahan	53
Gambar 19. Proses pengadukan adonan paving block.....	54
Gambar 20. Proses pencetakan paving block.....	54
Gambar 21. Paving block yang sudah dicetak	55
Gambar 22. Pengukuran dimensi paving block	55
Gambar 23. Proses penimbangan paving block	56
Gambar 24. Proses perendaman paving dalam uji daya resap	56

Gambar 25. Proses pengovenan paving block dalam uji daya resap air	57
Gambar 26. Volume air pada pengujian infiltrasi	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi unsur utama semen portland	13
Tabel 2. Perlakuan penelitian paving block porous	18
Tabel 3. Rancangan percobaan non destruktif	19
Tabel 4. Rancangan percobaan destruktif	19
Tabel 5. Nilai RGB 40 sampel paving block	27
Tabel 6. ANOVA uji densitas	30
Tabel 7. BNT uji densitas	30
Tabel 8. ANOVA daya resap air	32
Tabel 9. BNT daya resap air	33
Tabel 10. ANOVA uji infiltrasi	35
Tabel 11. BNT uji infiltrasi.....	35
Tabel 12. Distribusi beban telapak kaki manusia.....	38
Tabel 13. ANOVA uji kuat tekan	38
Tabel 14. BNT uji kuat tekan	39
Tabel 15. Data pengujian densitas	48
Tabel 16. Data pengujian daya resap air	48
Tabel 17. Data pengujian infiltrasi.....	49
Tabel 18. Data pengujian kuat tekan.....	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Singkong, atau yang lebih dikenal sebagai ketela pohon, merupakan tanaman serbaguna yang berasal dari Amerika Selatan. Sejak diperkenalkan ke Indonesia pada abad ke-19, singkong dengan cepat beradaptasi dengan iklim tropis negara kita. Ketahanannya terhadap berbagai kondisi tanah dan cuaca membuat singkong mudah dibudidayakan oleh petani. Menurut Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian, total produksi singkong Indonesia pada tahun 2022 diperkirakan mencapai 14,98 juta ton, dengan Lampung menyumbang lebih dari 5,95 juta ton. Selama periode 2018 - 2022, Lampung telah menjadi pusat produksi singkong terbesar di Indonesia. Kontribusi Lampung terhadap total produksi singkong nasional sangat signifikan, mencapai hampir 40% pada tahun 2022. Ini berarti, hampir dua dari lima singkong yang diproduksi di Indonesia berasal dari Lampung. Di lansir oleh Kanafi dan Salim (2024), pada laman antaranews.com, Kepala Bidang Tanaman Pangan Dinas Ketahanan Pangan dan Tanaman Pangan Hortikultura Provinsi Lampung menyebutkan, pada 2023 produksi singkong di Lampung mencapai 7,1 juta ton, dengan luas lahan mencapai 243 ribu hektare dan pada 2024 mencapai 7,5 juta ton dari lahan seluas 254 ribu hektare.

Menurut Gustam *et al.* (2022), Berdasarkan data tahun 2017, setiap hektar lahan singkong di Lampung yang ditanam dengan jarak 1 m x 1 m dapat menghasilkan sekitar 10.000 batang singkong. Setiap batang singkong rata-rata memiliki berat 0,3 kilogram. Artinya, dari setiap hektar lahan tersebut, akan dihasilkan sekitar

3 ton limbah batang singkong dan tidak semua dijadikan bibit. Jika kita mempertimbangkan luas lahan singkong di seluruh Provinsi Lampung yang mencapai 342,100 hektar, maka secara keseluruhan, Lampung diprediksi menghasilkan limbah batang singkong sebanyak 10.263 ton dalam setahun. Selama ini, limbah batang singkong yang dihasilkan dalam jumlah besar dari perkebunan singkong di Lampung seringkali dianggap sebagai sampah yang tidak berguna. Kebanyakan limbah batang singkong hanya dibiarkan membusuk di lahan atau dibakar. Padahal, limbah pertanian ini memiliki potensi yang dapat dikembangkan salah satunya pada bidang infrastuktur.

Masalah utama di daerah perkotaan saat ini ialah, banjir dan genangan air. Hal tersebut dapat disebabkan oleh sistem drainase yang buruk dan tidak adanya lahan resapan. Lahan resapan adalah area yang berfungsi menyerap air hujan ke dalam tanah. Lahan ini bekerja seperti spons yang menyerap air. Ketika hujan turun, air tidak langsung menggenang di permukaan, melainkan masuk perlahan ke dalam tanah. Proses ini sangat penting, terutama dalam mengelola air hujan. Salah satu manfaat utama dari lahan resapan adalah untuk mencegah genangan air. Ketika hujan deras, air yang terserap oleh lahan resapan akan mengurangi volume air yang mengalir di permukaan tanah.

Peningkatan penggunaan tutupan lahan permanen di perkotaan modern justru menjadi kontraproduktif terhadap kebutuhan mendesak akan lahan resapan. Permukaan tutupan lahan yang kedap air mencegah air hujan untuk terserap ke dalam tanah. Akibatnya, aliran air permukaan meningkat, yang akhirnya memperparah masalah banjir. Selain meningkatkan risiko banjir, kurangnya resapan air ini juga berdampak negatif pada ketersediaan cadangan air tanah. Penggunaan *paving block* sebagai pengganti tutupan lahan permanen dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi permasalahan terbatasnya lahan resapan. *Paving block* berpori misalnya, dirancang khusus dengan rongga-rongga yang memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah.

Pemanfaatan limbah batang singkong sebagai bahan campuran pada proses pembuatan *paving block* berpori merupakan inovasi yang menjanjikan dalam mengatasi permasalahan lingkungan dan urbanisasi. Kandungan serat alami pada batang singkong akan menciptakan pori-pori pada *paving block*, sehingga memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah secara alami. Hal ini tidak hanya membantu mengurangi genangan air, tetapi juga mengatasi permasalahan limbah batang singkong. Selain itu, dengan memanfaatkan limbah pertanian, kita turut berkontribusi dalam mengurangi volume sampah dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku non-alami.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- i. Apakah limbah batang singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pembuat pori pada pembuatan *paving block* berpori
- ii. Apakah penambahan limbah batang singkong berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik *paving block* tersebut

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- i. Memanfaatkan limbah batang singkong untuk pembuatan *paving block porous*
- ii. Mempelajari pengaruh penggunaan limbah batang singkong sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving block* berpori

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah penggunaan limbah biomassa batang singkong untuk pembuatan pori pada *paving block* dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik *paving block* tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- i. Memanfaatkan limbah biomassa batang singkong sebagai bahan untuk membuat pori pada *paving block* sehingga berkontribusi pada pengelolaan limbah pertanian yang lebih baik.
- ii. Penambahan pori pada *paving block* dapat meningkatkan kualitas produk, seperti meningkatkan permeabilitas air dan mengurangi risiko genangan air.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini ialah :

- i. *Paving block* menggunakan limbah biomassa berupa batang singkong
- ii. *Paving block* dibuat berdasarkan SNI 03-0691-1996 Mutu D

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak lepas dari hasil penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan kajian dan perbandingan. Adapun hasil-hasil penelitian yang dijadikan acuan tidak terlepas dari topik penelitian mengenai pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan pembuatan pori pada *paving block porous*. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan Pratama *et al* (2023), *paving block porous* yang dibuat dengan campuran limbah biomassa bonggol jagung perlakuan C1 (2%) dan C2 (4%) memiliki karakteristik fisik kuat tekan 0,072 MPa dan daya resap air 20% dimana karakteristik tersebut sudah sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Uji densitas didapatkan nilai dengan rata-rata 1,327 g/cm³ dan uji infiltrasi didapatkan nilai sebesar 0,274 mm/s.

Rosadi *et al* (2023), pada penelitiannya tentang pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu jati sebagai bahan campuran dalam pembuatan *paving block porous* dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan P1 (2%) memiliki nilai terbaik dengan rata-rata nilai kuat uji tekan 16,05 MPa dan nilai rata-rata daya resap air 6,89%, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa *paving block porous* P1 (2%) sudah memenuhi standar SNI paving block mutu D. Penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati *et al.* (2024), terkait pemanfaatan limbah serat kelapa sebagai bahan tambahan pembuatan *paving block porous* menunjukkan hasil bahwa penambahan limbah serat kelapa kedalam adonan paving

block mempengaruhi karakteristik fisik *paving block* tersebut. Hasil pengujian menunjukkan perlakuan P1 dengan campuran limbah serat kelapa sebanyak 2,5% merupakan komposisi terbaik dengan nilai laju infiltrasi 0,59mm/s, nilai uji tekan 1,64 MPa dengan rata rata nilai densitas sebesar 1191,73 kg/m³ dan daya resap air 31,15%.

2.2 Beton

2.2.1 Pengertian Beton

Beton adalah material yang terbentuk dari campuran homogen antara agregat halus (seperti pasir), agregat kasar (seperti kerikil), atau berbagai jenis agregat lainnya dan air yang dikombinasikan dengan semen portland atau semen hidrolik lainnya. Terkadang, juga ditambahkan bahan tambahan yang bersifat kimia ataupun fisika ke dalam campuran dengan perbandingan tertentu. Campuran ini akan mengeras menyerupai batu akibat reaksi kimia antara semen dan air (Putra, 2017).

2.2.2 Hubungan Serat dan Beton

Penambahan serat, seperti serat polypropylene, pada beton bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton yang umumnya rendah. Serat membuat beton lebih lentur dan tahan terhadap retak. Namun, penting untuk menggunakan jumlah serat yang tepat. Terlalu sedikit serat tidak memberikan efek signifikan, sedangkan terlalu banyak serat membuat beton sulit dipadatkan dan berpori. Jumlah serat yang ideal dipengaruhi oleh bentuk, perbandingan panjang dan diameter serat, serta jenis material lainnya. Untuk mendapatkan hasil terbaik, perlu dilakukan percobaan pencampuran (*trial mix*) untuk memastikan beton memiliki kepadatan yang cukup (Akbar *et al.*, 2023).

2.2.3 *Paving Block*

Paving block merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan, biasanya dengan komposisi yang telah diatur. Badan Standarisasi Nasional (1996)

meyebutkan dalam (SNI) 03-0691-1996, *paving block* didefinisikan sebagai bahan bangunan yang dibuat dari semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, serta agregat dengan atau tanpa tambahan bahan lainnya, asalkan tidak mengurangi mutu beton yang dihasilkan. Proses pembuatannya melibatkan campuran yang terdiri dari semen atau bahan perekat, air, agregat halus (seperti pasir), dan agregat kasar (misalnya kerikil atau batu pecah) (Rahmawati *et al.*, 2024).

Paving block ini dibuat dengan tujuan memberikan struktur padat yang hampir menyerupai karakteristik mortar atau beton, sehingga menghasilkan elemen bangunan yang kokoh dan tahan lama. Jenis material ini banyak digunakan untuk permukaan jalan, trotoar, dan area lainnya karena sifatnya yang kuat tetapi tetap memiliki porositas yang mendukung resapan air ke dalam tanah. Kekuatan dan daya tahannya bervariasi tergantung pada komposisi dan kualitas bahan yang digunakan.



Gambar 1. Bentuk bentuk *paving block*

2.2.4 *Paving Block Porous*

Paving block berpori adalah jenis *paving block* yang dibuat tanpa pasir, melainkan dibuat menggunakan campuran semen atau bahan perekat yang dihidrolisis, air, dan agregat kasar. Agregat yang digunakan berupa batu pecah berukuran 5-20 mm

(agregat kasar). Rongga yang terbentuk dari batu pecah pada permukaan *paving block* berpori menyebabkan kekuatannya lebih rendah dibandingkan *paving block* biasa, sehingga cocok digunakan pada area ruang terbuka hijau (Sianturi, 2022).

Pada beton *porous* tingkat porositas sangat dipengaruhi oleh ukuran rongga udara yang terbentuk. Semakin besar rongga udara semakin tinggi nilai porositasnya yang memungkinkan beton porous untuk mengalirkan air dengan cepat. Namun, meningkatnya porositas juga berdampak pada penurunan kekuatan beton porous, karena ikatan antara agregat dan semen menjadi lebih lemah (Desmaliana *et al.*, 2020)

2.2.5 Klasifikasi *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving block* dibedakan menurut kelas mutu penggunaanya :

i. Mutu A

Kategori mutu A, *paving block* memiliki kekuatan tekan 40 MPa dengan minimum tekan 35 MPa. Memiliki rata rata keausan 0,090 mm/menit dan daya resap air maksimal 3%. *Paving* jenis ini bisa dikatakan cukup kuat bila dibandingkan jenis lainnya. Karena bermutu cukup kuat, *paving block* mutu A umumnya digunakan untuk pembangunan jalan.

ii. Mutu B

Kategori mutu B, *paving block* memiliki kekuatan tekan 20 MPa dengan minimum tekan 17 MPa. Memiliki rata rata keausan 0,130 mm/menit dengan daya resap air maksimal 6%. Jenis *paving* bermutu B biasanya digunakan untuk mobilitas yang lebih rendah, misalnya untuk lahan parkir kendaraan.

iii. Mutu C

Kategori mutu C, *paving block* memiliki kekuatan tekan 15 MPa dengan minimum tekan 12,5 MPa. Memiliki rata rata keausan 0,160 mm/menit dengan daya resap air maksimal 8%. *Paving block* mutu umumnya digunakan untuk area non struktural konstruksi seperti area trotoar yang hanya di khususkan untuk para pejalan kaki.

iv. Mutu D

Kategori mutu D, *paving block* memiliki kekuatan tekan 10 MPa dengan minimum tekan 8,5 MPa, memiliki rata rata keausan 0,219 mm/menit dengan daya resap air maksimal 10%. *Paving block* mutu D biasanya digunakan untuk pekarangan rumah atau taman.

2.2.6 Syarta Mutu *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03 – 0691 – 1996 syarat mutu bata beton (*Paving block*) ialah :

i. Sifat Tampak

Bata beton (*Paving block*) harus memiliki permukaan yang rata dan tidak terdapat cacat ataupun retakan. Bagian ujung sudut dan rusuk bata beton (*Paving block*) tidak hancur jika ditekan menggunakan jari tangan.

ii. Ukuran

Bata beton (*Paving block*) diharuskan memiliki ketebalan minimum 60 mm dengan nilai toleransi ketebalan +8%

iii. Sifat Fisik

Bata beton (*Paving block*) harus memiliki dan memenuhi syarat sifat fisik berupa kekuatan tekan dan daya resap air.

2.3 Limbah Biomassa

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik sebagai produk utama maupun limbah. Contoh-contoh biomassa meliputi tanaman, pohon, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, serta kotoran manusia dan hewan ternak. Selain dimanfaatkan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, dan material bangunan, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar) (Parinduri dan Parinduri, 2020)

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat total penyedia energi alam berbasis biomasa di indonesia pada tahun 2021 sebanyak 799,5 Joule dan pada tahun 2022 menurun menjadi 769,7 joule. Dilansir oleh Hardiyon (2022), pada laman zonaebt.com, limbah biomassa dari sektor pertanian, seperti limbah padi banyak terkonsentrasi

di Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Sementara itu, limbah singkong tersebar luas di Pulau Jawa dan Provinsi Lampung. Provinsi Lampung memiliki luas lahan singkong mencapai 342,100 ha (BPS Lampung, 2017), dengan lahan yang luas tersebut lampung diperkirakan dapat menghasilkan limbah biomassa batang singkong sebanyak 10.263 ton/tahun (Gustam *et al.*, 2022).

2.4 Tanaman Singkong

Ketela pohon atau sering disebut singkong adalah tanaman berkayu dengan cabang-cabang yang akarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Tanaman ini berasal dari benua Amerika khususnya dari Brasil. Singkong merupakan salah satu tanaman yang tersebar luas dan dapat ditemukan di hampir seluruh dunia. Singkong umumnya dibudidayakan di negara-negara yang memiliki sektor pertanian yang kuat (Maghfiroh, 2021).

Menurut Saifuddin (2022), singkong, merupakan salah satu sumber pangan utama bagi masyarakat di seluruh dunia. Selain sebagai makanan pokok, singkong juga digunakan sebagai bahan baku industri dan pakan ternak. Singkong termasuk dalam famili Euphorbiaceae atau suku jarak-jarakan. Tanaman ini memiliki banyak nama daerah, seperti ketela pohon, singkong, pohung, kasbi, sepe, boled, dan budin di Jawa, sampeu di Sunda, dan kaspe di Papua. Dalam bahasa Inggris, singkong dikenal sebagai cassava atau tapioca plant, dan di Filipina disebut kamoteng kahoy, serta masih banyak nama lainnya. Secara umum klasifikasi singkong adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Manihot</i>
Spesies	: <i>Manihot utilissima</i> Pohl.; <i>Manihot esculenta</i> Crantz

2.5 Kandungan Batang Singkong

Pemanfaatan tanaman singkong selama ini lebih banyak terfokus pada bagian umbinya, sementara untuk batangnya belum dimanfaatkan secara optimal. Hanya sekitar 10% dari panjang batang yang digunakan kembali sebagai bibit, sedangkan 90% sisanya menjadi limbah yang tidak dimanfaatkan. Limbah batang singkong sebenarnya merupakan biomassa dengan kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, terdiri dari 56,82% α -selulosa, 21,72% lignin, 21,45% *Acid Detergent Fiber* (ADF), serta panjang serat berkisar antara 0,05 hingga 0,5 cm (Sumada, 2011 dalam Haidar *et al.*, 2022). Menurut Lismeri *et al.* (2016), Batang singkong mengandung selulosa, lignin, ADF, dan serat panjang tetapi juga mengandung 24,34% hemiselulosa.

2.5.1 Selulosa

Selulosa merupakan salah satu biopolimer yang memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, dan ekonomis. Biopolimer ini tersedia secara melimpah di alam. Selulosa tersusun dari rantai linier glukosa yang saling terikat. Zat ini merupakan komponen utama yang ditemukan di sebagian besar sel tumbuhan. Selulosa terbentuk dari monomer glukosa yang membentuk rantai polimer panjang. Dalam lignoselulosa, selulosa terjebak di dalam hemiselulosa dan lignin, sehingga diperlukan metode khusus untuk mengekstraksi selulosa dari lignoselulosa tersebut (Amrillah *et al.*, 2022).

2.5.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah jenis polisakarida yang ditemukan dalam semua jenis serat. Senyawa ini mudah larut dalam alkali dan dapat terhidrolisis oleh asam mineral menjadi gula dan senyawa lainnya. Hemiselulosa berfungsi mengikat lapisan serat selulosa untuk membentuk mikrofibril, yang meningkatkan stabilitas dinding sel pada tanaman. Sebagai komponen dinding sel, hemiselulosa merupakan bagian dari serat kasar tanaman, dan konsentrasiannya dipengaruhi oleh jenis tanaman serta tingkat kematangannya (Pasue dan Salah, 2019).

2.5.3 Lignin

Lignin merupakan polimer aromatik yang banyak ditemukan pada tumbuhan berserat. Lignin berperan sebagai pengikat selulosa dan hemiselulosa di dalam tanaman. Polimer ini memiliki tiga monomer utama, yaitu *p-coumaryl alcohol*, *coniferyl alcohol*, dan *sinapyl alcohol*. Memiliki gugus seperti fenilpropana, hidroksil fenolik, dan karbonil menunjukkan bahwa lignin bersifat amfifilik, yaitu memiliki kemampuan untuk mengikat air (hidrofilik) dan minyak (lipofilik). Lignin dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat, serat karbon, dan karbon aktif (Berghuis dan Wahid, 2021).

Lignin, merupakan biopolimer alami kedua terbanyak setelah selulosa, membentuk antara 18% hingga 35% berat biomassa. Lignin memiliki struktur punggung yang kompleks, terdiri dari senyawa aromatik dan alifatik, serta banyak gugus fungsional yang bisa dimodifikasi. Karena sifat-sifatnya ini, lignin menjadi salah satu bahan alami yang sangat menarik untuk pengembangan material yang ramah lingkungan dan fungsional (Shorey *et al.*, 2024).

2.6 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Meskipun hanya berfungsi sebagai pengisi, proporsi agregat dalam beton sangat besar, yaitu sekitar 60% hingga 70% dari total volume beton. Oleh karena itu, karakteristik dan sifat agregat secara langsung memengaruhi sifat-sifat beton itu sendiri. Sifat utama dari agregat (baik berupa batu, kerikil, pasir, maupun jenis lainnya) adalah kekuatan terhadap tekanan dan ketahanan terhadap benturan. Kedua hal ini memengaruhi daya ikat agregat dengan pasta semen, tingkat porositas, serta kemampuan menyerap air, yang semuanya berperan dalam menentukan ketahanan beton terhadap serangan kimia dan penyusutan (Surianti dan Arham, 2017).

2.7 Semen portland

2.7.1 Pengertian Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland merupakan jenis semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker portland, dimana klinker portland ini sebagian besar terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis, dalam proses pembuatannya akan ditambahkan dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan bahan lain. Hidrolis berarti sangat reaktif terhadap air, sehingga senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi cepat dengan air. Semen portland memiliki sifat hidrolis karena mengandung kalsium silikat dan kalsium sulfat, yang sangat cepat bereaksi dengan air.

2.7.2 Komposisi Semen Portland

Menurut Neville (1975) dalam Rahmawati *et al.* (2024), semen portland memiliki beberapa komposisi unsur utama yaitu :

Tabel 1. Komposisi unsur utama semen portland

Nama Unsur	Komposisi Kimia	Simbol
Trikalsium Silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Dikalsium Silikat	$1\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Trikalsium Aluminat	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Tetrakarsium Aliminoferit	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

2.7.3 Jenis Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen portland dibagi menjadi 5 jenis yaitu :

- i. Jenis I yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- ii. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- iii. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- iv. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah

- v. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.8 Ikatan Semen dan Air

2.8.1 Kegunaan Air pada campuran Beton

Dalam proses pembuatan beton, air diperlukan untuk memulai proses kimiawi semen, membasahi agregat halus, dan membuat beton lebih mudah dikerjakan. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih dan tidak mengandung minyak yang dapat merusak beton. Jika air yang tercemar garam, minyak, dan gula saat digunakan dalam campuran beton, kualitas beton akan menurun dan bahkan dapat mengubah sifatnya (Julduin dan Alfa, 2020).

Menurut PBI (1971), persyaratan air untuk campuran pembuatan beton ialah:

- i. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak beton
- ii. Apabila terdapat keraguan terhadap air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air kelembaga pemeriksaan yang diakui untuk dilakukan pemeriksaan sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
- iii. Jika contoh air yang disebutkan di ayat 2 tidak dapat diperiksa, maka percobaan harus dilakukan untuk membandingkan kekuatan tekan mortel semen + pasir dengan air tersebut dan dengan air suling. Air dapat dianggap dapat digunakan jika kekuatan tekan mortel dengan menggunakan air pada umur 7 hingga 28 hari paling sedikit sama 90% dengan kekuatan tekan mortel dengan menggunakan air suling pada umur yang sama.
- iv. jumlah air yang dipakai untuk membuat campuran adonan pada pembuatan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat material lainnya, dalam hal ini air tidak boleh kurang dan tidak boleh lebih.

2.8.2 Mekanisme Pencampuran Air Dan Semen

Menurut Widojoko (2010), Mekanisme terjadinya proses pengerasan (*setting*) dan pemadatan (*hardening*) semen dalam proses pembuatan mortar dimulai saat semen dicampur dengan air. Reaksi antara air dan C₃A menghasilkan 3CaO.Al₂O₃.3H₂O, yang memiliki sifat kaku dan berbentuk gel. Menurut Tjokrodimuljo (1996) dalam Rahmawati *et al.* (2024), ketika semen terkena air, senyawa C₃S mulai berhidrasi dengan cepat dan menghasilkan panas yang berperan penting dalam terjadinya pengerasan awal hingga mencapai usia 14 hari. Sebaliknya, C₂S berhidrasi lebih lambat, sehingga kontribusinya terhadap pengerasan semen baru terasa setelah C₃S beraksi. C₂S juga membantu meningkatkan kekuatan akhir semen, serta membuatnya lebih tahan terhadap serangan kimia, yang memengaruhi proses pengeringan lanjut. Di sisi lain, C₃A juga berhidrasi secara eksotermik dengan reaksi yang sangat cepat, menghasilkan kekuatan pada semen setelah 24 jam pertama.

2.9 Kerusakan Bahan

Dalam bidang keteknikan, kerusakan bahan dapat didefinisikan sebagai perubahan sifat atau bentuk material yang menyebabkan penurunan fungsi atau kegagalan dalam memenuhi tujuan desainnya. Kegagalan dalam bentuk apapun biasanya diawali oleh adanya beban. Tanpa adanya beban, kemungkinan besar konstruksi atau komponen mesin tidak akan mengalami kegagalan. Beban tersebut bisa berupa gaya, suhu, tekanan, momen, dan faktor lainnya yang dapat menyebabkan perubahan bentuk atau deformasi pada konstruksi (Chandra, 2020).

2.10 Deformasi

Deformasi dalam mekanika kontinuum merupakan perubahan suatu benda dari kondisi awal ke kondisi saat ini. Kondisi tersebut merujuk pada serangkaian posisi semua partikel di dalam benda. Deformasi dapat terjadi akibat gaya eksternal, gaya internal seperti gravitasi atau gaya elektromagnetik, atau perubahan suhu yang menyebabkan pemuaian pada benda tersebut (Rahmawati *et al.*, 2024).

Deformasi merupakan proses perubahan bentuk atau distorsi pada suatu komponen akibat adanya beban (*force*) atau tekanan (*pressure*). Deformasi sering digunakan sebagai indikator untuk menilai kekuatan material. Semakin kuat suatu material, semakin kecil deformasi yang terjadi saat diberi beban. Sebaliknya, semakin lemah material, semakin besar deformasi yang dihasilkan dari pembebasan (Wibawa, 2020).

2.10.1 Deformasi Elastis

Menurut Didik (2015), deformasi elastis adalah proses perubahan bentuk yang terjadi pada struktur material ketika dikenai beban, di mana material tersebut dapat kembali ke bentuk asalnya setelah beban dihilangkan. Dalam tahap ini, ketika gaya diterapkan, atom-atom dalam jaringan material mengalami pergeseran yang bersifat sementara. Ketika gaya tersebut dihapus, gaya pengembalian yang terjadi akibat interaksi antar atom akan menarik kembali atom-atom tersebut ke posisi awalnya, sehingga material kembali ke bentuk semula. Proses ini terjadi karena sifat elastisitas yang dimiliki material tersebut tinggi, yang memungkinkan struktur molekulnya untuk mendistribusikan dan menyimpan energi tanpa mengubah bentuk permanen.

2.10.2 Deformasi Plastis

Menurut Didik (2015), deformasi plastis adalah proses perubahan bentuk yang terjadi pada struktur atom pada material ketika terkena beban atau gaya eksternal. Dalam keadaan ini, atom-atom dalam jaringan material bergeser dari posisi awalnya, menyebabkan material mengalami perubahan bentuk yang permanen. Ketika beban diterapkan, material akan mengalami dua tahap deformasi: deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada tahap elastis, material dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan, karena deformasi ini bersifat sementara. Namun, jika beban yang diterapkan melebihi batas elastisitas material, maka deformasi plastis terjadi.

Ketika tahap plastis, ikatan antar atom mulai mengalami perubahan yang lebih signifikan. Proses ini seringkali melibatkan pergerakan dislokasi, yaitu cacat pada

struktur material yang memudahkan pergeseran atom. Akibatnya, struktur material mengalami perubahan bentuk yang tidak dapat dikembalikan ke kondisi semula, bahkan setelah beban dihilangkan.

2.10.3 Patahan

Menurut Saharil dan Samlawi (2019), patahan (*Fracture*) adalah peristiwa terbelahnya suatu material atau komponen menjadi dua bagian atau lebih akibat diberi beban yang konstan atau berubah secara perlahan. Tegangan yang menyebabkan patahan bisa berupa tarik (*tensile*), tekan (*compressive*), geser (*shear*), atau puntir (*torsional*). Dalam rekayasa bahan, patahan umumnya dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu patahan ulet (*ductile*) dan patahan getas (*brittle*), tergantung pada seberapa besar kemampuan material mengalami deformasi plastis (perubahan bentuk permanen) sebelum patahan.

a) Patahan Ulet (*Ductile Fracture*)

Patahan ulet ditandai dengan permukaan patahan yang tidak rata serta dipenuhi oleh lekukan-lekukan kecil (*dimple*). Jenis patahan ini terjadi pada material yang mampu mengalami deformasi plastis yang besar sebelum akhirnya patahan, seperti baja karbon rendah dan logam paduan yang bersifat lunak. Proses terjadinya patahan dimulai dengan penyempitan penampang (*necking*), diikuti oleh pembentukan rongga-rongga mikro, yang kemudian berkembang menjadi retakan hingga akhirnya menyebabkan patahan menyeluruh.

b) Patahan getas (*brittle fracture*)

Permukaan patahan biasanya tampak halus dan bertekstur kasar seperti butiran, tanpa menunjukkan deformasi plastis yang berarti sebelum terjadinya kerusakan. Patahan ini sering dijumpai pada material yang bersifat keras dan mudah pecah, seperti keramik, kaca, atau logam yang berada pada kondisi suhu rendah. Pada bahan komposit, patahan getas umumnya muncul ketika material mengalami beban lentur atau benturan yang melebihi batas elastisnya, dan seringkali dimulai dari kegagalan tarik pada bagian bawah spesimen uji.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember tahun 2024 sampai bulan Februari tahun 2025 di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, dan Laboratorium Bahan dan Kontruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2 Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cetakan *paving block*, timbangan, ember, nampan atau papan, sendok semen, mesin uji tekan beton, *Chopper*, ayakan mesh 8, oven dan alat tulis. Bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah semen, air, pasir, dan limbah batang singkong.

3.3 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang diterapkan pada penelitian ini adalah rancangan ancak lengkap (RAL) yang terdiri dari empat taraf perlakuan dengan 5 ulangan.

Penelitian ini menggunakan 40 sampel yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu 20 sampel untuk pengujian distruktif dan 20 sampel untuk pengujian non distruktif.

Tabel 2. Perlakuan penelitian *paving block porous*

No	Perlakuan	Semen 1 : 3 Pasir (g)	Batang Singkong (g)
1	P1	490 : 1470	40 (2%)
2	P2	480 : 1440	80 (4%)
3	P3	470 : 1410	120 (6%)
4	P4	460 : 1380	160 (8%)

Tabel 3. Rancangan percobaan non destruktif

Perlakuan	Ulangan				
	1	2	3	4	5
P1	P1U1	P1U2	P1U3	P1U4	P1U5
P2	P2U1	P2U2	P2U3	P2U4	P2U5
P3	P3U1	P3U2	P3U3	P3U4	P3U5
P4	P4U1	P4U2	P4U3	P4U4	P4U5

Tabel 4. Rancangan percobaan destruktif

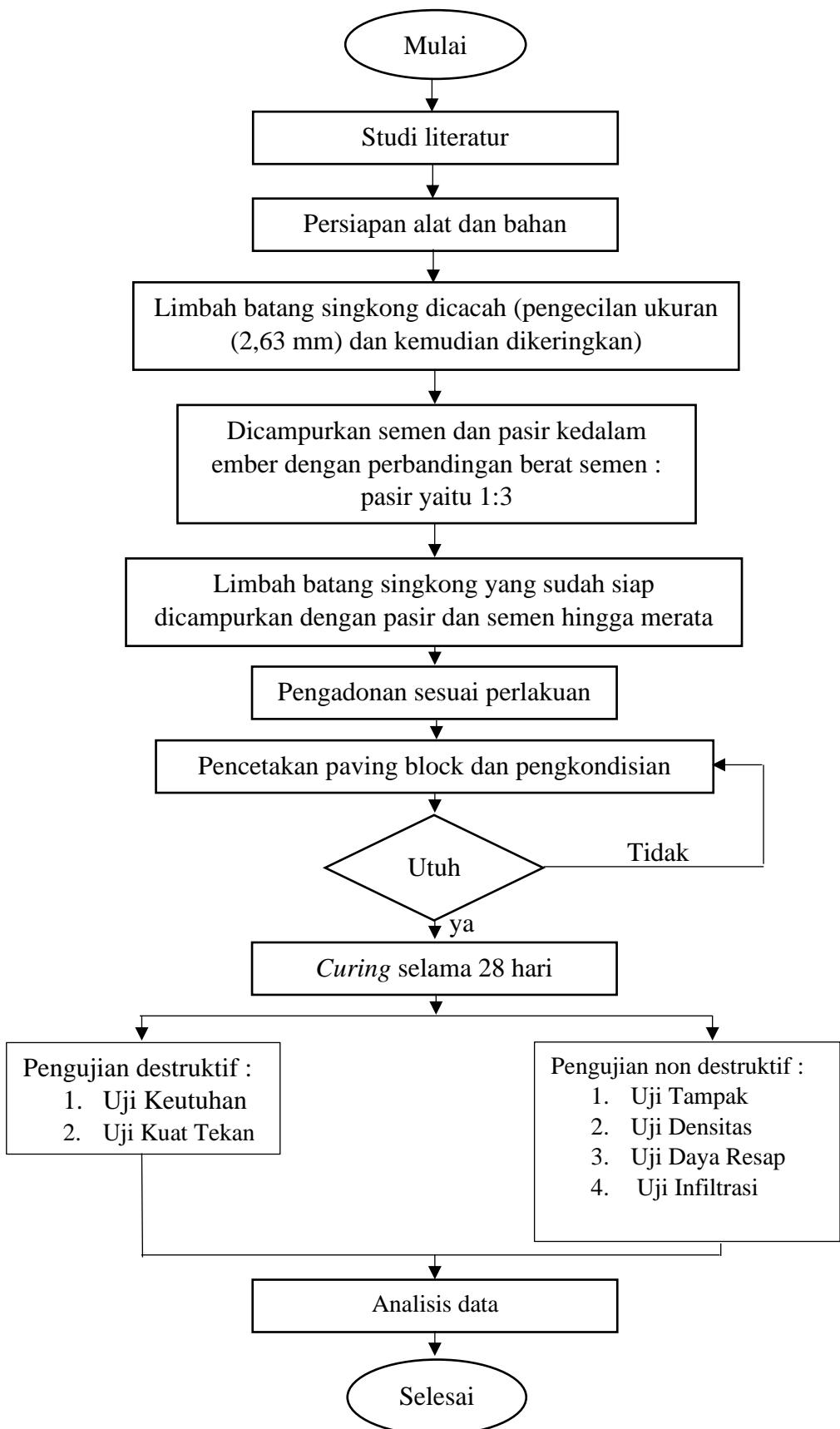
Perlakuan	Ulangan				
	6	7	8	9	10
P1	P1 U6	P1U7	P1U8	P1U9	P1U10
P2	P2 U6	P2U7	P2U8	P2U9	P2U10
P3	P3 U6	P3U7	P3U8	P3U9	P3U10
P4	P4 U6	P4U7	P4U8	P4U9	P4U10

Rasio yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pencampuran bahan semen dan pasir yang dilakukan dengan rasio 1 : 3 karna *paving* yang akan dibuat merupakan *paving block* dengan mutu D. Pasir yang digunakan pada penelitian ini merupakan pasir sungai yang telah diayak terlebih sebelum dicampur dengan semen portland.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pembuatan *paving block* menggunakan semen dan limbah batang singkong terbagi menjadi beberapa tahapan proses yaitu: pengecilang ukuran batang singkong. Pengecilan ukuran batang singkong dilakukan dengan menggunakan mesin *chopper*. Setelah limbah batang singkong di-*chopper*, limbah batang singkong dijemur hingga kering dan kemudian diayak menggunakan mesh 8. Langkah selanjutnya pencampuran semen dan pasir dengan rasio 1:3, semen dan pasir diukur menggunakan timbangan sesuai dengan rasio yang telah ditentukan, semen dan pasir diaduk hingga tercampur dengan sempurna. Kemudian, tambahkan limbah batang singkong yang telah diperoses dan ditimbang sesuai perlakuan ke dalam campuran semen dan pasir, tambahkan air sedikit demi sedikit dan aduk secara perlahan agar tidak menggumpal. Kegiatan pencetakan *paving block* ini dilakukan berulang sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan hingga didapatkan jumlah sampel yang dibutuhkan. Kemudian sampel *paving block* dijemur ditempat teduh untuk menghindari

keretakan karna penguapan air yang terlalu cepat dan menghindari pengerasan yang tidak rata, sampel *paving block* dikeringkan dalam kurun waktu selama 28 hari. Menurut Rahmadyanti (2003), Penjemuran selama 28 hari bertujuan agar mendapatkan kekuatan maksimal pada *paving block*. Hal ini disebabkan karena kecepatan hidrasi semen mencapai maksimal pada waktu paving block berumur 28 hari. Setelah 28 hari, penambahan kekuatan yang terjadi sedikit sekali, karena semakin tebal gel kalsium silikat hidrat terbentuk, maka semakin lambat proses hidrasi berlangsung. Tahapan lebih lanjut dapat dilihat di diagram alir berikut ini :



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.5 Parameter Pengamatan

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan, *paving block* akan diuji sekaligus diamati sesuai dengan standar SNI 03 – 0691 – 1996 tentang bata beton (*paving block*).

3.5.1 Uji Tampak

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyusun *paving block* di lantai atau permukaan yang datar. disusun selayaknya pemasangan *paving block* kemudian diamati dan dibandingkan perbedaan pada *paving block* tersebut. *Paving block* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak retak retak atau cacat, dan tidak rapuh dibagian sudut dan rusuknya.

3.5.2 Uji Keutuhan

Uji keutuhan *paving block* dilakukan dengan cara melakukan pengamatan visual untuk memastikan apakah terdapat retakan, cacat, atau kerusakan lain pada permukaan maupun struktur *paving block*. Selain itu, uji fisik dilakukan dengan menekan ujung sudut atau rusuk *paving block* menggunakan jari tangan, *paving block* yang memiliki keutuhan yang baik tidak patah atau rusak saat ditekan.

3.5.3 Uji Densitas

Pengujian densitas bertujuan untuk menentukan nilai kerapatan dari *paving block*. Pengujian ini dilakukan dengan menimbang massa *paving block* yang telah melewati masa *curing* selama 28 hari. Setelah massa diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung volume *paving block* tersebut, nilai densitas atau kerapatannya dihitung dengan membandingkan massa dengan volume *paving block*. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai densitas *paving block*:

Keterangan :

ρ = Densitas (kg/m^3)

M = Massa paving block (kg)

V = Volume paving block (m^3)

3.5.4 Uji Resap Air

Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam *paving block* dalam air selama 24 jam. Sebelum direndam *paving* ditimbang terlebih dahulu kemudian setelah 24 jam perendaman *paving* di timbang kembali. Setelah itu *paving* dikeringkan dengan oven pada suhu 105° selama 24 jam dan kemudian di timbang kembali. Setelah didapatkan data tersebut dilakukan perhitungan menggunakan rumus:

Keterangan:

A = Berat paving setelah direndam (g)

B = Berat paving setelah dioven (g)

3.5.5 Uji Infiltrasi

Uji infiltrasi adalah suatu pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur seberapa cepat *paving block* meneruskan air ke tanah. Proses pengujian ini dilakukan meletakan pelastik mengelilingi *paving block*, lalu menuangkan air di atas permukaan *paving block* dan menghitung waktu dari air menyentuh permukaan atas *paving block* sampai dengan air tidak menetes lagi. Setelah didapatkan data tersebut dilakukan perhitungan dengan rumus:

Keterangan :

I = Laju Infiltrasi (mm/s)

V = Volume air yang lolos (mm^3)

A = Luas area permukaan (mm²)

t = Waktu yang dibutuhkan untuk meneruskan air (s)

3.5.6 Uji Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan setelah *paving block* melalui proses penjemuran dan telah keras sempurna. Pengujian ini dilakukan dengan cara menekan *paving block* menggunakan alat press hingga menujukan retakan dan kemudian hancur. Jika tidak terjadi retak atau hancur, maka massa beban tekan akan diukur dalam 1

menit pertama. Setelah didapat data tersebut dilakukan perhitungan dengan rumus:

Keterangan:

F = Beban tekan (N)

A = Luas bidang tekan (m^2)

3.6 Analisis Data

Data diambil menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL), setelah mendapatkan data data tersebut selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan parameter yang diamatai. Data di analisis dengan menggunakan sidik ragam (ANOVA) dan kemudian dilakukan uji BNT.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Paving block* pada penelitian ini dibuat dengan menambahkan limbah biomassa berupa batang singkong dengan komposisi campuran pasir dan semen : limbah batang singkong pada P1 sebesar 98% : 2%, P2 sebesar 96% : 4%, P3 sebesar 94% : 6%, dan P4 sebesar 92% : 8%. Telah berhasil dibuat *paving block* sebanyak 40 sampel dengan dimensi yang seragam yaitu panjang 19,8cm, lebar 9,8 cm dan tinggi 6 cm.
2. Penambahan limbah biomassa batang singkong pada adonan *paving block* dapat mempengaruhi karakteristik *paving block* yang dihasilkan, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian non destruktif dan pengujian destruktif yang telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan *paving block* memiliki keutuhan yang baik (ujungnya tidak patah ketika ditekan dengan jari), *paving* memiliki nilai densitas terbesar pada P1 1727 kg/m³ dan nilai terkecil pada P4 1212 kg/m³, *paving* memiliki daya serap air yang baik dan memenuhi standar mutu D dengan rerata nilai terbesar pada P4 35,036 dan terkecil pada P1 15,987%, nilai laju infiltrasi terbesar pada P4 0,241 mm/s dan nilai terkecil pada P1 0,057 mm/s, nilai kuat tekan terbesar pada P1 4,8 MPa dan terkecil P4 0,89 MPa.

5.2 Saran

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar *paving block* dibuat dengan menggunakan limbah biomassa lain sebagai bahan campuran sehingga dapat dilakukan perbandingan karakteristik. Selain itu, perlu dilakukan pengujian menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui struktur dan jumlah ruang pori yang terdapat di dalam *paving block* dengan resolusi bekisar 0,4 nanometer hingga 20 nanometer. Produk dari penelitian ini dapat digunakan sebagai lantai penjemuran hasil pertanian seperti padi, jagung, kopi dan lain sebaginya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. J., Sarana, D., Fauzan, M., dan Rahman, A. 2023. Hubungan Tegangan Regangan Dan Kuat Tekan Eco-Friendly Ductile Cementitious Composite Dengan Menggunakan Serat Polypropilene. *Universitas Malikussaleh, 1*.
- Amrillah, N. A. Z., Hanum, F. F., dan Rahayu, A. 2022. Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. *Universitas Muhammadiyah Jakarta*.
- Anonim. 2025. *Average height for men and women worldwide*.
<https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php>
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Penggunaan Fisik untuk Energi Indonesia—Tabel Statistik—Badan Pusat Statistik Indonesia*.
- Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Bata Beton (Paving Block)*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Semen portland*.
<https://www.slideshare.net/slideshow/21376-sni-1520492004semenportland/48160135>
- Berghuis, N. T., dan Wahid, M. A. 2021. Sintesis kitosan-lignin dengan reaksi Mannich dan karakterisasinya. *Jurnal Kartika Kimia, 4(1), 5*.
- Chandra, H. 2020. *Analisis Kegagalan Material* (Edisi Oktober, 2020). Universitas Sriwijaya.
- Desmaliana, E., Hazairin, H., Herbudiman, B., dan Lesmana, R. 2020. Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil, 15(1), 19–29*.

- Didik, E. 2015. Analisa Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Struktur Mikros Dan Kekerasan Pada Baja. *Universitas Merdeka Malang*.
- Gustam, R. A. A., Asmara, S., Lanya, B., dan Rosadi, B. 2022. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Alat Perajang Batang Singkong Tipe TEP-*. Vol. 1, No. 2, June 15, 2022: 234-245.
- Haidar, A., Asmara, S., dan Bustomi, R. A. 2022. Pengaruh Campuran Limbah Tongkol Jagung, Batang Singkong dan Batu Bara dengan Perekat Tapioka terhadap Kualitas Briket Biocoal. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*.
- Hardiyon, M. F. 2022. Peta Persebaran Limbah Biomassa di Indonesia. *Zonaebt.Com*. <https://zonaebt.com/biomassa/peta-persebaran-limbah-biomassa-di-indonesia/>
- Intandiana, S., Dawam, A. H., Denny, Y. R., Septiyanto, R. F., dan Affifah, I. 2019. Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 185. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.5953>
- Juldin, M., dan Alfa, A. 2020. Pengaruh Penggunaan Aair Kolam Terhadap Kuat Tekan Beton (Studi Kasus Kecamatan. Kateman, Keritang dan Tembilahan Kota). *Jurnal Selodang Mayang*, 6.
- Kanafi, R. I. S., dan Salim. 2024. *Pemprov Lampung proyeksi produksi singkong 2024 capai 7,5 juta ton*. Antara News. <https://www.antaranews.com/berita/4098288/pemprov-lampung-proyeksi-produksi-singkong-2024-capai-75-juta-ton>
- Lismeri, L., Zari, P. M., Novarani, T., dan Darni, Y. 2016. Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(2), 82–91. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5407>
- Maghfiroh, S. 2021. *Klasifikasi Jenis Singkong Berdasarkan Citra Bentuk dan Warna Daun* Universitas Islam Lamongan. <http://eprints.unisla.ac.id/id/eprint/149>
- Parinduri, L., dan Parinduri, T. 2020. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*.

Pasue, I., dan Salah, E. 2019. Analisis Lignin, Selulosa Dan Hemi Selulosa Jerami Jagung Hasil Di Fermentasi Trichoderma Viride Dengan Masa Inkubasi Yang Berbeda. *Jambura Journal of Animal Science*, 1(2).
<https://doi.org/10.35900/jjas.v1i2.2607>

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I.-2 (hal 28-29)*

Prabowo, D. A., dan Abdullah, D. 2018. Deteksi dan Perhitungan Objek Berdasarkan Warna Menggunakan Color Object Tracking. *Pseudocode*, 5(2), 85–91. <https://doi.org/10.33369/pseudocode.5.2.85-91>

Pratama, F. U., Rahmawati, W., Wisnu, F. K., dan Suharyatun, S. 2023. Pemanfaatan Bonggol Jagung Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving block Porous. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i3.7891>

Prayuda, H., Nursyahid, H., dan Saleh, F. 2017. *Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Bata Beton Di Yogyakarta.*

Putra, A. E. 2017. *Pemanfaatan Serat Aluminium Dari Usaha Mikro Menengah Di Kec. Tampan Sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton.* <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/2151>

Putri, E. E., Ismeddiyanto, dan Suryanita, R. 2019. Sifat Fisik Paving Block Komposit sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement). *JURNAL TEKNIK*, 13(1), 1–8.
<https://doi.org/10.31849/teknik.v13i1.2557>

Rahmawati, W., Marcus, P. K., Wisnu, F. K., Haryanto, A., Telaumbanua, M., dan Sugianti, C. 2024. Pemanfaatan Limbah Serat Kelapa Sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Paving Block. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 3(3), 446. <https://doi.org/10.23960/jabe.v3i3.10161>

Rita, R., Setyawati, D., dan Usman, F. H. 2015. Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Komposit Dari Batang Singkong Dan Limbah Plastik Berdasarkan Pelapisan Dan Komposisi Bahan Baku. *Jurnal Hutan Lestari*, Vol. 3 (2) : 337 – 346.

Rosadi, I., Rahmawati, W., Warji, W., dan Suharyatun, S. 2023. Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis*) Sebagai Bahan Campuran dalam Pembuatan Paving Block Porous. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 231. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i2.7468>

- Saharil, S., dan Samlawi, A. K. 2019. Analisa Patahan Planetary Pinion Gear Transmisi Di Unit Excavator Pc 300 Lc-7 Komatsu. *JTAM ROTARY*, 1(1), 67. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v1i1.1405
- Saifuddin. 2022. *Karakteristik Beberapa Varietas Tanaman Ubi Kayu (Manihot Esculenta Crantz) Di Tarak*. Universitas Borneo Tarakan.
- Shorey, R., Salaghi, A., Fatehi, P., dan Mekonnen, T. H. 2024. Valorization of lignin for advanced material applications: A review. *RSC Sustainability*, 2(4), 804–831. <https://doi.org/10.1039/D3SU00401E>
- Sianturi, M. O. 2022. *Tinjauan Kekuatan Paving Block Berpori Menggunakan Material Zeolit sebagai Substitusi Semen* [Undergraduate, UNIMED]. <https://doi.org/10.13.20NIM%205173550034%20CHAPTER%20V.pdf>
- Surianti, S., dan Arham, A. 2017. Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 6(1), 57–64. <https://doi.org/10.55340/jmi.v6i1.588>
- Telaumbanua, N. 2016. Pemanfaatan Carbon Curing Ampas Tebu Sebagai Bahan Tambahan Dalam Campuran Bata Beton (Paving Block) Ditinjau Dari Daya Serap Air Dan Kuat Tekan. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*.
- Trisna, H., dan Mahyudin, A. 2012. Analisis Sifat Fisis dan Mekanik Papan Komposit Gipsum Serat Ijuk dengan Penambahan Boraks (Dinatrium Tetraborat Decahydrate). *Jurnal Fisika Unand*, 1(1). <https://doi.org/10.25077/jfu.1.1.%p.2012>
- Wibawa, L. A. N. 2020. Simulasi umur fatik rangka main landing gear menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*.
- Wibowo, D. B. 2018. Pengukuran Distribusi Beban Telapak Kaki Manusia Saat Berdiri Tegak Menggunakan Sensor FSR 402. *ROTASI*, 20(1), 22. <https://doi.org/10.14710/rotasi.20.1.22-28>
- Wibowo, S. 2012. *Pengaruh Penggunaan Piropilit Dan Variasi Jenis Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Paving* [Sarjana, Universitas Brawijaya]. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/141365/>
- Widojoko, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*.