

TUGAS AKHIR

PENGARUH CAMPURAN VARIASI PERSENTASE METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK, PERMEABILITAS, DAN POROSITAS PADA BETON POROUS (*PERVIOUS CONCRETE*)

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



AULIYA RAHMADILLAH

03011182126019

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Auliya Rahmadillah

NIM : 03011182126019

Judul : Pengaruh Campuran Variasi Persentase Metakaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik, Permeabilitas, dan Porositas pada Beton *Porous (Pervious Concrete)*

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 19 Maret 2025



Auliya Rahmadillah
NIM. 03011182126019

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH CAMPURAN VARIASI PERSENTASE METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK, PERMEABILITAS, DAN POROSITAS PADA BETON *POROUS* (*PERVIOUS CONCRETE*)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelas Sarjana Teknik

Oleh:

AULIYA RAHMADILLAH

03011182126019

Palembang, 20 Maret 2025

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Bimo Brata Adhitva, S.T.,M.T.

NIP. 198103102008011010

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan



Dr. T. Saloma, S.T.,M.T.

NIP. 197610312002122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Campuran Variasi Persentase Metakaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik, Permeabilitas, dan Porositas pada Beton *Porous (Pervious Concrete)*” yang disusun oleh Auliya Rahmadillah, NIM. 03011182126019 telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Maret 2025.

Palembang, 10 Maret 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir:

Ketua:

1. Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T.,M.T.
NIP. 198103102008011010

()

Anggota:

2. Dr. Ir. Hanafiah, M.S.
NIP. 195603141985031002

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T.,M.T.,IPM.
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Dr. Ir. Salema, S.T.,M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Auliya Rahmadillah

NIM : 03011182126019

Judul : Pengaruh Campuran Variasi Persentase Metakaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik, Permeabilitas, dan Porositas pada Beton *Porous (Pervious Concrete)*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 19 Maret 2025



Auliya Rahmadillah
NIM. 03011182126019

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Auliya Rahmadillah
Jenis Kelamin : Perempuan
Status : Belum menikah
Agama : Islam
Warga negara : Indonesia
Nomor HP : 085764309432
E-mail : auliyarmd06@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDN 2 PALEMBANG	-	-	SD	2009 - 2015
SMPN 17 PALEMBANG	-	-	SMP	2015 - 2018
SMAN 1 PALEMBANG	-	IPA	SMA	2018 - 2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021- 2025

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Auliya Rahmadillah

NIM. 03011182126019

RINGKASAN

PENGARUH CAMPURAN VARIASI PERSENTASE METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK, PERMEABILITAS, DAN POROSITAS PADA BETON *POROUS* (*PERVIOUS CONCRETE*)

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir,

Auliya Rahmadillah; Dibimbing oleh Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xx + 89 halaman, 63 gambar, 26 tabel

Beton *porous* adalah inovasi beton yang memiliki karakteristik utama yaitu tingginya tingkat porositas atau rongga di dalamnya yang memungkinkan suatu aliran air untuk meresap melalui permukaannya dan melakukan penyerapan ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase metakaolin sebagai substitusi semen terhadap sifat mekanik, permeabilitas, dan porositas pada beton porous (*pervious concrete*). Beton *porous* dikenal dari kemampuannya dalam menyerap air, sehingga berpotensi menjadi solusi untuk mengurangi risiko banjir dan genangan. Metakaolin digunakan sebagai material pozzolan yang dapat meningkatkan kekuatan tekan, ketahanan, serta memperbaiki struktur mikro beton. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dengan variasi persentase substitusi metakaolin sebesar 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20% pada beton berumur 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi campuran 85% semen dan 15% metakaolin menghasilkan kuat tekan optimal sebesar 13,17 Mpa (28 hari) dan kuat tarik belah sebesar 3,87 Mpa (28 hari) dengan permeabilitas sebesar 0,469 cm/s dan porositas sebesar 24,34%. Persentase metakaolin yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kepadatan material tetapi mengurangi permeabilitas, sementara persentase yang lebih rendah tidak memberikan peningkatan signifikan dalam kekuatan mekanik. Penggunaan metakaolin juga terbukti mampu mengurangi porositas beton, yang berkontribusi pada peningkatan durabilitas dan ketahanan terhadap cuaca ekstrem. Dengan demikian, penggunaan metakaolin sebagai substitusi parsial semen terbukti mampu meningkatkan kualitas beton porous dan mendukung pembangunan konstruksi yang berkelanjutan. Temuan ini diharapkan menjadi referensi dalam pemanfaatan material tambahan untuk menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan dan berkinerja tinggi.

Kata kunci: Beton *Porous*, Metakaolin, Substitusi Semen, Sifat Mekanik, Permeabilitas, Porositas

SUMMARY

THE EFFECT OF METAKAOLIN PERCENTAGE VARIATION AS CEMENT SUBSTITUTE ON MECHANICAL PROPERTIES, PERMEABILITY, AND POROSITY IN PERVIOUS CONCRETE

Scientific papers in form of Final Projects,

Auliya Rahmadillah; Guide by Advisor Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xx + 89 pages, 63 images, 26 tables

Pervious concrete is an innovative material characterized by its high porosity, which allows water to pass through its surface and be absorbed into the ground. This research analyzes the effect of varying percentages of metakaolin as a cement substitute on the mechanical properties, permeability, and porosity of pervious concrete. Pervious concrete is known for its ability to absorb water, making it a potential solution to reduce the risks of flooding and water pooling. Metakaolin used as a pozzolanic material, enhances compressive strength, durability, and improves the concrete's microstructure. In this study, tests were conducted with metakaolin substitution percentages of 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, and 20% on 7-day and 28-day aged concrete. The results indicated that a mixture with 85% cement and 15% metakaolin yielded optimal compressive strength of 13.17 MPa (28 days), tensile strength of 3.87 MPa (28 days), permeability of 0.469 cm/s, and porosity of 24.34%. Higher metakaolin percentages increased material density but reduced permeability, while lower percentages showed no significant improvement in mechanical strength. Metakaolin also decreased concrete porosity, contributing to better durability and resistance to extreme weather conditions. Therefore, using metakaolin as a partial cement substitute improves the quality of porous concrete, supporting sustainable construction practices. These findings could serve as a reference for incorporating supplementary materials to produce eco-friendly and high-performance concrete.

Keywords: *Pervious Concrete, Metakaolin, Cement Replacement, Mechanical Properties, Permeability, Porosity*

PENGARUH CAMPURAN VARIASI PERSENTASE METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK, PERMEABILITAS, DAN POROSITAS PADA BETON *POROUS* (*PERVIOUS CONCRETE*)

Auliya Rahmadillah¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: aulyarmd06@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: bimo@unsri.ac.id

Abstrak

Beton *porous* adalah inovasi beton yang memiliki karakteristik utama yaitu tingginya tingkat porositas atau rongga di dalamnya yang memungkinkan suatu aliran air untuk meresap melalui permukaannya dan melakukan penyerapan ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase metakaolin sebagai substitusi semen terhadap sifat mekanik, permeabilitas, dan porositas pada beton *porous* (*pervious concrete*). Beton *porous* dikenal dari kemampuannya dalam menyerap air, sehingga berpotensi menjadi solusi untuk mengurangi risiko banjir dan genangan. Metakaolin digunakan sebagai material pozzolan yang dapat meningkatkan kekuatan tekan, ketahanan, serta memperbaiki struktur mikro beton. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dengan variasi persentase substitusi metakaolin sebesar 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20% pada beton berumur 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi campuran 85% semen dan 15% metakaolin menghasilkan kuat tekan optimal sebesar 13,17 Mpa (28 hari) dan kuat tarik belah sebesar 3,87 Mpa (28 hari) dengan permeabilitas sebesar 0,469 cm/s dan porositas sebesar 24,34%. Persentase metakaolin yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kepadatan material tetapi mengurangi permeabilitas, sementara persentase yang lebih rendah tidak memberikan peningkatan signifikan dalam kekuatan mekanik.

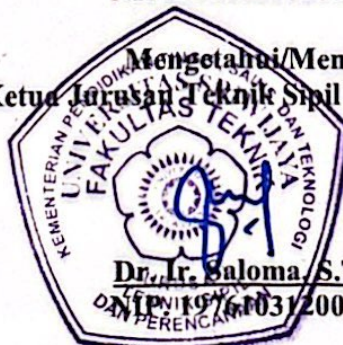
Kata kunci: Beton *Porous*, Metakaolin, Substitusi Semen, Sifat Mekanik, Permeabilitas, Porositas

Palembang, 20 Maret 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya. S.T., M.T.
NIP. 198103102008011010

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Galoma S.T., M.T.
NIP. 19760312002122001

THE EFFECT OF METAKAOLIN PERCENTAGE VARIATION AS CEMENT SUBSTITUTE ON MECHANICAL PROPERTIES, PERMEABILITY, AND POROSITY IN PERVIOUS CONCRETE

Auliya Rahmadillah¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Student, Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Sriwijaya University
E-mail: auliyarmd06@gmail.com

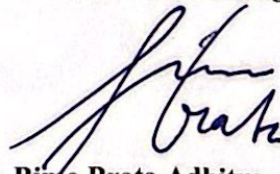
²⁾ Lecturer, Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Sriwijaya University
E-mail: bimo@unsri.ac.id

Abstract

Pervious concrete is an innovative type of concrete characterized by its high porosity, allowing water to infiltrate through its surface and be absorbed into the ground. This study aims to analyze the effect of varying percentages of metakaolin as a cement substitute on the mechanical properties, permeability, and porosity of pervious concrete. Pervious concrete is recognized for its water absorption capabilities, making it a potential solution for reducing the risks of flooding and waterlogging. Metakaolin is used as a pozzolanic material to enhance compressive strength, durability, and improve the microstructure of concrete. In this study, tests were conducted using metakaolin substitution percentages of 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, and 20% on concrete aged 7 and 28 days. The results indicated that a mixture comprising 85% cement and 15% metakaolin yielded optimal compressive strength of 13.17 MPa (28 days) and tensile strength of 3.87 MPa (28 days), with permeability at 0.469 cm/s and porosity at 24.34%. Higher metakaolin percentages tend to increase material density but reduce permeability, while lower percentages do not significantly improve mechanical strength.

Keywords: *Pervious Concrete, Metakaolin, Cement Replacement, Mechanical Properties, Permeability, Porosity*

Palembang, 20 Maret 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya. S.T., M.T.
NIP. 198103102008011010

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. H. Saloma S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapatkan melaksanakan dan menyelesaikan skripsi tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Campuran Variasi Metakaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik, Permeabilitas, dan Porositas pada Beton Porous (*Pervious Concrete*)”**. Penyusunan skripsi tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan orang-orang terbaik dalam hidup penulis. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendukung, dan memberikan ilmu selama penulisan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Hanafiah, M.S., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam sidang akhir ini. Setiap masukan yang diberikan menjadi bekal bagi penulis dalam memperbaiki penelitian ini.
6. Ibu Ir. Hj. Reini Silvia Ilmiaty, M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan selama kegiatan perkuliahan.
7. Bapak Zarkoni dan Ibu Desy, selaku orang tua yang berperan penting dalam hidup penulis. Terima kasih atas setiap doa, dukungan, dan kasih sayang kepada penulis sampai saat ini. Tidak ada kata yang bisa menggantikan kata terima kasih atas semua dukungan dan pengorbanan yang mama dan papa berikan.
8. Nabilah Amalia Zahra, adikku satu-satunya yang paling aku sayang, terima kasih selalu memberikan semangat dan dukungan bagi penulis selama

penulisan tugas akhir maupun kegiatan penelitian.

9. Teruntuk diri sendiri, Auliya Rahmadillah yang telah bertahan sejauh ini. Terima kasih sudah tidak menyerah walaupun tantangan yang dilewati terkadang terasa berat. Terus lanjutkan perjuangan dan cita-cita besarmu, semoga langkahmu selalu diiringi dan dilindungi Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penyusunan proposal penelitian ini ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan. Penulis menyampaikan permohonan maaf atas kekurangan atau kesalahan dalam penulisan laporan. Maka dari itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan dan pembelajaran kedepan. Demikian, atas perhatian yang diberikan, saya sampaikan terima kasih

Indralaya, 19 Maret 2025

Penulis

A handwritten signature in black ink that reads "Auliya" with a stylized flourish at the end. Above the signature, there is a small handwritten "K.".

Auliya Rahmadillah

DAFTAR ISI

PERNYATAAN INTEGRITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metode Pengumpulan Data	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 Beton Porous (<i>Pervious Concrete</i>).....	8
2.3 Material Penyusun Beton Porous (<i>Pervious Concrete</i>)	10
2.3.1 Agregat Kasar	10
2.3.2 Agregat Halus	10
2.3.3 Semen <i>Portland</i>	11
2.3.4 Metakaolin	13
2.3.5 Air	14
2.3.6 Bahan Tambahan	14

2.4	Faktor Yang Mempengaruhi <i>Pervious Concrete</i>	15
2.4.1	Ukuran dan Gradasi Agregat	15
2.4.2	Faktor Air Semen (FAS).....	16
2.4.3	Persentase Bahan Tambahan	17
2.5	Sifat Mekanik Beton	18
2.5.1	Kuat Tekan Beton.....	18
2.5.2	Kuat Tarik Belah.....	20
2.6	Pengamatan Mikrostruktur	21
2.6.1	<i>SEM</i> dan <i>EDS</i>	21
2.6.2	X-Ray Diffraction (XRD).....	21
2.6.3	X-Ray Fluorescence (XRF)	22
2.7	Porositas	22
2.8	Densitas	23
2.9	Permeabilitas	24
2.10	Kapilaritas.....	25
2.11	Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	26
2.12	Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Umum.....	29
3.2	Studi Literatur.....	30
3.3	Alur Penelitian.....	30
3.4	Material Penyusun <i>Pervious Concrete</i>	32
3.5	Peralatan yang Digunakan.....	33
3.6	Tahapan Penelitian di Laboratorium	41
3.6.1	Tahap I.....	41
3.6.2	Tahap II.....	41
3.6.3	Tahap III	43
3.6.4	Tahap IV	44
3.6.5	Tahap V.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar	51
4.1.1	Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Kasar	51

4.1.2	Pengujian Berat Volume Agregat Kasar.....	52
4.1.3	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	52
4.1.4	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	53
4.2	Hasil Pengamatan Mikrostruktur OPC dan Metakaolin.....	53
4.2.1	Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) OPC	53
4.2.2	Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) Metakaolin.....	55
4.2.3	Pengamatan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) OPC	57
4.2.4	Pengamatan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Metakaolin	59
4.2.5	Pengamatan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) OPC	59
4.2.6	Pengamatan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Metakaolin.....	60
4.3	Hasil Pengujian Beton Porous (<i>Pervious Concrete</i>)	61
4.3.1	Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i>	63
4.3.2	Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i>	65
4.3.2.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	65
4.3.2.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari ...	66
4.3.3	Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i>	68
4.3.2.1	Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari.....	68
4.3.2.2	Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari....	69
4.3.4	Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	71
4.3.5	Pengujian Porositas <i>Pervious Concrete</i>	73
4.4	Hubungan Sifat Mekanik dan Sifat Fisik <i>Pervious Concrete</i>	74
4.4.1	Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	74
4.4.2	Hubungan Kuat Tekan dan Porositas <i>Pervious Concrete</i>	75
4.4.3	Hubungan Permeabilitas dan Porositas <i>Pervious Concrete</i>	76
4.4.4	Hubungan Kuat Tekan Penelitian ini dan Penelitian Sebelumnya	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		78
5.1	Kesimpulan.....	78
5.2	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		79
LAMPIRAN.....		84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaruh Variasi Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton	16
Gambar 2.2 Pengaruh Faktor Air Semen pada Kuat Tekan dan Porositas	16
Gambar 2.3 Pengaruh Persentase Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton	17
Gambar 2.4 Perbandingan Kuat Tekan Beton Konvensional dan Beton Porous ..	20
Gambar 2.5 Hubungan Antara Porositas dan Kuat Tekan Beton.....	23
Gambar 2.6 Hubungan Antara Densitas dan Kuat Tekan Beton	23
Gambar 2.7 Hubungan Antara Permeabilitas dan Porositas	24
Gambar 2.8 Hubungan Metode Perawatan Beton dengan Kuat Tekan Benda Uji Beton.....	26
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	31
Gambar 3.3 Agregat Kasar Tertahan Saringan 12,5 mm	32
Gambar 3.4 Metakaolin.....	33
Gambar 3.5 Semen OPC	33
Gambar 3.6 Air.....	34
Gambar 3.7 <i>Superplasticizer</i>	34
Gambar 3.8 Gelas Ukur.....	35
Gambar 3.9 Timbangan Kapasitas 150 Kg	35
Gambar 3.10 Timbangan Kapasitas 5 Kg	35
Gambar 3.11 Pan.....	36
Gambar 3.12 Saringan Agregat.....	36
Gambar 3.13 Oven	37
Gambar 3.14 Bekisting.....	37
Gambar 3.15 Sekop.....	38
Gambar 3.16 Molen	38
Gambar 3.17 Tongkat Pemasak.....	39
Gambar 3.18 <i>Plastic Wrap</i>	39
Gambar 3.19 <i>Universal Testing Machine (UTM)</i>	40
Gambar 3.20 <i>Falling Head Permeameter</i>	40
Gambar 3.21 Timbangan Digital.....	41
Gambar 3.22 Pengujian Berat Volume Agregat	42

Gambar 3.23 Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat.....	42
Gambar 3.24 Pengujian Kadar Air Agregat.....	42
Gambar 3.25 Proses Penimbangan Material	45
Gambar 3.26 Proses Pengadukan Material	45
Gambar 3.27 Proses Penambahan Air dan <i>Superplasticizer</i>	46
Gambar 3.28 Campuran Beton yang Homogen.....	46
Gambar 3.29 Beton yang Sudah Dipadatkan	46
Gambar 3.30 Proses Menunggu Pelepasan Bekisting.....	47
Gambar 3.31 Proses <i>Curing</i> Beton.....	47
Gambar 3.32 Proses <i>Capping</i> Beton	47
Gambar 3.33 Pengujian Kuat Tekan	48
Gambar 3.34 Pengujian Kuat Tarik Belah	49
Gambar 3.35 Sampel Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah.....	49
Gambar 3.36 Pengujian Porositas	49
Gambar 3.37 Pengujian Permeabilitas	50
Gambar 4.1 Foto Hasil Pengamatan SEM OPC dengan Perbesaran 1000x	54
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengamatan EDS Kandungan Unsur Pada OPC	54
Gambar 4.3 Foto Hasil Pengamatan SEM Metakaolin dengan Perbesaran 1000x	56
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengamatan EDS Kandungan Unsur Pada Metakaolin	56
Gambar 4.5 Hasil Pengamatan XRD OPC.....	60
Gambar 4.6 Hasil Pengamatan XRD Metakaolin	61
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	64
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	64
Gambar 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	66
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	67
Gambar 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	69
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	70
Gambar 4.13 Hasil Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	72
Gambar 4.14 Hasil Pengujian Porositas <i>Pervious Concrete</i>	73

Gambar 4.15 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	74
Gambar 4.16 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Porositas <i>Pervious Concrete</i> ...	75
Gambar 4.17 Hubungan Antara Permeabilitas dan Porositas <i>Pervious Concrete</i>	76
Gambar 4.18 Hubungan Kuat Tekan Penelitian Ini dengan Penelitian Sebelumnya	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Gradasi untuk Agregat Halus (ASTM C-33)	11
Tabel 2.2 Pengaruh Ukuran Agregat dan Gradasi Agregat.....	15
Tabel 2.3 Pengaruh Persentase Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton	18
Tabel 2.4 Rekapitulasi Hasil Uji Parameter Kuat Tarik Belah Beton	21
Tabel 2.5 Proporsi Campuran yang Digunakan pada Penelitian M.Murugan	27
Tabel 2.6 Proporsi Campuran yang Digunakan pada Penelitian Wibowo.....	28
Tabel 3.1 Komposisi Proporsi Campuran Beton Porous	44
Tabel 4.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Kasar	51
Tabel 4.2 Pengujian Berat Volume Agregat Kasar.....	52
Tabel 4.3 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	52
Tabel 4.4 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	53
Tabel 4.5 Data Hasil Pengamatan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS) OPC	55
Tabel 4.6 Data Hasil Pengamatan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS) Metakaolin.....	57
Tabel 4.7 Pengamatan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) OPC	57
Tabel 4.8 Pengamatan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Metakaolin.....	59
Tabel 4.9 Data <i>Peaks</i> Hasil Pengamatan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) OPC.....	60
Tabel 4.10 Data <i>Peaks</i> Hasil Pengamatan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Metakaolin	61
Tabel 4.11 Data Penelitian	62
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	63
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	63
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	65
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	67
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kuat Tarik belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari..	68
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	70
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	71
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Porositas <i>Pervious Concrete</i>	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Berat Jenis Beton <i>Porous</i>	85
Lampiran 2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	86
Lampiran 3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton <i>Porous</i>	87
Lampiran 4	Hasil Pengujian Permeabilitas Beton <i>Porous</i>	88
Lampiran 5	Hasil Pengujian Porositas Beton <i>Porous</i>	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi khususnya dibidang konstruksi menyebabkan timbulnya berbagai jenis beton yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan struktur modern (Prasojo & Ikhsan, 2021). Dalam kegiatan proyek konstruksi, beton merupakan sebuah material yang dipilih karena banyak digunakan oleh khalayak umum. Karakteristik unggul yang beton miliki seperti kekuatan tinggi, daya tahan terhadap suhu dan cuaca ekstrem, daya isap air yang rendah serta biaya produksi yang relatif rendah membuatnya menjadi pilihan utama dalam beberapa macam konstruksi (Achmad ihza Mahendra et al., 2023).

Dalam dekade ini, peningkatan pesat pada pembangunan khususnya pada sektor infrastruktur mengalami kenaikan yang signifikan. Sektor yang meliputi seperti bendungan, jembatan, irigasi, dan jalan merupakan beberapa infrastruktur dasar yang gencar dilaksanakan pembangunan (Muhammad Fakhur Rodzi, 2023). Namun disisi lain, pembangunan infrastruktur dalam skala besar terlebih lagi tanpa adanya perencanaan yang tepat pada sistem drainase dapat menimbulkan masalah yang krusial. Sistem pengairan yang kurang baik bisa mengakibatkan air yang menggenang dengan cepat sehingga berpotensi terjadi banjir. Oleh sebab itu, dibutuhkan pembangunan struktur yang tidak hanya menjaga fungsinya untuk menahan beban, tetapi juga dapat membantu mengurangi genangan air dengan cara memperhatikan faktor pemilihan material. Untuk mengatasi masalah ini, beton porous dapat menjadi alternatif yang efektif.

Istilah *pervious concrete* atau dalam Bahasa Indonesia disebut dengan beton porous adalah beton yang memiliki karakteristik utama yaitu tingginya tingkat porositas atau rongga di dalamnya yang pada hal ini memungkinkan suatu aliran air yang berkontak langsung dengan beton porous untuk meresap melalui permukaanya dan melakukan penyerapan ke dalam tanah yang bertujuan untuk mengurangi limpasan air (Karimah & Prasojo, 2019). Rongga yang saling berhubungan karena agregat kasar yang bergradasi seragam menjadi alasan tingginya porositas pada beton porous (Ginting, 2019). Beton porous umumnya diterapkan di jalan setapak, lahan parkir, stabilisasi lereng ataupun sebagai perkerasan jalan pada trotoar

(Karimah & Prasajo, 2019). Campuran antara beton porous dan beton konvensional sebenarnya tidak terlalu berbeda dan jika perlu digunakan bahan *additional* (tambahan) sesuai tujuan penggunaan beton. Namun, pada beton porous agregat halus yang digunakan tidak lebih dari 10% dan memungkinkan untuk tidak sama sekali menggunakan agregat halus sebagai material pengisi campuran beton (Manalip & Wallah, 2019).

Jika dibandingkan dengan campuran beton konvensional, *pervious concrete* mempunyai nilai sifat mekanik yang lebih rendah. Oleh karena itu, rasio faktor air semen (FAS) perlu diminimalkan agar kekuatan tekan beton porous sesuai dengan target rencana. Akan tetapi, FAS yang rendah akan mempengaruhi pada workabilitas beton sehingga perlu ditambahkan *superplasticizer* yang mampu meningkatkan *workability* serta kekuatan tekan beton (Tyas et al., 2020). *Superplasticizer* merupakan bahan tambahan dari penyusun beton yang memiliki fungsi salah satunya adalah untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dan meningkatkan *workability* (Andriansyah & Walujodjati, 2023).

Metakaolin dapat berhidrasi dengan semen, akibat adanya reaksi hidrasi kedua bahan tersebut menghasilkan suatu senyawa C-S-H (Kalsium Silikat Hidrat) untuk membuat kekuatan mikrostruktur beton yang baik. Hal tersebut dikarenakan metakaolin merupakan bahan pozzolan aktif yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Bansal et al., 2024). Penggunaan metakaolin sebagai substitusi semen dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, terutama pada tingkat penggantian 10-15% (S. Bright Singh & Murugan, 2022). Selain itu, penelitian tentang penggunaan metakaolin dapat mengurangi porositas mikro beton, meningkatkan durabilitasnya dan membuatnya lebih tahan terhadap serangan kimia dan siklus pembekuan-pencairan, tanpa mengurangi permeabilitas makro porous beton, yang tetap mempertahankan fungsi drainase. Akibatnya, metakaolin sebagai pengganti semen meningkatkan kekuatan dan stabilitas beton porous dan mengurangi kebutuhan akan semen *portland*, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan untuk konstruksi dibandingkan beton konvensional.

Dalam penelitian ini, penulis akan meneliti mengenai beton porous dengan variasi campuran persentase metakaolin sebagai substitusi semen dan ditambah *admixture* berupa *superplasticizer*. Penelitian tentang beton porous ini nantinya

akan diaplikasikan pada jalan-jalan yang berada di taman. Tentunya dapat menjadi bentuk mitigasi bencana perkotaan salah satunya sebagai lahan resapan air hujan berlebih. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak dari variasi persentase metakaolin sebagai pengganti semen, dengan menggunakan agregat yang tertahan di saringan ukuran 12,5 mm dan melewati saringan ukuran 19 mm. Variasi persentase campuran metakaolin yang digunakan sebagai substitusi semen adalah 90% semen dan 10% metakaolin, 87,5% semen dan 12,5% metakaolin, 85% semen dan 15% metakaolin, 82,5% semen dan 17,5% metakaolin, 80% semen dan 20% metakaolin. Pemilihan besaran persentase metakaolin terhadap substitusi semen didasari penelitian sebelumnya oleh (S. Bright Singh & Murugan, 2022), yaitu terjadi kenaikan kuat tekan antara persentase metakaolin 10-15%. Sehingga perlunya dilakukan penelitian kembali dengan perbedaan variasi yang lebih kecil.

Setelah menguraikan penjelasan mengenai latar belakang dan mempertimbangkan masalah di atas, penulis merancang dan membuat penelitian terkait yang berjudul “Pengaruh Campuran Variasi Persentase Metakaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik, Permeabilitas, dan Porositas pada Beton Porous (*Pervious Concrete*)”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi persentase metakaolin sebagai substitusi semen terhadap sifat mekanik pada beton porous (*pervious concrete*) dengan menggunakan agregat yang melewati saringan 19 mm dan tertahan pada saringan 12,5 mm?
2. Bagaimana pengaruh variasi persentase metakaolin sebagai substitusi semen terhadap permeabilitas dan porositas beton porous (*pervious concrete*) terhadap perbedaan variasi persentase metakaolin dengan komposisi 90% semen dan 10% metakaolin, 87,5% semen dan 12,5% metakaolin, 85% semen dan 15% metakaolin, 82,5% semen dan 17,5% metakaolin, 80% semen dan 20% metakaolin?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sesuai dengan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Melakukan analisis pengaruh variasi persentase metakaolin sebagai pengganti material semen terhadap sifat mekanik beton porous atau *pervious concrete* dengan menggunakan agregat yang melewati ayakan agregat ukuran 19 mm dan tertahan pada ayakan agregat ukuran 12,5 mm.
2. Melakukan analisis pengaruh campuran variasi persentase metakaolin terhadap sifat permeabilitas dan porositas serta bagaimana hubungan antara sifat mekanik dengan permeabilitas dan porositas beton porous (*pervious concrete*) akibat perbedaan variasi campuran dengan proporsi campuran persentase metakaolin, 90% semen dan 10% metakaolin, 87,5% semen dan 12,5% metakaolin, 85% semen dan 15% metakaolin, 82,5% semen dan 17,5% metakaolin, 80% semen dan 20% metakaolin.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Metakaolin diperoleh dari PT. Bina Mitra Artha (BMA).
2. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur Konstruksi Material Universitas Sriwijaya.
3. Agregat kasar yang dipakai menggunakan agregat yang melewati saringan 19 milimeter dan tersaring di 12,5 milimeter,
4. Semen OPC (*ordinary portland cement*) yang dipakai pada penelitian ini didapatkan dari produk semen milik PT. Semen Baturaja.
5. Komposisi agregat halus yaitu sebesar 0%.
6. Komposisi *superplastisizer* yaitu sebesar 1% dari total campuran.
7. Variasi persentase substitusi metakaolin terhadap semen yaitu, 90% semen dan 10% metakaolin, 87,5% semen dan 12,5% metakaolin, 85% semen dan 15% metakaolin, 82,5% semen dan 17,5% metakaolin, 80% semen dan 20% metakaolin.
8. Spesimen uji yang akan dibuat yaitu berbentuk silinder dengan dimensi bentuk silinder yaitu 15 x 30 cm.

9. Nilai rasio air semen (w/c) yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah 0,35.
10. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan dilakukan saat beton mencapai umur 7 hari dan 28 hari. Jumlah total benda uji yang diperlukan untuk pengujian kuat tekan beton porous adalah sebanyak 60 buah, yang mana setiap variasi campuran ukuran agregat diwakili oleh 3 buah benda uji.
11. Pengujian porositas beton porous dilaksanakan pada beton berumur 28 hari.
12. Untuk mengukur kemampuan beton porous dalam meloloskan air, pengujian permeabilitas dilakukan saat beton berumur 28 hari menggunakan metode *Falling Head Permeameter*. Alat ini dirakit dan dibuat dari pipa PVC.
13. Untuk menganalisis mikrostruktur semen OPC dan metakaolin penelitian ini melakukan serangkaian pengamatan, yaitu difraksi sinar-X (XRD), fluoresensi sinar-X (XRF), serta pemindaian Sinar-X Dispersif Mikroskop Elektron-Energi (SEM-EDS).

1.5 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis metode pengumpulan data, yaitu:

1. Data Primer
Data primer diperoleh melalui penyelidikan langsung terhadap objek penelitian melalui eksperimen, observasi, serta tes secara langsung di laboratorium.
2. Data Sekunder
Sementara itu, data sekunder dikumpulkan melalui studi literatur yang telah ada. Dalam tugas akhir ini, data tersebut jurnal dan artikel ilmiah, yang digunakan sebagai acuan sesuai terhadap topik penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dan kerangka penyusunan laporan tugas akhir terkait pengaruh campuran variasi persentase metakaolin sebagai substitusi semen terhadap sifat mekanik, permeabilitas, dan porositas pada beton porous (*pervious concrete*) yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab I penelitian mencakup latar belakang, permasalahan yang akan dijawab, serta tujuan dari penelitian. Selain itu juga membahas batasan penelitian, metode yang diterapkan, dan tata urutan penyusunan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II penelitian mencakup studi literatur terhadap teori, konsep dasar, dan acuan yang menyangkut topik-topik relevan dengan penelitian sebelumnya mengenai beton porous serta pengaruh penggunaan metakaolin sebagai bahan substitusi semen

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab III penelitian berisi penguraian secara detail terkait dengan bahan dan peralatan. Selain itu, dipaparkan metodologi penelitian yang digunakan, mulai pengujian *material properties*, langkah-langkah proses membuat benda uji, hingga metode untuk melakukan pengujian terhadap benda uji.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV penelitian membahas mengenai analisis perhitungan dan analisis data hasil pengujian. Dimulai dari pengolahan data, hasil penelitian, *properties* material dan sifat mekanik, permeabilitas, dan porositas beton porous. Serta menyajikan Analisa hubungan antara sifat fisik dan sifat mekanis

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V pada penelitian ini memuat kesimpulan yang ditarik dari hasil analisis data, serta saran atau rekomendasi yang diusulkan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad ihza Mahendra, Nurul Rochmah, & Herry Widhiarto. (2023). Pengaruh Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Alir. *Student Scientific Creativity Journal*, 1(4), 117–126. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4.1577>
- Agrawal, Y., Gupta, T., Sharma, R., Panwar, N. L., & Siddique, S. (2021). A Comprehensive Review on the Performance of Structural Lightweight Aggregate Concrete for Sustainable Construction. *Construction Materials*, 1(1), 39–62. <https://doi.org/10.3390/constrmater1010003>
- Ali, A., Zhang, N., & Santos, R. M. (2023). Mineral Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review of the Fundamentals, Advancements, and Research Directions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/app132312600>
- Alsadey, S., & Omran, A. (2022). Effect of Superplasticizers to Enhance the Properties of Concrete. *Design, Construction, Maintenance*, 2, 84–91. <https://doi.org/10.37394/232022.2022.2.13>
- Andriansyah, D., & Walujodjati, E. (2023). Pengaruh Bahan Tambah Superplasticizer pada Beton Porous Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah dan Permeabilitas. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 207–216. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.21-2.1386>
- Asif Ahmed, M., Tahmina Toma, U., Podder, J., Abid, A.-A., & Podder, B. (2024). Comparison of Pervious Concrete with Conventional concrete Made of Local Materials. *International Research Journal of Engineering and Technology*, June, 1245–1250. www.irjet.net
- Bangun, S., & Sembiring, K. (2022). Pengaruh Karakteristik Kuat Tekan Beton Menggunakan Serbuk Kayu Pada Campuran Beton. *JT: Jurnal Teknik*, 11(02), 1–18.
- Bansal, M., Bansal, M., Bahrami, A., Krishan, B., Garg, R., Özkiliç, Y. O., & Althaqafi, E. (2024). Influence of pozzolanic addition on strength and microstructure of metakaolin-based concrete. *PLoS ONE*, 19(4 April), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298761>

- Bright, S., Murugan, M., Chellapandian, M., Dixit, S., Bansal, S., Kumar, K. S., Gupta, M., & Maksudovna, K. (2023). *Materials Today: Proceedings Effect of fly ash addition on the mechanical properties of pervious concrete. September.*
- Choi, S. H., Hwang, J. H., Han, S. J., Cho, H. C., Kim, J. H., & Kim, K. S. (2020). Simplified Effective Compressive Strengths of Columns with Intervening Floor Slabs. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40069-020-00419-8>
- Chu, S. H. (2019). Effect of paste volume on fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 218(October), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.131>
- Ciawi, Y., Alit, M., Salain, K., & Yana, P. A. (2022). *Preliminary Study of Porous Concrete Production for Environmentally Friendly Paving Blocks*. 18(3).
- Contento, A., Aloisio, A., Xue, J., He, J., & Briseghella, B. (2024). Ultra-high performance concrete beam-to-beam connections in continuous bridges: Experimental full-scale tests, FE analyses and design. *Engineering Structures*, 316(July), 118594. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118594>
- Das, R., Panda, S., Saumendra Sahoo, A., & Kumar Panigrahi, S. (2023). Effect of superplasticizer types and dosage on the flow characteristics of GGBFS based self-compacting geopolymer concrete. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.339>
- Fadli, L., Arifin, H. S., & Ridwan, W. A. (2023). Study on green concrete (porous concrete) sustainability to support sustainable construction in Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 13(3), 432–443. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.3.432-443>
- Fernando, M., Rakhmawati, A., & Murtopo, A. (2022). *PENGARUH PENAMBAHAN METAKAOLIN PADA BETON BERPORI NON-PASIR TERHADAP NILAI KUAT TEKAN.*
- Ginting, A. (2015). Pengaruh Rasio Agregat Semen Dan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous. *Jurnal Teknik Sipil Dan Material Konstruksi*, 10(April 2015), 45–60.
- Ginting, A. (2019). Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi

- Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76–98.
<https://doi.org/10.28932/jts.v11i2.1404>
- Hanafiah, Saloma, Ferdinand, N., Muliawan, S., & Rachmah, M. F. (2020). The Effect Of A / C Variation On Compressive Strength , Permeability And Porosity Of Pervious Concrete. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(06), 866–871.
- Iman, A. Al, & Masagala, A. A. (2022). Pengaruh Penambahan Metakaolin (Al₂Si₂O₅(OH)₄) Dan Limbah Serat Daun Tembakau Pada Kuat Tekan Beton. *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 7(2), 1–5.
- Karimah, R., & Prasojo, A. (2019). Pembuatan Beton Porous Dengan Material Geopolimer. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 17(1), 64–69.
<https://doi.org/10.22219/jmts.v17i1.7535>
- Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*, 7 No. 3(3), 351–358.
- Muhammad Fakhur Rodzi. (2023). Pembangunan Infrastruktur Dan Pemerataan Ekonomi Di Indonesia. *Jurnal Masyarakat Dan Desa*, 3(2), 151–163.
<https://doi.org/10.47431/jmd.v3i2.353>
- Mujahidi, D. (2017). Studi Eksperimental Sifat-sifat Mekanik Beton Normal Dengan Menggunakan Variasi Agregat Kasar. *Universitas Islam Sultan Agung Jl. Raya Kaligawe Km, 4*, 320–325.
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 78–84.
<https://doi.org/10.21063/jts.2020.v702.05>
- Nurchasanah, Y., & Setyawan, A. (2013). Permeabilitas Pada Konstruksi Beton Dengan Bahan Baku Pozolan Alam Sebagai Alternatif pengganti Semen. *Prosiding Simposium Nasional Teknologi Terapan 1*.
- Oinam, Y., Ju, S., Gwon, S., Shin, M., & Pyo, S. (2022). Characteristics of GGBFS-Based Pervious Concrete Considering Rheological Properties of the Binder. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1).
<https://doi.org/10.1186/s40069-022-00551-7>
- Oualit, M., Irekti, A., & Hami, B. (2022). Effectiveness Assessment of Superplasticizer Admixtures: Case of Self-compacting Concrete Reinforced

- with Fine Mineral Fillers. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.2478/sspjce-2022-0014>
- Pereira da Costa, F. B., Haselbach, L. M., & da Silva Filho, L. C. P. (2021). Pervious concrete for desired porosity: Influence of w/c ratio and a rheology-modifying admixture. *Construction and Building Materials*, 268, 121084. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121084>
- Quinli, C., Steenie, O., Wallah, E., & Windah, R. S. (2020). Sifat Mekanik Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi Fly Ash Terhadap Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 495–500.
- S. Bright Singh, & Murugan, M. (2022). Effect of metakaolin on the properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 346(July), 128476. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128476>
- Safitri, E., & Saputri, D. (2021). *Kajian Kuat Tarik Belah Dan Modulus of Rupture Pada Beton*. 9(3), 217–225.
- Sánchez-Mendieta, C., Galán-Díaz, J. J., & Martínez-Lage, I. (2024). Relationships between density, porosity, compressive strength and permeability in porous concretes: Optimization of properties through control of the water-cement ratio and aggregate type. *Journal of Building Engineering*, 97(August), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110858>
- Setiawan, A. (2021). *Evaluasi Sifat Mekanik Dan Hidraulik Beton Porous Dengan*. 3, 327–332.
- Solikin, M., & Ariska, A. (2023). Pengaruh Penggunaan Silica fume Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi High Volume Fly Ash (HVFA). *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 7(2), 151. <https://doi.org/10.30595/jrst.v7i2.16582>
- Sultan, M. A., Imran, & Litololy, F. (2018). Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata. *Jurnal Teknologi Sipil*, 2(2), 57–63. <https://ocs.unmul.ac.id/index.php/TS/article/download/2189/1625>
- Tyas, Y. W., Nurtanto, D., & Krisnamurti, K. (2020). Pengaruh Variasi Prosentase Superplasticizer terhadap Sifat Mekanik dan Porositas Beton Berpori. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 18(1), 33–42. <https://doi.org/10.22219/jmts.v17i2.11053>
- Wang, Y., Li, L., An, M., Sun, Y., Yu, Z., & Huang, H. (2022). Factors Influencing

- the Capillary Water Absorption Characteristics of Concrete and Their Relationship to Pore Structure. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042211>
- Wibowo, W., Safitri, E., & Fatoni, L. F. (2018). Kajian Pengaruh Variasi Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Mutu Tinggi. *Matriks Teknik Sipil*, 6(3), 513–520. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i3.36560>
- Wong, H. S., Zobel, M., Buenfeld, N. R., & Zimmerman, R. W. (2009). Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying. *Magazine of Concrete Research*, 61(8), 571–589. <https://doi.org/10.1680/macr.2008.61.8.571>
- Zalalludin, M. R., & Ryanto, M. (2022). Kajian Beton Porous Dengan Menggunakan Varian Gradasi Agregat Kasar Dan Silica Fume Untuk Pengujian Kuat Tekan Dan Tarik Belah Beton. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 2(2), 281. <https://doi.org/10.32897/simteks.v2i2.1231>
- Zen, H., Yanti, G., & Megasari, S. W. (2021). Pemanfaatan Recycled Concrete Aggregate Pada Beton Porous. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 04(September), 85–90. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v4i2.1363>