

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI MOLARITAS NaOH TERHADAP SIFAT MEKANIK, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS PADA BETON POROUS GEOPOLIMER

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



MUHAMMAD RIDHO ALPAJRI

03011182126001

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

2025

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ridho Alpajri

NIM : 03011182126001

Judul : Pengaruh Variasi Molaritas NaOH terhadap Sifat Mekanik, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous Geopolimer

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



Muhammad Ridho Alpajri

NIM. 03011182126001

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI MOLARITAS NaOH TERHADAP SIFAT
MEKANIK, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS PADA
BETON POROUS GEOPOLIMER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelas Sarjana Teknik

Oleh:

MUHAMMAD RIDHO ALPAJRI

03011182126001

Palembang, 10 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. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Variasi Molaritas NaOH terhadap Sifat Mekanik, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous Geopolimer” yang disusun oleh Muhammad Ridho Alpajri, NIM. 03011182126001 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Maret 2025.

Palembang, 10 Maret 2025

Tim Penguji Karya 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. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ridho Alpajri

NIM : 03011182126001

Judul : Pengaruh Variasi Molaritas NaOH terhadap Sifat Mekanik, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous Geopolimer

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



Muhammad Ridho Alpajri
NIM. 03011182126001

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Muhammad Ridho Alpajri
Jenis Kelamin : Laki-laki
Status : Belum menikah
Agama : Islam
Warga negara : Indonesia
Nomor HP : 081273290054
E-mail : ridhoalpajri3@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDN 115 PALEMBANG	-	-	SD	2009 - 2015
SMPN 14 PALEMBANG	-	-	SMP	2015 - 2018
SMAN 14 PALEMBANG	-	IPA	SMA	2018 - 2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021- 2025

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Muhammad Ridho Alpajri

NIM. 03011182126001

RINGKASAN

PENGARUH VARIASI MOLARITAS NaOH TERHADAP SIFAT MEKANIK, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS PADA BETON POROUS GEOPOLIMER

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir,

Muhammad Ridho Alpajri; Dibimbing oleh Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xix + 78 halaman, 40 gambar, 17 tabel, 5 lampiran

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi molaritas NaOH (13 M, 14 M, 15 M, 16 M, 17 M) terhadap sifat mekanik, porositas, dan permeabilitas beton porous geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Beton geopolimer merupakan alternatif ramah lingkungan untuk beton konvensional, memanfaatkan produk samping industri seperti *fly ash*, yang kaya akan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang diaktifkan oleh larutan alkali (NaOH dan Na_2SiO_3) untuk membentuk matriks polimer yang kuat. Metode eksperimen melibatkan pengecoran sampel silinder ($\text{Ø}10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) menggunakan agregat kasar (9,5–12,5 mm), rasio aktivator alkali/*fly ash* 0,45, dan pengeringan oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NaOH 15 M menghasilkan kuat tekan optimal sebesar 9,10 MPa (28 hari) dan kuat tarik belah sebesar 3,60 MPa (28 hari), dengan porositas sebesar 28,0340% dan permeabilitas sebesar 1,4147 cm/s. Peningkatan molaritas NaOH meningkatkan kepadatan matriks geopolimer karena peningkatan reaktivitas silika dan alumina dalam *fly ash* yang menghasilkan ikatan polimer yang lebih kuat. Namun, molaritas $>15 \text{ M}$ mengurangi kekuatan tekan karena segregasi alkali, yang mengganggu proses geopolimerisasi dan membentuk fase rapuh. Nilai permeabilitas memenuhi standar ACI 522R-10 (0,14–1,22 cm/s), sementara porositas tetap dalam kisaran yang dapat diterima (15–35%). Studi ini menyoroti bahwa beton porous geopolimer, dengan permeabilitas dan porositasnya yang tinggi, cocok untuk aplikasi seperti tempat parkir dan trotoar, di mana infiltrasi air sangat penting. Penelitian ini merekomendasikan NaOH 15 M sebagai molaritas optimal untuk beton porous geopolimer yang berkelanjutan, dengan menyeimbangkan kekuatan mekanis dan sifat hidraulis.

Kata kunci: beton porous geopolimer, molaritas NaOH, kuat tekan, kuat belah, permeabilitas, porositas

SUMMARY

THE EFFECT OF NaOH MOLARITY VARIATIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES, POROSITY, AND PERMEABILITY OF POROUS GEOPOLYMER CONCRETE

Scientific Papers in Form of Final Projects,

Muhammad Ridho Alpajri; Guide by Advisor Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xix + 78 pages, 40 images, 17 tables, 5 attachments

This study aims to analyze the effect of NaOH molarity variation (13 M, 14 M, 15 M, 16 M, 17 M) on the mechanical properties, porosity, and permeability of fly ash-based geopolymer porous concrete. Geopolymer concrete is an eco-friendly alternative to conventional concrete, utilizing industrial by-products like fly ash, which is rich in silica (SiO_2) and alumina (Al_2O_3), activated by alkaline solutions (NaOH and Na_2SiO_3) to form a strong polymer matrix. The experimental method involved casting cylindrical samples ($\text{Ø}10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) using coarse aggregates (9.5–12.5 mm), an alkali activator/fly ash ratio of 0.45, and oven curing at 80°C for 24 hours. Results indicated that 15 M NaOH yielded optimal compressive strength of 9.10 MPa (28 days) and split tensile strength of 3.60 MPa (28 days), with a porosity of 28.0340% and permeability of 1.4147 cm/s. Increased NaOH molarity enhanced the geopolymer matrix density due to improved reactivity of silica and alumina in fly ash, leading to stronger polymer bonds. However, molarities $>15 \text{ M}$ reduced compressive strength due to alkali segregation, which disrupted the geopolymerization process and formed brittle phases. Permeability values met ACI 522R-10 standards (0.14–1.22 cm/s), while porosity remained within the acceptable range (15–35%). The study highlights that porous geopolymer concrete, with its high permeability and porosity, is suitable for applications such as parking lots and sidewalks, where water infiltration is crucial. This research recommends 15 M NaOH as the optimal molarity for sustainable geopolymer porous concrete, balancing mechanical strength and hydraulic properties.

Keywords: *geopolymer porous concrete, NaOH molarity, compressive strength, split tensile strength, permeability, porosity*

PENGARUH VARIASI MOLARITAS NaOH TERHADAP SIFAT MEKANIK, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS PADA BETON POROUS GEOPOLIMER

Muhammad Ridho Alpajri¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: ridhoalpajri3@gmail.com

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi molaritas NaOH (13 M, 14 M, 15 M, 16 M, 17 M) terhadap sifat mekanik, porositas, dan permeabilitas beton porous geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Metode percobaan yang dilakukan meliputi pengecoran sampel berbentuk silinder ($\varnothing 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) menggunakan agregat kasar (9,5–12,5 mm), rasio aktivator alkali/*fly ash* sebesar 0,45, dan pengeringan oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NaOH 15 M menghasilkan kuat tekan optimal sebesar 9,10 MPa (28 hari) dan kuat tarik belah sebesar 3,60 MPa (28 hari), dengan porositas sebesar 28,0340% dan permeabilitas sebesar 1,4147 cm/s. Peningkatan molaritas NaOH meningkatkan kepadatan matriks geopolimer karena peningkatan reaktivitas silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dalam *fly ash*. Namun, molaritas $>15 \text{ M}$ mengurangi kekuatan tekan karena segregasi alkali. Nilai permeabilitas memenuhi standar ACI 522R-10 (0,14–1,22 cm/s), sementara porositas tetap dalam kisaran yang dapat diterima (15–35%). Studi ini merekomendasikan NaOH 15 M untuk aplikasi beton berpori geopolimer berkelanjutan dalam infrastruktur.

Kata kunci: beton porous geopolimer, molaritas NaOH, kuat tekan, kuat belah, permeabilitas, porositas

Palembang, ¹⁰ 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,



THE EFFECT OF NaOH MOLARITY VARIATIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES, POROSITY, AND PERMEABILITY OF POROUS GEOPOLYMER CONCRETE

Muhammad Ridho Alpajri¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Student, Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Universitas Sriwijaya
E-mail: ridhoalpajri3@gmail.com

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

Abstract

This study aims to analyze the effect of NaOH molarity variation (13 M, 14 M, 15 M, 16 M, 17 M) on the mechanical properties, porosity, and permeability of fly ash-based geopolymer porous concrete. The experimental method involved casting cylindrical samples (Ø10 cm × 20 cm) using coarse aggregates (9.5–12.5 mm), an alkali activator/fly ash ratio of 0.45, and oven curing at 80°C for 24 hours. Results indicated that 15 M NaOH yielded optimal compressive strength of 9.10 MPa (28 days) and split tensile strength of 3.60 MPa (28 days), with a porosity of 28.0340% and permeability of 1.4147 cm/s. Increased NaOH molarity enhanced geopolymer matrix density due to improved reactivity of silica (SiO₂) and alumina (Al₂O₃) in fly ash. However, molarities >15 M reduced compressive strength due to alkali segregation. Permeability values met ACI 522R-10 standards (0.14–1.22 cm/s), while porosity remained within the acceptable range (15–35%). This study recommends 15 M NaOH for sustainable geopolymer porous concrete applications in infrastructure.

Keywords: *geopolymer porous concrete, NaOH molarity, compressive strength, split tensile strength, 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,



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Molaritas NaOH terhadap Sifat Mekanik, Porositas, dan Permeabilitas pada Beton Porous Geopolimer”**. Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih 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, memberikan masukan dan arahan dalam penulisan laporan ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, IPU., ASEAN. Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan selama kegiatan perkuliahan.
6. Ibu Ratna Dewi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kerja praktik Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang selalu memberikan arahan dan bimbingan selama kegiatan dan penulisan laporan kerja praktik.
7. Fitria Putri Lintang Sari, S.T., selaku asisten dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan masukan dan arahan dalam penulisan laporan ini.
8. Bapak Taswin dan Ibu Zanariah, S.Pd, M.Si., selaku orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang kepada penulis sampai saat ini.
9. Auliya, Berliana, Ramadhan, dan Nuzul selaku rekan tim dalam penelitian ini yang senantiasa menemani dan memberikan dukungan selama kegiatan penelitian.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan. Penulis menyampaikan permohonan maaf atas kekurangan atau kesalahan dalam penulisan laporan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kemajuan ilmu yang berkenaan dengan penyusunan laporan penelitian ini. Penulis berharap semoga bisa memberi manfaat dalam ilmu teknik sipil pada bidang material dan lainnya. Demikian, atas perhatian yang diberikan, saya ucapkan terimakasih.

Indralaya, 19 Maret 2025

Penulis



Muhammad Ridho Alpajri

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN INTEGRITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT HIDUP	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Metode Pengumpulan Data	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II	7
2.1 Definisi <i>Porous Concrete</i>	7
2.2 Definisi <i>Geopolymer Concrete</i>	7
2.3 Definisi <i>Porous Geopolymer Concrete</i>	8
2.4 Material Penyusun <i>Porous Geopolymer Concrete</i>	9
2.4.1 <i>Fly ash</i>	9
2.4.2 Agregat Kasar.....	10
2.4.3 Alkali.....	10

2.4.4	<i>Aquades</i>	12
2.5	Faktor yang Mempengaruhi Campuran <i>Porous Geopolymer Concrete</i>	13
2.5.1	Molaritas Larutan Natrium Hidroksida (NaOH).....	13
2.5.2	Rasio Alkali Aktivator (Na ₂ SiO ₃ /NaOH).....	14
2.5.3	Rasio Alkali Aktivator dan <i>Fly Ash</i> (AL/FA).....	15
2.5.4	Rasio <i>Fly Ash</i> dan Agregat (FA/CA).....	16
2.6	Pengujian Mikrostruktur <i>Fly Ash</i>	17
2.6.1	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	17
2.6.2	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	18
2.6.3	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	18
2.7	Perawatan atau <i>Curing</i> Beton.....	18
2.8	Pengujian <i>Porous Geopolymer Concrete</i>	19
2.8.1	<i>Workability</i>	19
2.8.2	Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>).....	19
2.8.3	Kuat Tarik Belah (<i>Split Tensile Strength</i>).....	20
2.8.4	Porositas (<i>Porosity</i>)	21
2.8.5	Permeabilitas (<i>Permeability</i>).....	23
2.8.6	Kapilaritas (<i>Capillarity</i>).....	24
2.9	Penelitian Terdahulu.....	26
BAB III	30
3.1	Umum.....	30
3.2	Studi Literatur	30
3.3	Alur Penelitian	30
3.4	Bahan Penyusun Beton Porous Geopolimer	32
3.5	Peralatan yang Digunakan.....	34
3.6	Tahapan Pengujian di Laboratorium	39
3.6.1	Tahap I.....	39
3.6.2	Tahap II	40
3.6.3	Tahap III	43
3.6.4	Tahap IV	44
3.6.5	Tahap V	45

BAB IV	46
4.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar	46
4.1.1 Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	46
4.1.2 Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Air Agregat Kasar	47
4.1.3 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	47
4.1.4 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	48
4.2 Hasil Pemeriksaan <i>Fly Ash</i>	49
4.2.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	49
4.2.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	50
4.2.3 <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	51
4.3 Hasil Pengujian Beton Porous Geopolimer	53
4.3.1 Pengujian Berat Jenis Beton Porous Geopolimer	55
4.3.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Geopolimer	56
4.3.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Porous Geopolimer	58
4.3.4 Pengujian Permeabilitas Beton Porous Geopolimer	60
4.3.5 Pengujian Porositas Beton Porous Geopolimer	62
4.3.6 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas pada Beton Porous Geopolimer	63
4.3.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas pada Beton Porous Geopolimer	65
4.3.8 Grafik Hubungan Permeabilitas dan Porositas pada Beton Porous Geopolimer	66
 BAB V	 67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
 DAFTAR PUSTAKA	 69
LAMPIRAN	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH terhadap Kuat Tekan Beton	14
Gambar 2.2 Grafik Pengaruh Rasio alkali aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap Kuat Tekan Beton	15
Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Rasio AL/FA terhadap Kuat Tekan Beton.....	16
Gambar 2.4 Grafik Pengaruh Rasio FA/CA terhadap Kuat Tekan Beton dan Permeabilitas Air	17
Gambar 2.5 Ilustrasi Alat <i>Falling Head Permeability Test</i>	23
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	31
Gambar 3.2 <i>Fly Ash</i>	32
Gambar 3.3 NaOH	33
Gambar 3.4 Na_2SiO_3	33
Gambar 3.5 Agregat Kasar	34
Gambar 3.6 <i>Aquades</i>	34
Gambar 3.7 Timbangan Kapasitas 150 kg	35
Gambar 3.8 Timbangan Kapasitas 5 kg	35
Gambar 3.9 Gelas Beker	36
Gambar 3.10 Pan.....	36
Gambar 3.11 Molen.....	36
Gambar 3.12 Bekisting.....	37
Gambar 3.13 Sekop	37
Gambar 3.14 Batang Penumbuk	38
Gambar 3.15 Oven	38
Gambar 3.16 <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	39
Gambar 3.17 <i>Falling Head Permeameter</i>	39
Gambar 3.18 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	41
Gambar 3.19 Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	41
Gambar 3.20 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	41
Gambar 3.21 Pengujian Berat Jenis dan <i>Spesific Gravity</i> Agregat Kasar.....	42
Gambar 4.1 Hasil Pemeriksaan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	51

Gambar 4.2 Hasil Pemeriksaan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	52
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pemeriksaan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS) Kandungan Unsur pada <i>Fly Ash</i>	52
Gambar 4.4 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Berat Jenis Umur 7 Hari...	55
Gambar 4.5 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Berat Jenis Umur 28 Hari.	55
Gambar 4.6 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari..	57
Gambar 4.7 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	57
Gambar 4.8 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 7 Hari.....	59
Gambar 4.9 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari.....	59
Gambar 4.10 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Permeabilitas Umur 28 Hari.....	61
Gambar 4.11 Grafik Diagram Batang Hasil Pengujian Porositas Umur 28 Hari..	63
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous Geopolimer.....	64
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Geopolimer.....	65
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Permeabilitas dan Porositas Beton Porous Geopolimer.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi <i>Fly Ash</i> Berdasarkan Kandungan Kimia.....	9
Tabel 2.2 Perbandingan Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	12
Tabel 2.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH terhadap Kuat Tekan Beton	13
Tabel 2.4 Kekuatan tekan dengan variasi NaOH	26
Tabel 3.1 Perencanaan Campuran Beton Porous Geopolimer	44
Tabel 3.2 Rancangan Jumlah Sampel dan Pengujian.....	45
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Kasar	47
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	48
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	49
Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	50
Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS)	53
Tabel 4.7 Data - Data Penelitian di Laboratorium	54
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan	56
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	58
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Permeabilitas	60
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Porositas	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Beton Porous Geopolimer	74
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Geopolimer.....	75
Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Porous Geopolimer	76
Lampiran 4 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Porous Geopolimer	77
Lampiran 5 Hasil Pengujian Porositas Beton Porous Geopolimer	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi sangat berpengaruh penting dalam memenuhi kebutuhan manusia di sektor pembangunan infrastruktur modern (Widyaningsih *et al.*, 2023). Peningkatan populasi manusia dan perkembangan infrastruktur saling berhubungan, karena harus memberikan rasa aman dan nyaman bagi manusia saat melakukan aktifitas. Menurut Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), jumlah pertumbuhan populasi penduduk hingga tahun 2050 diperkirakan menyentuh angka 9,7 miliar jiwa. Hal ini tentu menjadi perhatian khususnya di Negara Indonesia, karena kebutuhan akan pembangunan infrastruktur juga meningkat, namun tetap harus mempertimbangkan dampak terhadap lingkungan.

Saat ini, material di dalam industri konstruksi yang masih banyak digunakan yaitu material kayu, baja, dan beton. Diantara material tersebut, peran beton dianggap sebagai material utama di dalam industri ini. Sifat beton yang kuat terhadap tekan, harga yang relatif terjangkau, dan ketahanan terhadap suhu yang ekstrem membuat beton masih memiliki popularitas yang tinggi dalam sektor pembangunan (Widyaningsih *et al.*, 2023). Dalam pembangunan infrastruktur di era modern saat ini, material beton umum digunakan untuk pembangunan gedung, jalan raya, irigasi, dan sebagainya, agar masyarakat dapat menikmati sarana dan prasarana dengan nyaman (Wijaya *et al.*, 2022). Namun, efek dari pembangunan tersebut yaitu terbatasnya lahan hijau untuk resapan air. Beberapa pembangunan seperti lahan parkir yang terbuat dari aspal juga terkendala dalam infiltrasi air ke dalam tanah (Wijaya *et al.*, 2022). Hal ini yang menyebabkan limpasan permukaan dan menimbulkan permasalahan banjir ketika musim hujan.

Sebagai solusi dalam mengatasi tergerusnya lahan hijau untuk resapan air dan limpasan permukaan pada lahan parkir disaat musim hujan, maka digunakan beton porous karena kemampuannya dalam meloloskan air dengan baik (permeabilitas). Beton porous adalah beton yang di desain untuk memiliki sifat permeabilitas dan porositas yang tinggi. Hal ini dikarenakan beton porous sedikit

atau bahkan tidak menggunakan pasir, hanya memakai campuran agregat kasar yang tunggal, air, dan semen sehingga dimensi agregat yang dipakai akan mempengaruhi rongga berpori yang dihasilkan (Wijaya *et al.*, 2022). Kemampuan beton porous meloloskan air dengan baik dapat dimanfaatkan untuk penggunaan lahan parkir, trotoar, dan beberapa sarana prasarana lain yang memerlukan infiltrasi yang terjaga.

Penggunaan beton porous pada konstruksi memberikan keuntungan berupa peningkatan infiltrasi air ke dalam tanah dan pengurangan limpasan permukaan. Namun, karena beton porous hanya berfungsi untuk mengalirkan air tanpa menampungnya, diperlukan sistem drainase yang dirancang dengan baik agar aliran air dapat terkontrol. Sistem drainase yang buruk dapat menyebabkan masalah seperti kejenuhan air tanah yang berpotensi memengaruhi kestabilan tanah, erosi akibat aliran air yang tidak terkendali, hingga risiko banjir lokal (Haselbach, 2010). Oleh karena itu, meskipun beton porous sangat bermanfaat untuk lingkungan, perencanaan drainase yang memadai menjadi aspek penting dalam menjaga efektivitas penggunaannya (ACI 522R-10, 2010).

Proses produksi semen sebagai bahan campuran beton memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan dengan meningkatkan persentase hingga 7% karbon dioksida selama rangkaian produksinya (Widyaningsih *et al.*, 2023). Karbon dioksida yang terus meningkat dapat memperparah pemanasan global dan menghambat upaya manusia dalam memberikan solusi terkait dengan penggunaan material konstruksi yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alternatif bahan konstruksi yang dapat mengurangi emisi karbon dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Sebagai upaya untuk mengurangi jejak karbon dalam industri konstruksi, Professor J. Davidovitz mulai memperkenalkan beton geopolimer pada tahun 1978 (Syafputra dan Kurniawati, 2020). Beton geopolimer merupakan alternatif untuk mengurangi peningkatan pemanasan global dengan membatasi penggunaan semen yang kurang ramah terhadap lingkungan. Geopolimer mendukung konsep tersebut karena menggantikan peran semen sebagai pengikat di dalam campuran beton. Sebagai substitusi semen untuk mengikat campuran beton, maka digunakan abu terbang atau *fly ash* yang mengandung alumina dan silika. *Fly ash* merupakan hasil

limbah batu bara yang banyak dimanfaatkan ketersediannya sebagai prekursor (bahan dasar) dalam geopolimer. *Fly ash* kemudian direaksikan dengan alkali aktivator berupa larutan Na_2SiO_3 dan larutan NaOH dengan rasio sesuai rencana. NaOH digunakan untuk mereaksikan unsur Al dan Si dalam *fly ash* sehingga terjadi polimerisasi dengan cepat. Percepatan reaksi tersebut didukung oleh bantuan Na_2SiO_3 , dimana kedua larutan ini berperan sebagai bahan utama dari geopolimer.

Proses pembuatan campuran beton porous geopolimer dipengaruhi oleh molaritas alkali, karena tingkat kepekaan larutan alkali akan mempengaruhi reaktifitas larutan dalam mengaktivasi *fly ash* (Syafputra & Kania Kurniawati, 2020). Berdasarkan penelitian Abdullah *et al.*, (2011), variasi molaritas alkali seperti Natrium Hidroksida (NaOH) terbukti mempengaruhi sifat mekanik dari beton geopolimer. Beberapa penelitian sebelumnya seperti penelitian Adhitya B., (2024) dan Sata *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa molaritas 15 M dapat menghasilkan sifat mekanik optimum, namun penelitian ini berfokus untuk memvalidasi apakah pola serupa berlaku pada beton porous dengan interval variasi dan desain campuran tertentu.

Penelitian terdahulu menggunakan berbagai variasi molaritas, seperti 9 M - 17 M (Adhitya B., 2024), serta 10 M, 15 M, dan 20 M (Sata *et al.*, 2013). Namun, hingga saat ini, belum ada validasi hasil penelitian tersebut untuk kondisi beton porous berbasis *job mix formula* tertentu. Karakteristik beton porous yang memiliki tingkat porositas tinggi dapat memengaruhi pola distribusi reaksi polimerisasi, sehingga memungkinkan adanya perbedaan molaritas optimum dibandingkan beton geopolimer biasa. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi molaritas 13 M, 14 M, 15 M, 16 M, dan 17 M dengan mencakup konsentrasi rendah hingga tinggi yang relevan, untuk menguji pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap sifat mekanik, porositas, dan permeabilitas beton porous geopolimer. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan desain campuran beton porous yang diadaptasi dari Wijaya *et al.*, (2022), dengan tujuan menganalisa secara menyeluruh pengaruh variasi molaritas terhadap sifat mekanik, porositas, dan permeabilitas beton porous geopolimer.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tugas akhir di atas, diperoleh rumusan masalah yang akan dibahas, yaitu :

1. Berapa molaritas NaOH yang menghasilkan sifat mekanik optimum dan minimum pada beton porous geopolimer dengan desain campuran tertentu?
2. Bagaimana pengaruh molaritas NaOH terhadap sifat mekanik pada beton porous geopolimer?
3. Bagaimana pengaruh molaritas NaOH terhadap porositas dan permeabilitas pada beton porous geopolimer?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, yaitu :

1. Untuk menentukan molaritas NaOH yang menghasilkan sifat mekanik optimum dan minimum pada beton porous geopolimer dengan desain campuran tertentu.
2. Untuk menganalisis pengaruh molaritas NaOH terhadap sifat mekanik pada beton porous geopolimer.
3. Untuk menganalisis pengaruh molaritas NaOH terhadap porositas, dan permeabilitas pada beton porous geopolimer.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah dan tujuan penelitian di atas, ruang lingkup penelitian yang ditetapkan, yaitu :

1. Ukuran agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat ukuran seragam, dengan satu ukuran gradasi yang lolos di saringan 12,5 mm dan tertahan di 9,5 mm.
2. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur Konstruksi Material Universitas Sriwijaya.
3. *Fly ash* berasal dari PT Pupuk Sriwijaya (PUSRI).
4. Alkali aktivator yang digunakan berupa larutan Na_2SiO_3 dan NaOH dengan rasio sebesar 2,5.

5. Variasi molaritas NaOH yang digunakan yaitu sebesar 13M; 14M; 15M; 16M; 17M.
6. Rasio alkali ; *fly ash* ; agregat kasar adalah 0,45 ; 1 ; 4.
7. Umur pengujian beton porous yaitu 7 dan 28 hari.
8. Cetakan yang digunakan berupa benda uji silinder berukuran 10 x 20 cm.
9. Komposisi agregat halus sebesar 0 %.
10. Metode perawatan (*curing*) dilakukan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 24 jam.
11. Standar ketentuan dalam pengujian material ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998 untuk pengujian berat volume, Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1971-2011 untuk pengujian kadar air agregat kasar, Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1969-2016 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996 untuk pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar, serta *American Concrete Institute* (ACI) 522R-06 untuk penggunaan beton porous.

1.5 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang bersumber dari hasil penelitian yang dilakukan dengan observasi di laboratorium mengenai objek penelitian. Dalam penelitian ini, data primer yang akan didapat berupa hasil pengujian kuat tekan, kuat belah, porositas, dan permeabilitas.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang bersumber dari hasil penelitian yang telah ada berdasarkan penelitian terdahulu. Dalam penelitian ini, data sekunder yang akan didapat berupa tinjauan pustaka seperti artikel ilmiah dan jurnal yang digunakan untuk referensi yang relevan dengan topik penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan kerangka dalam penulisan karya ilmiah yang disusun secara sistematis. Adapun sistematika penulisan laporan penelitian disusun menjadi 5 bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tinjauan literatur yang mencakup definisi beton porous, beton geopolimer, dan beton porous geopolimer, serta memberikan penjelasan terkait jenis-jenis pengujian yang akan dilaksanakan. Uraian ini didasarkan pada berbagai penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi untuk mendukung penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan material dan peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian, serta metodologi penelitian yang mencakup pengujian material campuran beton porous geopolimer, tahapan pembuatan benda uji, dan prosedur pengujian benda uji.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil penelitian yang telah dilakukan, mencakup pengolahan data dari pengujian material yang digunakan serta hasil uji pada sampel, seperti uji kuat tekan, kuat belah, porositas, dan permeabilitas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian, serta saran-saran yang diajukan untuk penelitian di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. M. A., Kamarudin, H., Mohammed, H., Khairul Nizar, I., Rafiza, A. R., & Zarina, Y. (2011). The relationship of NaOH molarity, Na₂SiO₃/NaOH ratio, fly ash/alkaline activator ratio, and curing temperature to the strength of fly ash-based geopolymer. *Advanced Materials Research*, 328–330(September), 1475–1482. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.1475>
- Abdulsalam Arafa, S., Mohd Ali, A. Z., Rahmat, S. N., & Lee, Y. L. (2017). Optimum Mix for Pervious Geopolymer Concrete (GEOCRETE) Based on Water Permeability and Compressive Strength. *MATEC Web of Conferences*, 103, 1–9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710301024>
- Adhitya B. (2024). *Dissertation characteristics of geopolymer artificial aggregate use in normal concrete*.
- Arafa, S., Milad, A., Izzi, N., Al-ansari, N., & Mundher, Z. (2021). Investigation into the permeability and strength of pervious geopolymer concrete containing coated biomass aggregate material. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 2075–2087. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.045>
- Beton, D. A. N. M. (2023). *KAJIAN PENGARUH PENGGANTIAN UKURAN Hermawati*. 8, 58–68.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2015). *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*. Wiley, 964.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Chalee, W., & Rattanasak, U. (2009). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Management*, 29(2), 539–543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.023>
- Committee, A. C. I. (n.d.). *ACI 522R-10. Report On Berpori Concrete, American Concrete Institute Committee 522. USA.pdf*.
- Ghashghaei, H. T., & Hassani, A. (2016). Investigating the Relationship between Porosity and Permeability Coefficient for Pervious Concrete Pavement by Statistical Modelling. *Materials Sciences and Applications*, 07(02), 101–107. <https://doi.org/10.4236/msa.2016.72010>
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2005). Introducing Fly Ash-based Geopolymer Concrete: Manufacture and Engineering Properties. *30 Th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, January 2005*, 23–24. <https://www.researchgate.net/publication/43649846>
- Haselbach, L. (2010). *Engineering Guide to LEED - New Construction: Sustainable Construction for Engineers* (1st Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071489935>
- Honny, M. B., Thiofilus, J. W., Hardjito, D., & Antoni. (2019). Pengaruh Metode Pembuatan dan Komposisi Alkali Aktivator Terhadap Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 8(2), 236–242. <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/9625/8691>
- Kupaei, R. H., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2014). The effect of different parameters on the development of compressive strength of oil palm shell

- geopolymer concrete. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/898536>
- Madheswaran C.K., Gnanasundar G., G. N. (2013). Effect of molarity in geopolymer concrete, *Int. J. Civ. Struct. Eng.* (2013). *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 4(2), 106–115. <https://doi.org/10.6088/ijcser.20130402001>
- Malik, Y. (2016). Studi Pengaruh Temperatur Dan Waktu Curing Terhadap Sifat Fisik–Mekanik Semen Geopolimer Berbasis Slag Ferronickel. In *Jurusan Teknik Material Dan Matalurgi, Fakultas* <https://repository.its.ac.id/71279/1/2714201014-master-theses.pdf>
- Method, S. T. (2009). *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious*. 15–17.
- Mooy, M., Simatupang, P. H., & Frans, J. H. (2017). Pengaruh Suhu Curing Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, VI(1), 47–60.
- Nguyen-Tuan, T., Phan-Quang, M., Pham-Thanh, T., & Nguyen-Viet, P. (2020). Experimental study on mechanical and hydraulic properties of porous geopolymer concrete. *International Journal of GEOMATE*, 19(74), 66–74. <https://doi.org/10.21660/2020.74.41280>
- Obla, K. H. (2017). *Pervious concrete – An overview*. July.
- P., C., T., C., S., H., & T., C. (2011). High-Strength Geopolymer Using Fine High-Calcium Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(3), 264–270. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000161)
- P. Kumar Mehta, P. J. M. M. (2001). Microstructure, Properties, and Materials. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, 1*, 684.
- Patongloan, Z., Lotim, Y. B., Matasik, R. R., & Kadang, R. S. (2023). *ABU CANGKANG KERANG HIJAU*. 8(2), 16–21.
- Purnamasari, E., Gazali, A., & Januar, M. B. (2022). The Effect of Variations of Fly Ash Filling Materials on Porous Concrete Using Local Aggregates from South Borneo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 999(1), 0–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/999/1/012002>
- Rangan, B., & Hardjito, D. (2005). Studies on fly ash-based geopolymer concrete. *Proc. 4th World ...*, November. http://www.google.com/books?hl=id&lr=&id=wIFo7L_zO8AC&oi=fnd&pg=PA133&dq=djwantoro&ots=FlZypGbTgV&sig=wTzPfRqrskTYXr8KGB058Fgwij8
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073–1078. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>
- Rumajar, R. J., Sumajouw, M., & Pandaleke, R. (2019). *TEMPERATUR RUANGAN*. 7(1), 1–6.
- Sandoval, G. F. B., Galobardes, I., Teixeira, R. S., & Toralles, B. M. (2017). Case Studies in Construction Materials Comparison between the falling head and the constant head permeability tests to assess the permeability coefficient of sustainable Pervious Concretes. *Case Studies in Construction Materials*, 7(September), 317–328. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.09.001>
- Saragi, W. N., Fadli, A. '., & ' D. (2016). Pemanfaatan Limbah Fly Ash Batubara untuk Pembuatan Paving Block Geopolimer dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan Rasio Natrium Silika terhadap Natrium Hidroksida

- (Na₂SiO₃/NaOH). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(2), 1–6.
- Sata, V., Wongsa, A., & Chindaprasirt, P. (2013). Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 42, 33–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.046>
- Setiawati, M., Martini, S., & Nurulita, R. (2022). Variasi Molaritas Naoh Dan Alkali Aktivator Beton Geopolimer. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 56. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7983>
- SNI 1969:2008, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
- SNI 03-1971-1990, Metode Pengujian Kadar Air Agregat
- SNI 03-4804-1998, Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat
- SNI 2493:1991, Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium
- SNI 2847:2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk bangunan Gedung (Beta Version), Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 2002
- SNI S-04-1989, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A
- SNI 7656:2012, Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 2012
- SNI 2491:2014, Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 2014
- SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 2019
- Sonebi, M., Bassuoni, M., & Yahia, A. (2016). Pervious concrete: Mix design, properties and applications. *RILEM Technical Letters*, 1, 109–115. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.24>
- Soundararajan, E. K., & Vaiyapuri, R. (2021). *Geopolymer binder for pervious concrete*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:235728802>
- Syafputra, B., & Kania Kurniawati, E. (2020). Pengaruh Variasi Molaritas Pada Kuat Tekan Beton Geopolymer Fly Ash Dengan Agregat Halus Pasir Kuarsa. *SANTIKA Is a Scientific Journal of Science and Technology*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.37150/jsa.v10i1.1358>
- Tho-in, T., Sata, V., Chindaprasirt, P., & Jaturapitakkul, C. (2012). Pervious high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.028>
- Wibowo, Y. N. (2020). *Performa Beton Geopolimer Berbasis High-Calcium Fly Ash Dengan Variasi Performa Beton Geopolimer Berbasis High-Calcium Fly Ash Dengan Variasi*.
- Widyaningsih, E., Herbudiman, B., & Fauzi, F. F. (2023). Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 8(3), 176. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v8i3.176>
- Wijaya, M. A. B., Adhitya, B. B., & Costa, A. (2022). *Analisis Kekuatan Tekan Dan Permeabilitas Pervious Geopolymer Concrete Dengan Variasi Rasio Alkali Aktivator Terhadap Fly Ash*. 1–9.
- Xu, H., & Van Deventer, J. (2002). Microstructural characterisation of geopolymers synthesised from kaolinite/stilbite mixtures using XRD, MAS-NMR, SEM/EDX, TEM/EDX, and HREM. *Cement and Concrete Research*, 32,

- 1705–1716. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00859-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00859-1)
- Yang, J., & Jiang, G. (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research*, 33(3), 381–386. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00966-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00966-3)
- Yavuz, D., Akbulut, Z. F., & Guler, S. (2024). An experimental investigation of hydraulic and early and later-age mechanical properties of eco-friendly porous concrete containing waste glass powder and fly ash. *Construction and Building Materials*, 418(December 2023), 135312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135312>
- Yip, C. K., Lukey, G. C., & van Deventer, J. S. J. (2005). The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate at the early stage of alkaline activation. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1688–1697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.042>