

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH VARIASI RASIO MASSA ALKALI AKTIVATOR/*FLY ASH* DAN RASIO MASSA $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DARI WILAYAH SUMATERA SELATAN



HADI WINATA

03011282126054

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH VARIASI RASIO MASSA ALKALI AKTIVATOR/*FLY ASH* DAN RASIO MASSA $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DARI WILAYAH SUMATERA SELATAN

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



HADI WINATA

03011282126054

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI RASIO MASSA ALKALI AKTIVATOR/*FLY ASH* DAN RASIO MASSA $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DARI WILAYAH SUMATERA SELATAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

Oleh :

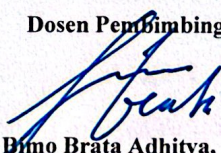
HADI WINATA

03011282126054

Palembang, Mei 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. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Rasio Massa Alkali Aktivator/*Fly Ash* dan rasio massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dari Wilayah Sumatera Selatan”**. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini, yaitu :

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si. selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
6. Ibu Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan.

Dalam menyusun proposal ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi penulis dan bagi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Palembang, Mei 2025



Hadi Winata

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xii
SUMMARY	xiii
HALAMAN ABSTRAK.....	xiv
HALAMAN ABSTRACT	xv
PERNYATAAN INTEGRITAS	xvi
HALAMAN PERSETUJUAN.....	xvii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xviii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan Laporan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Mortar	9
2.3 Geopolimer	10
2.4 Geopolimerisasi	12

2.5	<i>Fly Ash</i>	14
2.5.1	SiO ₂ (Silikon dioksida) dan Al ₂ O ₃ (Aluminium oksida).....	17
2.5.2	Fe ₂ O ₃ (Ferri oksida).....	18
2.6	Alkali Aktivator	18
2.6.1	Natrium Hidroksida (NaOH).....	19
2.6.2	Natrium Silikat (Na ₂ SiO ₃)	20
2.7	Pengujian Karakterisasi	20
2.7.1	Uji XRF	21
2.7.2	Uji XRD.....	21
2.7.3	Uji SEM.....	23
2.7.4	Uji Kuat Tekan	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Deskripsi Umum.....	27
3.2	Studi Literatur.....	27
3.3	Alur Penelitian	28
3.4	Persiapan Bahan	30
3.5	Persiapan Alat.....	32
3.6	Tahapan Penelitian dan Pengujian.....	40
3.6.1	Tahap I.....	40
3.6.2	Tahap II	40
3.6.3	Tahap III	40
3.6.4	Tahap IV	41
3.6.5	Tahap V	41
3.7	Data Penelitian.....	34
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Pengujian Agregat Halus	51
4.1.1	Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Halus.....	51
4.1.2	Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	54
4.1.3	Pengujian Kandungan Kadar Lumpur Agregat Halus.....	55
4.1.4	Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	57
4.1.5	Pengujian Kadar Organik Agregat Halus	58

4.1.6	Pengujian Berat Volume Agregat Halus	59
4.2	Pengujian <i>Fly Ash</i>	62
4.2.1	Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	62
4.2.2	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	64
4.2.3	Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	66
4.3	Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	67
4.3.1	Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI Variasi AA : FA	68
4.3.2	Kuat Tekan Mortar Geopolimer PTBA Variasi AA : FA.....	72
4.3.3	Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI Variasi Na ₂ SiO ₃ : NaOH..	77
4.3.4	Kuat Tekan Mortar Geopolimer PTBA Variasi Na ₂ SiO ₃ : NaOH...	81
4.3.5	Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berdasarkan Reaktivitas dan Bentuk Partikel <i>Fly Ash</i>	85
4.3.6	Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI dan PTBA Berdasarkan Variasi AA : FA.....	86
4.3.7	Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI dan PTBA Berdasarkan Variasi Na ₂ SiO ₃ : NaOH.....	88
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	90
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur tiga unit monomer pembentuk geopolimer	13
Gambar 2.2	Geopolimerisasi	14
Gambar 2.3	<i>Fly Ash</i> Lolos Saringan No. 200.....	15
Gambar 2.4	Pantulan Sinar-X di bidang kristal	22
Gambar 2.5	Difraktogram sinar-X abu layang PT. IPMOMI	23
Gambar 2.6	Skema dan cara kerja SEM.....	24
Gambar 2.7	Dimensi Ukuran Beton	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2	<i>Fly Ash</i>	30
Gambar 3.3	Larutan NaOH	30
Gambar 3.4	Sodium Silikat	31
Gambar 3.5	Agregat Halus	31
Gambar 3.6	<i>Aquades</i>	32
Gambar 3.7	Pan	32
Gambar 3.8	Sekop Semen	33
Gambar 3.9	Sikat Kawat	33
Gambar 3.10	Kuas	34
Gambar 3.11	Sarung Tangan Karet.....	34
Gambar 3.12	Saringan.....	35
Gambar 3.13	<i>Sieve Machine</i>	35
Gambar 3.14	Ember	36
Gambar 3.15	Gelas Ukur.....	36
Gambar 3.16	Timbangan Digital.....	37
Gambar 3.17	Kerucut Terpancung	37
Gambar 3.18	Pelat Besi	38
Gambar 3.19	Meteran.....	38
Gambar 3.20	Cetakan (Bekisting)	39
Gambar 3.21	<i>Universal Testing Machine</i>	39
Gambar 3.22	Pengadukan Larutan NaOH.....	40
Gambar 3.23	Pengujian Kadar Air Agregat Halus	

Gambar 3.24	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	41
Gambar 3.25	Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	42
Gambar 3.26	Pengujian Kadar Organik Agregat Halus	42
Gambar 3.27	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	43
Gambar 3.28	Campuran Mortar Fly Ash PTBA dengan AA/FA = 0,8	44
Gambar 3.29	Persiapan Material	47
Gambar 3.30	Proses Pencampuran Larutan	47
Gambar 3.31	Proses Pencampuran Material dengan <i>Mixer</i>	47
Gambar 3.32	Campuran yang telah Homogen	48
Gambar 3.33	Proses Pengolesan Oli pada <i>Mold</i>	48
Gambar 3.34	Proses Penuangan Campuran Mortar ke <i>Mold</i>	48
Gambar 3.35	Proses Memasukkan <i>Mold</i> ke dalam Oven	49
Gambar 3.36	Mengeluarkan <i>Mold</i> dari Oven	49
Gambar 3.37	Melepaskan Benda Uji dari <i>Mold</i>	49
Gambar 3.38	Mortar yang telah di Bungkus <i>Plastic Wrap</i>	50
Gambar 4.1	Hasil Pengujian XRD <i>Fly Ash</i> PUSRI	64
Gambar 4.2	Hasil Pengujian XRD <i>Fly Ash</i> PTBA	65
Gambar 4.3	Hasil Pengujian SEM <i>Fly Ash</i> PUSRI	66
Gambar 4.4	Hasil Pengujian SEM <i>Fly Ash</i> PTBA	66
Gambar 4.5	Campuran Mortar dengan <i>Fly Ash</i> PTBA	75
Gambar 4.6	Campuran Mortar dengan <i>Fly Ash</i> PTBA	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2.2 Pembagian Kelas <i>Fly Ash</i> ASTM C-618 2019.....	17
Tabel 2.3 Hasil Pengujian XRF Terhadap <i>Fly Ash</i>	21
Tabel 3.1 Data JMF	42
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Air	52
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Halus.....	53
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus.....	54
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	56
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air.....	58
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus	60
Tabel 4.7 Hasil Pengujian XRF <i>Fly Ash</i> PUSRI.....	63
Tabel 4.8 Hasil Pengujian XRF <i>Fly Ash</i> PTBA.....	63
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI; AA/FA = 0,4	68
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI; AA/FA = 0,5 ..	68
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI; AA/FA = 0,6 ..	69
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI; AA/FA = 0,7 ..	69
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI; AA/FA = 0,8 ..	70
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA; AA/FA = 1	72
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA; AA/FA = 1,1 ...	72
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA; AA/FA = 1,2 ...	73
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA; AA/FA = 1,3 ...	73
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA; AA/FA = 1,4 ...	74
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI, Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 1	77
Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI, Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 1,5	77
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI, Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 2	78
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI,	

Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 2,5	78
Tabel 4.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PUSRI,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 3	79
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 1	81
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 1,5	82
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 2	82
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 2,5	83
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Fly Ash</i> PTBA,	
Na ₂ SiO ₃ :NaOH = 3	83

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Gradasi Agregat Halus.....	55
Grafik 4.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI Variasi AA : FA	71
Grafik 4.3 Kuat Tekan Mortar Geopolimer PTBA Variasi AA : FA.....	75
Grafik 4.4 Kuat Tekan Mortar Geopolimer PUSRI Variasi Na_2SiO_3 : NaOH.....	80
Grafik 4.5 Kuat Tekan Mortar Geopolimer PTBA Variasi Na_2SiO_3 : NaOH.....	84
Grafik 4.6 Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berdasarkan Variasi Na_2SiO_3 : NaOH.....	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir
Lampiran 2. Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir (1)
Lampiran 3. Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir (2)
Lampiran 4. Lembar Asistensi
Lampiran 5. Lembar Berita Acara Seminar Tugas Akhir

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI RASIO MASSA ALKALI AKTIVATOR/
FLY ASH DAN RASIO MASSA $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ TERHADAP KUAT TEKAN
MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DARI WILAYAH
SUMATERA SELATAN

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir, Mei 2025

Hadi Winata; Dimbimbing oleh Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xix + 91 halaman, 35 gambar, 28 tabel, 6 grafik, 5 lampiran

Mortar geopolimer merupakan inovasi material ramah lingkungan yang berpotensi menggantikan mortar konvensional karena tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat, melainkan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio massa alkali aktivator/*fly ash* (AA:FA) dan rasio massa natrium silikat/natrium hidroksida ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap kuat tekan mortar geopolimer yang menggunakan *fly ash* dari dua sumber di Sumatera Selatan, yaitu PT Pupuk Sriwidjaja dan PT Bukit Asam Tbk. Pengujian dilakukan pada umur mortar di 3, 7, dan 28 hari. Selain itu, karakteristik *fly ash* diuji menggunakan metode XRF, XRD, dan SEM untuk mengetahui kandungan kimia, tingkat reaktivitas, dan bentuk partikelnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan rasio AA:FA dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan mortar. Kuat tekan optimum diperoleh dari kombinasi rasio AA:FA = 0,6 dengan kuat tekan sebesar 47,25 MPa untuk *fly ash* PUSRI dan AA:FA = 1,3 dengan kuat tekans sebesar 7,28 MPa untuk *fly ash* PTBA. Berdasarkan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ didapat nilai optimum di rasio 2,5:1 untuk *fly ash* PTBA dan PUSRI di mana untuk kuat tekannya sebesar 43,28 MPa untuk mortar dengan *fly ash* PUSRI dan 6,02 MPa untuk mortar dengan *fly ash* PTBA. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan pemilihan rasio yang tepat, mortar geopolimer dapat mencapai kekuatan tekan yang kompetitif, sekaligus mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada semen dan memanfaatkan limbah industri secara produktif.

Kata kunci: mortar geopolimer, *fly ash*, alkali aktivator, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, XRF, XRD, SEM, kuat tekan mortar

SUMMARY

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ALKALI ACTIVATOR-TO-FLY ASH MASS RATIO AND Na_2SiO_3 -TO- NaOH MASS RATIO ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER MORTAR FROM SOUTH SUMATRA

Scientific papers in form of Final Projects, May 2025

Hadi Winata; guided by Dr. Ir. Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T.

Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xix + 91 pages, 35 pictures, 28 tables, 6 graph, 5 attachments

Geopolymer mortar is an environmentally friendly material innovation with the potential to replace conventional mortar, as it does not use cement as a binder but instead utilizes industrial waste such as fly ash. This study aims to analyze the effects of varying the mass ratio of alkali activator to fly ash (AA:FA) and the mass ratio of sodium silicate to sodium hydroxide ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) on the compressive strength of geopolymer mortar using fly ash from two sources in South Sumatra: PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) and PT Bukit Asam Tbk (PTBA). Compressive strength tests were conducted at 3, 7, and 28 days of curing. Additionally, the characteristics of the fly ash were evaluated using X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine its chemical composition, reactivity, and particle morphology. The results indicate that both the AA:FA and $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ratios significantly affect the compressive strength of the mortar. The optimum compressive strength was achieved at an AA:FA ratio of 0.6, resulting in 47.25 MPa for fly ash from PUSRI, and at an AA:FA ratio of 1.3 with 7.28 MPa for fly ash from PTBA. Regarding the $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ratio, the optimal value was found at 2.5:1 for both fly ash sources, producing a compressive strength of 43.28 MPa for mortar with PUSRI fly ash and 6.02 MPa for mortar with PTBA fly ash. This study demonstrates that with the proper selection of mix ratios, geopolymer mortar can achieve competitive compressive strength while supporting sustainable development by reducing dependence on cement and utilizing industrial waste effectively.

Keywords: *geopolymer mortar, fly ash, alkali aktivator, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, XRF, XRD, SEM, compressive strength*

ANALISIS PENGARUH VARIASI RASIO MASSA ALKALI AKTIVATOR/ *FLY ASH* DAN RASIO MASSA $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DARI WILAYAH SUMATERA SELATAN

Hadi Winata¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: 03011282126054@student.unsri.ac.id

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

Abstrak

Mortar geopolimer merupakan inovasi material ramah lingkungan yang berpotensi menggantikan mortar konvensional karena tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat, melainkan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio massa alkali aktivator/*fly ash* (AA:FA) dan rasio massa natrium silikat/natrium hidroksida ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap kuat tekan mortar geopolimer yang menggunakan *fly ash* dari dua sumber di Sumatera Selatan, yaitu PT Pupuk Sriwidjaja dan PT Bukit Asam Tbk. Pengujian dilakukan pada umur mortar di 3, 7, dan 28 hari. Selain itu, karakteristik *fly ash* diuji menggunakan metode XRF, XRD, dan SEM untuk mengetahui kandungan kimia, tingkat reaktivitas, dan bentuk partikelnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan rasio AA:FA dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan mortar. Kuat tekan optimum diperoleh dari kombinasi rasio AA:FA = 0,6 dengan kuat tekan sebesar 47,25 MPa untuk *fly ash* PUSRI dan AA:FA = 1,3 dengan kuat tekans sebesar 7,28 MPa untuk *fly ash* PTBA. Berdasarkan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ didapat nilai optimum di rasio 2,5:1 untuk *fly ash* PTBA dan PUSRI di mana untuk kuat tekannya sebesar 43,28 MPa untuk mortar dengan *fly ash* PUSRI dan 6,02 MPa untuk mortar dengan *fly ash* PTBA.

Kata kunci: *fly ash*, alkali aktivator, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, kuat tekan mortar

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



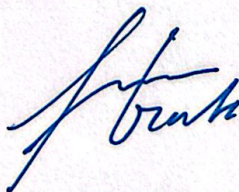
Dr. Ir. Galoma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

Palembang, Mei 2025

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing,



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

NIP. 198103102008011010

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ALKALI ACTIVATOR-TO-FLY ASH MASS RATIO AND Na_2SiO_3 -TO- NaOH MASS RATIO ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER MORTAR FROM SOUTH SUMATERA

Hadi Winata¹⁾, Bimo Brata Adhitya²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: 03011282126054@student.unsri.ac.id

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

Abstract

Geopolymer mortar is an environmentally friendly material innovation with the potential to replace conventional mortar, as it does not use cement as a binder but instead utilizes industrial waste such as fly ash. This study aims to analyze the effects of varying the mass ratio of alkali activator to fly ash (AA:FA) and the mass ratio of sodium silicate to sodium hydroxide ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) on the compressive strength of geopolymer mortar using fly ash from two sources in South Sumatra: PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) and PT Bukit Asam Tbk (PTBA). Compressive strength tests were conducted at 3, 7, and 28 days of curing. Additionally, the characteristics of the fly ash were evaluated using X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine its chemical composition, reactivity, and particle morphology. The results indicate that both the AA:FA and $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ratios significantly affect the compressive strength of the mortar. The optimum compressive strength was achieved at an AA:FA ratio of 0.6, resulting in 47.25 MPa for fly ash from PUSRI, and at an AA:FA ratio of 1.3 with 7.28 MPa for fly ash from PTBA. Regarding the $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ratio, the optimal value was found at 2.5:1 for both fly ash sources, producing a compressive strength of 43.28 MPa for mortar with PUSRI fly ash and 6.02 MPa for mortar with PTBA fly ash.

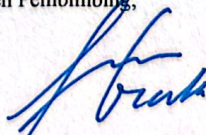
Keywords: fly ash, alkali aktivator, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, compressive strength

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



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

Palembang, Mei 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing,



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

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertnada tangan di bawah ini:

Nama : Hadi Winata

NIM : 03011282126054

Judul : Analisis Pengaruh Variasi Rasio Massa Alkali Aktivator/*Fly Ash* dan Rasio Massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dari Wilayah Sumatera Selatan

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

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



Palembang, Mei 2025



Hadi Winata

NIM. 03011282126054

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Rasio Massa Alkali Aktivator/*Fly Ash* dan Rasio Massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dari Wilayah Sumatera Selatan” yang disusun oleh Hadi Winata, NIM. 03011282126054 telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Mei 2025.

Palembang, 21 Mei 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir:

Ketua:

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

()

Anggota:

2. Anthony Costa, S.T., M.T.
NIP. 199007222019031014

( - 2/25)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Teknik Sipil



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

NIP. 197502112003121002

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

NIP. 197610312002122001



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hadi Winata

NIM : 03011282126054

Judul : Analisis Pengaruh Variasi Rasio Massa Alkali Aktivator/*Fly Ash* dan Rasio Massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dari Wilayah Sumatera Selatan

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 Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

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

Palembang, Mei 2025



Hadi Winata

NIM. 03011282126054

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

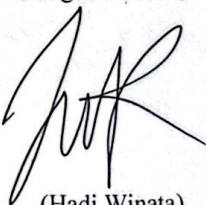
Nama Lengkap : Hadi Winata
Jenis Kelamin : Laki-laki
E-mail : winatahadi2003@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Xaverius 1 Palembang	-	-	SD	2009 -2015
SMP Xaverius 1 Palembang	-	-	SMP	2015 -2018
SMA Xaverius 1 Palembang	-	IPA	SMA	2018 -2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021-2025

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



(Hadi Winata)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai negara semakin berlomba-lomba untuk menjadi negara maju dan Indonesia adalah salah satu negara tersebut di mana pembangunan dari segi infrastruktur semakin terjadi peningkatan dari masa ke masa. Industri semen memegang peran penting dalam mendukung kemajuan infrastruktur di negara ini. Seiring dengan meningkatnya pembangunan, produksi semen pun ikut bertambah. Namun, bahan bakar dari proses produksi semen saat ini masih mengandalkan batu bara. Batu bara sendiri merupakan bahan alam yang sifatnya tidak dapat diperbarui. Hasil dari proses pembuatan semen juga menghasilkan debu-debu, limbah B3, partikel-partikel, serta gas karbon dioksida (CO_2) yang berisiko memperburuk pemanasan global di mana pada akhirnya berdampak negatif terhadap ekosistem. (Musfirah, 2020). Perlu diketahui, bahwa proses produksi semen portland memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, karena melepaskan emisi gas CO_2 ke atmosfer dalam jumlah yang sebanding dengan volume semen yang dihasilkan oleh pabrik. Emisi gas CO_2 ini berkontribusi terhadap pemanasan global, dengan mencapai angka 7% dalam sumbangannya untuk emisi gas rumah kaca. Bila angka ini dilakukan kalkulasi akan menyebabkan peningkatan suhu bumi antara 1,4 hingga 5,8°C dalam 100 tahun mendatang. (Millenia, 2022).

Menanggapi permasalahan tersebut, berbagai upaya pengembangan material ramah lingkungan mulai dilakukan, salah satunya adalah penggunaan mortar geopolimer. Mortar geopolimer adalah salah satu jenis mortar dengan proses produksinya tanpa penggunaan semen sebagai bahan perekat atau pengikatnya serta memanfaatkan limbah-limbah industri yang dapat berkontribusi untuk terciptanya lingkungan yang lebih baik. Mortar geopolimer bisa dibuat menggunakan material sisa yang berasal dari limbah industri di mana terkandung silika (SiO_2) dan aluminium (Al_2O_3). Contohnya termasuk kaolin, limbah pembakaran seperti abu sekam padi, dan *fly ash*. Material-material tersebut kemudian dicampur dengan air dan bahan kimia pengikat seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk membentuk mortar geopolimer. (Riyanto dkk., 2021)

Salah satu material yang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan mortar geopolimer adalah abu terbang. Abu terbang merupakan partikel halus di mana dihasilkan sebagai residu dari peleburan terhadap baja besi ataupun pembakaran batu bara. Jika *fly ash* terlepas ke udara, ia bisa menjadi ancaman serius karena mengandung berbagai residu kimia yang berbahaya jika terhirup oleh manusia, seperti silikon dioksida (SiO_2), baik dalam bentuk kristal maupun debu. Di beberapa industri, *fly ash* ini juga dapat tercampur dengan zat lain seperti besi atau kapur. Selain itu, jika *fly ash* dibiarkan menumpuk di *landfill* atau area terbuka, dan terkena air hujan, proses perembesan alami bisa terjadi, yang mengakibatkan pencemaran air tanah dan menurunkan kualitasnya. (Musfirah, 2020).

Apalagi, ketersediaan *fly ash* di Indonesia tergolong sangat melimpah seiring tingginya konsumsi batu bara sebagai sumber energi. Berdasarkan Ekaputri & Bari (2021) pada tahun 2019, permintaan atas batu bara di Indonesia menyentuh angka 97 juta ton untuk memenuhi permintaan listrik di seluruh negeri. Jumlah ini diperkirakan akan terus meningkat karena Indonesia dari segi kelistrikan masih bergantung dengan PLTU. Batu bara juga digunakan sebagai sumber energi di bidang industri seperti industri pulp dan kertas serta industri kimia seperti urea. Di sisi lain, tingkat pemanfaatan *fly ash* di Indonesia hanya sekitar 10-12%. Penggunaan abu terbang sebagai bahan dasar mortar geopolimer ini merupakan salah satu upaya untuk mengurangi jumlah dan dampak berbahaya dari limbah yang dibuang ke lingkungan. (Budiningrum dkk., 2021).

Fly ash ini merupakan bahan krusial di dalam mortar geopolimer yang mana besaran persentase masing-masing kandungan senyawa $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam *fly ash* yang digunakan untuk mortar geopolimer akan sangat menentukan kuat tekan mortar yang dihasilkan. Menurut Panias, dkk., (2007) dalam Sandi Faradilla (2019). Kehadiran SiO_2 dibutuhkan untuk memulai proses terbentuknya oligomer serta proses polikondensasi silikat, sehingga mampu meningkatkan efektivitas dalam proses geopolimerisasi. Berdasarkan Tennakon, dkk., (2015) dalam Sandi Faradilla (2019) secara umum, kandungan aluminium dalam bahan sumber silikat-alumina sangat mempengaruhi berbagai sifat geopolimer dari segi stabilitas di mana akan berdampak pada ketahanan material yang dihasilkan. Kandungan lain yang penting adalah Fe_2O_3 . Dalam larutan basa, ion hidroksida

akan bereaksi dengan unsur besi membentuk senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Namun, reaksi ini dapat menjadi kendala karena ion hidroksida sebenarnya dibutuhkan dalam rangka melarutkan alumina serta silika dari abu layang. Akibatnya, jumlah alumina serta silika yang tersedia untuk mendukung proses geopolimerisasi dapat berkurang. (Mushlihah, 2008 dalam Sandi Faradilla, 2019). Maka dari itu, dibutuhkan komposisi persentase senyawa dalam *fly ash* yang tepat.

Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan tiga pengujian terhadap *fly ash*. Ada pengujian XRF untuk mengidentifikasi konsentrasi elemen-elemen di dalam *fly ash*, pengujian XRD untuk mengetahui tingkat kereaktifan dari *fly ash*, dan pengujian SEM untuk mengetahui ukuran dan bentuk partikel *fly ash*. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil paling optimal berupa besaran kekuatan tekan mortar geopolimer dari masing-masing *fly ash* yang mana akan dipengaruhi oleh penambahan lima variasi perbandingan AA : FA dan juga lima variasi perbandingan Na_2SiO_3 : NaOH sehingga hasilnya bisa diklasifikasikan dan dimanfaatkan sesuai kegunaannya seperti pada ASTM C307-03. *Fly ash* untuk pembuatan mortar geopolimer ini berasal dari dua sumber yang ada dalam lingkup Sumatera Selatan yaitu PT Pupuk Sriwidjaja dan PT Bukit Asam Tbk. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dengan penelitian terdahulu yang berjudul Analisis Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Terhadap Panas Dengan Variasi Molaritas Dan Waktu Pembakaran dari segi hasil kuat tekan mortar yang lebih optimal berdasarkan variasi-variasi yang akan digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Melalui uraian latar belakang tersebut, dapat dirumuskan beberapa permasalahan utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

1. Bagaimana pengaruh reaktivitas dan bentuk partikel *fly ash* terhadap nilai kekuatan tekan mortar geopolimer?
2. Bagaimana pengaruh rasio alkali aktivator : *fly ash* terhadap kekuatan tekan mortar geopolimer?
3. Bagaimana pengaruh rasio Na_2SiO_3 : NaOH sebagai alkali aktivator terhadap kekuatan tekan mortar geopolimer?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa sasaran berikut.

1. Menganalisis pengaruh reaktivitas dan bentuk partikel *fly ash* terhadap kuat tekan mortar geopolimer.
2. Menganalisis pengaruh rasio alkali aktivator : *fly ash* terhadap kekuatan tekan mortar geopolimer.
3. Menganalisis pengaruh rasio Na_2SiO_3 : NaOH sebagai alkali aktivator terhadap kekuatan tekan mortar geopolimer.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun untuk penelitian ini, dalam proses pelaksanaannya memiliki cakupan ruang lingkup yang dibahas, di antaranya:

1. *Fly ash* berasal dari PT. Pupuk Sriwidjaja, dan PT. Bukit Asam Tbk.
2. *Fly ash* digunakan sebagai bahan pengikat, sementara larutan aktivator terdiri dari senyawa Na_2SiO_3 dan NaOH yang berfungsi sebagai pelarutnya.
3. Rasio aktivator (Na_2SiO_3 : NaOH) yang akan digunakan yaitu 1:1; 1,5:1; 2:1; 2,5:1; 3:1.
4. Rasio pasir yang digunakan sebesar 15% dari total massa *fly ash*.
5. Rasio aktivator terhadap *fly ash* ada adalah 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8.
6. Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan sebagai aktivator adalah 15 M.
7. Perawatan untuk benda uji dilakukan dengan proses pengovenan yang dilakukan pada suhu 80°C dengan durasi waktu 24 jam.

8. Pengujian untuk mengetahui karakteristik *Fly Ash* dilakukan dengan pengujian XRF, XRD, dan SEM.
9. Pengujian untuk mengetahui sifat mekanik campuran dilakukan dengan uji kuat tekan.
10. Pelaksanaan penelitian dilakukan untuk pembuatan tugas akhir yang mana berada pada skala laboratorium.
11. Penelitian ini didasarkan pada standar yang ditetapkan oleh ASTM (*American Standard Test Materials*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia).
12. Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Geopolimer yang dilakukan pada hari ke-3, ke-7, serta hari ke-28.

1.5 Sistematika Penulisan Laporan

Berikut berkaitan dengan sistematika penulisan Tugas Akhir yang berjudul **Analisis Pengaruh Variasi Rasio Massa Alkali Aktivator/*Fly Ash* dan rasio massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dari Wilayah Sumatera Selatan** di mana mencakup hal-hal sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan secara rinci mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, Batasan serta cakupan studi, serta sistematika penulisan laporan ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas kajian pustaka yang mencakup berbagai referensi seperti jurnal, buku, dan sumber literatur lainnya yang dijadikan sebagai landasan teori serta acuan pendukung dalam pelaksanaan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan tentang sistematika pelaksanaan penelitian, yang mencakup kajian pustaka, tahapan penelitian, serta analisis terhadap hasil yang diperoleh.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dari analisis yang dilakukan. Terdapat perbandingan analisis terbaru terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian dilakukan analisis kinerja terhadap mortar yang dihasilkan berdasarkan nilai kuat tekan mortar geopolimer yang dihasilkan dari sumber *fly ash*

yang berbeda dan juga dipengaruhi berbagai variasi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ serta variasi alkali activator/*fly ash* yang mempengaruhi *durability* mortar geopolimer.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini memaparkan tentang kesimpulan serta saran atas hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini terdapat daftar sumber-sumber literatur yang digunakan sebagai referensi atau acuan dari penelitian yang dilakukan, meliputi buku, jurnal, laporan terdahulu, ataupun sumber literatur lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, D. (2016). Efek Kadar Lumpur Terhadap Kekuatan Beton Geopolimer. *Jurnal Poli-Teknologi*, 14(1). <https://doi.org/10.32722/pt.v14i1.730>
- Adhitya, B. B., Rosidawani, Nayobi, B., Huda, M. H., & Afifah, D. (2024). The Effect of Fly Ash Based Geopolymer Aggregate Using Crushing and Pelletization Methods on the Mechanical Properties of Concrete. *Civil Engineering and Architecture*, 12(2), 788–797. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120209>
- Aryanto, A., Faisal, -, Sutandar, E., & Herwani, -. (2021). Studi Koefisien Kuat Tekan Beton Geopolimer Pada Berbagai Umur. *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, 21(2), 133. <https://doi.org/10.26418/jtsft.v21i2.50662>
- Budiningrum, D. S., Kustirini, A., Purnijanto, B., Mahasukma, D., & Utama, T. Y. (2021). Studi Experimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Pltu Tanjungjati B Jepara. *Bangun Rekaprima*, 7(2), 55. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v7i2.2997>
- Chindaprasirt, P., De Silva, P., Sagoe-Crentsil, K., & Hanjitsuwan, S. (2012). Effect of SiO₂ and Al₂O₃ on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems. *Journal of Materials Science*, 47(12), 4876–4883. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6353-y>
- Dimejo, A. H. R. (2017). [Skripsi] *Abu Layang Batubara Dengan Penambahan Pati*. 1–35.
- Dwi Pratiwi, W. (2019). Hubungan Morfologi, Ukuran Partikel dan Keamorfian Fly Ash dengan Kuat Tekan Pasta High-Volume Fly Ash (HVFA) Cement. *Seminar Master 2019, October*, 93–98. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/SeminarMASTER>
- Ekaputri, J. J., & Bari, M. S. Al. (2020). The comparison of regulations on fly ash as a hazardous waste in Indonesia and several countries. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 150–162. <https://doi.org/10.14710/mkts.v26i2.30762>
- Ginting, A., Gunawan, W., & Ismirrozi. (2017). Pengaruh Kadar Air Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik*, 1(1), 9–16.
- Kasyanto, H. (2012). Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash

- Dengan Aktivator Sodium Hidroksida Dan Sodium Silikat. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 254–259.
<https://doi.org/10.35313/irwns.v3i0.471>
- Millenia, W. (2022). *Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar Geopolimer Dengan Variasi Rasio Alkali Aktivator Terhadap Prekursor*.
- Musfirah, F. (2020). STUDI KARAKTERISTIK EFFLORESCENCE MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN FLY ASH DAN SERBUK KAYU. In *repository.unhas.ac.id*. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/2133/>
- Prasetyo, G. B., Trinugroho, S., & Solikin, M. (2015). Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 13.
- Riyanto, E., Widyananto, E., & Renaldy, R. R. (2021). Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Silica Fume dan Kapur Tohor. *INERSIA: Informasi dan Ekspose hasil Riset teknik Sipil dan Arsitektur*, 17(1), 19–26.
<https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.35901>
- Saloma, Saggaff, A., Hanafiah, & Mawarni, A. (2016). Geopolymer Mortar with Fly Ash. *MATEC Web of Conferences*, 78, 1–6.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/20167801026>
- Salwan, A. A., Rizal, F., & Miswar, K. (2021). Analisa Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis Fly Ash Nagan Raya Dengan Metode Dry Mix. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 5(1), 40–45.
- Sandi Faradilla, F. (2019). *GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU LAYANG DARI EMPAT PLTU: HOLCIM, PAITON 1-2, KETAPANG DAN WILMAR*. 1–109. https://doi.org/https://repository.its.ac.id/64207/7/01211540000045-Undergraduate_Thesis.pdf
- Sugiarto H, I. (2023). *PEMANFAATAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN FLY ASH DAN SERAT PVA SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN BALOK BETON BERTULANG*. 1–43.
https://doi.org/https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/35686/2/D012191021_tesis_26-02-2024%20bab%201-2.pdf
- Suraneni, P., Burris, L., Shearer, C. R., & Hooton, R. D. (2021). ASTM C618 fly ash specification: Comparison with other specifications, shortcomings, and

solutions. *ACI Materials Journal*, 118(1), 157–167.

<https://doi.org/10.14359/51725994>

Tugas Akhir FIX_MOHAMMAD TAQI WIKRAMA. (n.d.).

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>

Zailani, W. W. A., Abdullah, M. M. A., Arshad, M. F., Burduhos-Nergis, D. D., & Tahir, M. F. M. (2020). Effect of Iron Oxide (Fe_2O_3) on the Properties of Fly Ash Based Geopolymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 877(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/877/1/012017>