

SKRIPSI

**SIFAT MEKANIK DAN DURABILITAS MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR METAKAOLIN DAN *FLY ASH* DENGAN SERAT
BEMBAN**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Lambung Mangkurat

Oleh:

Aldi Sultan Akbar

NIM. 2010811210103

Dosen Pembimbing:

Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc.

NIP. 19690106 199502 2 001



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
BANJARBARU
2024**

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
SIFAT MEKANIK DAN DURABILITAS MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR FLY ASH DAN METAKAOLIN DENGAN SERAT
BEMBAN

Oleh
Aldi Sultan Akbar (2010811210103)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 12 Januari 2024 dan dinyatakan

L U L U S

Komite Penguji:

Ketua : Ir. Ida Barkiah, M.T.
NIP.196911101993032001

Anggota 1 : Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc.,
Ph.D.
NIP. 199003062022032010

Anggota 2 : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T.,
M.Eng.
NIP. 197907232005012005

**Pembimbing
Utama** : Ir. Ratni Nurwidayati, M.T.,
M.Eng.Sc
NIP. 196901061995022001

Banjarbaru, ... 2.4. JAN 2024


Diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM**



Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001

**Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Sipil,**



Dr. Muhammad Arsyad S.T., M.T.
NIP. 197208261998021001

Surat Ketersediaan Dosen Pembimbing

Kepada Yth.

Koordinator Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik ULM

di –

Banjarbaru

Bersama ini saya sampaikan dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc.

NIP : 19690106 199502 2 001

Menyatakan Bersedia membimbing mahasiswa di bawah ini:

Nama : Aldi Sultan Akbar

NIM : 2010811210103

Kontak : 085774005076

Dalam menyusun Skripsi dalam bidang Struktur dengan judul: Sifat Mekanik dan Durabilitas Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Metakaolin

Demikian surat ini disampaikan, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.


Banjarbaru, September 2023

Dosen Pembimbing ,









Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc.

NIP. 19690106 199502 2 001

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL BANJARBARU			LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR					
			KEHADIRAN					
No	Nama	NIM	1	2	3	4	5	6
1.	ALDI SULTAN AKBAR	2010811210103	√	√	√	√	√	√

KEGIATAN ASISTENSI

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	22/08/2023	<ul style="list-style-type: none"> Perbaiki Sitasi Ditambahkan pengaruh lingkungan asam Mencari sumber terbaru tentang Beton Cari efek semen terhadap lingkungan 	
2.	24/08/2023	<ul style="list-style-type: none"> Perbaiki Heading Tambahkan Rasio Pasta terhadap pasir Bab II tambahkan kondisi lingkungan 	
3.	29/08/2023	<ul style="list-style-type: none"> Cari Paper terkait metakaolin Pernyataan tentang molaritas Perbaiki diagram alir 	
4.	07/09/2023	<ul style="list-style-type: none"> Tambahkan Uji Porositas dan sortivity Perbaiki diagram alir Perbaiki Nomenklatur 	
5.	12/09/2023	<ul style="list-style-type: none"> Bab 3 jelaskan sesuai diagram Tambahkan persamaan uji porositas dan sortivity 	
6.	14/09/2023	<ul style="list-style-type: none"> ACC 	

Banjarbaru, 2023
Dosen Pembimbing Utama,



Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc.

NIP. 19690106 199502 2 001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aldi Sultan Akbar
NIM : 2010811210103
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Sifat Mekanik dan Durabilitas Mortar Geopolimer
Berbahan Dasar Metakaolin dan *Fly Ash* Dengan Serat
Bemban
Pembimbing : Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas Lambung Mangkurat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Banjarbaru, Januari 2024

Penulis,

Aldi Sultan Akbar
NIM. 2010811210103

**SIFAT MEKANIK DAN DURABILITAS MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR *FLY ASH* DAN METAKAOLIN DENGAN SERAT
BEMBAN**

Aldi Sultan Akbar¹, Ratni Nurwidayati²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: aldijombang024@gmail.com

ABSTRAK

Geopolimer merupakan material tanpa semen dan 100% menggunakan limbah yang bersifat pozzolan, sehingga disebut material ramah lingkungan. Ketahanan terhadap lingkungan asam penting dievaluasi dalam pengaplikasiannya di dunia konstruksi, khususnya di daerah lahan asam gambut dan daerah yang memiliki potensi pasang surut air laut. Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh komposisi campuran metakaolin dan *fly ash*, pengaruh penambahan serat bemban, serta pengaruh lingkungan asam dan air PDAM pada kuat tekan mortar geopolimer dan evaluasi durabilitas.

Molaritas NaOH sebesar 8 M, rasio alkali 2,5, campuran metakaolin dan *fly ash* sebesar 100/0; 70/30 dan 50/50 dengan dan tanpa penambahan serat bemban 1,5% dari berat material dasar. Metode curing benda uji sampai 28 hari sebelum terekspos lingkungan curing lembab. Setelah masa perawatan, benda uji diekspos pada lingkungan asam dan air PDAM dengan siklus *wet-dry*. Pengujian yang dilakukan adalah sorptivity, porositas, evaluasi visual, perubahan berat, kuat tekan, kuat tarik belah dan uji karbonasi. Evaluasi dilakukan setelah terekspos 1,2 dan 3 bulan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi pada perendaman di lingkungan asam dan air PDAM pada komposisi campuran metakaolin dan *fly ash* 50/50 dengan penambahan serat bemban 1,5% berturut-turut sebesar 39,17 MPa dan 49,20 MPa pada terekspos 3 bulan. Mortar geopolimer metakaolin dan *fly ash* 50/50 mengalami penurunan berat lebih rendah dibandingkan campuran metakaolin dan *fly ash* 70/30 dan 100/0. Mortar geopolimer dengan penambahan serat bemban 1,5% mengalami persentase kenaikan kuat tarik dibandingkan tanpa penambahan serat bemban pada komposisi campuran metakaolin dan *fly ash* 100/0; 70/30 dan 50/50 berturut-turut sebesar 33,82%; 33,45% dan 24,64%. Hasil absorpsi, porositas dan sorptivity mortar geopolimer dengan penambahan serat bemban lebih baik dibandingkan mortar geopolimer tanpa penambahan serat bemban.

Kata Kunci: Durabilitas, *Fly Ash*, Metakaolin, Serat Bemban, Sorptivity

MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF FLY ASH AND METAKAOLIN BASED GEOPOLYMER MORTAR WITH BEMBAN FIBER

Aldi Sultan Akbar¹, Ratni Nurwidayati²

¹Undergraduate Student of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University

²Lecturer of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University

Jl. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: aldijombang024@gmail.com

ABSTRACT

Geopolymers are cementless materials that use 100% pozzolanic waste, hence the term environmentally friendly material. Resistance to acidic environments is important to evaluate in its application in the construction world, especially in peat acidic land areas and areas that have the potential for tidal sea water. The purpose of the study was to determine the effect of metakaolin and fly ash mixture composition, the effect of bemban fiber addition, and the effect of acidic environment and tidal water on the compressive strength of geopolymer mortar and durability evaluation.

NaOH molarity of 8 M, alkali ratio of 2.5, mixture of metakaolin and fly ash of 100/0; 70/30 and 50/50 with and without the addition of bemban fiber 1.5% of the weight of the base material. The test specimens were cured for up to 28 days before being exposed to a humid curing environment. After the curing period, the specimens were exposed to acidic environment and tap water with wet-dry cycle. Testing conducted were sorptivity, porosity, visual evaluation, weight change, compressive strength, split tensile strength and carbonation test. Evaluation was conducted after 1, 2 and 3 months of exposure.

The results showed that the highest compressive strength on immersion in acidic environment and PDAM water in the composition of a mixture of metakaolin and fly ash 50/50 with the addition of 1.5% bemban fiber was 39.17 MPa and 49.20 MPa on exposure 3 months, respectively. The 50/50 metakaolin and fly ash geopolymer mortars experienced lower weight loss compared to 70/30 and 100/0 metakaolin and fly ash blends. Geopolymer mortars with the addition of 1.5% bemban fiber experienced a percentage increase in tensile strength compared to those without the addition of bemban fiber in the composition of metakaolin and fly ash mixtures 100/0; 70/30 and 50/50 of 33.82%; 33.45% and 24.64%, respectively. The results of absorption, porosity and sorptivity of geopolymer mortar with the addition of bemban fiber are better than geopolymer mortar without the addition of bemban fiber.

Keywords: Durability, Fly ash, Metakaolin, Bemban Fiber, Sorptivity

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Segala syukur terpanjatkan hanya untuk Allah SWT, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya jualah sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam juga untuk junjungan umat, Nabi Besar Muhammad SAW. Harapan dan doa pun terucap, semoga kita dapat memperoleh kebahagiaan dunia dan akhirat.

Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk menempuh ujian Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, dengan judul “Sifat Mekanik Dan Durabilitas Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Dan Metakaolin Dengan Serat Bemban”. Keberhasilan penyusunan Proposal Skripsi ini berkat doa restu dan dukungan banyak pihak, untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya, Arief Setiadi (ayah) dan Sulistyowati (Ibu), serta adik-adik saya Amelia Berliana Clevera Putri dan Abimanyu Prabu Wicaksono, serta seluruh keluarga besar yang tiada henti memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan selama kuliah hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing utama skripsi yang dengan penuh perhatian dan kesabaran telah mengarahkan serta membimbing saya untuk menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. dan Ibu Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat menyempurnakan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Iphan Fitriani Radam, S.T., M.T selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
6. Dosen-dosen Teknik Sipil dan staff Prodi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu sebagai modal dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Para instruktur dan mahasiswa magang instruktur Laboratorium Struktur dan Material yang telah membantu saya dalam pembuatan skripsi ini.
8. Teman-teman seperjuangan “MTP Academica” / “MTP Empire” yang telah memberikan berbagai semangat dan dukungan yang tak terkira untuk saya bisa menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala bantuan untuk memudahkan menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Proposal Skripsi ini masih belum sempurna baik dari segi bahasa, teknik penulisan maupun dari segi keilmuannya. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi kesempurnaan Proposal Skripsi ini dimasa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat memperkaya ilmu. Amin Ya Rabbal' Alamin.

Banjarbaru, Januari 2024

Aldi Sultan Akbar

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mortar.....	6
2.2 Geopolimer.....	7
2.2.1 Pengertian Geopolimer	7
2.2.2 Kelebihan Geopolimer	7
2.2.3 Kekurangan Geopolimer.....	9
2.3 Material Pembentuk Geopolimer	10
2.3.1 <i>Fly ash</i>	10
2.3.2 Metakaolin	14
2.3.3 Air	15

2.3.4 Larutan Alkali.....	16
2.3.5 Agregat Halus (Pasir Silika).....	18
2.3.6 Serat Berman (<i>Donax Canniformis</i>).....	19
2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Geopolimer.....	20
2.4.1 Molaritas Larutan.....	20
2.4.2 Rasio Larutan Alkali.....	21
2.4.3 Rasio Agregat Halus terhadap Pasta.....	22
2.4.4 Rasio Campuran Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> terhadap Alkali.....	22
2.4.5 Kondisi Lingkungan	23
2.5 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	24
2.6 Pengujian Terhadap Benda Uji	26
2.6.1 Pengujian Porositas	26
2.6.2 Pengujian <i>Sorptivity</i>	27
2.6.3 Pengujian Kuat Tekan	29
2.6.4 Pengujian Kuat Tarik Belah.....	30
2.6.5 Pengujian Karbonasi	31
2.7 Durabilitas	32
2.8 Pasang Surut Air.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Diagram Alir	37
3.2 Waktu dan Tempat	38
3.3 Alat dan Bahan.....	39
3.3.1 Alat.....	39
3.3.2 Bahan	39
3.4 Persiapan Bahan Dasar.....	40
3.4.1 <i>Fly ash</i>	40

3.4.2	Metakaolin	41
3.4.3	Serat Berman.....	44
3.4.4	Larutan Alkali	46
3.4.5	Agregat Halus	48
3.4.6	Larutan Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	48
3.5	Pengujian Karakteristik Material	49
3.6	Rancangan Penelitian	49
3.7	Pembuatan Benda Uji Mortar Geopolimer.....	52
3.8	Perawatan Benda Uji.....	61
3.9	Pembuatan Lingkungan Perendaman	62
3.9.1	Lingkungan Normal Untuk Mortar Geopolimer.....	62
3.9.2	Lingkungan Asam Untuk Mortar Geopolimer.....	62
3.10	Pengujian Fisik dan Mekanik Mortar Geopolimer.....	63
3.10.1	Pengujian Absorpsi dan Porositas.....	63
3.10.2	Pengujian <i>Sorptivity</i>	66
3.10.3	Pengamatan Visual dan Berat Benda Uji	68
3.10.4	Pengujian Karbonasi	69
3.10.5	Kuat Tekan.....	69
3.10.6	Kuat Tarik Belah	71
3.11	Penarikan Kesimpulan.....	72
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		73
4.1	Pemeriksaan Bahan	73
4.1.1	Pemeriksaan Metakaolin.....	73
4.1.2	Pemeriksaan <i>Fly Ash</i>	74
4.1.3	Pemeriksaan Serat Berman	78
4.1.4	Pemeriksaan Agregat Halus.....	79

4.1.5	Pemeriksaan Waktu Pengikatan.....	80
4.2	Pemeriksaan pH Lingkungan Asam Mortar Geopolimer.....	82
4.3	Pengujian <i>Sorptivity</i>	85
4.4	Pengujian Absorpsi dan Porositas	89
4.5	Pengamatan Visual dan Berat Benda Uji Mortar	94
4.5.1	Pengamatan Sampel M100F-S0-A	94
4.5.2	Pengamatan Sampel M100F-S0-N	96
4.5.3	Pengamatan Sampel M100F-S1,5-A	97
4.5.4	Pengamatan Sampel M100F-S1,5-N	99
4.5.5	Pengamatan Sampel M70F-S0-A	101
4.5.6	Pengamatan Sampel M70F-S0-N	103
4.5.7	Pengamatan Sampel M70F-S1,5-A	105
4.5.8	Pengamatan Sampel M70F-S1,5-N	107
4.5.9	Pengamatan Sampel M50F-S0-A	109
4.5.10	Pengamatan Sampel M50F-S0-N	111
4.5.11	Pengamatan Sampel M50F-S1,5-A	113
4.5.12	Pengamatan Sampel M50F-S1,5-N	115
4.5.13	Rekapitulasi Pengamatan Berat Benda Uji Mortar.....	117
4.6	Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	119
4.6.1	Pengujian Sampel M100F-S0-A.....	120
4.6.2	Pengujian Sampel M100F-S0-N.....	122
4.6.3	Pengujian Sampel M100F-S1,5-A.....	124
4.6.4	Pengujian Sampel M100F-S1,5-N.....	126
4.6.5	Pengujian Sampel M70F-S0-A.....	129
4.6.6	Pengujian Sampel M70F-S0-N.....	131
4.6.7	Pengujian Sampel M70F-S1,5-A.....	134

4.6.8	Pengujian Sampel M70F-S1,5-N.....	136
4.6.9	Pengujian Sampel M50F-S0-A.....	139
4.6.10	Pengujian Sampel M50F-S0-N.....	141
4.6.11	Pengujian Sampel M50F-S1,5-A.....	144
4.6.12	Pengujian Sampel M50F-S1,5-N.....	146
4.7	Pengujian Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	149
4.7.1	Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> Tanpa Penambahan Serat Berman Terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer 151	
4.7.2	Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> Dengan Penambahan Serat Berman 1,5% Terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	152
4.7.3	Pengaruh Tanpa dan Penambahan Serat Berman Terhadap Komposisi Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> Terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	153
4.8	Hubungan Hasil Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer	154
4.9	Pengaruh Komposisi Campuran Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	156
4.9.1	Pengaruh Komposisi Campuran Metakaolin dan <i>Fly ash</i> Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Setelah Terekspos Lingkungan.....	157
4.10	Pengaruh Penambahan serat berman terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	165
4.11	Pengaruh Lingkungan Asam dan Air PDAM terhadap kuat tekan Mortar Geopolimer.....	175
4.12	Hasil Uji Karbonasi.....	182
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		189

5.1 Kesimpulan.....	189
5.2 Saran.....	191
DAFTAR PUSTAKA	192
LAMPIRAN.....	202

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Fly ash</i>	14
Gambar 2.2 Metakolin	15
Gambar 2.3 Natrium Hidroksida (NaOH).....	17
Gambar 2.5 Pasir Silika.....	19
Gambar 2.6 Serat Bemban (<i>Donax Canniformis</i>)	20
Gambar 2.7 Skema Pengujian Sorptivity (ASTM C1585-13, 2013)	29
Gambar 2.8 Kondisi Pembebanan Kuat Tekan	30
Gambar 2.9 Kondisi Pembebanan Kuat Tarik Belah	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3.2 Pengambilan Limbah <i>Fly ash</i> dari PLTU Asam-Asam	40
Gambar 3.3 Pengovenan <i>Fly Ash</i>	40
Gambar 3.4 Menyaring <i>Fly Ash</i> dengan Saringan no. 200	41
Gambar 3.5 <i>Fly ash</i>	41
Gambar 3.6 Pengambilan Batuan Kaolin dari Bukit Cempaka.....	41
Gambar 3.7 Pemilahan Batu Kaolin.....	41
Gambar 3.8 Perendaman Batu Kaolin.....	42
Gambar 3.9 Pengovenan Batu Kaolin.....	42
Gambar 3.10 Penghalusan Batu Kaolin dengan Alat Abrasi	42
Gambar 3.11 Penyaringan Kaolin dengan Saringan no.200	42
Gambar 3.12 Gelas Krusibel	43
Gambar 3.13 Proses Kalsinasi Kaolin Dengan Alat <i>furnase burnstead thermolyne</i>	43
Gambar 3.14 Metakaolin.....	43
Gambar 3.15 Pengambilan Tumbuhan Bemban dari Banua Anyar.....	44
Gambar 3.16 Pemotongan Tumbuhan Bemban ± 20 cm.....	44
Gambar 3.17 Perendaman Tumbuhan Bemban	44
Gambar 3.18 Perebusan Tumbuhan Bemban.....	44
Gambar 3.19 Penyisiran Serat Bemban	45
Gambar 3.20 Perendaman Serat Bemban dengan Larutan NaOH 4%.....	45
Gambar 3.21 Pencucian Serat Bemban sampai pH 6-8	45
Gambar 3.22 Pengeringan Serat Bemban	46

Gambar 3.23 Serat Bemban	46
Gambar 3.24 Natrium hidroksida (NaOH).....	46
Gambar 3.25 Natrium Silikat	47
Gambar 3.26 Pasir Silika.....	48
Tabel 3.1 Spesifikasi Larutan H ₂ SO ₄	48
Gambar 3.27 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	48
Gambar 3.28 NaOH dalam Bentuk <i>Flakes</i>	57
Gambar 3.29 Larutan NaOH.....	58
Gambar 3.30 Proses Mencampurkan Larutan NaOH dengan Larutan Na ₂ SiO ₃ ...	58
Gambar 3.31 Bekisting Mortar	58
Gambar 3.32 Material dan Bahan Penyusun Mortar.....	58
Gambar 3.33 Proses Memasukkan Campuran Metakaolin dan <i>Fly ash</i>	59
Gambar 3.34 Pencampuran Larutan Alkali dengan Campuran Metakaolin dan <i>Fly ash</i>	59
Gambar 3.35 Proses Memasukkan Pasir Silika.....	59
Gambar 3.36 Proses Memasukkan Serat Bemban	60
Gambar 3.37 Proses Pencetakan Mortar	60
Gambar 3.38 Benda Uji di Dalam Bekisting.....	60
Gambar 3.39 Membuka Bekisting dengan Gurinda	61
Gambar 3.40 Menimbang Benda Uji Mortar	61
Gambar 3.41 Perawatan Mortar Kondisi Lembab	61
Gambar 3.42 Kondisi Terpapar Lingkungan Asam	62
Gambar 3.43 Benda Uji untuk Pengujian Absorpsi dan Porositas.....	63
Gambar 3.44 Benda Uji Dikeringkan Dengan Oven	64
Gambar 3.45 Menimbang Berat Kering (W _i).....	64
Gambar 3.46 Perendaman Benda Uji.....	64
Gambar 3.47 Menimbang Berat Kering (W _s)	65
Gambar 3.48 Merebus Benda Uji Selama 5 Jam	65
Gambar 3.49 Menimbang Benda Uji (W _b)	65
Gambar 3.50 Menimbang Benda Uji (W _w).....	66
Gambar 3.51 Benda Uji dilapisi Lapisan Non Penyerap	67
Gambar 3.52 Menimbang Benda Uji Awal.....	67

Gambar 3.53 Meletakkan Benda Uji di Wadah Air.....	67
Gambar 3.54 Uji Visual Sampel	68
Gambar 3.55 Uji Berat Sampel.....	68
Gambar 3.56 Contoh Hasil Uji Karbonasi	69
Gambar 3.57 Pengujian Karbonasi	69
Gambar 3.58 Menimbang Benda Uji	70
Gambar 3.59 Pengujian Tekan Benda Uji Mortar	70
Gambar 3.60 <i>Set-up</i> Alat Pengujian Tekan Silinder Mortar.....	70
Gambar 3.61 Pengujian Kuat Tarik Belah Mortar	71
Gambar 3.62 <i>Set-up</i> Alat Pengujian Kuat Tarik Belah Silinder Mortar	72
Gambar 4.1 Hasil grafik Ash Analysis fly ash 2023.....	75
Tabel 4.6 Kadar Komponen Kimia Serat Bemban.....	78
Gambar 4.2 Waktu Pengikatan Awal dan Akhir.....	81
Gambar 4.3 Pengukuran pH Larutan Asam untuk Mortar Geopolimer.....	84
Gambar 4.4 Kondisi Perendaman Mortar Geopolimer di Larutan Asam	84
Gambar 4.5 Pengujian Sorptivity.....	85
Gambar 4.6 Penyerapan Air Kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ Pada Mortar Geopolimer Tanpa Penambahan Serat	86
Gambar 4.7 Penyerapan Air Kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ Pada Mortar Geopolimer Dengan Penambahan Serat Bemban 1,5%.....	86
Gambar 4.8 Sorptivity vs Waktu Pada Mortar Geopolimer Tanpa Penambahan Serat Bemban	88
Gambar 4.9 Sorptivity vs Waktu Pada Mortar Geopolimer Dengan Penambahan Serat Bemban 1,5%.....	88
Gambar 4.10 Pengujian Absorpsi dan Porositas.....	90
Gambar 4.11 Hubungan Absorpsi air dengan Perbandingan Campuran Metakaolin dan <i>Fly Ash</i>	91
Gambar 4.12 Hubungan Porositas dengan Perbandingan Campuran Metakaolin dan <i>Fly Ash</i>	93
Gambar 4.13 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M100F-S0-A.....	94
Gambar 4.14 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M100F-S0-N.....	96
Gambar 4.15 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M100F-S1,5-A.....	98

Gambar 4.16 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M100F-S1,5-A.....	100
Gambar 4.17 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M70F-S0-A.....	102
Gambar 4.18 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M70F-S0-N.....	104
Gambar 4.19 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M70F-S1,5-A.....	106
Gambar 4.20 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M70F-S1,5-N.....	108
Gambar 4.21 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M50F-S0-A.....	110
Gambar 4.22 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M50F-S0-N.....	112
Gambar 4.23 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M50F-S1,5-A.....	114
Gambar 4.24 Zona yang Diidentifikasi Pada Sampel M50F-S1,5-N.....	116
Gambar 4. 25 Hasil Penimbangan Berat Benda Uji Mortar Geopolimer	119
Gambar 4.26 Pengujian Kuat Tekan M100F-S0-A.....	120
Gambar 4.27 Kuat Tekan M100F-S0-A Setelah Terpapar Lingkungan Asam...	121
Gambar 4.28 Pengujian Kuat Tekan M100F-S0-N.....	122
Gambar 4.29 Kuat Tekan M100F-S0-N Setelah Terendam Air PDAM.....	123
Gambar 4.30 Pengujian Kuat Tekan M100F-S1,5-A.....	125
Gambar 4.31 Kuat Tekan M100F-S1,5-A Setelah Terpapar Lingkungan Asam	126
Gambar 4.32 Pengujian Kuat Tekan M100F-S1,5-N.....	127
Gambar 4.33 Kuat Tekan M100F-S1,5-N Setelah Terendam Air PDAM.....	128
Gambar 4.34 Pengujian Kuat Tekan M70F-S0-A.....	129
Gambar 4.35 Kuat Tekan M70F-S0-A Setelah Terpapar Lingkungan Asam.....	130
Gambar 4.36 Pengujian Kuat Tekan M70F-S0-N.....	132
Gambar 4.37 Kuat Tekan M70F-S0-N Serelah Terendam Air PDAM	133
Gambar 4.38 Pengujian Kuat Tekan M70F-S1,5-A.....	134
Gambar 4.39 Kuat Tekan M70F-S1,5-A Setelah Terpapar Lingkungan Asam..	135
Gambar 4.40 Pengujian Kuat Tekan M70F-S1,5-N.....	137
Gambar 4.41 Kuat Tekan M70F-S1,5-N Setelah Terendam Air PDAM.....	138
Gambar 4.42 Pengujian Kuat Tekan M50F-S0-A.....	139
Gambar 4.43 Kuat Tekan M50F-S0-A Setelah Terpapar Lingkungan Asam.....	140
Gambar 4.44 Pengujian Kuat Tekan M50F-S0-N.....	142
Gambar 4.45 Kuat Tekan M50F-S0-N Setelah Terendam Air PDAM.....	143
Gambar 4.46 Pengujian Kuat Tekan M50F-S1,5-A.....	144
Gambar 4.47 Kuat Tekan M50F-S1,5 Setelah Terpapar Lingkungan Asam.....	145

Gambar 4.48 Pengujian Kuat Tekan M50F-S1,5-N.....	147
Gambar 4.49 Kuat Tekan M50F-S1,5-N Setelah Terendam Air PDAM.....	148
Gambar 4.50 Pengujian Kuat Tarik Belah Mortar	149
Gambar 4.51 Hasil Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	150
Gambar 4.52 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> Tanpa Penambahan Serat Berman terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	151
Gambar 4.53 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> Dengan Penambahan Serat Berman 1,5% terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	152
Gambar 4.54 Pengaruh Tanpa dan Penambahan Serat Berman Terhadap Komposisi Metakaolin dan <i>Fly Ash</i> Terhadap Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer	153
Gambar 4.55 Perbandingan Hasil Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	155
Gambar 4.56 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbagai Variasi.....	156
Gambar 4.57 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> terhadap Kuat Tekan Mortar pada Ekspos Lingkungan Asam.....	157
Gambar 4.58 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> terhadap Kuat Tekan Mortar pada Rendaman Air PDAM.....	159
Gambar 4.59 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> dengan penambahan serat berman 1,5% terhadap Kuat Tekan Mortar pada Ekspos Lingkungan Asam	160
Gambar 4.60 Pengaruh Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> dengan penambahan serat berman 1,5% terhadap Kuat Tekan Mortar pada Rendaman air PDAM ...	162
Gambar 4.61 Pengaruh Semua Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> dengan dan Tanpa penambahan serat berman 1,5% terhadap Kuat Tekan Mortar pada Ekspos Lingkungan Asam	164
Gambar 4.62 Pengaruh Semua Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> dengan dan Tanpa penambahan serat berman 1,5% terhadap Kuat Tekan Mortar pada Rendaman Air PDAM.....	164
Gambar 4.63 Pengaruh Penambahan Serat Berman di lingkungan asam pada komposisi metakaolin 100% terhadap Kuat Tekan Mortar.....	166
Gambar 4.64 Pengaruh Penambahan Serat Berman di Rendaman Air PDAM pada Komposisi Metakaolin 100% terhadap Kuat Tekan Mortar	167

Gambar 4.65 Pengaruh Penambahan Serat Berman di lingkungan asam pada Komposisi Metakaolin 70% dan <i>Fly ash</i> 30% terhadap Kuat Tekan Mortar	168
Gambar 4.66 Pengaruh Penambahan Serat Berman di Rendaman Air PDAM pada Komposisi Metakaolin 70% dan <i>Fly ash</i> 30% terhadap Kuat Tekan Mortar	169
Gambar 4.67 Pengaruh Penambahan Serat Berman di lingkungan asam pada Komposisi Metakaolin 50% dan <i>Fly ash</i> 50% terhadap Kuat Tekan Mortar	170
Gambar 4.68 Pengaruh Penambahan Serat Berman di Rendaman Air PDAM pada Komposisi Metakaolin 50% dan <i>Fly ash</i> 50% terhadap Kuat Tekan Mortar	171
Gambar 4.69 Pengaruh Penambahan Serat Berman di Rendaman Air PDAM pada Semua Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> terhadap Kuat Tekan Mortar	172
Gambar 4.70 Pengaruh Penambahan Serat Berman di Ekspos Lingkungan Asam pada Semua Komposisi Metakaolin dan <i>Fly ash</i> terhadap Kuat Tekan Mortar.	173
Gambar 4.71 Perbandingan Keruntuhan Mortar Geopolimer.....	174
Gambar 4.72 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 100% Tanpa Penambahan Serat Berman	175
Gambar 4.73 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 100% Dengan Penambahan Serat Berman 1,5%	176
Gambar 4.74 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 70% dan <i>Fly ash</i> 30% Tanpa Penambahan Serat Berman	177
Gambar 4.75 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 70% dan <i>Fly ash</i> 30% Dengan Penambahan Serat Berman 1,5% ..	178
Gambar 4.76 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 50% dan <i>Fly ash</i> 50% Tanpa Penambahan Serat Berman	179
Gambar 4.77 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin 50% dan <i>Fly ash</i> 50% Dengan Penambahan Serat Berman 1,5% ..	180
Gambar 4.78 Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat tekan Mortar Campuran Metakaolin dan <i>Fly ash</i> Dengan dan Tanpa Penambahan Serat Berman 1,5%..	181
Gambar 4.79 Perbandingan Kedalaman Karbonasi Terhadap Lingkungan.....	188

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan kandungan kimia <i>Fly ash</i>	11
Tabel 2.2 Persyaratan fisik <i>fly ash</i>	12
Tabel 2.3 Hasil Pemeriksaan Fly Ash Tahun 2022	13
Tabel 2.4 Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> PLTU Asam-Asam	14
Tabel 3.2 Variabel dan Nomenklatur Benda Uji Pasta dan Mortar Geopolimer. .	51
Tabel 3.3 Campuran benda uji silinder diameter 10 cm dengan tinggi 5 cm mortar geopolimer (Pengujian Sorptivity dan Porositas)	56
Tabel 3.4 Campuran benda uji silinder diameter 3,8 cm dengan tinggi 7,6 cm mortar geopolimer.....	56
Tabel 3.5 Campuran benda uji 1 m ³ mortar geopolimer	57
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Metakaolin	74
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Metakaolin	74
Tabel 4.3 Hasil <i>Ash Analysis Fly Ash 2023</i>	75
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Fly ash</i>	77
Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Berat Volume <i>Fly ash</i>	77
Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus.....	79
Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Waktu Pengikatan Awal dan Akhir.....	80
Tabel 4.9 Pemeriksaan pH Lingkungan Asam Tanpa Penambahan Serat	82
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Absorpsi dan Porositas	90
Tabel 4.11 Hasil Visual Sampel M100F-S0-A	94
Tabel 4.12 Hasil Berat Sampel M100F-S0-A	95
Tabel 4.13 Hasil Visual Sampel M100F-S0-N	96
Tabel 4.14 Hasil Berat Sampel M100F-S0-N	97
Tabel 4.15 Hasil Visual Sampel M100F-S1,5-A	98
Tabel 4.16 Hasil Berat Sampel M100F-S1,5-A	99
Tabel 4.17 Hasil Visual Sampel M100F-S1,5-N	100
Tabel 4.18 Hasil Berat Sampel M100F-S1,5-N	101
Tabel 4.19 Hasil Visual Sampel M70F-S0-A	102
Tabel 4.20 Hasil Berat Sampel M70F-S0-A	103
Tabel 4.21 Hasil Visual Sampel M70F-S0-N	104

Tabel 4.22 Hasil Berat Sampel M70F-S0-N	105
Tabel 4.23 Hasil Visual Sampel M70F-S1,5-A	106
Tabel 4.24 Hasil Berat Sampel M70F-S1,5-A	107
Tabel 4.25 Hasil Visual Sampel M70F-S1,5-N	108
Tabel 4.26 Hasil Berat Sampel M70F-S1,5-N	109
Tabel 4.27 Hasil Visual Sampel M50F-S0-A	110
Tabel 4.28 Hasil Berat Sampel M50F-S0-A	111
Tabel 4.29 Hasil Visual Sampel M50F-S0-N	112
Tabel 4.30 Hasil Berat Sampel M50F-S0-N	113
Tabel 4.31 Hasil Visual Sampel M50F-S1,5-A	114
Tabel 4.32 Hasil Berat Sampel M50F-S1,5-A	115
Tabel 4.33 Hasil Visual Sampel M50F-S1,5-N	116
Tabel 4.34 Hasil Berat Sampel M50F-S1,5-N	117
Tabel 4.35 Rekapitulasi Berat Visual Mortar Geopolimer	118
Tabel 4.36 Rekapitulasi Persentase Berat Mortar Geopolimer	118
Tabel 4.37 Hasil Kuat Tekan M100F-S0-A	120
Tabel 4.38 Hasil Kuat Tekan M100F-S0-N	123
Tabel 4.39 Hasil Kuat Tekan M100F-S1,5-A	125
Tabel 4.40 Hasil Kuat Tekan M100F-S1,5-N	127
Tabel 4.41 Hasil Kuat Tekan M70F-S0-A	130
Tabel 4.42 Hasil Kuat Tekan M70F-S0-N	132
Tabel 4.43 Hasil Kuat Tekan M70F-S1,5-A	135
Tabel 4.44 Hasil Kuat Tekan M70F-S1,5-N	137
Tabel 4.45 Hasil Kuat Tekan M50F-S0-A	140
Tabel 4.46 Hasil Kuat Tekan M50F-S0-N	142
Tabel 4.47 Hasil Kuat Tekan M50F-S1,5-A	145
Tabel 4.48 Hasil Kuat Tekan M50F-S1,5-N	147
Tabel 4.49 Hasil Kuat Tarik Belah Mortar	150
Tabel 4.50 Hasil Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mortar Geopolimer	155
Tabel 4.51 Uji Karbonasi Potongan Silinder Air H ₂ SO ₄	183
Tabel 4.52 Detail Karbonasi Mortar Rendaman Air H ₂ SO ₄ dengan Mikroskop Digital USB 500X	184