

TUGAS AKHIR

PENAMBAHAN SERAT BEMBAN PADA MORTAR GEOPOLIMER  
BERBAHAN DASAR *FLY ASH* DAN METAKAOLIN DENGAN *CURING*  
LEMBAB TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK DI LINGKUNGAN  
ASAM

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

Disusun oleh:

**Muhammad Akbar Fadillah**

**NIM. 2010811310017**

Pembimbing:

**Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng**

**NIP. 19790723 200501 2 005**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN  
TEKNOLOGI  
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT  
FAKULTAS TEKNIK  
BANJARBARU  
2023**

## **LEMBAR PERNYATAAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Akbar Fadillah  
NIM : 2010811310017  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Tugas Akhir : Penambahan Serat Berman Pada Mortar Geopolimer  
Berbahan Dasar Fly Ash Dan Metakaolin Dengan  
Curing Lembab Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Di  
Lingkungan Asam.  
Pembimbing : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan tugas akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan tugas akhir 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,

Muhammad Akbar Fadillah  
NIM. 2010811310017

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL**

**Penambahan Serat Berman Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Dan Metakaolin Dengan *Curing* Lembab Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Di Lingkungan Asam**

Oleh  
**Muhammad Akbar Fadillah (2010811310017)**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 16 Januari 2024 dan dinyatakan  
**LULUS**

**Komite Penguji :**

**Ketua : Ir. Fauzi Rahman, M.T.**  
NIP. 19660520199103 1 005

**Anggota 1 : Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D**  
NIP. 19900306202203 2 010

**Anggota 2 : Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng. Sc**  
NIP. 19690106199502 2 001

**Pembimbing : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.**  
**Utama NIP. 19790723200501 2 005**

Banjarbaru, 16 Januari 2024  
Diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik**  
**Fakultas Teknik ULM,**

  
**Dr. Mahmud, S.T., M.T.**  
NIP. 19740107 199802 1 001

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

  
**Dr. Muhammad Arsvad, S.T., M.T.**  
NIP. 19720826 199802 1 001

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat, rahmat dan hidayah yang diberikan-Nyalah saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Penambahan Serat Bemban Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Dan Metakaolin Dengan Curing Lembab Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Di Lingkungan Asam.”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Program Strata-1 Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini saya menerima banyak bantuan, bimbingan serta *support* yang menjadi bahan bakar untuk terus menyalakan semangat dalam diri saya. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang selalu menemani dan memotivasi saya, yaitu:

1. Kedua orang tua tercinta, bapak Triyono Armoko dan ibu Mahlina.SH serta Muhammad Farid Abdillah dan Muhammad Syahieb Amrullah selaku saudara tercinta yang telah banyak memberi doa, semangat, dan dorongan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, Serta selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Material Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
3. Bapak Muhammad Nurrul Kahfi selaku Pejabat Pelaksana Lingkungan PLN UPK Asam-asam yang memberi bantuan material fly ash Asam-asam
4. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T. M.T. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
5. Keluarga Besar Laboratorium Struktur dan Material dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian Laporan tugas akhir ini.
6. Teman-teman saya dalam satu tim TA mortar geopolimer Adin, Zacky, Aldi, Nanad, Soso, Bela dan Mila yang sudah berjuang bersama dan bekerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua orang dan dapat menjadi sumber informasi dan literatur bagi yang ingin melakukan penelitian sejenis berikutnya.

Banjarbaru, Januari 2024

Penulis,  
Muhammad Akbar Fadillah  
NIM. 2010811310017

**Penambahan Serat Berman pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Dan Metakaolin Dengan Curing Lembab Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Di Lingkungan Asam**

**Muhammad Akbar Fadillah<sup>1</sup>, Nursiah Chairunnisa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

<sup>2</sup>Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

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

Email: [muhammadakbarfadillah7@gmail.com](mailto:muhammadakbarfadillah7@gmail.com)

**ABSTRAK**

Dalam mengurangi dampak buruk semen terhadap lingkungan, industri konstruksi melakukan inovasi, seperti penggunaan bahan alternatif untuk membuat beton geopolimer. Geopolimer berbahan dasar *fly Ash* memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan asam pada lahan gambut. Metode *curing* terbaik geopolimer ialah *curing* lembab karena jumlah air pada mortar geopolimer tetap terjaga pada proses polimerisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio perbandingan metakaolin dan *fly ash*, pengaruh penambahan serat berman 1,5% dan 2%, serta ketahanan terhadap ekspos lingkungan ( $H_2SO_4$ ) dan Air PDAM dengan pengujian sifat fisik dan mekanik.

Bahan dasar metakaolin dan *fly ash* dengan rasio 30/70, 50/50/, dan 70/30 penambahan serat berman 1,5% dan 2%, molaritas NaOH sebesar 8 M rasio alkali 2,5. Dilakukan perawatan lembab selama 28 hari kemudian terekspos lingkungan ( $H_2SO_4$ ) dan Air PDAM selama 1, 2, dan 3 bulan menggunakan siklus *full-wet* dan *wet-dry*. Pengujian fisik dan mekanik dilakukan sebelum dan sesudah terekspos lingkungan.

Nilai kuat tekan optimum pada M30 kemudian di susul M50 dan paling rendah M70. Setelah 3 bulan terjadi penurunan kuat tekan 30,25% sampai kenaikan 7,31% dari sebelum terekspos lingkungan, sedangkan setelah terekspos lingkungan air PDAM selama 3 bulan penurunan kuat tekan 12,52% sampai kenaikan 42,89% dari sebelum terekspos lingkungan. Penambahan serat 1,5% dan 2% meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah, kondisi optimum pada penambahan serat 1,5%, penambahan serat 2% terjadi penurunan kuat tarik belah berkisar 17,72-35,35% dari penambahan serat 1,5%. Mortar mengalami perubahan fisik dan berat setelah terekspos lingkungan 3 bulan. Hasil pengujian sorptivity dan porositas penyerapan terkecil pada mortar M30 di susul mortar M50 dan paling besar penyerapan mortar M70. Pegujian karbonasi mortar geopolimer terekspos lingkungan ( $H_2SO_4$ ) selama 1 bulan berkisar 2-3 mm, setelah 2 bulan bertambah menjadi 4-5 mm dan pada 3 bulan bertambah menjadi 5-8,5 mm.

**Kata Kunci:** Geopolimer, Metakaolin, Serat Berman, Ekspos Lingkungan, dan karbonasi

**Addition of Bemban Fiber to Fly Ash and Metakaolin Based Geopolymer  
Mortar with Moisture Curing on Physical and Mechanical Properties in  
Acidic Environment**

S-1 Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Lambung  
Mangkurat University Jalan Jenderal A. Yani Km. 36 Banjarbaru Phone. (0511)  
47738568-4781730 Fax. (0511) 4781730  
Email: [muhammadakbarfadillah7@gmail.com](mailto:muhammadakbarfadillah7@gmail.com)

**ABSTRACT**

To reduce the adverse impact of cement on the environment, the construction industry is innovating, such as using alternative materials to make geopolymer concrete. Fly Ash-based geopolymers have good resistance to acid attack in peatlands. The best curing method for geopolymers is moist curing because the amount of water in the geopolymer mortar is maintained during the polymerization process. This study aims to determine the effect of the ratio of metakaolin and fly ash, the effect of adding 1.5% and 2% bemban fiber, and resistance to environmental exposure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and PDAM water by testing physical and mechanical properties.

The basic materials of metakaolin and fly ash with a ratio of 30/70, 50/50/, and 70/30 addition of bemban fiber 1.5% and 2%, NaOH molarity of 8 M alkali ratio 2.5. Moisture treatment was carried out for 28 days and then exposed to the environment (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and tap water for 1, 2, and 3 months using full-wet and wet-dry cycles. Physical and mechanical tests were conducted before and after exposure to the environment.

The optimum compressive strength value at M30 was followed by M50 and the lowest was M70. After 3 months there was a decrease in compressive strength of 30.25% to an increase of 7.31% from before exposure to the environment, while after being exposed to the PDAM water environment for 3 months the decrease in compressive strength was 12.52% to an increase of 42.89% from before exposure to the environment. The addition of 1.5% and 2% fiber increases the compressive strength and split tensile strength, the optimum condition is the addition of 1.5% fiber, the addition of 2% fiber decreases the split tensile strength ranging from 17.72-35.35% of the addition of 1.5% fiber. Mortar undergoes physical and weight changes after being exposed to the environment for 3 months. Sorptivity and porosity test results of the smallest absorption in mortar M30 followed by mortar M50 and the largest absorption of mortar M70. Carbonation testing of geopolymer mortar exposed to the environment (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) for 1 month ranged from 2-3 mm, after 2 months it increased to 4-5 mm and at 3 months it increased to 5-8.5 mm.

Keywords: Geopolymer, Metakaolin, Bemban fiber, environmental exposure, and carbonation.

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	4
1.3    Tujuan Penelitian .....	4
1.4    Batasan Masalah .....	4
1.5    Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1    Pasta dan Mortar .....	6
2.2    Geopolimer .....	7
2.3    Material Dasar Pembentuk Geopolimer .....	7
2.3.1 <i>Fly Ash</i> .....	7
2.3.2    Metakaolin.....	11
2.3.3    Serat Alami.....	12
2.3.4    Alkali Aktivator.....	13
2.4    Molaritas.....	15
2.5    Agregat Halus .....	16
2.6    Perawatan Benda Uji ( <i>Curing</i> ) .....	18
2.7    Pengaruh Lingkungan .....	19
2.8    Pengujian Sifat Mekanik .....	20



2.8.1	Pengujian Kuat Tekan.....	20
2.8.2	Kuat Tarik Belah .....	21
2.9	Pengujian Sifat Fisik .....	21
2.9.1	Pengujian <i>Sorptivity</i> .....	21
2.9.2	Pengujian Porositas.....	22
2.10	Pengujian Karbonasi .....	23
2.11	Penelitian-penelitian terdahulu .....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		25
3.1	Diagram Alir.....	25
3.2	Waktu dan Tempat.....	26
3.3	Alat dan Bahan.....	26
3.3.1	Alat .....	27
3.3.2	Bahan .....	27
3.4	Persiapan Bahan.....	28
3.4.1	<i>Fly Ash</i> .....	28
3.4.2	Metakaolin.....	29
3.4.3	Serat Berman .....	30
3.4.4	Larutan Alkali .....	33
3.4.5	Air.....	35
3.4.6	Agregat Halus.....	35
3.5	Pemeriksaan Bahan Dasar .....	36
3.6	Rancangan Penelitian .....	37
3.7	Pembuatan Benda Uji.....	41
3.7.1	Benda Uji Mortar Geopolimer Diameter 26 x 52 mm.....	41
3.7.2	Benda Uji Mortar Geopolimer Diameter 100 x 50 mm.....	44
3.8	Perawatan Benda Uji.....	50

3.9	Pembuatan Lingkungan Asam .....	50
3.10	Pengujian Sifat Mekanik Mortar Geopolimer .....	53
3.10.1	Kuat Tekan.....	53
3.10.2	Kuat Tarik Belah .....	54
3.11	Pengujian Sifat Fisik Mortar Geopolimer .....	55
3.11.1	Uji <i>Sorptivity</i> .....	55
3.11.2	Uji Porositas .....	58
3.12	Pengujian Durabilitas .....	60
3.12.1	Pengujian Karbonasi.....	60
3.12.2	Pengamatan Visual Benda Uji.....	61
3.12.3	Pengamatan Berat Benda Uji .....	62
3.13	Penarikan Kesimpulan.....	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		63
4.1	Pemeriksaan Bahan .....	63
4.1.1	<i>Fly Ash</i> .....	63
4.1.2	Metakaolin.....	65
4.1.3	Serat Berman .....	66
4.1.4	Agregat Halus.....	67
4.2	Pengujian Sifat Mekanik Mortar Geopolimer .....	69
4.2.1	Pengujian Kuat Tekan Kontrol Tanpa Serat .....	69
4.2.2	Pengujian Kuat Tekan Kontrol Dengan Penambahan Serat .....	71
4.2.3	Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Penambahan Serat.....	73
4.2.4	Pengujian Kuat Tekan Setelah Terekspos Lingkungan .....	75
4.2.5	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan .....	93
4.3	Pengujian Sifat Fisik Mortar Geopolimer .....	102
4.3.1	Pengamatan Visual Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan....	102

4.3.2	Pengamatan Berat Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan ( $H_2SO_4$ ) 104	
4.3.3	Pengujian <i>Sorptivity</i> .....	109
4.3.4	Pengujian Porositas.....	114
4.4	Pengujian Karbonasi Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan .....	116
4.5	Durabilitas Benda Uji Terhadap Ekspos Lingkungan.....	134
4.6	Pengaruh Metode <i>Full-wet</i> dan <i>Wet-dry</i> Terekspos Lingkungan Asam Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	139
4.7	Pengaruh Penambahan Serat Berman Terhadap Sifat Mekanis Mortar Geopolimer.....	142
4.8	Hubungan Kuat Tekan dan Tarik Belah.....	143
4.9	Hubungan Densitas Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	144
4.10	Hubungan Porositas dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	145
4.11	Hubungan Absorpsi Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer .....	147
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		148
5.1	Kesimpulan.....	148
5.2	Saran.....	149
DAFTAR PUSTAKA .....		150
LAMPIRAN .....		154

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Kandungan Fisika <i>Fly Ash</i> .....	9
Tabel 2. 2 Persyaratan kimia <i>fly ash</i> .....	10
Tabel 2. 3 Kandungan Kimia <i>Fly ash</i> PLTU Asam-Asam 2023.....	10
Tabel 2. 4 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus .....	17
Tabel 3. 1 Komposisi $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .....	35
Tabel 3. 2 Variabel Dan Nomenklatur Benda Uji Mortar Geopolimer Silinder Diameter 26x52mm .....	38
Tabel 3. 3 Variabel dan Nomenklatur Benda Uji Mortar Geopolimer Silinder Diameter 100x50mm .....	39
Tabel 3. 4 Kebutuhan Bahan Benda Uji Mortar Geopolimer Silinder Diameter 26x52mm.....	39
Tabel 3. 5 Kebutuhan Bahan Benda Uji Mortar Geopolimer Silinder Diameter 100x50mm.....	40
Tabel 3. 6 Pemeriksaan Lingkungan Asam.....	51
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>fly ash</i> .....	63
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Volume Fly Ash .....	64
Tabel 4. 3 Kandungan Kimia <i>Fly ash</i> PLTU Asam-Asam 2023.....	64
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Metakolin.....	65
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Metakolin.....	66
Tabel 4. 6 Kandungan Selulosa Dan Lignin Pada Serat Bembam .....	67
Tabel 4. 7 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Pasir Silika .....	67
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kontrol Tanpa Serat.....	69
Tabel 4. 9 Pengujian Kuat Tekan Kontrol Umur 28 Hari.....	71
Tabel 4. 10 Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari .....	73
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30-1,5% Setelah Terekspos Lingkungan .....	75
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30-2% Setelah Terekspos Lingkungan .....	78
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50-1,5% Setelah Terekspos Lingkungan .....	81

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50-2% Setelah Terekspos Lingkungan .....	84
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70-1,5% Setelah Terekspos Lingkungan .....	87
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70-2% Setelah Terekspos Lingkungan .....	90
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer .....	93
Tabel 4. 18 Visualisasi Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	102
Tabel 4. 19 Berat Benda Uji Penambahan Serat 1,5% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Selama 28+1 Bulan .....	104
Tabel 4. 20 Berat Benda Uji Penambahan Serat 1,5% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	104
Tabel 4. 21 Berat Benda Uji Penambahan Serat 1,5% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	105
Tabel 4. 22 Berat Benda Uji Penambahan Serat 2% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	106
Tabel 4. 23 Berat Benda Uji Penambahan Serat 2% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	106
Tabel 4. 24 Berat Benda Uji Penambahan Serat 2% Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	107
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Sorptivity M30-1,5.....	109
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Sorptivity M50-1,5.....	110
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Sorptivity M70-1,5.....	111
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Absorpsi dan Porositas .....	115
Tabel 4. 29 Hasil Pengukuran Karbonasi.....	125
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Per Tahun.....	125
Tabel 4. 31 Visualisasi Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan.....	134
Tabel 4. 32 Persentasi Penyusutan Berat Mortar Geopolimer .....	135
Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan Hubungan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan .....	144

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Fly ash</i> .....	11
Gambar 2. 2 Metakaolin.....	12
Gambar 2. 3 Serat Bemban .....	13
Gambar 2. 4 Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).....	14
Gambar 2. 5 Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ).....	15
Gambar 2. 6 Agregat Halus (Pasir Silika).....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 3. 2 Pengovenan Fly Ash .....	28
Gambar 3. 3 Penyaringan <i>Fly ash</i> Asam-Asam .....	28
Gambar 3. 4 Pengambilan Kaolin.....	29
Gambar 3. 5 Pemilihan Kaolin .....	29
Gambar 3. 6 Perendaman Kaolin.....	29
Gambar 3. 7 Kaolin Dioven .....	29
Gambar 3. 8 Penghancuran Kaolin Menggunakan Mesin Los Angeles Hingga Halus .....	30
Gambar 3. 9 Penyaringan Kaolin .....	30
Gambar 3. 10 Furnance Kaolin .....	30
Gambar 3. 11 Metakaolin.....	30
Gambar 3. 12 Pemotongan Bemban .....	32
Gambar 3. 13 Perebusan Bemban.....	32
Gambar 3. 14 Penyisiran Bemban .....	32
Gambar 3. 15 Penghamparan Serat Bemban.....	32
Gambar 3. 16 Perendaman di Larutan $\text{NaOH}$ .....	33
Gambar 3. 17 Pencucian Sampai Dengan pH Normal.....	33
Gambar 3. 18 Penghamparan Serat Bemban Setelah Alkalisasi .....	33
Gambar 3. 19 Serat bemban .....	33
Gambar 3.20 Natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) berbentuk <i>flakes</i> .....	34
Gambar 3.21 Natrium Silikat .....	35
Gambar 3.22 Agregat Halus Pasir silika.....	36
Gambar 3. 23 Bekisting Mortar Silinder.....	47
Gambar 3. 24 $\text{NaOH}$ dalam Bentuk Flakes.....	48

Gambar 3. 25 Larutan NaOH .....	48
Gambar 3. 26 Proses Mencampurkan Larutan NaOH dengan Larutan Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .	48
Gambar 3. 27 Proses Memasukkan <i>Fly ash</i> .....	49
Gambar 3. 28 Pencampuran Larutan Alkali dengan <i>Fly ash</i> , metakaolin dan serat bemban .....	49
Gambar 3. 29 Proses Pencetakan Mortar .....	49
Gambar 3. 30 Kondisi Mortar <i>Curing</i> Suhu Lembab .....	50
Gambar 3. 31 Penambahan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sampai Tingkat Keasaman Air pH 3	51
Gambar 3. 32 Menimbang Benda Uji Sebelum di Uji Tekan .....	54
Gambar 3. 33 Benda Uji Pada Mesin Uji Kuat Tekan.....	54
Gambar 3. 34 Menimbang Benda Uji Sebelum di Uji Kuat Tarik Belah .....	55
Gambar 3. 35 Benda Uji Pada Mesin Uji Kuat Tekan.....	55
Gambar 3. 36 Pengovenan Benda Uji <i>Sorptivity</i> .....	56
Gambar 3. 37 Penyimpanan Pada Wadah Tertutup.....	56
Gambar 3. 38 Pemasangan Lapisan Non Penyerap .....	57
Gambar 3. 39 Penimbangan Benda Uji.....	57
Gambar 3. 40 Perendaman Benda Uji.....	57
Gambar 3. 41 Penimbangan Pada Saat Pengujian <i>Sorptivity</i> .....	58
Gambar 3. 42 Pengovenan Benda Uji Porositas.....	58
Gambar 3. 43 Perendaman Benda Uji.....	59
Gambar 3. 44 Perebusan Benda Uji.....	59
Gambar 3. 45 Penimbangan Dalam Air.....	59
Gambar 3. 46 Menimbang Bubuk <i>phenolphthalein</i> .....	60
Gambar 3. 47 Pencampuran <i>phenolphthalein</i> dan etanol .....	60
Gambar 3. 48 Penambahan Aquades Pada Campuran.....	61
Gambar 3. 49 Pengujian Karbonasi .....	61
Gambar 3. 50 Pengamatan Visual Benda Uji Sebelum Terekspos dan Setelah Terekspos lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	62
Gambar 3. 51 Penimbangan Benda Uji Sebelum Terekspos dan Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	62
Gambar 4. 1 Analisa Saringan Pasir Silika .....	68
Gambar 4. 2 Pengujian Kuat Tekan.....	69

Gambar 4. 3 Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari Tanpa Serat.....	70
Gambar 4. 4 Pengujian Kuat Kontrol 28 Hari.....	71
Gambar 4. 5 Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari.....	72
Gambar 4. 6 Pengujian Kuat Tarik Belah.....	73
Gambar 4. 7 Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari.....	74
Gambar 4. 8 Pengujian Kuat Tekan M30-1,5.....	75
Gambar 4. 9 Pengujian Kuat Tekan M30-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	77
Gambar 4. 10 Pengujian Kuat Tekan M30-2.....	78
Gambar 4. 11 Pengujian Kuat Tekan M30-2 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	79
Gambar 4. 12 Pengujian Kuat Tekan M50-1,5.....	81
Gambar 4. 13 Pengujian Kuat Tekan M50-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	83
Gambar 4. 14 Pengujian Kuat Tekan M50-2.....	84
Gambar 4. 15 Pengujian Kuat Tekan M50-2 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	85
Gambar 4. 16 Pengujian Kuat Tekan M70-1,5.....	87
Gambar 4. 17 Pengujian Kuat Tekan M70-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	88
Gambar 4. 18 Pengujian Kuat Tekan M70-2.....	90
Gambar 4. 19 Pengujian Kuat Tekan M70-2 Setelah Terekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) dan Air PDAM Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	91
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+1, 2, dan 3 Bulan.....	97
Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30-2 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+28+1, 2, dan 3 Bulan.....	98
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+28+1, 2, dan 3 Bulan.....	98
Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50-2 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+28+1, 2, dan 3 Bulan.....	99



Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70-1,5 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+28+1, 2, dan 3 Bulan.....	99
Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70-2 Setelah Terekspos Lingkungan Selama 28+28+1, 2, dan 3 Bulan.....	100
Gambar 4. 26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	100
Gambar 4. 27 Perentase Penurunan Berat Terhadap Ekspos Lingkungan (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	108
Gambar 4. 28 Pengujian <i>Sorptivity</i> (a). Menyimpan benda uji dalam wadah kedap udara (b). Merendam benda uji dengan ketinggian 3mm dari sampel (c). Menimbang benda uji pada waktu yang di tentukan .....	109
Gambar 4. 29 Penyerapan Air Kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ .....	112
Gambar 4. 30 <i>Sorptivity</i> vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ .....	113
Gambar 4. 31 Pengujian Absorpsi dan Porositas (a). Menimbang benda uji (b). Merebus benda uji (c). Menimbang benda uji dalam air .....	114
Gambar 4. 32 Benda Uji Karbonasi.....	116
Gambar 4. 33 Pengujian Karbonasi Sampel M30-1,5WD.....	116
Gambar 4. 34 Pengujian Karbonasi Sampel M30-1,5W.....	117
Gambar 4. 35 Pengujian Karbonasi Sampel M30-2WD.....	118
Gambar 4. 36 Pengujian Karbonasi Sampel M30-2W .....	118
Gambar 4. 37 Pengujian Karbonasi Sampel M50-1,5WD.....	119
Gambar 4. 38 Pengujian Karbonasi Sampel M50-1,5W.....	120
Gambar 4. 39 Pengujian Karbonasi Sampel M50-2WD.....	120
Gambar 4. 40 Pengujian Karbonasi Sampel M50-2W .....	121
Gambar 4. 41 Pengujian Karbonasi Sampel M70-1,5WD.....	122
Gambar 4. 42 Pengujian Karbonasi Sampel M70-1,5W.....	122
Gambar 4. 43 Pengujian Karbonasi Sampel M70-2WD.....	123
Gambar 4. 44 Pengujian Karbonasi Sampel M70-2W .....	124
Gambar 4. 45 Pengujian Mikroskopis Setelah Karbonasi .....	126
Gambar 4. 46 Pengujian Karbonasi Sampel M30-1,5WD.....	126
Gambar 4. 47 Pengujian Karbonasi Sampel M30-1,5W.....	127
Gambar 4. 48 Pengujian Karbonasi Sampel M30-2WD.....	127
Gambar 4. 49 Pengujian Karbonasi Sampel M30-2W .....	128

Gambar 4. 50 Pengujian Karbonasi Sampel M50-1,5WD.....	129
Gambar 4. 51 Pengujian Karbonasi Sampel M50-1,5W.....	129
Gambar 4. 52 Pengujian Karbonasi Sampel M50-2WD.....	130
Gambar 4. 53 Pengujian Karbonasi Sampel M50-2W .....	131
Gambar 4. 54 Pengujian Karbonasi Sampel M70-1,5WD.....	131
Gambar 4. 55 Pengujian Karbonasi Sampel M70-1,5W.....	132
Gambar 4. 56 Pengujian Karbonasi Sampel M70-2WD.....	133
Gambar 4. 57 Pengujian Karbonasi Sampel M70-2W .....	133
Gambar 4. 58 Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Sebelum Dan Sesudah Terekspos Lingkungan.....	136
Gambar 4. 59 Pengujian Karbonasi Setelah Terekspos Lingkungan Selama 3 Bulan .....	138
Gambar 4. 60 Pengujian Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan Dengan Metode <i>Full-wet</i> .....	139
Gambar 4. 61 Pengujian Benda Uji Setelah Terekspos Lingkungan Dengan Metode <i>Wet-dry</i> .....	140
Gambar 4. 62 Persentase Penurunan Kuat Tekan Metode <i>Fullwet</i> Terhadap Metode <i>Wet-dry</i> .....	140
Gambar 4. 63 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Penggunaan Serat Dan Tanpa Serat Pada Mortar Geopolimer.....	142
Gambar 4. 64 Hubungan Kuat Tekan Dan Tarik Belah.....	143
Gambar 4. 65 Hubungan Densitas Terhadap Kuat Tekan .....	145
Gambar 4. 66 Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan.....	146
Gambar 4. 67 Hubungan Absopsi dan Kuat Tekan.....	147