

SKRIPSI
KAJIAN PENAMBAHAN SERAT BEMBAN PADA MORTAR
GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH* DAN METAKAOLIN
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIS SERTA DURABILITAS DI
LINGKUNGAN ASAM

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

Dibuat :
Muhammad Zackyudin
NIM. 2010811310008

Pembimbing :
Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.
NIP. 19790723 200501 2 005



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

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

**Kajian Penambahan Serat Berman Pada Mortar Geopolimer Berbahan
Dasar *Fly Ash* Dan Metakaolin Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanis Serta
Durabilitas Di Lingkungan Asam**

Oleh
Muhammad Zackyudin (2010811310008)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 10 Januari 2024 dan dinyatakan
LULUS

Komite Penguji :

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

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

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

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


Banjarbaru, 10 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 Arsyad, S.T., M.T.
NIP. 19720826 199802 1 001

KAJIAN PENAMBAHAN SERAT BEMBAN PADA MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* DAN METAKAOLIN TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS SERTA DURABILITAS PADA LINGKUNGAN ASAM

Muhammad Zackyudin¹, Nursiah Chairunnisa²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat
Jalan Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email : mzackyudn@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur menyebabkan peningkatan produksi semen. Industri semen dan industri bahan bangunan berbasis semen di seluruh dunia menyumbang sekitar 8-10% dari total emisi CO₂ di seluruh dunia (Ekawati, 2018). Untuk mengatasi dampak negatif terhadap lingkungan ini, diperlukan bahan lain untuk menggantikan semen Portland dalam produksi beton ramah lingkungan yang kaya akan silika (Si) dan aluminium (Al) yaitu geopolimer. *Fly ash* dan metakaolin yang merupakan sumber aluminosilikat yang paling umum (Brawn, 2004). Geopolimer dilarutkan menggunakan aktivator berupa larutan alkali yang berasal dari campuran Na₂SiO₃ dan larutan NaOH 8M dengan perbandingan 2,5/1 yang terdiri dari bahan pengisi tambahan, yaitu pasir silika dan serat bemban 1,5%. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh komposisi campuran metakaolin dan *Fly ash* dengan penambahan serat bemban 1,5% terhadap kuat tekan, kuat tarik dan penyerapan geopolimer, mengevaluasi pengaruh ekspos lingkungan asam dan PDAM terhadap ketahanan mortar geopolimer, Mengetahui visualisasi mortar geopolimer setelah terpapar lingkungan asam.

Perbandingan campuran metakaolin dan *Fly ash* sebesar 100/0; 70/30; 50/50. Metode *curing* suhu lembab setelah pengecoran sampai 28 hari. Ekspos lingkungan dengan siklus *wet* pada kondisi asam dengan pH < 3 dan PDAM selama 3 bulan. Pengujian yang dilakukan adalah *sorptivity*, absorpsi dan porositas, visualisasi, kuat tekan, kuat tarik dan karbonasi.

Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai *sorptivity* dan absorpsi tertinggi dimiliki oleh benda uji M70F – S0, nilai kuat tekan tertinggi dimiliki benda uji M50F – S1,5 pada kondisi lingkungan PDAM, kuat tarik tertinggi dimiliki benda uji M50F – S1,5 dan pengurangan berat terbanyak akibat pengaruh lingkungan asam dimiliki oleh benda uji M50F – S0.

Kata kunci : Metakaolin, *Fly ash*, Pasir Silika, Serat Bemban

STUDY OF BEMBAN FIBER ADDITION TO *FLY ASH* AND METAKAOLIN BASED GEOPOLYMER MORTAR ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY IN ACID ENVIRONMENT

Muhammad Zackyudin¹, Nursiah Chairunnisa²

¹Student, Civil Engineering Study Program, Universitas Lambung Mangkurat

²Lecturer, Civil Engineering Study Program, Lambung Mangkurat University
Jl. Jenderal Achmad Yani Km 35.5 Banjarbaru, South Kalimantan - 70714

Email : mzackyudn@gmail.com

ABSTRACT

Infrastructure development has led to an increase in cement production. The cement industry and the cement-based building materials industry worldwide contribute about 8-10% of total CO₂ emissions worldwide (Ekawati, 2018). To overcome this negative impact on the environment, other materials are needed to replace Portland cement in the production of environmentally friendly concrete rich in silica (Si) and aluminum (Al), namely geopolymers. *Fly ash* and methacholine are the most common sources of aluminosilicates (Brawn, 2004). Geopolymers are dissolved using an activator in the form of an alkaline solution derived from a mixture of Na₂SiO₃ and 8M NaOH solution in a ratio of 2.5/1 which consists of additional fillers, namely silica sand and 1.5% bemban fiber. Methacholine and *Fly ash* with the addition of 1.5% bemban fiber on the compressive strength, tensile strength and absorpsi of geopolymers, evaluate the effect of exposure to acidic and PDAM environments on the durability of geopolymer mortars, Know the visualization of geopolymer mortars after exposure to acidic environments.

The ratio of metakaolin and *Fly ash* mixture was 100/0; 70; 30; 50/50. Moist temperature *curing* method after casting for up to 28 days. Environmental exposure with wet cycle in acidic conditions with pH < 3 and taps for 3 months. Tests conducted were sorptivity, absorpsi and porosity, visualization, compressive strength, tensile strength and carbonation.

The results of this study obtained the highest sorptivity and absorpsi values owned by sample M70F - S0, the highest compressive strength value owned by sample M50F - S1.5 in PDAM environmental conditions, the highest tensile strength owned by sample M50F - S1.5 and the most weight reduction due to the influence of acidic environments owned by sample M50F - S0.

Keywords : Metakaolin, *Fly ash*, Bemban Fiber

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Kajian Penambahan Serat Berman Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly ash* Dan Metakaolin Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanis Serta Durabilitas Di Lingkungan Asam”. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Studi S1 pada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi baik berupa bantuan maupun dukung, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Mutmain dan Noor Hasanah atas doa, dukungan, semangat, kasih sayang dan segala yang diperlukan hingga saya dapat menyelesaikan gelar magister ini.
2. Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan arahan dan penjelasan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Ibu Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc., Ibu Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D dan Bapak Ir. Fauzi Rahman, M.T., selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat menyempurnakan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T. M.T. selaku Koordinator Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
5. Segenap dosen Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah banyak memberikan ilmu kepada kami.
6. Saudara kandung yang selalu memberikan semangat, dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Muhammad Nurrul Kahfi selaku Pejabat Pelaksana Lingkungan PLN UPK Asam-asam yang memberi bantuan material *Fly ash* Asam-asam.
8. Para instruktur Laboratorium Struktur dan Material Universitas Lambung Mangkurat dan juga mahasiswa magang yang telah banyak membantu saya dalam pembuatan tugas akhir ini.

9. Teman-teman satu tim TA mortar geopolimer Aldi, Adin, Akbar, nanad, soso, bela dan mila yang sudah berjuang bersama dan bekerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Akhir kata, saya menyadari penyusunan tugas akhir ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang membangun agar tugas akhir ini lebih baik lagi. Saya berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Banjarbaru, Januari 2024



Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengertian Beton dan Mortar.....	7
2.2 Beton Berserat	8
2.3 Serat.....	8
2.3.1 Serat Alami.....	9
2.3.2 Serat Berman	9
2.3.3 Alkalisasi Serat.....	11
2.4 Geopolimer.....	12
2.5 <i>Fly ash</i>	13
2.6 Kaolin dan Metakaolin	15
2.7 Larutan Alkali.....	16
2.7.1 Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	17
2.7.2 Natrium Hidroksida (NaOH).....	17
2.8 Agregat	18
2.8.1 Agregat Halus.....	18
2.8.2 Pasir Silika	19
2.9 Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Pasta dan Mortar Geopolimer... 20	
2.9.1 Molaritas Larutan.....	20
2.9.2 Rasio Larutan Alkali	21
2.9.3 Rasio Bahan Dasar Terhadap Larutan Alkali.....	22
2.9.4 Rasio Agregat Halus Terhadap Pasta.....	22

2.9.5	Kondisi Lingkungan.....	23
2.10	Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	23
2.11	Pengujian Kuat Tekan	25
2.12	Pengujian Kuat Tarik Belah	26
2.13	Pengujian karbonasi.....	27
2.14	Uji Absorpsi dan Porositas	28
2.15	Uji Sorptivity	30
2.16	Durabilitas	31
2.17	penelitian terdahulu mengenai Geopolimer.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		34
3.1	Diagram Alir.....	34
3.2	Waktu dan Tempat	36
3.3	Alat dan Bahan	36
3.3.1	Alat.....	36
3.3.2	Bahan.....	37
3.4	Persiapan dan Pemeriksaan Bahan Dasar.....	37
3.4.1	<i>Fly ash</i>	38
3.4.2	Metakaolin.....	39
3.4.3	Serat Berman	41
3.4.4	Larutan Alkali	44
3.4.5	Pasir Silika	46
3.5	Rancangan Penelitian	50
3.6	Pembuatan Benda Uji.....	50
3.6.1	benda Uji silinder ukuran 38 x 76 mm.....	50
3.6.2	Benda Uji Silinder Ukuran 100 x 50 mm.....	55
3.7	Perawatan Benda Uji	60
3.8	Pembuatan Lingkungan Asam.....	60
3.9	Pengujian Benda Uji.....	61
3.9.1	Pengujian Waktu Pengikatan	61
3.9.2	Pengujian Kuat Tekan	62
3.9.3	Kuat Tarik Belah.....	62
3.9.4	Pengujian Absorpsi dan porositas	62
3.9.5	Pengujian <i>Sorptivity</i>	63
3.9.6	Pengamatan Visual dan Berat Benda Uji.....	64

3.9.7	Pengujian Karbonasi	65
3.10	Penarikan Kesimpulan.....	66
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....		67
4.1	Hasil Pemeriksaan Bahan	67
4.1.1	Pemeriksaan Pasir Silika.....	67
4.1.2	Pemeriksaan <i>fly ash</i>	69
4.1.3	Pemeriksaan Metakaolin	71
4.1.4	Pemeriksaan Serat Berman.....	73
4.2	Pemeriksaan Waktu Pengikatan	74
4.3	Pengamatan Benda Uji Terekspos Lingkungan	76
4.3.1	Pengamatan Benda uji M100F-S0	76
4.3.2	Pengamatan Benda uji M70F-S0	77
4.3.3	Pengamatan Benda uji M50F-S0	78
4.3.4	Pengamatan Benda uji M100F-S1,5	79
4.3.5	Pengamatan Benda uji M70F-S1,5	79
4.3.6	Pengamatan Benda uji M50F-S1,5	80
4.4	Pengujian Absorpsi dan Porositas	81
4.5	Pengujian <i>Sorptivity</i>	86
4.6	Hubungan Porositas dan <i>Sorptivity</i>	93
4.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	94
4.7.1	Hasil Pengujian Benda uji M100F-S0-A	95
4.7.2	Hasil Pengujian Benda uji M70F-S0-A	96
4.7.3	Hasil Pengujian Benda uji M50F-S0-A	98
4.7.4	Hasil Pengujian Benda uji M100F-S1,5-A	100
4.7.5	Hasil pengujian Benda uji M70F-S1,5-A.....	102
4.7.6	Hasil Pengujian Benda uji M50F-S1,5-A	104
4.7.7	Hasil Pengujian Benda uji M100F-S0-N	106
4.7.8	Hasil Pengujian Benda uji M70F-S0-N	107
4.7.9	Hasil Pengujian Benda uji M50F-S0-N	110
4.7.10	Hasil Pengujian Benda uji M100F-S1,5-N	111
4.7.11	Hasil Pengujian Benda uji M70F-S1,5-N	113
4.7.12	Hasil Pengujian Benda uji M50F-S1,5-N	115
4.8	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	118
4.9	Pengaruh Lingkungan Terhadap Kuat Tekan Mortar.....	122

4.10	Pengaruh Campuran Terhadap Kuat Tekan	124
4.11	Hubungan Absorpsi dan Densitas Terhadap Kuat Tekan.....	126
4.12	<i>Durabilitas</i> Mortar Geopolimer Terhadap Lingkungan Asam.....	129
4.13	Pengujian Kuat Tarik Belah	130
4.14	Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Mortar Geopolimer	131
4.15	Pengujian Karbonasi.....	134
4.15.1	Pengamatan Menggunakan Cairan <i>Phenolphthalein</i>	135
4.15.2	Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital.....	147
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		153
5.1	Kesimpulan.....	153
5.2	Saran.....	154
DAFTAR PUSTAKA		155
LAMPIRAN.....		161

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jenis <i>Fly ash</i>	14
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia <i>Fly ash</i> Asam-asam	14
Tabel 2. 3 Batas – batas gradasi agregat halus	19
Tabel 2. 4 Penelitian terdahulu mengenai Geopolimer	32
Tabel 3. 1 Komposisi Na_2SiO_3	46
Tabel 3. 2 Rancangan Peneliti.....	49
Tabel 3. 3 Campuran Benda Uji Silinder 3,8 x 7,6	54
Tabel 3. 4 Campuran benda uji silinder ukuran 10 x 5 cm	58
Tabel 4. 1 Hasil pemeriksaan agregat halus	67
Tabel 4. 2 Data Hasil Analisa Saringan.....	68
Tabel 4. 3 Hasil Ash Analysis <i>Fly ash</i> 2023.....	69
Tabel 4. 4 Hasil pengujian berat jenis <i>Fly ash</i>	70
Tabel 4. 5 Hasil pengujian berat volume <i>Fly ash</i>	71
Tabel 4. 6 Hasil pengujian berat jenis metakaolin	72
Tabel 4. 7 Hasil pengujian berat volume metakaolin.....	72
Tabel 4. 8 Kadar Komponen Kimia Serat Berman.....	73
Tabel 4. 9 Hasil Pemeriksaan Waktu Pengikatan Awal dan Akhir	75
Tabel 4. 10 Visualisasi dan berat benda uji M100F-S0.....	76
Tabel 4. 11 Visualisasi dan berat benda uji M70F-S0	77
Tabel 4. 12 Visualisasi dan berat benda uji M50F-S0.....	78
Tabel 4. 13 Visualisasi dan berat benda uji M100F-S1,5	79
Tabel 4. 14 Visualisasi dan berat benda uji M70F-S1,5	79
Tabel 4. 15 Visualisasi dan berat benda uji M50F-S1,5	80
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Persentase Penurunan Berat Benda uji.....	81

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Absorpsi dan Porositas	82
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Sortivity M100F - S0	86
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Sortivity M70F - S0	87
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Sortivity M50F - S0	87
Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Sortivity M100F – S1,5	88
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Sortivity M70F – S1,5	89
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Sortivity M50F – S1,5	89
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Kuat Tekan M100F - S0 - A.....	95
Tabel 4. 25 Pengujian Kuat Tekan M70F-S0-A	97
Tabel 4. 26 Kuat Tekan M50F-S0-A.....	99
Tabel 4. 27 Kuat Tekan M100F-S1,5-A	101
Tabel 4. 28 kuat Tekan M70F-S1,5-A.....	103
Tabel 4. 29 kuat Tekan M50F-S1,5-A.....	104
Tabel 4. 30 Hasil Kuat Tekan Benda uji M100F-S0-N	106
Tabel 4. 31 Kuat Tekan M70F-S0-N.....	108
Tabel 4. 32 Kuat Tekan M50F-S0-N.....	110
Tabel 4. 33 Kuat Tekan M100F-S1,5-N.....	112
Tabel 4. 34 Kuat Tekan M70F-S1,5-N.....	114
Tabel 4. 35 Hasil Uji Tekan Benda uji M50F-S1,5-N.....	116
Tabel 4. 36 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan	118
Tabel 4. 37 Persentase Kuat Tekan <i>Curing</i> PDAM (<i>Wet</i>)	123
Tabel 4. 38 Persentase Kuat Tekan <i>Curing</i> Asam (<i>Wet</i>)	123
Tabel 4. 39 Persentase Kenaikan Kuat Tekan 0 % serat terhadap 1,5 % serat....	126
Tabel 4. 40 Densitas dan Kuat Tekan Umur 28 Hari	128
Tabel 4. 41 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah.....	130

Tabel 4. 42 Persentase Perbandingan Kuat Tekan & Kuat Tarik	132
Tabel 4. 43 Persentase Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji 0 % Serat & Kuat Tarik	133
Tabel 4. 44 Sumber : (Nilson et al., 2016)	134
Tabel 4. 45 Persamaan Kuat Tarik Belah	134
Tabel 4. 46 Kedalaman Karbonasi Benda uji Geopolimer kondisi wet asam.....	144
Tabel 4. 47 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi (<i>Wet Asam</i>)	145
Tabel 4. 48 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi (<i>Wet PDAM</i>)	145
Tabel 4. 49 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Beton (<i>Wet PDAM</i>)	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tumbuhan Bemban	10
Gambar 2. 2 Skema Pengujian Kuat Tekan	26
Gambar 2. 3 Skema Pengujian Sorptivity	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Pengambilan <i>fly ash</i> asam – asam Gambar 3. 3 Pengovenan <i>fly ash</i>	38
Gambar 3. 4 Penyaringan <i>Fly ash</i>	39
Gambar 3. 5 <i>Fly ash</i>	39
Gambar 3. 6 Perendaman Menggunakan Aquades	40
Gambar 3. 7 Pengovenan Kaolin	40
Gambar 3. 8 Penghalusan batuan Kaolin Menggunakan Mesin <i>Los angeles</i>	40
Gambar 3. 9 Bubuk Kaolin dimasukkan kedalam <i>Krusibel</i>	40
Gambar 3. 10 Kalsinasi di dalam Furnance Selama 2 jam	40
Gambar 3. 11 Metakaolin.....	40
Gambar 3. 12 Pegambilan Batang Bemban	41
Gambar 3. 13 Pemotongan Batang Bemban	41
Gambar 3. 14 Perendama Batang bembang Selama 14 Hari	41
Gambar 3. 15 Perebusan Batang Bemban.....	41
Gambar 3. 16 Penyisiran Batang Bemban	42
Gambar 3. 17 Perendaman Dalam Larutan NaOH 4 %	42
Gambar 3. 18 Dibersihkan menggunakan air sampai pH 7	42
Gambar 3. 19 Dikeringkan Pada Suhu Ruang	42
Gambar 3. 20 Serat Bemban	42
Gambar 3. 21 Kristal NaOH.....	44

Gambar 3. 22 Larutan NaOH 8M	45
Gambar 3. 23 Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	46
Gambar 3. 24 Pasir Silika.....	47
Gambar 3. 25 Benda uji Tanpa Serat.....	55
Gambar 3. 26 Benda uji Dengan Penambahan Serat	55
Gambar 3. 27 Benda uji Pengujian Sortivity dan Porosiats	58
Gambar 3. 28 Kristal NaOH.....	58
Gambar 3. 29 Proses pencampuran flakes	59
Gambar 3. 30 Memasukkan material	59
Gambar 3. 31 Memasukkan larutan alkali	59
Gambar 3. 32 <i>Curing</i> Lembab	60
Gambar 3. 33 Pemeriksaan pH Air Gambar 3. 34 Perendaman (<i>wet</i>) Benda uji	61
Gambar 3. 35 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah.....	62
Gambar 3. 36 Benda uji Uji Abrorpsi dan Porositas	63
Gambar 3. 37 Menimbang 1 gram bubuk <i>phenolphthalein</i>	65
Gambar 3.38 Pelarutan menggunakan etanol 95 %	65
Gambar 3. 39 Menambahkan Aquades	65
Gambar 4. 1 Analisa Saringan Pasir Silikaan	68
Gambar 4. 2 Analisis fly ash	69
Gambar 4. 3 Pemeriksaan Waktu Pengikatan Pasta Semen dan Pasta Geopolimer	75
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Waktu Pengikatan	76
Gambar 4. 5 Pengujian Absorpsi dan Porositas	82
Gambar 4. 6 Penyerapan Benda uji.....	83
Gambar 4. 7 Grafik Porositas Benda uji	83

Gambar 4. 8 Absorpsi Benda uji dengan 0 % serat.....	84
Gambar 4. 9 Absorpsi Benda uji dengan 1,5 % serat.....	84
Gambar 4. 10 Nilai <i>Density</i>	85
Gambar 4. 11 Pengujian <i>Sorptivity</i>	86
Gambar 4. 12 Grafik Air Kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ 0 % serat.....	90
Gambar 4. 13 Grafik Air Kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu}}$ Tanpa Serat 1,5 % serat	91
Gambar 4. 14 penentuan <i>rate of water absorption</i> : (a) <i>Initial</i> dan (b) <i>Secondary</i>	91
Gambar 4. 15 <i>Sorptivity</i> vs Waktu (0% serat).....	92
Gambar 4. 16 <i>Sorptivity</i> vs Waktu (1,5 % serat).....	93
Gambar 4. 17 Hubungan Porositas dan <i>Sorptivity</i>	94
Gambar 4. 18 Pengujian Benda uji M100F – S0 – A.....	95
Gambar 4. 19 Grafik Kuat Tekan M100F - S0.....	96
Gambar 4. 20 Pengujian Tekan Benda uji M70F-S0-A	97
Gambar 4. 21 Grafik Kuat Tekan M70F - S0.....	98
Gambar 4. 22 Pengujian Benda uji M50F-S0	99
Gambar 4. 23 Grafik Kuat Tekan M50F - S0.....	100
Gambar 4. 24 Pengujian Tekan M100F-S1,5-A.....	101
Gambar 4. 25 Grafik Kuat Tekan M100F - S1,5 – A.....	102
Gambar 4. 26 Pengujian Tekan Benda uji M70F-S1,5-A	103
Gambar 4. 27 Grafik Kuat Tekan M70F-S1,5-A	103
Gambar 4. 28 Dokumentasi Pengujian.....	105
Gambar 4. 29 Grafik Hasil Tekan Benda uji M50F-S1,5-A	105
Gambar 4. 30 Pengujian Tekan Benda uji M100F-S0-N	106
Gambar 4. 31 grafik Kuat Tekan M100F-S0-N	107
Gambar 4. 32 Pengujian Tekan Benda uji M70F-S0-N	108

Gambar 4. 33 Grafik Kuat Tekan Benda uji M70F-S0-N	109
Gambar 4. 34 Pengujian Tekan Benda uji M50F-S0-N	110
Gambar 4. 35 Grafik Hasil Uji Tekan Benda uji M50F-S0-N	111
Gambar 4. 36 Pengujian Kuat Tekan Benda uji M100F-S1,5-N	112
Gambar 4. 37 Grafik Hasil Uji Tekan Benda uji M100F-S1,5-N	113
Gambar 4. 38 Pengujian Tekan Benda uji M70F-S1,5-N	114
Gambar 4. 39 Grafik Kuat Tekan M70F-S1,5-N	115
Gambar 4. 40 Pengujian Tekan Benda uji M50F-S1,5-N	116
Gambar 4. 41 Grafik Kuat Tekan Benda uji M50F-S1,5-N	117
Gambar 4. 42 Grafik Hasil Kuat Tekan.....	119
Gambar 4. 43 Hasil Kuat Tekan Mortar Lingkungan Normal (PDAM)	119
Gambar 4. 44 Hasil Kuat Tekan Mortar Lingkungan Normal (Asam)	120
Gambar 4. 45 Kuat Tekan Benda Uji M100F	120
Gambar 4. 46 Kuat Tekan Benda Uji M70F	121
Gambar 4. 47 Kuat Tekan Benda Uji M50F	121
Gambar 4. 48 Perbandingan Kuat Tekan <i>Wet</i> PDAM dan <i>Wet</i> Asam	122
Gambar 4. 49 Hasil Kuat Tekan Variasi Benda Uji.....	125
Gambar 4. 50 Grafik Hubungan Penambahan Serat Terhadap Kuat Tekan.....	125
Gambar 4. 51 Hubungan Kuat Tekan dan Absorpsi.....	127
Gambar 4. 52 Grafik Hubungan Densitas dan Kuat Tekan.....	128
Gambar 4. 53 Dokumentasi Pengujian.....	130
Gambar 4. 54 Grafik Kuat Tarik Belah.....	131
Gambar 4. 55 Perbandingan Kuat Tekan & Kuat Tarik Rata - Rata	132
Gambar 4. 56 mikroskop digital dengan perbesaran 500X.....	135
Gambar 4. 57 Benda uji M100F – S0	135

Gambar 4. 58 Pengujian PP - Test M100F - S0	136
Gambar 4. 59 Benda uji M100F - S1,5 – A	137
Gambar 4. 60 Pengujian PP – Test M100F – S1,5	137
Gambar 4. 61 Pengujian PP – Test M70F – S0	138
Gambar 4. 62 Pengujian PP – Test M100F – S1,5	139
Gambar 4. 63 Benda uji M70F – S1,5	139
Gambar 4. 64 Pengujian PP – Test M70F – S1,5	140
Gambar 4. 65 Benda uji M50F – S0	141
Gambar 4. 66 Pengujian PP – Test M50F – S0	141
Gambar 4. 67 Benda uji M50F – S1,5	143
Gambar 4. 68 Pengujian PP – Test M50F – S1,5	142
Gambar 4. 69 Grafik Kedalaman Karbonasi (wet asam)	144
Gambar 4. 70 Grafik Kedalaman Karbonasi (wet <i>PDAM</i>)	146
Gambar 4. 71 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital.....	147
Gambar 4. 72 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M100F – S0)....	148
Gambar 4. 73 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M100F – S1,5) .	148
Gambar 4. 74 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M70F – S0).....	149
Gambar 4. 75 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M70F – S1,5)...	149
Gambar 4. 76 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M50F – S0).....	150
Gambar 4. 77 Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital (M50F – S1,5)...	150