

TUGAS AKHIR

**PENGARUH *CURING TEMPERATURE* PADA MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR *FLY ASH* DAN METAKAOLIN DENGAN
TAMBAHAN SERAT BEMBAN DI LINGKUNGAN ASAM**

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

Disusun oleh:

Irfan Setyadin

NIM. 2010811310031

Pembimbing:

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

NIP. 19790723 200501 2 005



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irfan Setyadin
NIM : 2010811310031
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Pengaruh *curing temperature* pada mortar geopolimer
berbahan dasar *fly ash* dan metakaolin dengan tambahan
serat bembun 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, Desember 2024

Penulis,



Irfan Setyadin

NIM. 2010811310031

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

***Pengaruh Curing Temperature Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar
Fly Ash Dan Metakaolin Dengan Tambahkan Serat Bambu Di Lingkungan
Asam***

**Oleh
Irfan Setyadin (2010811310031)**

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

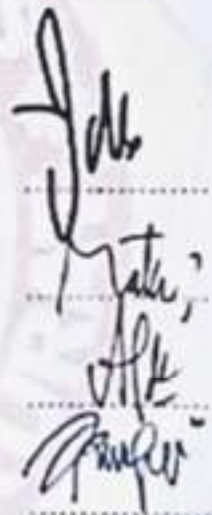
Komite Penguji :

Ketua : Ir. Ida Barkiah, M.T.
NIP. 19691110199303 2 001

Anggota 1 : Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng. Sc
NIP. 19690106199502 2 001

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, 12 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

**PENGARUH *CURING TEMPERATURE* PADA MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR *FLY ASH* DAN METAKAOLIN DENGAN
TAMBAHAN SERAT BEMBAN DI LINGKUNGAN ASAM**

Irfan Setyadin¹, Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng²

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung

Mangkurat

Jalan Jenderal A. Yani Km. 36 Banjarbaru

Telp. (0511) 47738568-4781730 Fax. (0511) 4781730

Email: i.setyadin@gmail.com

ABSTRAK

Mortar geopolimer memanfaatkan sisa dari limbah industri yang tinggi kandungan alumina (Al) dan silika (Si) yang dicampurkan dengan larutan alkali seperti natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk membuat reaksi polimerisasi yang membentuk mortar geopolimer. Penambahan serat sebagai bahan tambah dalam pencampuran dapat meningkatkan kekuatan geopolimer. Tumbuhan bemban menunjukkan bahwa serat tumbuhan ini dapat memperbaiki sifat mekanik material yang dibentuknya.

Dalam penelitian dibuat benda uji mortar geopolimer dengan dan tanpa penambahan serat bemban 1,5% dari berat material dasar. Molaritas NaOH sebesar 8 M, rasio alkali 2,5:1 campuran metakaolin dan *fly ash* sebesar 30/70; 50/50 dan 70/30. Perawatan mortar geopolimer sebelum masuk kondisi lingkungan asam dan non asam adalah *curing temperature* 60°C dan 100°C dan kondisi ruang selama 28 hari. Setelah selama perawatan mortar geopolimer masuk ke kondisi lingkungan asam dan non asam dengan metode *fullwet* dan *wet-dry*. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, uji tarik belah, uji karbonasi, porositas, *sorptivity*, dan visual benda uji. Evaluasi dilakukan setelah masuk ke kondisi lingkungan asam dan non asam selama 28 hari, 28 hari+1bulan, 28 hari+2bulan dan 28 hari+3bulan.

Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan tertinggi pada *curing temperature* 100°C pada rasio campuran metakaolin dan *flyash* 30/70 dengan penambahan serat 1,5% sebesar 47,90 MPa dan pada *curing temperature* 60°C sebesar 41,43 MPa pada kondisi lingkungan di 28+2bulan. Mortar geopolimer *curing temperature* 100° mengalami penurunan berat yang rendah dibanding *curing temperature* 60°. Mortar geopolimer dengan penambahan serat bemban 1,5% memiliki kenaikan nilai kuat tekan dibanding tanpa serat bemban. Presentase kenaikan dari rasio metakaolin dan *fly ash* sebesar 30/70; 50/50 dan 70/30 dengan penambahan serat bemban 1,5% berturut-turut sebesar 23,01%, 40,82% dan 19,02% di 28 hari+2bulan. Hasil absorpsi, porositas dan *sorptivity* mortar geopolimer dengan *curing temperature* 100°C lebih baik dibandingkan mortar dengan *curing temperature* 60°C.

Kata Kunci: *Fly ash*, Metakaolin, Serat Bemban dan *Curing Temperature*.

EFFECT OF CURING TEMPERATURE ON FLY ASH AND METAKAOLIN BASED GEOPOLYMER MORTAR WITH BEMBAN FIBER ADDITION IN ACIDIC ENVIRONMENT

Irfan Setyadin¹, Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng²

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: i.setyadin@gmail.com

ABSTRACT

Geopolymer mortars utilize industrial waste that is high in alumina (Al) and silica (Si) mixed with alkaline solutions such as sodium silicate (Na_2SiO_3) to create polymerization reactions that form geopolymer mortars. The addition of fiber as an additive in the admixture can increase the strength of the geopolymer. The bemban plant shows that this plant fiber can improve the mechanical properties of the material it forms.

In this study, geopolymer mortar specimens were made with and without the addition of 1.5% bemban fiber by weight of the base material. NaOH molarity of 8 M, alkali ratio of 2.5:1, mixture of metakaolin and fly ash of 30/70; 50/50 and 70/30. The treatment of geopolymer mortar before entering acidic and non-acidic environmental conditions is curing temperature 60°C and 100°C and room conditions for 28 days. After curing, the geopolymer mortar was subjected to acidic and non-acidic environmental conditions using fullwet and wet-dry methods. The tests carried out were compressive strength, split tensile test, carbonation test, porosity, sorptivity, and visual specimens. Evaluation was carried out after entering into acidic and non-acidic environmental conditions for 28 days, 28 days + 1 month, 28 days + 2 months and 28 days + 3 months.

The results showed the highest compressive strength at curing temperature 100°C at a mixture ratio of metakaolin and flyash 30/70 with 1.5% fiber addition of 47.90 MPa and at curing temperature 60°C of 41.43 MPa under environmental conditions at 28+2 months. Geopolymer mortars curing temperature 100° experienced a low weight loss compared to curing temperature 60°. Geopolymer mortars with the addition of 1.5% bemban fiber have an increase in compressive strength values compared to those without bemban fiber. The percentage increase of the ratio of metakaolin and fly ash of 30/70; 50/50 and 70/30 with the addition of 1.5% bemban fiber was 23.01%, 40.82% and 19.02% at 28 days+2 months, respectively. The absorption, porosity and sorptivity of geopolymer mortar with 100°C curing temperature were better than mortar with 60°C curing temperature.

Keywords: Fly ash, Metakaolin, Bemban Fiber and Curing Temperature.

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 “Pengaruh *curing temperature* pada mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* dan metakaolin dengan tambahan serat bemban 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. Sri wahyuningsih (ibu), admaji wibowo dan retno yuniastuti (kakak) tercinta yang telah banyak memberi doa, dorongan, semangat, dan dana dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan arahan dan penjelasan kepada penulis sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Dan serta selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Material Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
3. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T. M.T. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
4. Rekan-rekan instruktur dan magang Laboratorium Struktur dan Material dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian Laporan tugas Akhir ini.
5. Bapak Muhammad Nurrul Kahfi selaku Pejabat Pelaksana Lingkungan PLN UPK Asam-asam yang memberi bantuan material fly ash Asam-asam.
6. Teman-teman saya dalam satu tim TA mortar geopolimer Akbar, 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
Januari

Irfan Setyadin
NIM. 2010811310031

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengertian Beton dan Mortar	7
2.2 Beton Geopolimer.....	7
2.3 Material Dasar Pembentuk Geopolimer.....	8
2.3.1 <i>Fly Ash</i>	8
2.3.2 Kaolin dan Metakaolin.....	10
2.3.3 Serat Berman	12
2.3.4 Alkali Aktivator	13
2.3.5 Molaritas	16
2.3.6 Agregat.....	16
2.4 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	18
2.5 Pengaruh Kondisi Lingkungan.....	21
2.6 Pengujian Kuat Tekan	23

2.7	Pengujian Kuat Tarik Belah	23
2.8	Pengujian Karbonasi.....	24
2.9	Pengujian Absorpsi.....	25
2.10	Pengujian <i>Sorpsivity</i>	25
2.11	Penelitian Beton Geopolimer Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Diagram Alir.....	28
3.2	Waktu dan Tempat.....	29
3.3	Alat dan Bahan	30
3.3.1	Alat	30
3.3.2	Bahan.....	31
3.4	Persiapan dan Pemeriksaan Bahan Dasar	31
3.4.1	Persiapan Bahan Dasar.....	31
3.4.2	Pemeriksaan Bahan Dasar	39
3.5	Rancangan Penelitian	39
3.6	Pembuatan Benda Uji.....	42
3.6.1	Benda Uji Silinder 26x52mm.....	43
3.6.2	Benda Uji Silinder 100x50mm	47
3.7	Perawatan Benda Uji	51
3.8	Pemeriksaan Konsistensi Suhu Oven.....	52
3.9	Pengujian Benda Uji.....	52
3.9.1	Kuat Tekan.....	52
3.9.2	Kuat Tekan.....	52
3.9.3	Uji Absorpsi dan Porositas	53
3.9.4	Uji <i>Sorpsivity</i>	54
3.9.5	Pengamatan Benda Uji.....	54

3.9.6	Pengujian Karbonasi.....	55
3.10	Penarikan Kesimpulan.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Hasil Pemeriksaan Bahan	57
4.1.1	Pemeriksaan <i>Fly Ash</i> PLTU Asam-Asam	57
4.1.2	Pemeriksaan Metakaolin.....	59
4.1.3	Pemeriksaan Agregat Halus	61
4.1.4	Pemeriksaan Serat Berman	62
4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Tarik Belah Mortar Geopolimer.....	63
4.2.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Dengan Penambahan Serat.....	63
4.2.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan dengan Tanpa Penambahan Serat.....	104
4.2.3	Hasil Pengujian Tarik Belah Dengan Penambahan Serat.....	106
4.2.4	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	108
4.3	Pengaruh <i>Curing Temperature</i> Mortar Geopolimer.....	110
4.4	Pengaruh Metode <i>Fullwet dan Wet-Dry</i> Pada Mortar Geopolimer.....	117
4.5	Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah Mortar Geopolimer Dengan <i>Curing Temperature</i>	124
4.6	Hubungan Kuat Tekan Benda Uji Berserat Dan Tanpa Serat Mortar Geopolimer Dengan <i>Curing Temperature</i>	126
4.7	Hasil Pengujian <i>Sorpsivity</i>	126
4.8	Hasil Pengujian Absorpsi dan Porositas	134
4.9	Hubungan Densitas dengan Kuat Tekan Mortar Geopolimer.....	135
4.10	Hubungan Absorpsi dan <i>Sorptivity</i> Mortar Geopolimer.....	137
4.11	Hubungan Absorpsi dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer	138
4.12	Hasil Uji Karbonasi (<i>Phenolphthalein Test</i>)	140

4.12.1 Hasil Pengamatan Menggunakan Mikroskop Digital Usb Dengan Perbesaran 500x	140
4.12.2 Hasil Pengamatan Karbonasi Secara Langsung.....	154
4.12.3 Kedalaman Karbonasi (<i>Phenolphthalein Test</i>).....	157
4.13 Pengamatan Benda Uji Terekpose Lingkungan.....	160
BAB V PENUTUP.....	167
5.1 Kesimpulan.....	167
5.2 Saran.....	168
DAFTAR PUSTAKA	169
LAMPIRAN.....	176

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Fly Ash berdasarkan ASTM C618	10
Tabel 2. 2 Hasil Pemeriksaan Kadar Lignin dan Selulosa Serat Bemban	13
Tabel 2. 3 Batas-Batas Agregat Halus	17
Tabel 2. 4 Hasil Penelitian Terdahulu Mengenai Curing Temperature	26
Tabel 3. 1 Komposisi Natrium Silikat (Na_2SiO_3)	35
Tabel 3. 2 Variabel dan nomenklatur benda uji mortar geopolimer silinder 26x52mm	41
Tabel 3. 3 Variabel dan nomenklatur benda uji mortar geopolimer silinder 100x50mm	42
Tabel 3. 4 Kebutuhan benda uji mortar geopolimer silinder 26x52mm	47
Tabel 3. 5 Kebutuhan benda uji mortar geopolimer silinder 100x50mm	51
Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Fly Ash PLTU Asam-Asam.....	58
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Fly Ash.....	58
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Fly Ash.....	59
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Metakaolin	60
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Metakaolin	60
Tabel 4. 6 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus.....	61
Tabel 4. 7 Data Hasil Analisa Saringan	62
Tabel 4. 8 Hasil Pemeriksaan Kadar Lignin dan Selulosa Serat Bemban	63
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30A-W- T60°	64
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30A-WD- T60°.....	66
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30N-W- T60°	68
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30N-WD- T60°.....	69
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30A-W- T100°	71
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30A-WD- T100°.....	73
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30N-W- T100°	74
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30N-WD- T100°.....	76
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50A-W- T60°	78
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50A-WD- T60°.....	79
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50N-W- T60°	81
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50N-WD- T60°.....	83

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50A-W- T100°	85
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50A-WD- T100°	86
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50N-W- T100°	88
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Kuat Tekan M50N-WD- T100°	90
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70A-W- T60°	91
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70A-WD- T60°	93
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70N-W- T60°	95
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70N-WD- T60°	96
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70A-W- T100°	98
Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70A-WD- T100°	100
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian Kuat Tekan M30N-W- T100°	101
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Kuat Tekan M70N-WD- T100°	103
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Kuat Tekan Curing Temperature	105
Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Curing Temperature	107
Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Kuat Tekan	108
Tabel 4. 36 Hasil Pengujian Kuat Tekan Curing Temperature	110
Tabel 4. 37 Hasil Pengujian Kuat Tekan Curing Temperature	114
Tabel 4. 38 Hasil Pengujian Kuat Tekan Metode Fullwet	117
Tabel 4. 39 Hasil Pengujian Kuat Tekan Metode Wet-dry	121
Tabel 4. 40 Presentase perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah	125
Tabel 4. 41 Koefisien Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah	125
Tabel 4. 42 Hasil Pengujian Sorpsivity M30-T60	127
Tabel 4. 43 Hasil Pengujian Sorpsivity M50-T60	127
Tabel 4. 44 Hasil Pengujian Sorpsivity M70-T60	128
Tabel 4. 45 Hasil Pengujian Sorpsivity M30-T100	129
Tabel 4. 46 Hasil Pengujian Sorpsivity M50-T100	129
Tabel 4. 47 Hasil Pengujian Sorpsivity M70-T100	130
Tabel 4. 48 Rekapitulasi Initial dan Secondary Rate	132
Tabel 4. 49 Hasil Pengujian Porositas	134
Tabel 4. 50 Data Density dan Kuat tekan 28 hari	136
Tabel 4. 51 Kedalaman Karbonasi Sampel Geopolimer Fullwet Asam	158
Tabel 4. 52 Kedalaman Karbonasi Sampel Geopolimer Wet-Dry Asam	158

Tabel 4. 53 Kedalaman Karbonasi Sampel Geopolimer Fullwet non Asam	158
Tabel 4. 54 Kedalaman Karbonasi Sampel Geopolimer Wet-Dry Non Asam ...	158
Tabel 4. 55 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Beton Fullwet Non Asam	159
Tabel 4. 56 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Beton Wet-Dry Asam.....	159
Tabel 4. 57 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Beton Fullwet Non Asam.	159
Tabel 4. 58 Hasil Perhitungan Koefisien Karbonasi Beton Wet-Dry Non Asam	160
Tabel 4. 59 Presentase Susut M30-T60.....	161
Tabel 4. 60 Presentase Susut M30-T100.....	162
Tabel 4. 61 Presentase Susut M50-T60.....	163
Tabel 4. 62 Presentase Susut M50-T100.....	164
Tabel 4. 63 Presentase Susut M70-T60.....	165
Tabel 4. 64 Presentase Susut M70-T100.....	165

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fly Ash	10
Gambar 2. 2 Metakaolin.....	12
Gambar 2. 3 Serat Bemban	12
Gambar 2. 4 Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	14
Gambar 2. 5 Natrium Hidroksida (NaOH).....	16
Gambar 2. 6 Pasir Silika.....	18
Gambar 2. 7 Kondisi Pembebanan Kuat Tekan.....	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 2 pengambilan Fly Ash	31
Gambar 3. 3 pengovenan Fly Ash.....	31
Gambar 3. 4 penyaringan Fly Ash	31
Gambar 3. 5 Fly Ash Dengan Saringan 200	31
Gambar 3. 6 pengambilan Kaolin	32
Gambar 3. 7 Pemilahan kaolin	32
Gambar 3. 8 Perendaman Menggunakan Aquades	32
Gambar 3. 9 Pengovenan Kaolin	32
Gambar 3. 10 Penghalusan Kaolin dengan Los Angeles	32
Gambar 3. 11 Penyaringan Kaloin Dengan Saringan 200	32
Gambar 3. 12 Dimasukkan ke Krusibel	33
Gambar 3. 13 Furnace Selama 2 jam	33
Gambar 3. 14 Metakaolin.....	33
Gambar 3. 15 Natrium Hidroksida (NaOH).....	33
Gambar 3. 16 Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	35
Gambar 3. 17 Pengambilan Tumbuhan Bemban	36
Gambar 3. 18 Pemotongan Batang Bemban	36
Gambar 3. 19 Perebusan Batang Bemban.....	36
Gambar 3. 20 Penyisiran Batang Bemban	36
Gambar 3. 21 Direndam Dalam Larutan NaOH 4%	36
Gambar 3. 22 Dibilas menggunakan air sampai pH 7	36
Gambar 3. 23 dikeringkan dengan Suhu Ruang	36
Gambar 3. 24 Serat Bemban	36

Gambar 3. 25 Agregat Halus (Pasir Silika).....	38
Gambar 3. 26 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	39
Gambar 3. 27 Perawatan suhu oven.....	51
Gambar 3. 28 Pemeriksaan suhu oven.....	52
Gambar 3. 29 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah	53
Gambar 3. 30 Menimbang 1 gram Bubuk phenolphthalein.....	55
Gambar 3. 31 Pelarutan menggunakan Etanol 95%.....	55
Gambar 3. 32 Menambahkan Aquades	55
Gambar 3. 33 Mikroskop Digital USB Dengan Perbesaran 500X	56
Gambar 3. 34 Identifikasi Uji Karbonasi dengan Mikroskop.....	56
Gambar 4. 1 Hasil Analysis fly ash 2023.....	58
Gambar 4. 2 Analisa Saringan	62
Gambar 4. 3 Pengujian Kuat Tekan M30A-W- T60°	64
Gambar 4. 4 Kuat Tekan M30A-W- T60°	65
Gambar 4. 5 Pengujian Kuat Tekan M30A-WD- T60°	66
Gambar 4. 6 Kuat Tekan M30A-WD- T60°	66
Gambar 4. 7 Pengujian Kuat Tekan M30N-W- T60°	67
Gambar 4. 8 Kuat Tekan M30N-W- T60°	68
Gambar 4. 9 Pengujian Kuat Tekan M30N-WD- T60°	69
Gambar 4. 10 Kuat Tekan M30N-WD- T60°	70
Gambar 4. 11 Pengujian Kuat Tekan M30A-W- T100°	71
Gambar 4. 12 Kuat Tekan M30A-W- T100°	71
Gambar 4. 13 Pengujian Kuat Tekan M30A-WD- T100°	72
Gambar 4. 14 Kuat Tekan M30A-WD- T100°	73
Gambar 4. 15 Pengujian Kuat Tekan M30N-W- T100°	74
Gambar 4. 16 Kuat Tekan M30N-W- T100°	75
Gambar 4. 17 Pengujian Kuat Tekan M30N-WD- T100°	76
Gambar 4. 18 Kuat Tekan M30N-WD- T100°	76
Gambar 4. 19 Pengujian Kuat Tekan M50A-W- T60°	77
Gambar 4. 20 Kuat Tekan M50A-W- T60°	78
Gambar 4. 21 Pengujian Kuat Tekan M50A-WD- T60°	79
Gambar 4. 22 Kuat Tekan M50A-WD- T60°	80

Gambar 4. 23 Pengujian Kuat Tekan M50N-W- T60°	81
Gambar 4. 24 Kuat Tekan M50N-W- T60°	81
Gambar 4. 25 Pengujian Kuat Tekan M50N-WD- T60°	82
Gambar 4. 26 Kuat Tekan M50N-WD- T60°	83
Gambar 4. 27 Pengujian Kuat Tekan M50A-W- T100°	84
Gambar 4. 28 Kuat Tekan M50A-W- T100°	85
Gambar 4. 29 Pengujian Kuat Tekan M50A-WD- T100°	86
Gambar 4. 30 Kuat Tekan M50A-WD- T100°	87
Gambar 4. 31 Pengujian Kuat Tekan M50N-W- T100°	88
Gambar 4. 32 Kuat Tekan M50N-W- T100°	88
Gambar 4. 33 Pengujian Kuat Tekan M50N-WD- T100°	89
Gambar 4. 34 Kuat Tekan M50N-WD- T100°	90
Gambar 4. 35 Pengujian Kuat Tekan M70A-W- T60°	91
Gambar 4. 36 Kuat Tekan M70A-W- T60°	92
Gambar 4. 37 Pengujian Kuat Tekan M70A-WD- T60°	93
Gambar 4. 38 Kuat Tekan M70A-WD- T60°	93
Gambar 4. 39 Pengujian Kuat Tekan M70N-W- T60°	94
Gambar 4. 40 Kuat Tekan M70N-W- T60°	95
Gambar 4. 41 Pengujian Kuat Tekan M70N-WD- T60°	96
Gambar 4. 42 Kuat Tekan M70N-WD- T60°	97
Gambar 4. 43 Pengujian Kuat Tekan M70A-W- T100°	98
Gambar 4. 44 Kuat Tekan M70A-W- T100°	98
Gambar 4. 45 Pengujian Kuat Tekan M70A-WD- T100°	99
Gambar 4. 46 Kuat Tekan M70A-WD- T100°	100
Gambar 4. 47 Pengujian Kuat Tekan M70N-W- T100°	101
Gambar 4. 48 Kuat Tekan M30N-W- T100°	102
Gambar 4. 49 Pengujian Kuat Tekan M70N-WD- T100°	103
Gambar 4. 50 Kuat Tekan M70N-WD- T100°	103
Gambar 4. 51 Pengujian Kuat Tekan Curing Temperature.....	104
Gambar 4. 52 Kuat Tekan Curing Temperature.....	105
Gambar 4. 53 Pengujian Kuat Tarik Belah Curing Temperature.....	106
Gambar 4. 54 Kuat Tarik Belah Curing Temperature.....	107

Gambar 4. 55 Kuat Tekan	109
Gambar 4. 56 Kuat Tekan Curing Temperature 60°	111
Gambar 4. 57 Kuat Tekan Curing Temperature 60° Rasio Metakaolin dan Fly ash 30:70.....	111
Gambar 4. 58 Kuat Tekan Curing Temperature 60° Rasio Rasio Metakaolin dan Fly ash 50:50	112
Gambar 4. 59 Kuat Tekan Curing Temperature 60° Rasio Metakaolin dan Fly ash 70:30.....	113
Gambar 4. 60 Kuat Tekan Curing Temperature.....	114
Gambar 4. 61 Kuat Tekan Curing Temperature 100° Rasio Metakaolin dan Fly ash 30:70.....	115
Gambar 4. 62 Kuat Tekan Curing Temperature 100° Rasio Metakaolin dan Fly ash 50:50.....	116
Gambar 4. 63 Kuat Tekan Curing Temperature 100° Rasio Metakaolin dan Fly ash 70:30.....	116
Gambar 4. 64 Kuat Tekan Metode Fullwet.....	118
Gambar 4. 65 Presentase Kuat Tekan Metode Fullwet Rasio Metakaolin 30 : Fly ash 70	119
Gambar 4. 66 Presentase Kuat Tekan Metode Fullwet Rasio Metakaolin 50 : Fly ash 50	119
Gambar 4. 67 Presentase Kuat Tekan Metode Fullwet Rasio Metakaolin 70 : Fly ash 30	120
Gambar 4. 68 Kuat Tekan Metode Wet-dry.....	121
Gambar 4. 69 Presentase Kuat Tekan Metode Wet-dry Rasio Metakaolin 30 : Fly ash 70	122
Gambar 4. 70 Presentase Kuat Tekan Metode Wet-dry Rasio Metakaolin 50 : Fly ash 50	122
Gambar 4. 71 Presentase Kuat Tekan Metode Wet-dry Rasio Metakaolin 70 : Fly ash 30	123
Gambar 4. 72 Perbandingan Kuat Tekan dan Tarik Belah dari Rata-rata	124
Gambar 4. 73 Perbandingan Kuat Tekan Berserat dan Tanpa Serat.....	126
Gambar 4. 74 Pengujian Porositas dan Absorpsi.....	127

Gambar 4. 75 Penyerapan air kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu Curing Temperature 60 Derajat}}$	131
Gambar 4. 76 Penyerapan air kumulatif vs $\sqrt{\text{Waktu Curing Temperature 100 Derajat}}$	131
Gambar 4. 77 Contoh penentuan <i>rate of water absorption</i> : (a) <i>Initial</i> dan (b) <i>Secondary</i>	132
Gambar 4. 78 Sorptivity vs Waktu Curing Temperature 60 Derajat	133
Gambar 4. 79 Sorptivity vs Waktu Curing Temperature 100 Derajat	133
Gambar 4. 80 Pengujian Porositas dan Absorpsi (a). menimbang benda uji (b). merebus benda uji (c). menimbang benda uji dalam air (d). benda uji Porositas dan Absorpsi	134
Gambar 4. 81 Volume of permeable voids (VPV)	135
Gambar 4. 82 Hubungan Kuat dan Densitas Sampel Dengan Curing Temperature 60°	136
Gambar 4. 83 Hubungan Kuat dan Densitas Sampel Dengan Curing Temperature 100°	137
Gambar 4. 84 Hubungan Absorpsi dan Sorptivity	138
Gambar 4. 85 Hubungan Absorpsi dan Kuat Tekan	139
Gambar 4. 86 Mikroskop Digital USB Dengan Perbesaran 500X	140
Gambar 4. 87 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T60°	141
Gambar 4. 88 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T60°	141
Gambar 4. 89 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T60°	141
Gambar 4. 90 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T60°	142
Gambar 4. 91 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T60°	143
Gambar 4. 92 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T60°	143
Gambar 4. 93 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T60°	144
Gambar 4. 94 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T60°	144
Gambar 4. 95 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T60°	145
Gambar 4. 96 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T60°	146
Gambar 4. 97 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T60°	146
Gambar 4. 98 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T60°	146
Gambar 4. 99 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T100°	148

Gambar 4. 100 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T100°	148
Gambar 4. 101 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T100°	148
Gambar 4. 102 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T100°	149
Gambar 4. 103 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T100°	150
Gambar 4. 104 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T100°	150
Gambar 4. 105 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T100°	151
Gambar 4. 106 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T100°	151
Gambar 4. 107 Hasil Uji Karbonasi Sampel M30-T100°	152
Gambar 4. 108 Hasil Uji Karbonasi Sampel M50-T100°	153
Gambar 4. 109 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T100°	153
Gambar 4. 110 Hasil Uji Karbonasi Sampel M70-T100°	153
Gambar 4. 111 Zona yang Diidentifikasi.....	155
Gambar 4. 112 Pengamatan Uji Karbonasi.....	155
Gambar 4. 113 Pengamatan Uji Karbonasi.....	155
Gambar 4. 114 Pengamatan Uji Karbonasi.....	156
Gambar 4. 115 Pengamatan Uji Karbonasi.....	156
Gambar 4. 116 Ilustrasi Hasil Karbonasi Terekspos Lingkungan Non Asam Ph 7	157
Gambar 4. 117 Ilustrasi Hasil Karbonasi Terekspos Lingkungan Non Asam Ph 7	157
Gambar 4. 118 Ilustrasi Hasil Karbonasi Terekspos Lingkungan Asam Ph 3....	157
Gambar 4. 119 Ilustrasi Hasil Karbonasi Terekspos Lingkungan Asam Ph 3....	157
Gambar 4. 120 Hasil Pengamatan Visual M30-T60°	161
Gambar 4. 121 Hasil Pengamatan Visual M30-T100°	162
Gambar 4. 122 Hasil Pengamatan Visual M50-T60°	163
Gambar 4. 123 Hasil Pengamatan Visual M50-T100°	164
Gambar 4. 124 Hasil Pengamatan Visual M70-T100°	164
Gambar 4. 125 Hasil Pengamatan Visual M70-T100°	165