

**PENAMBAHAN POLIMER *ETHYLENE VINYL ACETATE* (EVA) DAN
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PADA PEMBUATAN
MORTAR MENGGUNAKAN METODE PERENDAMAN SELAMA 7 DAN
14 HARI**

(Skripsi)

Oleh

**SILVIA PUTRIANA
2017041016**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENAMBAHAN POLIMER *ETHYLENE VINYL ACETATE* (EVA) DAN *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) PADA PEMBUATAN MORTAR MENGGUNAKAN METODE PERENDAMAN SELAMA 7 DAN 14 HARI

Oleh

SILVIA PUTRIANA

Mortar merupakan campuran dari semen Portland, pasir, dan air. Mortar umumnya memiliki kekurangan seperti pengerasan nya yang lambat. Upaya untuk memperbaiki kekurangan pada mortar dengan cara menambahkan polimer pada mortar. Penambahan polimer pada mortar seringkali disebut sebagai mortar polimer. Pada penelitian ini, polimer yang digunakan yaitu limbah PET botol yang disubstitusi dengan pasir dengan variasi 0%; 0,2%; 0,5%; 0,8%; 1,1%; 1,4% dan polimer EVA yang memiliki sifat tahan air yang disubstitusikan dengan semen dengan variasi komposisi 0%; 2%; 4%; 6%; 8%; 10%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan polimer pada pembuatan mortar. Bahan baku dikarakterisasi dengan XRD, XRF, SEM-EDS, dan FTIR. Bahan-bahan ditimbang sesuai dengan komposisi, dicampurkan dan dicetak dengan cetakan balok ukuran $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$. Setelah itu, di masukkan ke dalam air dan didiamkan selama 7 dan 14 hari. Selanjutnya, sampel dilakukan pengujian fisis dan mekanis yaitu kuat lentur. Diperoleh nilai kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi komposisi V dengan waktu perendaman 14 hari. Fasa dominan yang diperoleh dari karakterisasi XRD pada mortar polimer yaitu *calcite*, *quartz*, *corundum*, *hematite*. Komposisi kimia yang paling dominan dari karakterisasi XRF mortar polimer yaitu CaO sebesar 46,95% dan SiO₂ sebesar 24,45%. Hasil dari karakterisasi SEM-EDS menunjukkan unsur dominan yang tersebar pada mortar polimer yaitu Ca dan Si. Gugus fungsi yang diperoleh dari karakterisasi FTIR pada mortar polimer yaitu O-H, C=O, C-C, C-H, Si-O-Si, dan Si-O.

Kata kunci: mortar polimer, EVA, PET, karakterisasi.

ABSTRACT

THE ADDITION OF ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA) AND POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) POLYMERS IN MORTAR MANUFACTURING USING SOAKING METHOD FOR 7 AND 14 DAYS

By

SILVIA PUTRIANA

Mortar is a mixture of Portland cement, sand, and water. Mortars generally have shortcomings such as slow hardening. An attempt to improve the shortcomings of mortar by adding polymers to the mortar. The addition of polymers to mortar is often referred to as polymer mortar. In this study, the polymers used were PET bottle waste substituted with sand with variations of 0%; 0.2%; 0.5%; 0.8%; 1.1%; 1.4% and EVA polymer which has waterproof properties substituted with cement with variations of 0%; 2%; 4%; 6%; 8%; 10%. This study was conducted to determine the effect of polymer addition on mortar making. The raw materials were characterized by XRD, XRF, SEM-EDS, and FTIR. The materials were weighed according to the composition, mixed and molded with a $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ block mold. After that, it was put into water and allowed to stand for 7 and 14 days. Next, the samples were subjected to physical and mechanical testing, namely flexural strength. The highest flexural strength value was obtained in composition variation V with a 14-day soaking time. The dominant phases obtained from XRD characterization of polymer mortar are calcite, quartz, corundum, hematite. The most dominant chemical composition from XRF characterization of polymer mortar is CaO by 46.95% and SiO_2 by 24.45%. The results of SEM-EDS characterization showed that the dominant elements scattered in the polymer mortar were Ca and Si. The functional groups obtained from FTIR characterization on polymer mortar are O-H, C=O, C-C, C-H, Si-O-Si, and Si-O.

Key words: polymer mortar, EVA, PET, characterization.

**PENAMBAHAN POLIMER *ETHYLENE VINYL ACETATE* (EVA) DAN
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PADA PEMBUATAN
MORTAR MENGGUNAKAN METODE PERENDAMAN SELAMA 7 DAN
14 HARI**

Oleh

Silvia Putriana

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **PENAMBAHAN POLIMER *ETHYLENE VINYL ACETATE* (EVA) DAN *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) PADA PEMBUATAN MORTAR MENGGUNAKAN METODE PERENDAMAN SELAMA 7 DAN 14 HARI**

Nama Mahasiswa

: **Silvia Putriana**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2017041016

Program Studi

: Fisika

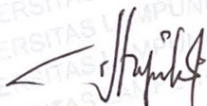
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

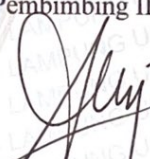
Pembimbing I



Suprihatin, S.Si., M.Si.

NIP. 197304141997022001

Pembimbing II



Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

NIP. 19820327015021002

2. Ketua Jurusan Fisika



Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Suprihatin, S.Si., M.Si.

Sekretaris : Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

Penguji Bukan Pembimbing : Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Ing. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 Juni 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan, bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Juni 2024
Penulis,



Silvia Putriana
NPM. 2017041016

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Silvia Putriana, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 07 April 2002, sebagai anak pertama dari dua bersaudra, dari bapak Muhammad Makmun dan ibu Sarmanah.

Pendidikan yang ditempuh oleh penulis adalah Taman Kanak-kanak (TK) Sari Teladan pada Tahun 2008, SD Negeri 1 Beringin Raya pada Tahun 2014, SMP Negeri 1 Bandar Lampung pada Tahun 2017, dan SMA Swasta YP UNILA pada Tahun 2020. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada bidang minat dan bakat pada tahun 2021-2022.

Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN pada tahun 2023 dengan judul "Pembuatan Geopolimer dengan Menggunakan Material Abu *Boiler* Cangkang Sawit dan Serat Serabut Kelapa dengan Konsentrasi NaOH 10M, 14M, 18M Pada Suhu 70 °C Selama 18 Jam". Penulis juga telah melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada Tahun 2023 di Pesawaran.

Selanjutnya, penulis melakukan penelitian di bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul "Penambahan Polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada Pembuatan Mortar Menggunakan Metode Perendaman Selama 7 dan 14 Hari". Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN di Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

MOTTO

وَأَفْوضُ أَمْرِي إِلَى اللَّهِ

”Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah”

[Q.S. Al-Ghafir: 44]

”Selalu ada jalan bagi mereka yang berusaha untuk tetap semangat sampai ketitik tujuan”

“Trust the process and you’ll be fine”

PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karya ini
dipersembahkan kepada:**

Kedua Orang Tuaku

Bapak Muhammad Makmun & Ibu Sarmanah

Terima kasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan
penulis hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai
Sarjana Fisika

Keluarga Besar & Sahabat

Serta rekan-rekan seperjuangan Fisika FMIPA UNILA 2020

Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap
bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Penambahan Polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada Pembuatan Mortar Menggunakan Metode Perendaman Selama 7 dan 14 Hari"** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memperkaya ilmu pengetahuan serta bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 20 Juni 2024

Silvia Putriana

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, Rahmat, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Penambahan Polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada Pembuatan Mortar Menggunakan Metode Perendaman 7 dan 14 Hari**” Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat,, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis Bapak Muhammad Makmun, Ibu Sarmanah serta Adik penulis Muhammad Putra yang selalu memberikan motivasi, nasehat, dukungan, arahan, pengorbanan, serta do'a yang tiada henti untuk penulis.
2. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama skripsi atas bimbingan, nasihat, dukungan, motivasi, saran dan masukan selama penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan, serta arahan pada penulisan skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Amin, S.T. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, masukan, serta arahan pada penulisan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku Pembahas yang telah memberikan masukan dan perbaikan selama penulisan skripsi.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak Dr. Anggoro Tri Muristo, M.Sc. selaku Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian.
10. Staf Administrasi dan Staf Laboratorium Analisa Pusat Riset Teknologi Pertambangan-Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah membantu penulis selama melakukan penelitian.
11. Bapak dan Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA yang telah memberikan ilmu selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA UNILA.
12. Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA UNILA yang telah membantu dalam urusan administrasi selama menempuh pendidikan S1 Fisika.
13. Teman seperjuangan penulis dari awal perkuliahan yaitu CIE PRODUKTIF Cahya Salsabilla dan Herfira Salsabila Putri yang senantiasa menemani, mendukung, memotivasi penulis dalam keadaan susah dan senang serta menjadi alasan penulis tetap bertahan dan semangat dalam menjalani masa perkuliahan ini dengan baik sampai selesai.

14. Teman seperjuangan penulis dari 911 Sakira Audia, Zhafirah Zahrah, Dina Sabila, Annisa Ramadhan, Fanny Maharani, Luthfiah Salsabilla, Enica Salsabilla, Irgy yang memberikan semangat, hiburan canda tawa serta dukungan kepada penulis.
15. Teman-teman 142 Stefanie, Tiara dan Putu yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan hiburan canda tawa kepada penulis.
16. Teman-teman penulis Mentari Kirana, Devi Mariska, Irma Yulianti, Ati Laila, Shinta Amalia, Putri Ambar, Rana Yuliandra, Agriffa Nuzra, Mutiara Maharani dan Flora Finansia yang selalu memberikan dukungan, afirmasi positif, berbagi canda tawa kepada penulis.
17. Teman-teman Fisika 2020 KBK Material, Instrumentasi, dan Energi yang senantiasa memberikan dukungan, dan motivasi kepada penulis.
18. Ko Leo yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis secara tidak langsung agar selalu berjuang mencapai mimpi yang penulis impikan.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kemudahan, kesuksesan, kelancaran kepada kita semua.

Bandar Lampung, 20 Juni 2024

Silvia Putriana

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR MENGESAHKAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Semen Portland	7
2.2 Mortar.....	8
2.3 Agregat.....	9
2.4 Polimer.....	9
2.4.1 <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET).....	9
2.4.2 <i>Ethylene Vinyl Acetate</i> (EVA)	10
2.5 Uji Sifat Fisis dan Sifat Mekanis	10

2.5.1 Absorpsi.....	10
2.5.2 Porositas	11
2.5.3 Massa Jenis.....	12
2.5.4 Kuat Lentur	12
2.6 Karakterisasi.....	13
2.6.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	13
2.6.2 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	14
2.6.3 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	16
2.6.4 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	18
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat Penelitian	20
3.2.2 Bahan Penelitian.....	20
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan.....	21
3.3.2 Pembuatan Mortar Polimer	22
3.3.3 Pengujian Mortar Polimer	22
3.3.4 Karakterisasi Mortar Polimer	25
3.4 Diagram Alir.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Karakterisasi Bahan Baku.....	27
4.1.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Bahan Baku.....	27
4.1.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Bahan Baku.....	29
4.1.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) Bahan Baku.....	30
4.1.4 Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) Bahan Baku.....	33
4.2 Hasil Uji Fisis dan Uji Mekanis Mortar Polimer	36
4.2.1 Hasil Pengujian Absorpsi Mortar Polimer	36
4.2.2 Hasil Pengujian Porositas Mortar Polimer.....	38
4.2.3 Hasil Pengujian Massa Jenis Mortar Polimer	39
4.2.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Mortar Polimer	39
4.3. Hasil Karakterisasi Mortar Polimer	40
4.3.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Mortar Polimer.....	41
4.3.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Mortar Polimer	42
4.3.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	43
4.3.4 Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) Mortar Polimer	45

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema difraksi sinar-X hukum Bragg (Brouwer, 2006).	14
Gambar 2.2. Prinsip kerja XRF (Brouwer, 2006).	15
Gambar 2.3. Prinsip kerja SEM (Inkson, 2016).	17
Gambar 2.4. Komponen FTIR (Nicolet, 2001).	19
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan baku.	25
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian.	26
Gambar 4.1. Hasil karakterisasi bahan baku XRD (a) semen, (b) pasir, (c) polimer EVA, dan (d) polimer PET.	28
Gambar 4.2. Hasil karakterisasi SEM-EDS semen (a) morfologi dan (b) penyebaran unsur kimia.	30
Gambar 4.3. Hasil karakterisasi SEM-EDS pasir (a) morfologi dan (b) penyebaran unsur kimia.	31
Gambar 4.4. Hasil karakterisasi SEM-EDS polimer EVA (a) morfologi dan (b) penyebaran unsur kimia.	32
Gambar 4.5. Hasil karakterisasi SEM-EDS polimer PET (a) morfologi dan (b) penyebaran unsur kimia.	33
Gambar 4.6. Hasil Karakterisasi FTIR (a) semen Portland dan (b) pasir.	34
Gambar 4.7. Hasil karakterisasi FTIR dari polimer EVA.	35
Gambar 4.8. Hasil karakterisasi FTIR dari polimer PET.	36
Gambar 4.9. Hasil nilai absorpsi mortar polimer.	37
Gambar 4.10. Hasil nilai porositas mortar polimer.	38
Gambar 4.11. Hasil nilai massa jenis mortar polimer.	39
Gambar 4.12. Hasil uji mekanis kuat lentur mortar polimer.	40
Gambar 4.13. Hasil karakterisasi XRD mortar polimer waktu perendaman (a) 7 hari dan (b) 14 hari.	41
Gambar 4.14. Hasil karakterisasi SEM-EDS morfologi (a) 7 hari dan (b) 14 hari dan penyebaran unsur kimia (c) 7 hari dan (b) 14 hari	43
Gambar 4.15. Hasil karakterisasi mortar polimer dengan waktu perendaman (a) 7 hari dan (b) 14 hari.	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Variasi komposisi bahan.	21
Tabel 4.1. Fasa dominan pada bahan baku	28
Tabel 4.2. Hasil karakterisasi XRF bahan baku semen Portland dan pasir.	29
Tabel 4.3. Komposisi unsur semen Portland.	31
Tabel 4.4. Komposisi unsur pasir.....	32
Tabel 4.5. Komposisi unsur polimer EVA.	32
Tabel 4.6. Komposisi unsur polimer PET.....	33
Tabel 4.7. Fasa dominan mortar polimer umur perendaman 7 dan 14 hari.	42
Tabel 4.8. Hasil karakterisasi XRF mortar polimer.	42
Tabel 4.9. Komposisi unsur mortar polimer 7 Hari.	44
Tabel 4.10. Komposisi unsur mortar polimer 14 Hari.....	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi di seluruh dunia mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan banyaknya pembangunan gedung, perumahan, jalan, maupun konstruksi yang lainnya. Seiring dengan perkembangan tersebut, maka semakin besar juga peningkatan akan kebutuhan mortar sebagai salah satu bahan konstruksinya. Mortar dikenal sebagai material yang banyak digunakan untuk bahan bangunan karena kekuatan dan ketahanannya. Pembuatan mortar sendiri menggunakan bahan utama seperti semen Portland, kapur, dan pasir yang ditambahkan air untuk membuat pasta dengan konsistensi yang sesuai (Bartoli & Bartoli, 1965).

Dalam membangun sebuah konstruksi, mortar digunakan sebagai matrik pengikat atau bahan pengisi bagian penyusun suatu konstruksi baik secara struktural dan non-struktural. Contoh penggunaan dari mortar konstruksi yang bersifat struktural yaitu pasangan bata belah yang digunakan sebagai pondasi sedangkan, untuk non-struktural digunakan untuk merekatkan pasangan bata untuk dinding (Bartoli & Bartoli, 1965). Tentunya dalam penggunaan mortar sebagai bahan konstruksi, mortar memiliki kekurangan yaitu seperti pengerasan yang lambat, kuat tarik yang rendah (Ohama, 1995). Upaya untuk memperbaiki kekurangan pada mortar maka

dilakukan dengan cara penambahan polimer. Adanya penambahan polimer ke dalam pembuatan mortar memiliki fungsi yaitu polimer memiliki sifat *deformable* dan memiliki daya lekat yang baik. Penambahan polimer pada mortar seringkali disebut sebagai mortar polimer (Primasasti, 2010).

Mortar polimer merupakan material komposit yang terbentuk dari campuran agregat halus, semen, air serta pengikat polimer atau *binder* (Ohama, 2008). Mortar polimer merupakan mortar ramah lingkungan dan tentunya dapat menghemat sumber daya alam (Golestaneh *et al.*, 2010). Mortar polimer dapat didefinisikan sebagai sistem semen hidrolik yang dikombinasikan pada saat pencampuran dengan polimer organik yang tersebar dalam air dengan atau tanpa adanya agregat (Pitaloka *et al.*, 2013). Polimer jika dilihat dari konteks senyawa merupakan zat kimia yang terdiri dari gabungan molekul besar dengan karbon dan hidrogen sebagai molekul utama. Sedangkan, jika dilihat dari konteks beton merupakan bahan penyusun dari bahan utama material mortar atau beton. Jadi, mortar polimer adalah material bangunan yang dibentuk melalui proses rekayasa komposit beton klasik dan polimer (Arif *et al.*, 2015).

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan salah satu jenis plastik yang merupakan polimer. PET seringkali digunakan dalam produk kemasan seperti wadah minuman, makanan, dan produk kemasan lainnya. Karena konsumsi pada minuman kemasan semakin meningkat, maka jumlah limbah botol PET tentunya akan meningkat. Hal ini, menyebabkan volume sampah semakin meningkat dan pembuangan botol PET yang tidak tepat mampu menimbulkan masalah lingkungan

karena PET tidak dapat terurai secara hayati (Firgione, 2010). Oleh karena itu, untuk mengatasi limbah PET selain dengan cara mendaur ulang, limbah PET dapat digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan yang tentunya akan mengurangi limbah plastik (Won *et al.*, 2010). PET merupakan limbah potensial yang dapat digunakan sebagai campuran beton dan mortar. Terdapat tiga cara untuk mendaur ulang limbah botol PET menjadi bahan konstruksi. Metode pertama, limbah botol PET dapat didepolimerisasi sebagai resin poliester untuk menghasilkan beton polimer dan mortar polimer (Rebeiz, 1996). Metode kedua, limbah botol PET dapat digunakan sebagai *binder* atau pengikat setelah dilebur dengan pasir dan tanah liat (Ge *et al.*, 2013). Metode ketiga, limbah botol PET dapat digunakan sebagai partikel, serat atau pelet, sebagai pengganti agregat halus atau kasar (Firgione, 2010).

Menurut penelitian Kim (2020) ada beberapa jenis polimer yang dapat digunakan pada pencampuran komposisi mortar seperti *Polyvinyl Alcohol* (PVA), *Styrene-Butadiene Rubber* (SBR), *Ethylene-vinyl Acetate* (EVA). Menurut penelitian Foti & Lerna (2020) penambahan polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) botol dapat digunakan dalam pembuatan mortar dapat dijadikan sebagai pengganti agregat. Menurut penelitian Foti & Lerna (2020) mortar polimer menggunakan PET yaitu partikel plastik PET botol air yang digunakan diameter sama hingga 2 mm. Menurut Prabha & George (2017) partikel plastik yang digunakan yaitu 8 mm, 18 mm, 24 mm dengan lebar 2 mm. Perbandingan *Ethylene Glycol* (EG) : *Polyethylene Terephthalate* (PET) = 4:1. Ukuran cetakan sampel yang digunakan pada kuat lentur $160 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ dan kuat tekan $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$ dengan waktu 28 hari.

Hasil menunjukkan performa mekanik pada mortar polimer menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan performa mortar pada umumnya.

Menurut Kim (2020) kekuatan tekan mortar semen polimer ditentukan dari tiga kubus standar 50 mm sesuai ASTM C 109 (2016). Kekuatan lentur mortar semen polimer diukur menggunakan tiga spesimen prismatik $160 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ sesuai ASTM C 348 (2019) selama 7 dan 28 hari dengan variasi 0% dan 3%. Pada hasil kuat tekan dan kuat lentur presentase nilai 7 dan 28 hari EVA lebih unggul dibandingkan AC, SBR, PVA.

Polimer telah digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik, adhesi dengan substrat atau sifat *waterproofing* mortar dan beton (Ohama, 1998). Menurut Ohama (1998) & Fowler (1999) bahwa sifat-sifat mortar dan beton yang dimodifikasi polimer bergantung secara signifikan pada kandungan polimer atau rasio polimer yaitu, rasio massa jumlah padatan polimer dalam campuran berbasis polimer dengan jumlah semen dalam mortar atau beton yang dimodifikasi polimer.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan mortar polimer menggunakan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Mortar polimer telah dilakukan uji fisis (absorpsi, porositas dan massa jenis) dan uji mekanis (kuat lentur). Mortar polimer PET dan EVA telah dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi serta waktu perendaman terhadap sifat fisis (absorpsi, porositas, dan massa jenis) dan sifat mekanis (kuat lentur) pada mortar polimer?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu perendaman terhadap struktur fasa, komposisi kimia, struktur mikro, dan gugus fungsi yang terbentuk pada mortar polimer?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi serta waktu perendaman terhadap sifat fisis (absorpsi, porositas, dan massa jenis) dan sifat mekanis (kuat lentur) pada mortar polimer.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu perendaman terhadap struktur fasa, komposisi kimia, struktur mikro, dan gugus fungsi yang terbentuk pada mortar polimer.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bahan pembuatan mortar polimer yang digunakan yaitu semen, pasir, air, *Ethylene Vinyk Acetate* (EVA), dan *Polyethylene Terephtalate* (PET).
2. Ukuran cetakan yang digunakan $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$.
3. Uji fisis yang digunakan yaitu absorpsi, porositas, dan massa jenis.

4. Uji mekanis yang dilakukan uji kuat lentur.
5. Karakterisasi yang digunakan yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Flourescence* (XRF), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi tentang penambahan polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan menggunakan metode perendaman dalam pembuatan mortar polimer.
2. Sebagai tambahan tentang limbah plastik yang dapat digunakan dalam pembuatan mortar polimer.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dalam bidang material.
4. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya yaitu mortar polimer.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen Portland

Berdasarkan SNI 2049 (2004), semen Portland merupakan semen hidrolisis yang diperoleh dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidrolis dan digiling bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambahkan dengan bahan tambahan lain.

Berdasarkan SNI 2049 (2004), semen Portland memiliki beberapa jenis dan penggunaannya yang berbeda yaitu:

1. Jenis I: Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II: Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III: Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
5. Jenis IV: Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
6. Jenis V: Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2 Mortar

Menurut SNI 2049 (2004), mortar merupakan campuran bahan-bahan yang terdiri dari semen, agregat halus dan air baik dalam keadaan dikeraskan maupun tidak dikeraskan. Mortar mempunyai kuat tekan yang bervariasi sesuai dengan bahan penyusunnya dan perbandingan antara bahan-bahan penyusunnya. Mortar semen mempunyai berat jenis antara 1800–2200 kg/m³. Untuk tujuan tertentu bahan tambah umumnya digunakan pada campuran beton dan mortar, bahan campur tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan ke dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Mortar memiliki kelebihan dalam hal kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton seperti untuk perbandingan volume campuran dengan nilai *fas* tertentu dan dapat mengalir, sehingga memudahkan dalam pengerjaan di lapangan bila dibandingkan dengan beton (Amir, 2010). Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Jenis bahan tambah yang paling utama (Nawi, 1990) adalah:

1. Bahan tambah pemercepat (*accelerating admixtures*)
2. Bahan tambah untuk *air-entraining* (*airentraining admixtures*).
3. Bahan tambah pengurang air dan pengontrol pengeringan.
4. Bahan tambah penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*).
5. Bahan tambah untuk mengurangi dan penghapus *slump*.
6. Polimer.
7. *Superplasticizer*.

2.3 Agregat

Pasir merupakan agregat halus yang bisa didapatkan dari alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat-alat pemecah batu. Pada umumnya penggunaan agregat halus seperti pasir mempunyai ukuran butir maksimum 4,75 mm (Qomaruddin, 2019). Berdasarkan SNI S 04 1998 F (1998) agregat harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, bersifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh dari cuaca, agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%.

2.4 Polimer

2.4.1 *Polyethylene Terephthalate (PET)*

Polyethylene Terephthalate atau PET dapat didefinisikan sebagai resin poliester yang dihasilkan dari kombinasi asam tereftalat dan etilen glikol atau dimetil tereftalat dan etilen glikol (Shahiron, 2018). PET menyumbang sekitar 18% dari semua polimer, yang diproduksi di seluruh dunia lebih dari 60% produksinya dapat digunakan untuk serat dan botol sintetis, yang membentuk sekitar 30% dari permintaan PET global (Sulyman *et al.*, 2016). PET umumnya digunakan untuk berbagai aplikasi seperti botol, cetakan, serat, dan lembaran karena kekuatan tarik dan benturan yang sangat baik, kejelasan, ketahanan kimia, stabilitas termal, dan kemampuan proses.

Secara umum, PET merupakan polimer buatan yang tidak dapat terurai di lingkungan alami dan menjadi polutan ketika dibuang setelah digunakan. Oleh karena itu, telah diperhatikan bahwa mendaur ulang polimer PET yang dibuang

adalah salah satu pendekatan terpenting untuk melindungi lingkungan dan mengurangi konsumsi sumber daya pada saat yang bersamaan (Sang Ho & Seong Hun, 2014).

2.4.2 Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

Ethylene Vinyl Acetate atau EVA merupakan kopolimer acak yang terdiri dari *Ethylene* dan *Vinyl Acetate* (VA). EVA biasanya digunakan sebagai perekat (Wittcoff *et al.*, 2004). EVA juga merupakan polimer yang dapat larut dalam air yang dapat digunakan sebagai pengubah semen (Mansur *et al.*, 2008). EVA dikenal karena memiliki fleksibilitas, elastisitas, tahan terhadap suhu rendah yang baik (Gupta, 2006). Mortar semen Portland yang dimodifikasi dengan menggunakan EVA adalah produk untuk pemasangan ubin keramik. Namun, EVA tersedia dengan fitur yang berbeda, termasuk jumlah masing-masing kopolimer, jenis koloid pelindung, dan sifat agen anti-pemblokiran (Mansur *et al.*, 2008).

2.5 Uji Sifat Fisis dan Sifat Mekanis

2.5.1 Absorpsi

Absorpsi atau daya serap air yaitu presentase dari berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air (Mulyono, 2014). Pada pembuatan mortar, terdapat air dan semen yang jika dicampur akan membentuk pasta semen. Fungsinya untuk mengisi pori-pori antara butir-butir agregat halus dan digunakan juga sebagai pengikat agregat halus dalam proses pengerasan (Ratnaningsih *et al.*, 2014). Meningkatnya nilai porositas mortar semen yang diakibatkan oleh kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen menyebabkan meningkatnya daya

serap air. Air yang menguap atau tinggal di dalam mortar semen yang akan menyebabkan semakin berkurangnya kekedapan air mortar semen (Ratnaningsih *et al.*, 2014). Menurut ASTM-C 642-06 (2006) absorpsi dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana A sebagai absorpsi (%), m_1 sebagai massa kering (g), m_2 sebagai massa setelah perendaman (g).

2.5.2 Porositas

Porositas merupakan suatu perbandingan volume ruang rongga-rongga pori yang kosong terhadap volume total keseluruhan dari suatu bahan. Pori dapat diketahui jika di dalam suatu ruang terdapat batuan yang di dalamnya selalu terisi oleh fluida atau cairan, seperti contoh air tawar/asin, udara atau gas bumi. Porositas akan bekerja dengan efektif jika bagian dari rongga pori-pori yang berada di dalam batuan itu saling berhubungan (Nurwidyanto *et al.*, 2006). Ruang pori pada beton biasanya terjadi karena adanya kesalahan dalam pelaksanaan pengecoran. Semakin besar tingkat kepadatan pada beton maka akan semakin besar mutu dari beton itu sendiri, sebaliknya jika semakin besar porositas beton, maka nilai kekuatan beton tersebut akan semakin kecil (Sutapa, 2011). Menurut ASTM C 642-06 (2006) porositas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

$$P = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana P sebagai porositas benda yang diuji (%), m_1 sebagai massa kering (g), m_2 sebagai massa setelah perendaman (g), m_3 sebagai massa di dalam air (g).

2.5.3 Massa Jenis

Massa jenis atau densitas dapat diartikan sebagai pengukuran massa sebuah bahan yang dibagi dengan setiap satuan volume (Laoli *et al.*, 2013). Semakin besar nilai massa jenis suatu benda maka akan semakin besar nilai massa setiap volumenya (Sitindaon & Harahap, 2014). Menurut ASTM-C 642-06 (2006) massa jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \times \rho_{air} \quad (2.3)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis (g/cm^3), m_1 sebagai massa kering (g), m_2 sebagai massa setelah perendaman (g), m_3 sebagai massa di dalam air (g).

2.5.4 Kuat Lentur

Uji kuat lentur merupakan kemampuan sebuah material yang diletakkan di antara dua perletakkan untuk menahan gaya lentur yang diberikan oleh beban dengan arah tegak lurus terhadap penampang sampe, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (Darmawi & Mahyudin, 2013). Menurut SNI 03-4431 (1997) kuat lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4)

$$\sigma_{bending} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.4)$$

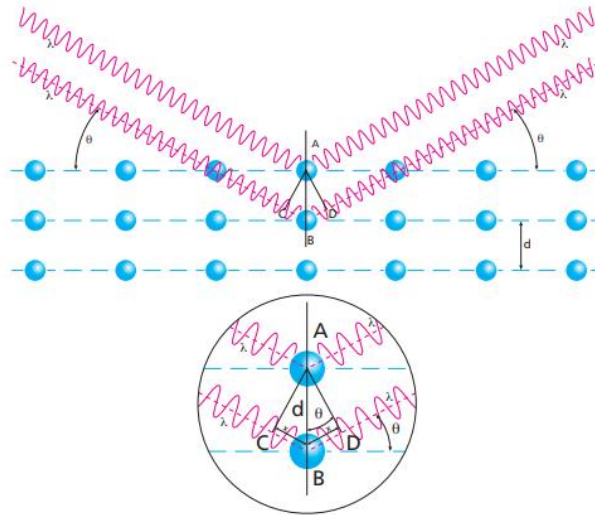
Dimana $\sigma_{bending}$ sebagai kuat lentur (MPa), F sebagai beban pada waktu lentur (N), L sebagai Jarak dari perletakan ke gaya (mm), b sebagai lebar penampang balok (mm), d sebagai tinggi penampang balok (mm).

2.6 Karakterisasi

2.6.1 *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction atau XRD merupakan analisis non-destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan berbagai bentuk- bentuk kristal, yang dapat disebut dengan fasa. Identifikasi XRD diperoleh dengan membandingkan pola difraksi sinar-X. Sinar-X diproduksi pada titik tumbukan dan memancar ke segala arah, elektron-elektron yang berhenti dalam satu tumbukan akan menimbulkan foton energi maksimum, yaitu, sinar-X dengan panjang gelombang minimum (Cullity, 1959). Penggunaan XRD dapat digunakan untuk menentukan fasa yang berada di dalam bahan dan konsentrasi bahan-bahan penyusunnya. XRD juga dapat mengukur macam-macam keacakan dan penyimpangan kristal serta karakterisasi material kristal. XRD juga dapat mengidentifikasi mineral-mineral yang berbutir halus (Wicita, 2016).

Menurut Mukti (2012) ketika sinar-X monokromatik datang pada permukaan suatu kristal, sinar tersebut akan dipantulkan. Akan tetapi, pemantulan terjadi hanya ketika sudut datang mempunyai harga tertentu. Besarnya sudut datang bergantung dari panjang gelombang dan konstanta kisi kristal. Sehingga peristiwa tersebut dapat digunakan sebagai salah satu model untuk menjelaskan pemantulan dan interferensi. Setiap kumpulan bidang kisi mempunyai sudut orientasi tertentu sehingga memenuhi difraksi sinar-X hukum Bragg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema difraksi sinar-X hukum Bragg (Brouwer, 2006).

Berdasarkan Gambar 2.1. diperoleh sekumpulan bidang kristal dengan jarak periodik d diantaranya, diperlukan sudut difraksi θ tertentu untuk menghasilkan interferensi konstruktif berkas hamburan. Rumus hukum Bragg dapat ditunjukkan pada Persamaan (2.5).

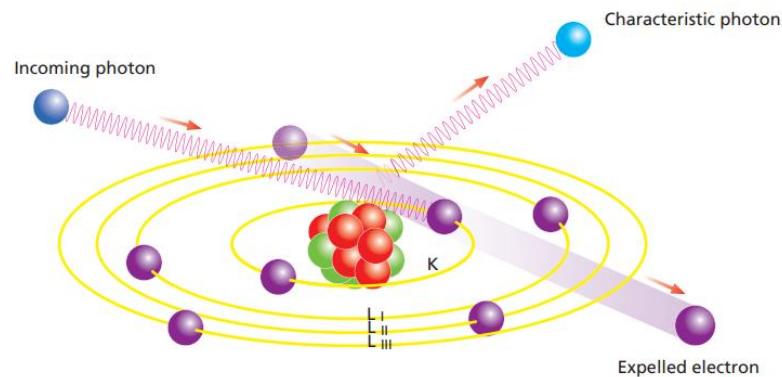
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.5)$$

Dimana $n = 1$ adalah pemantulan orde pertama ialah beda lintasan sinar-X yang tersebar sama dengan satu panjang gelombang, dan $n = 2$ adalah pemantulan orde kedua ialah beda lintasan sinar-X yang tersebar sama dengan 2 kali panjang gelombang atau pantulan oleh sekumpulan bidang kristal dengan jarak setengah (Cullity, 1959).

2.6.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence atau XRF merupakan metode untuk menganalisis unsur suatu bahan atau kemampuan menganalisa detail yang sangat kecil tanpa gangguan dari bahan-bahan di sekitarnya. Bahan yang bisa dianalisa dapat berupa bentuk padat,

cairan, bubuk. XRF juga dapat digunakan untuk menentukan suatu ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis (Brouwer, 2006). XRF memiliki prinsip kerja yang dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.2



Gambar 2.2. Prinsip kerja XRF (Brouwer, 2006).

Pada Gambar 2.2 ketika material berinteraksi dengan cahaya yang memiliki energi tinggi (sinar-X), maka dapat menyebabkan terpentalnya elektron yang berada pada tingkat energi paling rendah pada suatu atom. Ketika material yang tereksitasi dengan radiasi berenergi tinggi, panjang gelombang pendek (misalnya sinar-X), bahan tersebut dapat terionisasi. Jika energi radiasi cukup untuk melepaskan elektron pada kulit terdalam, atom menjadi tidak stabil dan elektron kulit luar menggantikan elektron dalam yang hilang. Radiasi yang dipancarkan memiliki energi yang lebih rendah daripada sinar-X yang datang dan disebut sebagai radiasi fluoresen. Perbedaan energi antara kulit elektron diketahui dan tetap, sehingga radiasi yang dipancarkan selalu memiliki energi karakteristik, dan sinar-X fluoresen yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendeteksi unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel (Jenkins, 1999).

2.6.3 *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*

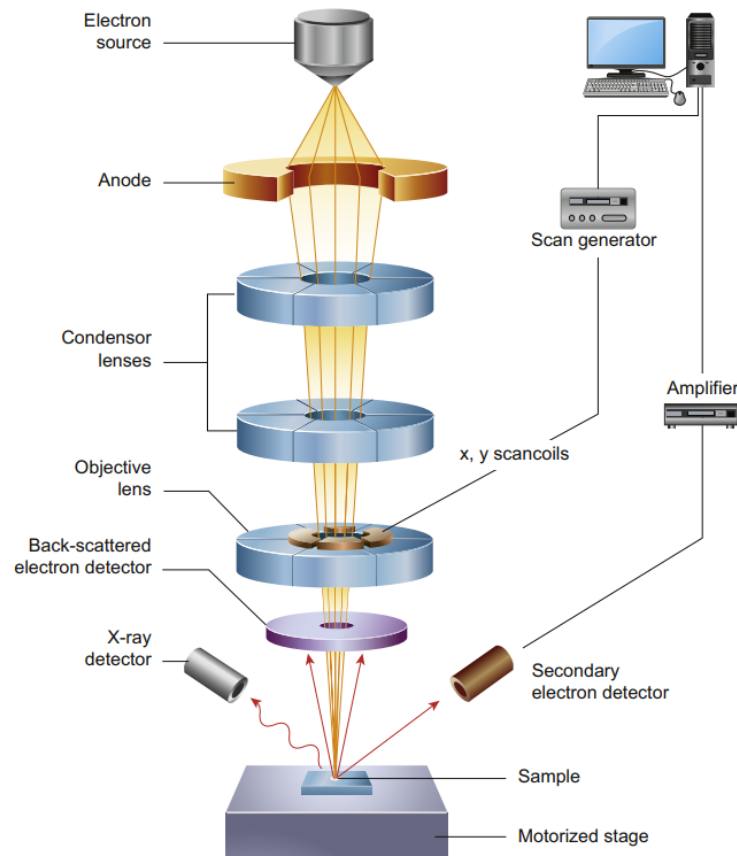
Scanning Electron Microscopy atau SEM mengalami perkembangan pada tahun 1930 hingga 1940-an yang merupakan kemajuan signifikan dalam pemahaman tentang *micro structure*, komposisi, dan karakteristik bahan. Karena panjang gelombang elektron yang pendek dan kemampuannya untuk difokuskan dengan menggunakan lensa elektrostatik dan elektromagnetik, SEM mampu menggabungkan pencitraan resolusi tinggi bersama dengan kedalaman bidang yang luas (Stokes, 2008). SEM merupakan suatu teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan ukuran butir nanomaterial (Stokes, 2008).

Menurut Masta (2020) prinsip kerja SEM adalah:

1. Berkas elektron yang berasal dari penembak elektron difokuskan dengan menggunakan lensa elektromagnetik, yang kemudian akan menghasilkan elektron primer yang keluar dari lensa akhir (*final lens*).
2. Pada saat elektron primer melakukan penetrasi ke dalam permukaan sampel dan ditemukan interaksi antara elektron primer dengan atom-atom penyusun sampel.
3. Hasil dari interaksi antar elektron-sampel menghasilkan 2 jenis interaksi yaitu tumbukan elastis dan nonelastis yang menghasilkan beberapa spektrum elektron dan foton.
4. Pada saat elektron dan foton teremisi, maka akan terdeteksi oleh detektor. Selanjutnya akan diteruskan ke amplifier untuk dikuatkan.

5. Detektor mengolah sinyal yang diperoleh dan mengubahnya menjadi *image* dan data kuantitatif, lalu *image* dan data akan ditampilkan di *display*.
6. Data hasil pemindaian tersebut disimpan dalam bentuk digital.

Prinsip kerja dari SEM dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Prinsip kerja SEM (Inkson, 2016).

Energy Dispersive Spectroscopy atau EDS adalah sebuah teknik untuk menganalisis sampel secara kualitatif atau hampir semi kualitatif untuk menentukan komposisi elemen dari sebuah area yang ingin diidentifikasi dan diobservasi. Sehingga, pada penggunaan SEM-EDS dapat mendeteksi komponen atau unsur yang terdapat pada sampel (Masta, 2020).

2.6.4 *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra-Red atau FTIR merupakan teknik yang berguna dalam proses identifikasi gugus fungsi dalam suatu bahan (gas, cair, padat) menggunakan sinar radiasi inframerah. Pada prosedur analisis FTIR, sampel dikenai kontak dengan spektrum infra merah. Spektrum infra merah kemudian akan memberikan informasi tentang pergeseran frekuensi yang berdampak pada getaran atom molekul dalam sampel. Sehingga, menghasilkan penyerapan atau transmisi energi tertentu. Hal ini membuat FTIR dapat berguna untuk menentukan getaran molekul tertentu yang terkandung di dalam sampel (Clyde & Selbin, 1985). Menurut Nicolet (2001), prinsip kerja dari FTIR yaitu:

1. Sumber

Energi infra merah akan ditransmisikan dari sumber benda hitam, yang akan melewati *aperture* yang mengontrol jumlah energi yang diberikan pada sampel hingga pada akhirnya sampai ke detektor.

2. Interferometer

Sinar yang memasuki interferometer dimana tempat "pengkodean spektral" berlangsung. Sinyal interferogram yang dihasilkan kemudian keluar dari interferometer.

3. Sampel

Sinar memasuki kompartemen sampel dimana ia ditransmisikan melalui atau dipantulkan dari permukaan sampel, tergantung pada jenis analisis yang dicapai. Di sinilah frekuensi energi tertentu, yang merupakan karakteristik unik dari sampel akan diserap.

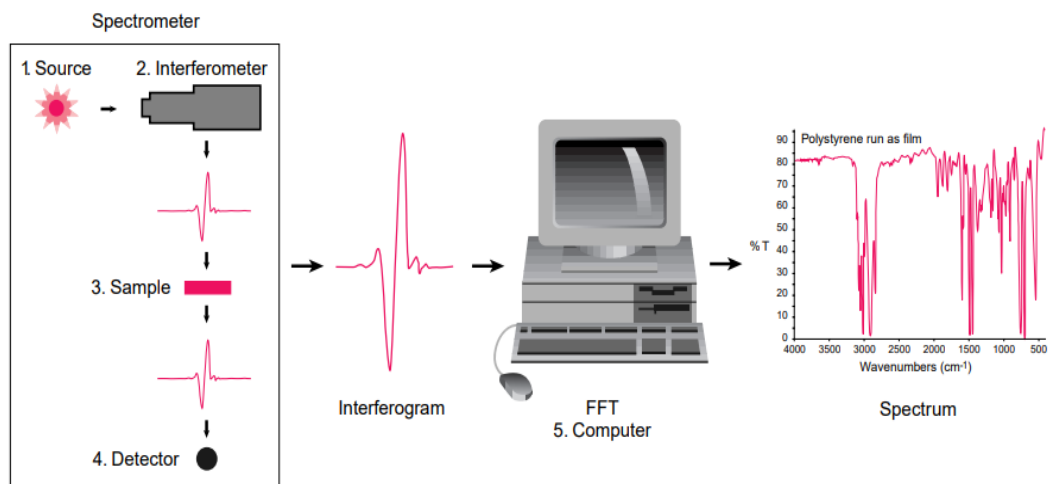
4. Detektor

Sinar akhirnya lolos ke detektor untuk pengukuran akhir. Detektor yang digunakan dirancang khusus untuk mengukur sinyal interferogram khusus.

5. Komputer

Sinyal yang diukur didigitalkan dan dikirim ke komputer tempat transformasi Fourier terjadi. Spektrum inframerah akhir kemudian disajikan kepada pengguna untuk interpretasi dan manipulasi lebih lanjut.

Komponen dari FTIR dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Komponen FTIR (Nicolet, 2001).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 sampai dengan bulan Juni 2024. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Non-Logam, PRTP-BRIN yang berada di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya yaitu: timbangan digital, gelas ukur 100 ml, *mesh*, baskom, cetakan balok ukuran $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$, mesin *press* hidrolik, mesin uji kuat lentur *Universal Testing Machine (UTM) made in Thailand HT-2402 capacity 50 kN*, *X-Ray Diffraction (XRD) PANalytical Type X'Pert Pro*, *X-Ray Fluorescence (XRF) PANalytical Type minipal 4*, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) Quattro S*, dan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* menggunakan mesin FTIR Bruker type INVENIO.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen Portland Jenis PCC yang berasal dari Indonesia, pasir, polimer EVA Taisox Grade 7350m yang berasal dari Taiwan, dan polimer PET dari cacahan botol minuman, dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan pada penelitian ini meliputi preparasi dan karakterisasi bahan, pembuatan mortar polimer, pengujian mortar polimer, dan karakterisasi mortar polimer.

3.3.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan

Tahapan preparasi dan karakterisasi bahan pada penelitian adalah:

- Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini seperti semen Portland, pasir, polimer EVA, dan polimer PET ditimbang dengan variasi komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.
- Pasir diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh* sehingga didapatkan pasir halus.
- Polimer PET yang dipotong dengan ukuran 20×2 mm².
- Polimer EVA dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C dan dihaluskan menggunakan mortar dan alu.
- Bahan-bahan yang sudah disiapkan seperti pasir, polimer EVA, polimer PET di karakterisasi menggunakan XRD, XRF, SEM-EDS, dan FTIR.

Tabel 3.1. Variasi komposisi bahan.

Kode Sampel	Komposisi Bahan (%)				Total
	Semen	EVA	Pasir	PET	
0EVA/0PET	20	0	80	0	100
2EVA/0,2PET	19,6	0,4	79,84	0,16	100
4EVA/0,5PET	19,2	0,8	79,6	0,4	100
6EVA/0,8PET	18,8	1,2	79,36	0,64	100
8EVA/1,1PET	18,4	1,6	79,12	0,88	100
10EVA/1,4PET	18	2	78,88	1,12	100

Untuk memudahkan penyajian data, setiap sampel akan diberi kode dengan format 0PET/0EVA menunjukkan tidak adanya PET dan EVA, 2EVA/0,2PET menunjukkan penggunaan 2% EVA dan 0,2% PET, 4EVA/0,5PET menunjukkan

penggunaan 4% EVA dan 0,5% PET, 6EVA/0,8PET menunjukkan 6% EVA dan 0,8% PET, 8EVA/1,1 PET menunjukkan 8% EVA dan 1,1% PET, dan 10EVA/1,4PET menunjukkan 10% EVA dan 1,4% PET.

3.3.2 Pembuatan Mortar Polimer

Tahapan pada pembuatan mortar polimer adalah:

1. Bahan baku mortar polimer disiapkan seperti semen Portland, pasir, polimer EVA, polimer PET, dan air, dan ditimbang sesuai dengan variasi komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.
2. Bahan baku mortar polimer dimasukkan ke dalam wadah.
3. Bahan baku mortar polimer dicampurkan dan diaduk hingga merata.
4. Campuran bahan baku mortar polimer dimasukkan ke dalam cetakan balok berukuran $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$.
5. Cetakan yang sudah penuh dipadatkan dengan mesin *press* hidrolik dengan tekanan 2 ton.
6. Mortar polimer yang telah jadi dilepaskan dari cetakan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
7. Mortar polimer direndam di dalam air dengan variasi waktu perendaman yang berbeda-beda yaitu 7 hari dan 14 hari.

3.3.3 Pengujian Mortar Polimer

Pengujian pada sampel mortar polimer terdiri dari uji fisis dan uji mekanis.

A. Uji Fisis

Uji fisis pada mortar polimer terdiri dari absorpsi, porositas dan massa jenis.

1. Absorpsi

Langkah-langkah uji absorpsi pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer yang sudah direndam, kemudian diangkat dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- b. Mortar polimer dipanaskan menggunakan oven selama 3 jam dengan suhu 110°C .
- c. Mortar polimer ditimbang menggunakan timbangan digital, dan didapatkan hasil lalu di catat (m_1).
- d. Mortar polimer direndam kembali selama 24 jam, lalu diangkat dan usap-usap sisi permukaan mortar yang masih terdapat air menggunakan kain. Kemudian ditimbang dan didapatkan hasilnya (m_2).
- e. Nilai absorpsi didapatkan setelah dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

2. Porositas

Langkah-langkah uji porositas pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer yang sudah direndam, kemudian diangkat dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- b. Mortar polimer dipanaskan menggunakan oven selama 3 jam dengan suhu 110°C , kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital, dan didapatkan hasil lalu di catat (m_1).
- c. Mortar polimer direndam kembali selama 24 jam, lalu diangkat dan usap-usap sisi permukaan mortar yang masih terdapat air menggunakan kain, kemudian ditimbang dan didapatkan hasilnya (m_2).
- d. Mortar polimer direndam kembali dan ditimbang dalam keadaan gantung di dalam air menggunakan timbangan digital lalu didapatkan hasil (m_3).

- e. Nilai porositas didapatkan setelah dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

3. Massa Jenis

Langkah-langkah uji massa jenis pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer yang sudah direndam, kemudian diangkat dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- b. Mortar polimer dipanaskan menggunakan oven selama 3 jam dengan suhu 110°C , kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital, dan didapatkan hasil lalu di catat (m_1).
- c. Mortar polimer direndam kembali selama 24 jam, lalu diangkat dan usap-usap sisi permukaan mortar yang masih terdapat air menggunakan kain, kemudian ditimbang dan didapatkan hasilnya (m_2).
- d. Mortar polimer direndam kembali dan ditimbang dalam keadaan gantung di dalam air menggunakan timbangan digital lalu didapatkan hasil (m_3).
- e. Nilai massa jenis didapatkan setelah dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

B. Uji Mekanis

1. Kuat Lentur

Langkah-langkah pengujian kuat lentur adalah:

- a. Mortar polimer yang telah diangkat dari waktu perendaman 7 hari dan 14 hari disiapkan
- b. Mortar polimer didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang,
- c. Mortar polimer diletakkan secara horizontal pada mesin uji kuat lentur.
- d. Mortar polimer diuji apabila sudah patah atau *crack*, catat hasil beban tekan maksimum yang diterima oleh benda uji (P).

e. Nilai kuat lentur dapat dihitung dengan Persamaan (2.4).

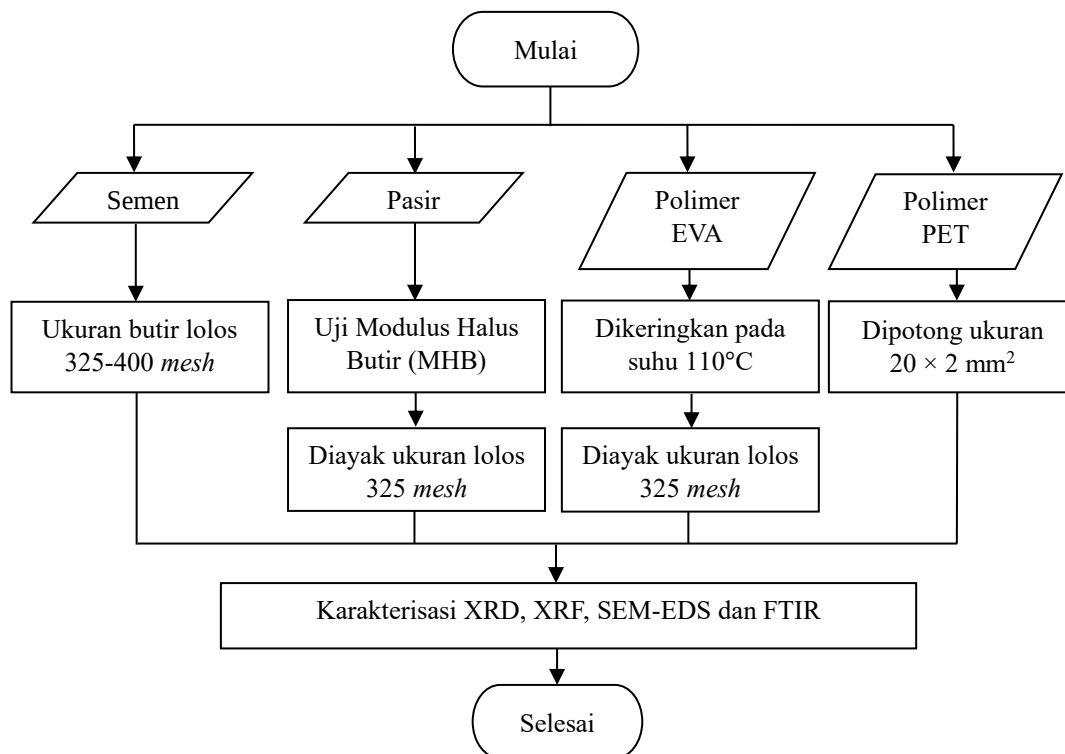
3.3.4 Karakterisasi Mortar Polimer

Karakterisasi yang dilakukan pada mortar polimer yaitu yang memiliki nilai kuat lentur tertinggi, karakterisasi yang digunakan yaitu: *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

3.4 Diagram Alir

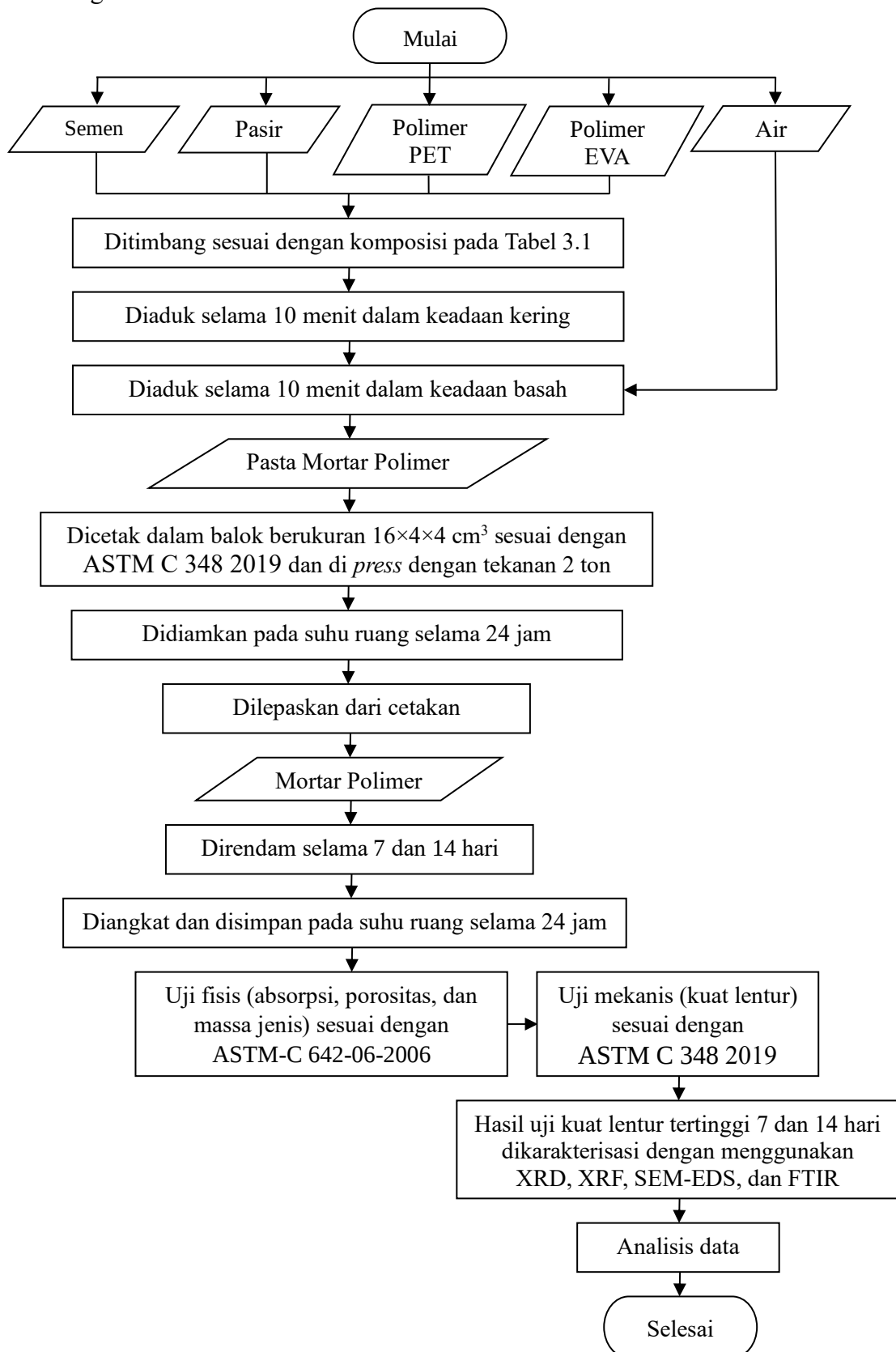
Diagram alir pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1, Gambar 3.2.

a. Preparasi dan Karakterisasi Bahan Baku.



Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan baku.

b. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil pengujian fisis dan mekanis mortar polimer menunjukkan adanya pengaruh antara variasi komposisi dan waktu perendaman. Nilai absorpsi dan nilai porositas mengalami kenaikan ketika variasi komposisi meningkat dan mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu perendaman. Sedangkan, untuk nilai massa jenis mengalami penurunan ketika variasi komposisi meningkat dan mengalami kenaikan seiring lamanya waktu perendaman. Untuk kuat lentur mengalami kenaikan ketika variasi komposisi meningkat dan bertambahnya waktu perendaman.
2. Hasil struktur fasa dari karakterisasi XRD terdapat fase dominan yang terbentuk dalam mortar polimer yaitu *Calcite* atau *Calcium Carbonat* (CaCO_3), *Quartz* atau *Silicon Oxide* (SiO_2), *Corundum* atau *Alumunium Oxide* (Al_2O_3), dan *Hematite* atau Iron Oxide (Fe_2O_3).
3. Hasil komposisi kimia dari karakterisasi XRF komposisi kimia yang mendominasi pada mortar polimer dengan waktu perendaman 7 dan 14 hari terdapat pada CaO dan SiO_2
4. Hasil struktur mikro dari karakterisasi SEM-EDS pada mortar polimer dengan waktu perendaman 7 hari dan 14 hari menunjukkan unsur yang mendominasi

pada mortar polimer yaitu Ca dan Si yang ditandai dengan Ca berwarna kuning dan Si berwarna merah muda.

5. Hasil gugus fungsi dari karakterisasi FTIR pada mortar polimer dengan waktu perendaman 7 hari dan 14 hari menunjukkan gugus fungsi O-H, C=O, C-C, C-H, Si-O-Si, dan Si-O.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya untuk lebih banyak dalam memvariasikan umur perendaman pada mortar polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Allahverdi, A., Kianpur, K., & Moghbeli, M. R. 2010. Effect of polyvinyl ethylene on flexural strength and some important physical properties of Portland cement paste. *Iran. J. Mater. Sci. Eng.* Vol. 7, No. 1, Hal. 1-6.
- Alpri, W., & Suhendro, T. 2024. Pengaruh nano alumina terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. In *Prosiding University Research Colloquium*. Vol.1, No. 1, Hal. 1-9.
- Amir, F. 2010. Pengujian mortar mutu tinggi sebagai bahan perkuatan beton. *MEKTEK*. Vol. 12, No. 2, Hal. 14-25.
- Arif, J., Husni, H. R. & Sebayang, S. 2015. Pengaruh resin epoksi terhadap mortar polimer ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik belah, daya serap air dan scanning electron microscope. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. Vol. 3, No. 3, Hal. 361-370.
- ASTM C 642 06. 2006. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM Internasional: West Conshohocken. PA. USA.
- ASTM C109. 2016. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. ASTM International: West Conshohocken, PA. USA,
- ASTM C348-19. 2019. *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*. ASTM International: West Conshohocken, PA. USA.
- Bartoli, J. A. & Bartoli, J. J. 1965. Mortar Compositions. *US Patent*. Vol. 2, No. 82, Hal. 93-106.
- Bediako, M., & Amankwah, E. O. 2015. Analysis of chemical composition of Portland cement in Ghana: A key to understand the behavior of cement. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2015, No.1, Hal. 1-5.
- Benosman, A. S., Mouli, M., Taibi, H., Belbachir, M., Senhadji, Y., Behlouli, I., & Houivet, D. 2012. Mineralogical study of polymer-mortar composites with

PET polymer by means of spectroscopic analyses. Vol. 1, No. 3, Hal.139, 150.

Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF*. Netherlands: PANalytical BV.

Cheng, D., Li, X., Gao, X., Fan, X., Zhao, R., & Yang, T. 2022. Influence of polymer latexes on the properties of high performance cement-based materials. *Crystals*. Vol. 12, No. 6, Hal. 789.

Clyde, D. M. & Selbin, J. 1985. *Theoretical Inorganic Chemistry 2nd Edition*. New Delhi: East West Press.

Cullity, B. D. 1959. *Elements of X-Ray Diffraction*. University of Notre Dame: Associate Proffesor of Metalurgy.

Darmawi, M. & Mahyudin, A. 2013. Pengaruh penambahan serat ijuk terhadap sifat fisis dan mekanik papan semen-gypsum. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 2, No. 1, Hal. 1-11.

Foti, D. & Lerna, M. 2020. New mortar mixes with chemically depolymerized waste PET aggregates. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol 16, No. 8, Hal.1-9.

Fowler, D. W. 1999. Polymers in concrete: A vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 21, No. 5-6, Hal. 449-452.

Frigione, M. 2010. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management*. Vol. 30, No.6, Hal. 1101-1106.

Ge, Z., Sun, R., Zhang, K., Gao, Z. & Li, P. 2013. Physical and mechanical properties of mortar using waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*. Vol. 44, No. 4, Hal. 81-86.

Gencel, O., Ozel, C., Filiz, M., & Koksall, F. 2012. The relations between mechanical strengths and abrasive wear of concrete incorporating the hematite aggregate. *International Journal of Pavement Engineering*. Vol. 13, No. 3, Hal. 235-243.

Ghally, E. I., Khalil, H. F., & Bakr, M. F. 2022. Evaluation the chemical and mechanical properties of EVA modified concrete. *Egyptian Journal of Chemistry*. Vol. 65, No. 4, Hal. 403-410.

Golestaneh, M., Amini, G., Najafpour, G. D., & Beygi, M. A. 2010. Evaluation of mechanical strength of epoxy polymer concrete with silica powder as filler. *World Applied Sciences Journal*. Vol. 9, No. 2, Hal. 216-220.

Gupta., A. K. 2006. *The Complete Technology Book On Plastic Films, Hdpe And Thermoset Plastics*. India: NIIR Project Consultancy Services.

- Hughes, T. L., Methven, C. M., Jones, T. G., Pelham, S. E., Fletcher, P., & Hall, C. 1995. Determining cement composition by Fourier transform infrared spectroscopy. *Advanced Cement Based Materials*. Vol. 2, No. 3, Hal. 91-104.
- Inkson, B. J. 2016. Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. *In Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods*. Hal. 17-43.
- Jenkins, R.. 1999. *X-ray fluorescence spectrometry: second edition*. New York: WileyInterscience.
- Kim, M. O. 2020. Influence of polymer types on the mechanical properties of polymer-modified cement mortars. *Applied Sciences*. Vol. 10, No. 3, Hal. 1061.
- Kuzielová, E., Slaný, M., Žemlička, M., Másilko, J., & Palou, M. T. 2021. Phase composition of silica fume—portland cement systems formed under hydrothermal curing evaluated by FTIR, XRD, and TGA. *Materials*. Vol. 14, No. 11, Hal. 2786.
- Laoli, M. E., Kaseke, O. H., Manopo, M. R. E., & Jansen, F. 2013. Kajian penyebab perbedaan nilai massa jenis maksimum campuran beraspal panas yang dihitung berdasarkan metode marshal dengan yang dicari langsung berdasarkan aashto t209. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1, Hal. 128-132.
- Mansur, A. A., do Nascimento, O. L. & Mansur, H. S. 2008. Characterization of copolymers poly (ethylene-co-vinyl acetate) and evaluation of their effects in the modified mortars properties. In *Xth World Congress on Ceramic Tile Quality, Castellón, Spain*. Hal. 10-13.
- Masta, N. 2020. Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy. Universitas Kristen Indonesia. Jakarta.
- McDonald, L. J., Carballo-Meilan, M. A., Chacartegui, R., & Afzal, W. 2022. The physicochemical properties of Portland cement blended with calcium carbonate with different morphologies as a supplementary cementitious material. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 3, No.338, Hal.130309.
- Meftah, N., & Mahboub, M. S. 2020. Spectroscopic characterizations of sand dunes minerals of El-Oued (Northeast Algerian Sahara) by FTIR, XRF and XRD analyses. *Silicon*. Vol. 12, No. 1, Hal. 147-153.
- Mulyono, T. 2014. Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi.

- Mukti, K. 2012. *Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Diffractometer). Makalah*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi XRD dan SEM pada material nanopartikel serta peran material nanopartikel dalam drug delivery system. *Pharma Xplore: Jurnal Sains dan Ilmu Farmasi*. Vol. 2, No. 3, Hal. 25–36.
- Nadia, N., & Fauzi, A. 2011. Pengaruh kadar silika pada agregat halus campuran beton terhadap peningkatan kuat tekan. *Konstruksia*. Vol. 3, No. 1, Hal. 1-9.
- Nawi, E. G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar (diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono)*. Bandung: Eresco.
- Nicolet, T. 2001. *Introduction to Fourier transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation.
- Nurwidyanto, M. I., Yustiana, M. & Widada, S. 2006. Pengaruh ukuran butir terhadap porositas dan permeabilitas pada batupasir. *Berkala Fisika*. Vol. 9, No. 4, Hal. 191-195.
- Nóvoa, P. J. R. O., Ribeiro, M. C. S., Ferreira, A. J. M., & Marques, A. T. 2004. Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates. *Composites science and technology*. Vol. 64, No. 13-14, Hal. 2197-2205.
- Ohama, Y. 1995. *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars: Properties and Process Technology*. New Jersey: Noyes Publications.
- Ohama, Y. 1998. Polymer based admixtures. *Cement and Concrete Composite*. Vol. 20, No. 2-3, Hal. 189-212.
- Ohama, Y. 2008. Polymer concrete. *In Developments in the formulation and reinforcement of concrete*. Woodhead Publishing Limited.
- Pitaloka, A. B., Saputra, A. H. & Nasikin, M. 2013. Water hyacinth for superabsorbent polymer material. *World Applied Sciences Journal*. Vol. 22, No. 5, Hal. 747-754.
- Prabha D. V. M., & George, S. Shear Behaviour of Reinforced Concrete Using PET Bottle Fibre. *International Journal of New Technology and Research*. Vol 3, No. 5, Hal. 263288.
- Prasad, S. G., De, A., & De, U. 2011. Structural and optical investigations of radiation damage in transparent PET polymer films. *International Journal of Spectroscopy*. Vol. 2011, No. 1, Hal. 1-7.

- Primasasti, D. K. 2010. *Tinjauan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Repair Mortar dengan Bahan Tambah Polymer* (Skripsi). Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta. Hal. 68.
- Popova, A., Geoffroy, G., Renou-Gonnord, M. F., Faucon, P., & Gartner, E. 2000. Interactions between polymeric dispersants and calcium silicate hydrates. *Journal of the American Ceramic Society*. Vol. 83, No. 10, Hal. 2556-2560. PRESS.
- Ramli, M., Tabassi, A. A., & Hoe, K. W. 2013. Porosity, pore structure and water absorption of polymer-modified mortars: An experimental study under different curing conditions. *Composites Part B: Engineering*. Vol. 55, No. 13, Hal. 221-233.
- Ratnaningsih, A., Badrianai, R. E. & Arifin, S. 2014. Pengaruh penambahan sekam padi pada campuran beton ringan non struktural terhadap nilai penyerapan dan nilai kuat tekan beton campuran semen, kulit kopi, dan fly ash. *Simposium Nasional RAPI XXI*. Jember: Univerisitas Jember.
- Rebeiz, K. S. 1996. Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. *Construction and Building Materials*. Vol. 10, No.3, Hal. 215-220.
- Sang Ho, P. & Seong Hun, K. 2014. Poly(ethylene terephthalate) recycling for high value added textiles. *Fashion and Textiles*. Vol. 1, No. 1, Hal. 1–17.
- Shahiron, S. 2018. Concrete incorporated with optimum percentages of recycled polyethylene terephthalate (PET) bottle fiber. *International Journal of Integrated Engineering*. Vol. 10, No. 1, Hal. 1-10.
- Sitindaon, D. & Harahap, M. H. 2014. Pengaruh Penambahan Styrofoam Pada Pembuatan Beton Ringan Menggunakan Pasir Merah Labuhan Batu Selatan. *Jurnal Einstein*. Vol. 2, No. 3, Hal. 14-19.
- SNI 03-4431. 1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI S-04-1989-F. 1998. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 15 7064. 2004. *Semen Portland Komposssit*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Silva, D. A. D., Roman, H. R., & Gleize, P. J. P. 2002. Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement. *Cement and concrete research*. Vol 32, No. 9, Hal. 1383-1390.

- Stokes, D. J. 2008. *Principles and Practice of Variable Pressure/Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM)*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Suharto, S., Amin, M., Al Muttaqii, M., Marjunus, R., Fitri, N., & Suhartono, S. 2021. Analysis of fine glass waste addition as a filler material for sand substitution on the properties of mortar products. *Teknik*. Vol. 21, No. 1, Hal. 309-315.
- Sulyman, M., Haponiuk, J., & Formela, K. 2016. Utilization of recycled polyethylene terephthalate (PET) in engineering materials: a review. *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol. 7, No. 2, Hal. 100.
- Sutapa, A., A., G. 2011. Porositas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan agregat kasar batu pecah pasca dibakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 15, No. 1. Hal.1-9.
- Tararushkin, E. V., Shchelokova, T. N., & Kudryavtseva, V. D. 2020. A study of strength fluctuations of Portland cement by FTIR spectroscopy. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 919, No. 2, Hal. 022017.
- Varas, M. J., De Buergo, M. A., & Fort, R. 2005. Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification. *Cement and Concrete Research*. Vol. 35, No. 11, Hal. 2055-2065.
- Wicita, P. S. 2016. *X-ray diffraction (XRD)-kristalografi sinar-x*. Makalah. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Wittcoff, H. A., Reuben, B. G. & Plotkin, J. S. 2004. *Industrial organic chemicals: Second Edition*. John Wiley & Sons.
- Won, J. P., Jang, C. I., Lee, S. W., Lee, S. J. & Kim, H. Y. 2010. Long-term performance of recycled PET fibre-reinforced cement composites. *Construction and Building Materials*. Vol. 24, No. 5, Hal. 660-665.
- Yeon, K. S., Kim, K. K., Yeon, J., & Lee, H. J. 2019. Compressive and flexural strengths of EVA-modified mortars for 3D additive construction. *Materials*. Vol. 12, No. 16, Hal. 2600.
- Zhan, B. J., Xuan, D. X., Poon, C. S., Shi, C. J., & Kou, S. C. 2018. Characterization of C–S–H formed in coupled CO₂–water cured Portland cement pastes. *Materials and Structures*. Vol. 51, No. 92, Hal. 1-15.