

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

(Skripsi)

Oleh

HERFIRA SALSABILA PUTRI

2057041004



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

ABSTRAK

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

Oleh

Herfira Salsabila Putri

Mortar merupakan salah satu material bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, agregat halus (pasir), dan air. Mortar memiliki kelemahan yaitu mudah terkikis sehingga menyebabkan keretakan pada bidang konstruksi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mortar yang dimodifikasi polimer agar dapat meningkatkan kinerja perbaikan pada mortar. Pada penelitian ini menggunakan polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) sebagai bahan substitusi semen, polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan substitusi pasir, dan air. Variasi komposisi polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 2%; 4%; 6%; 8%; 10% dan variasi komposisi polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebesar 0,2%; 0,5%; 0,8%; 1,1%; 1,4%. Seluruh bahan baku mortar polimer dilakukan karakterisasi menggunakan XRF, XRD, SEM-EDS, dan FTIR. Seluruh bahan baku dicampur dan dicetak dengan cetakan kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Sampel mortar polimer dilakukan perendaman selama 7 hari dan 14 hari. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai kuat tekan dari mortar polimer menurun seiring dengan penambahan variasi komposisi polimer. Nilai kuat tekan yang optimum diperoleh pada mortar polimer dengan waktu perendaman 14 hari. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan senyawa paling dominan pada mortar polimer ialah CaO dan SiO₂ yaitu sebesar 38,65% dan 30,34% dengan fasa dominan berupa *calcite*, *quartz*, *corundum*, dan *hematite*. Hasil analisis SEM-EDS menunjukkan unsur yang tersebar secara merata pada mortar polimer yaitu adalah unsur Ca dan Si. Serta hasil karakterisasi FTIR pada mortar polimer menunjukkan adanya gugus fungsi yang terbentuk yaitu C=C, C-H, Si-O, dan O-H.

Kata kunci: mortar, polimer, uji mekanis, uji fisis, karakterisasi.

ABSTRACT

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

By

Herfira Salsabila Putri

Mortar is produced by mixing cement, fine aggregate (sand), and water into a building material. Mortar is susceptible to erosion, which can lead to cracks in construction surfaces. Therefore, research on polymer-modified mortar is conducted to improve the performance of mortar repairs. In this research, Ethylene Vinyl Acetate (EVA) polymer as a substitute for cement, Polyethylene Terephthalate (PET) polymer as a substitute for sand, and water. The variation of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) polymer composition used in this research is 2% ; 4%; 6%; 8%; 10%, and the variation of Polyethylene Terephthalate (PET) polymer composition is 0,2%; 0,5%; 0,8%; 1,1%; 1,4%. All raw materials of the polymer mortar are characterized using XRF, XRD, SEM-EDS, and FTIR. All raw materials are mixed and cast with a $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Subsequently, polymer mortar samples are immersed for 7 and 14 days. Based on the research results, the compressive strength of polymer mortar decreases with the addition of polymer composition variations. The optimum compressive strength is obtained in polymer mortar with 14 day immersion time. XRF characterization results show that the most dominant compounds in polymer mortar are CaO and SiO₂, at 38,65% and 30,34% respectively, with dominant phases consisting of calcite, quartz, corundum and hematite. SEM-EDS analysis results indicate the morphology and evenly distributed elements in polymer mortar, namely Ca and Si. The FTIR characterization results for the polymer mortar indicate the formation of functional groups C=C, C-H, Si-O, and O-H.

Keywords: mortar, polymer, mechanical testing, physical testing, characterization.

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

Oleh

HERFIRA SALSABILA PUTRI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

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



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

Judul Skripsi : **PEMBUATAN MORTAR POLIMER
MENGUNAKAN POLIMER
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)
DAN ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA)
DENGAN METODE PERENDAMAN SELAMA
7 DAN 14 HARI**

Nama Mahasiswa : **Herfira Salsabila Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057041004

Program Studi : Fisika

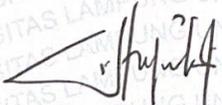
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

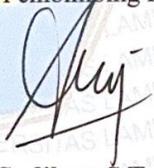
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II


Suprihatin, S.Si., M.Si.

NIP. 197304141997022001


Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.

NIP. 19820327015021002

2. Ketua Jurusan Fisika


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

NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

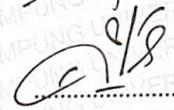
Ketua : Suprihatin, S.Si., M.Si.



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



Penguji Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Ujian Skripsi: 25 Juni 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain. Sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis yang dicantumkan 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, 25 Juni 2024

Penulis,



Herfira Salsabila Putri

NPM. 2057041004

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Herfira Salsabila Putri, dilahirkan pada tanggal 26 Agustus 2002 di Bandar Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak R. Heryawan Putranto dan Ibu Fionariska.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di TK As-Salam pada tahun 2008, SD Kartika II-5 Bandar Lampung pada tahun 2014, SMP Kartika II-2 Bandar Lampung pada tahun 2017 dan SMA Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2020. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN pada tahun 2020. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) bidang Minat dan Bakat pada tahun 2021 dan pada tahun 2022 penulis menjadi Sekretaris Bidang Minat dan Bakat HIMAFI FMIPA UNILA periode 2022.

Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) pada tahun 2023 dengan judul “Pembuatan Geopolimer Menggunakan Material *Fly Ash* dengan Variasi Konsentrasi NaOH 10, 14, 18 M Pada Suhu 70° C Selama 5 Jam”. Penulis juga telah melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada tahun 2023 di Lampung Tengah. Selanjutnya, penulis melakukan penelitian bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pembuatan Mortar Polimer Menggunakan Polimer *Polyethylene Terephthalate*

(PET) dan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dengan Metode Perendaman Selama 7 dan 14 Hari”. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN), Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

**“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu
ada kemudahan...”**

[Q.S. Al Insyirah:5]

“Whatever you are, be a good one”

-Abraham Lincoln-

“Nothing is Impossible”

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Kedua Orang Tuaku

Bapak R. Heryawan Putranto & Ibu Fionariska

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi keberhasilan putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana Fisika

Keluarga Besar & Sahabat-sahabat

Serta rekan-rekan seperjuangan FISIKA FMIPA UNILA 2020

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

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pembuatan Mortar Polimer Menggunakan Polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dengan Metode Perendaman Selama 7 dan 14 Hari”** yang merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang pembuatan mortar menggunakan polimer PET dan EVA sebagai bahan substitusi pasir dan semen. Kemudian, mortar polimer dilakukan uji mekanik dan fisis serta karakterisasi menggunakan XRF, XRD, SEM-EDS, dan FTIR.

Pada penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 25 Juni 2024
Penulis,

Herfira Salsabila Putri

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pembuatan Mortar Polimer Menggunakan Polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dengan Metode Perendaman Selama 7 dan 14 Hari**”. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku Bapak R. Heryawan Putranto dan Ibu Fionariska, yang telah memberikan cinta kasih, dukungan, dan do’a untuk penulis.
2. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah membimbing, memberikan nasihat, motivasi serta ilmunya.
3. Bapak Dr. Sudibyو, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu, saran, masukan, dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Amin, S.T. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu, saran, masukan, dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

7. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan dan Dosen Pembimbing Akademik Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan motivasi serta nasihat selama masa studi.
8. Bapak Dr. Anggoro Tri Muristo, M.Sc. selaku Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) Tanjung Bintang yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian.
9. Staf Administrasi dan Staf Laboratorium Pusat Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) Tanjung Bintang yang telah membantu saya selama melakukan penelitian.
10. Bapak dan Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA UNILA.
11. Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA yang telah membantu dalam administrasi selama menempuh pendidikan S1 Fisika.
12. Nenekku, adik kandungku Herdyandra Fakhri Putra serta seluruh keluarga besarku yang telah memberikan cinta kasih, dukungan, dan do'a untuk penulis.
13. Dia selaku *support system* sehari-hari yang telah mendo'akan, membimbing, memberikan semangat dan nasihat, serta mendengarkan keluh kesah penulis.
14. GROUP HAHAY yaitu Emilia Putri Larasati, Adhelya Viranti, M. Arantha Fikario, Deni Wahyu Irawan, dan Herdian Lingga Hidayat yang selalu memberikan semangat serta menjadi penghibur penulis.
15. Dinaya Safina yang selalu mengajak *healing* dan mendengarkan keluh kesah.
16. CIE PRODUKTIF yaitu Cahya Salsabilla dan Silvia Putriana yang telah berjuang bersama, selalu ada dalam keadaan apapun, saling mendengarkan keluh kesah dan memberikan semangat kepada penulis.

17. Teman-teman seperjuangan Agriffa Nuzra Djolanda, Mutiara Maharani, Flora Finansia Simbolon dan Ridho Firnando yang selalu kebersamai, memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
18. Mixue geng dan seluruh teman-teman KBK Material 2020 yang telah memberikan dukungan dan hiburan kepada penulis.
19. Seluruh mahasiswa/i jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2020, Minbak Family, dan keluarga besar HIMAFI FMIPA UNILA yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis haturkan do'a semoga Allah SWT memberikan imbalan yang berlipat atas bantuan semua pihak. Semoga Allah SWT selalu mempermudah langkah kita yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 25 Juni 2024
Penulis,

Herfira Salsabila Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	8

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar	9
2.2 Polimer.....	11
2.2.1 <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	12
2.2.2 <i>Ethylene Vinyl Acetate</i> (EVA).....	12
2.3 Semen Portland	13
2.4 Agregat.....	15
2.5 Pengujian Sifat Mekanik dan Sifat Fisis	15
2.5.1 Kuat Tekan	15
2.5.2 Porositas	15
2.5.3 Absorpsi.....	16
2.5.4 Massa Jenis	17
2.6 Karakterisasi	17
2.6.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	17
2.6.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	19
2.6.3 <i>Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	21
2.6.4 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	23

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.2.1 Alat Penelitian.....	25
3.2.2 Bahan Penelitian	26
3.3 Prosedur Penelitian	26
3.3.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan.....	26
3.3.2 Pembuatan Mortar Polimer	27
3.3.3 Pengujian pada Mortar Polimer	28
3.3.4 Karakterisasi Mortar Polimer	30
3.4 Diagram Alir	31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Baku.....	33
4.1.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Bahan Baku.....	33
4.1.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Bahan Baku	35
4.1.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy – Energy</i> <i>Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) Bahan Baku	36
4.1.4 Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) Bahan Baku.....	42
4.2 Hasil Pengujian Mortar Polimer	46
4.2.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Polimer	46
4.2.2 Hasil Pengujian Porositas Mortar Polimer	48
4.2.3 Hasil Pengujian Absorpsi Mortar Polimer	49

4.2.4 Hasil Pengujian Massa Jenis Mortar Polimer.....	50
4.3 Karakterisasi Mortar Polimer.....	51
4.3.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Mortar Polimer..	52
4.3.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Mortar Polimer.....	53
4.3.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) Mortar Polimer	54
4.3.4 Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) Mortar Polimer	57

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip kerja XRF (Kalnicky & Singhvi, 2001).	18
Gambar 2.2 Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).	19
Gambar 2.3 Skema Hukum Bragg (Callister & Rethwisch, 2009).	20
Gambar 2.4 Skema SEM (Mhadhbi, 2022).	22
Gambar 2.5 Skema FTIR (Smith, 2011).....	23
Gambar 3.1 Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan.....	31
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.	32
Gambar 4.1 Hasil karakterisasi XRD (a) Semen Portland dan (b) Pasir.....	35
Gambar 4.2 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (<i>mapping</i>) unsur kimia semen Portland (b) Morfologi semen Portland.....	37
Gambar 4.3 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (<i>mapping</i>) unsur kimia pasir (b) Morfologi pasir.....	38
Gambar 4.4 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (<i>mapping</i>) unsur kimia polimer EVA (b) Morfologi polimer EVA.....	40
Gambar 4.5 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (<i>mapping</i>) unsur kimia polimer PET (b) Morfologi polimer PET.	41
Gambar 4.6 Hasil karakterisasi FTIR (a) Semen Portland dan (b) Pasir.....	42
Gambar 4.7 Hasil karakterisasi FTIR polimer EVA.	44
Gambar 4.8 Hasil karakterisasi FTIR polimer PET.	45
Gambar 4.9 Diagram nilai kuat tekan pada mortar polimer.	46
Gambar 4.10 Diagram nilai porositas pada mortar polimer.	48
Gambar 4.11 Diagram nilai absorpsi pada mortar polimer.	49
Gambar 4.12 Diagram nilai massa jenis pada mortar polimer.	50
Gambar 4.13 Hasil karakterisasi XRD mortar polimer (a) 14 hari (b) 7 hari.....	53

Gambar 4.14 Hasil karakterisasi SEM-EDS penyebaran (*mapping*) unsur kimia (a) 7 Hari (b) 14 Hari dan morfologi mortar polimer (c) 7 hari (d) 14 hari..... 55

Gambar 4.15 Hasil karakterisasi FTIR mortar polimer (a) 14 hari (b) 7 hari 58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Polimer (Francken, 1998)	11
Tabel 3.1 Variasi komposisi bahan	27
Tabel 4.1 Hasil karakterisasi XRF bahan baku semen dan pasir.	34
Tabel 4.2 Fasa dominan pada bahan baku.....	35
Tabel 4.3 Komposisi unsur semen Portland menggunakan EDS.....	37
Tabel 4.4 Komposisi unsur pasir menggunakan EDS.....	39
Tabel 4.5 Komposisi unsur polimer EVA menggunakan EDS.....	40
Tabel 4.6 Komposisi unsur polimer PET menggunakan EDS.....	41
Tabel 4.7 Hasil karakterisasi XRF mortar polimer.	52
Tabel 4.8 Fasa dominan pada mortar polimer 7 hari dan 14 hari.....	53
Tabel 4.9 Komposisi unsur menggunakan EDS 7 hari.....	56
Tabel 4.10 Komposisi unsur menggunakan EDS 14 hari.....	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan sektor bangunan di seluruh dunia terkait dengan pembuatan mortar tidak bisa dihindari, hal tersebut seiring dengan bertambahnya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Namun, penerapan prinsip-prinsip strategi pembangunan berkelanjutan mengarah pada pengenalan ekonomi rendah karbon (Czarnecki & Kupron, 2010). Hal ini dimungkinkan karena produk sampingan pembakaran digunakan oleh sektor energi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang terkait dengan produksi semen dan mortar (Giergiczny, 2013). Masalah utama pada semen Portland adalah pengolahan energi intensif dan yang lebih penting, konsentrasi besar karbon dioksida yang dipancarkannya ke atmosfer (Pavithra *et al.*, 2016).

Pancaran gas rumah kaca dari pembuatan semen Portland menghasilkan jumlah per tahunnya sekitar 1,35 miliar ton atau keseluruhan yang dipancarkan dari gas rumah kaca kurang lebih 7% (Hardjito *et al.*, 2004). Hal tersebut mengakibatkan kerusakan lingkungan hidup salah satunya yaitu pemanasan global. Mortar berbasis semen Portland merupakan bahan bangunan yang paling sering digunakan di dunia, dengan konsumsi semen tahunan 4 miliar ton dan tingkat pertumbuhan tahunan 4% (*Mineral Commodities Summaries*, 2014).

Semakin meningkatnya penggunaan mortar di dunia industri konstruksi menyebabkan penggunaan material dari alam menjadi semakin tinggi. Demikian pula pembuangan limbah industri tentunya menjadi sumber permasalahan ekonomi, lingkungan, sosial dan kesehatan. Oleh karena itu, operasi penggunaan kembali dan daur ulang merupakan peluang pengembangan baru untuk mengelola limbah padat dalam jumlah besar (Salmenperä *et al.*, 2021). Sejak tahun 1950 hingga saat ini, produksi plastik telah tumbuh secara eksponensial dan diperkirakan akan meningkat dalam beberapa dekade mendatang (Zhao *et al.*, 2022).

Sebagian besar dari 25 juta ton plastik yang diproduksi di Eropa setiap tahunnya, hanya 30% yang didaur ulang sisanya dibakar atau dibuang ke tempat pembuangan sampah. Secara global telah diperkirakan bahwa 86% dari semua kemasan plastik tidak pernah dikumpulkan atau didaur ulang (Letcher, 2020). Mendaur ulang sampah adalah cara terbaik untuk pengolahan plastik berkelanjutan karena kesesuaian lingkungan dan manfaat ekonomi (Shamsuyeva & Endres, 2021). Cara ekonomis untuk mendaur ulang polimer jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah dengan memasukkan semen sebagai butiran setelah penggilingan secara mekanis (Akçaözöğlü *et al.*, 2010). Hasilnya, PET yang digunakan sebagai agregat dalam mortar dan formulasi beton dapat meningkatkan keberlanjutan limbah ini dengan banyak dampak positif, seperti penurunan penggunaan sumber daya alam, konsumsi limbah, perlindungan lingkungan, dan penghematan energi (Mohan *et al.*, 2021).

Mortar terbuat dari campuran bahan utama seperti semen, pasir dan air. Mortar yang baik tahan terhadap unsur perusak salah satunya adalah air. Jika air masuk pada struktur bangunan maka dapat menyebabkan pengeroposan pada bangunan, sehingga dapat menyebabkan pecah atau retak. Untuk mengurangi masalah tersebut maka sebaiknya menggunakan pelapis mortar dengan bahan polimer (Sihombing *et al.*, 2018).

Mortar polimer telah banyak digunakan sebagai mortar perbaikan karena kekuatannya yang tinggi dan daya tahan yang baik pada bidang konstruksi sebagai perekat ubin, pelapis bagian depan dan untuk konstruksi perbaikan jalan dan bangunan (Septianingrum *et al.*, 2019). Sifat mekanik mortar yang dimodifikasi polimer menunjukkan bahwa polimer dapat meningkatkan kinerja perbaikan mortar secara signifikan (Ribeiro *et al.*, 2009). Mortar semen termodifikasi polimer ini lebih unggul daripada mortar semen biasa dalam hal kemampuan kerja serta banyak digunakan untuk memperkuat struktur mortar (Wang & Zhang, 2015). Mortar polimer juga digunakan sebagai campuran semen mortar yang tahan terhadap air (*waterproof*), tetapi setelah diuji polimer tersebut membutuhkan bahan inovasi lain agar memenuhi persyaratan *waterproofing* yaitu dengan penambahan polimer *waterproof* yaitu *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA).

Ethylene Vinyl Acetate (EVA) salah satu polimer yang dapat meningkatkan fleksibilitas, kekuatan lentur (Shi *et al.*, 2018), dan kekuatan ikatan beton semen (Mansur *et al.*, 2009). EVA memiliki efek pengisian pori-pori secara bertahap dalam prosesnya. EVA mempunyai sifat *softness*, *flexibility*, dan juga mempunyai

sifat kehalusan yang baik, sehingga dengan adanya penambahan EVA dalam campuran mortar diharapkan dapat meningkatkan ketahanan terhadap air. EVA yang biasanya tersedia dalam bentuk bubuk dan *liquid* (Assaad, 2018). Selain dengan penambahan EVA yang dapat tahan terhadap air, mortar polimer juga dapat ditambahkan dengan bahan polimer lainnya sebagai pengganti agregat halus yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Polyethylene Terephthalate (PET) salah satu polimer termoplastik yang paling banyak ditemukan (Nisticò, 2020). PET digunakan untuk membuat botol minuman ringan dan botol air, serat sintetis, kaset video dan audio, film fotografi, kemasan makanan, dan lain-lain (Singh *et al.*, 2020). Polimer PET juga memiliki sifat elastisitas yang baik, serta kekuatan tarik yang tinggi. Dalam mortar polimer, penambahan polimer PET dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur mortar, serta meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan retak. Maka dari itu, untuk mendaur ulang sampah plastik menjadi material baru baik yang digabungkan atau dicampur dengan material tambahan (Utomo & Arfiana, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Garcia *et al.*, (2021) mengenai kelayakan penggabungan limbah *Polyethylene Terephthalate* (PET) ke dalam mortar dengan membandingkan nilai-nilai yang diperoleh dari ketahanan mekanik setelah 28 hari. Mortar diproduksi dengan perbandingan berat 1:4 dan 1:3, dengan penggantian sebagian agregat dengan PET dalam persentase berbeda (0, 5, dan 10%). Benda uji dengan ukuran 40×40×160 mm³ dilakukan pengujian terhadap kekuatan tekan. Mortar 1:4 mempunyai kuat tekan lebih rendah pada penambahan PET 5 dan 10%,

sedangkan mortar 1:3 mempunyai kuat tekan lebih rendah pada dosis lebih tinggi dari penambahan PET 5%. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya penurunan ketahanan mekanik mortar yang berbanding terbalik dengan penggunaan residu PET pada campuran. Peningkatan hasil ini menunjukkan bahwa penggantian agregat alami dengan residu PET dalam mortar merupakan pilihan yang menarik untuk dipertimbangkan dalam produksi material baru dan ramah lingkungan.

Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Yeon *et al.*, (2019) mengenai kekuatan tekan dan lentur mortar modifikasi EVA untuk konstruksi aditif tiga dimensi. Pada penelitian ini digunakan EVA dengan bentuk bubuk sebagai bahan tambahan. Variasi komposisi EVA/semen yang digunakan dengan rasio 0, 0.05, 0.10, 0.15, dan 0.20. Sedangkan variasi komposisi untuk air/semen yang digunakan dengan rasio 0.45, 0.46, 0.51, 0.52, dan 0.55. Benda uji dengan ukuran $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Hasil pengujian benda uji menunjukkan bahwa pada umur curing 28 hari, kuat tekan berkisar antara 32,92 MPa hingga 43,50 MPa dan kuat lentur berkisar 12,73 MPa hingga 14,49 MPa. Nilai pada kuat tekan menurun sedangkan kuat lentur meningkat seiring dengan peningkatan rasio EVA/semen yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortar yang dimodifikasi dengan polimer EVA memiliki tingkat pengembangan kekuatan yang tinggi dan menjadikan material menguntungkan untuk digunakan dalam konstruksi aditif tiga dimensi.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan mortar polimer menggunakan bahan yaitu semen, yaitu semen, polimer EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) sebagai bahan substitusi semen, pasir, polimer PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan substitusi pasir, dan air. Penelitian ini dilakukan dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:4 dan rasio air (w/c) yang digunakan sebanyak 0.5. Bahan uji dicetak dengan ukuran cetakan $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ dan dilakukan perendaman di dalam wadah berisikan air selama 7 dan 14 hari. Selanjutnya dilakukan uji mekanik (kuat tekan) dan uji fisis (porositas, absorpsi, dan massa jenis) pada mortar polimer. Karakterisasi yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia pada mortar, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada mortar, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dari permukaan mortar polimer dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada mortar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

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

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan pembuatan mortar polimer yaitu semen, *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA), pasir, *Polyethylene Terephthalate* (PET), dan air.
2. Ukuran mortar polimer yaitu $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.
3. Waktu perendaman selama 7 dan 14 hari.
4. Uji mekanik yang dilakukan ialah kuat tekan.
5. Uji fisis yang dilakukan adalah porositas, absorpsi, dan massa jenis.
6. Karakterisasi yang digunakan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) dan *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FTIR).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan terhadap pengaruh penambahan polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) pada pembuatan mortar polimer.
2. Memberikan pengetahuan terhadap perkembangan IPTEK khususnya dalam pembuatan mortar polimer.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung di KBK Material.
4. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar

Mortar merupakan campuran agregat (pasir), air, dan bahan pengikat yang diaduk merata sampai mengeras, bahan pengikat yang umum digunakan adalah semen (Sujatmiko, 2019). Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun material konstruksi. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air dan memiliki kekuatan geser yang cukup untuk menahan tekanan yang bekerja di atasnya. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar atau cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Simanullang, 2014).

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 mortar terdiri dari 3 macam yaitu:

1. Mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu mortar yang terbuat dari tanah.
2. Mortar kapur yaitu mortar yang terbuat dari kapur.
3. Mortar semen yaitu mortar yang terbuat dari semen.

Kualitas dan mutu mortar ditentukan oleh beberapa faktor yaitu bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu suatu bahan, maka komposisi perbandingan campuran yang direncanakan akan menghasilkan mortar yang berkualitas baik (Sihombing *et al.*, 2018).

Berdasarkan ASTM C 270-10, mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe berdasarkan sifat mortar, yaitu:

1. Mortar Tipe M

Mortar tipe M adalah campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar. Kuat tekan minimumnya 17,2 MPa.

2. Mortar Tipe S

Mortar tipe S ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Maka, mortar tipe S dianjurkan untuk digunakan pada struktur bawah tanah seperti, pondasi, dinding penahan tanah, saluran pembuangan dan lainnya karena memiliki keawetan yang tinggi. Kuat tekan minimumnya adalah 12,4MPa.

3. Mortar Tipe N

Mortar tipe N ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik untuk aplikasi konstruksi umumnya. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.

4. Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior yang tidak menahan beban struktur. Kuat tekan minimumnya adalah 2,4 MPa.

2.2 Polimer

Polimer adalah makromolekul yang dibentuk dari sejumlah molekul-molekul kecil yang saling berikatan. Kata polimer berasal dari Yunani yaitu *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Molekul-molekul kecil yang membentuk polimer ini disebut sebagai monomer, sedangkan reaksi yang terjadi disebut reaksi polimerisasi. Satu rantai polimer dapat tersusun atas ratusan, ribuan bahkan jutaan molekul monomer yang saling berikatan (O dian, 1991).

Berdasarkan sifatnya ketika dipanaskan, polimer dapat dibagi menjadi polimer termoplastik dan termoset. Polimer termoplastik adalah polimer yang ketika dipanaskan akan mengalami pelelehan dan dapat dibentuk sesuai pola yang diinginkan. Sedangkan, polimer termoset adalah polimer yang tidak mengalami pelelehan ketika dipanaskan. Polimer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan polimer termoplastik dapat didaur ulang. Polimer secara umum dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu *plastomers*, *elastomers*, *reclaimed rubbers*, dan *fibres* seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Polimer (Francken, 1998)

Tipe Modifikasi Polimer	Contoh Jenis Polimer
<i>Plastomers</i>	
a. <i>Thermoplastics</i>	<i>Polyethylene (PE)</i> <i>Polypropylene (PP)</i> <i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i> <i>Polystyrene (PS)</i> <i>Ethylene Vinyl Acetate (EVA)</i> <i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i>
b. <i>Thermosets</i>	<i>Epoxy resins</i>
<i>Elastomers</i>	
a. <i>Natural Rubbers</i>	

b. <i>Synthetic Elastomers</i>	<i>Styrene-butadiene copolymer (SBR)</i> <i>Styrene-butadiene- styrene copolymer (SBS)</i> <i>Ethylene-propylene-diene- terpolymer (EPDM)</i> <i>Isobutene-isoprene copolymer (IIR)</i>
<i>Reclaimed Rubbers</i>	
<i>Fibers</i>	<i>Polyester fibres</i> <i>Polypropylene fibres</i>

2.2.1 *Polyethylene Terephthalate (PET)*

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah poliester termoplastik semikristalin yang banyak digunakan dalam pembuatan serat pakaian, botol minuman ringan sekali pakai, film fotografi, dan sebagainya (Francis, 2016). *Polyethylene Terephthalate (PET)* merupakan poliester sintetis yang terdiri dari *terephthalic acid* dan *ethylene glycol*. Pada serat PET memiliki sifat kekuatan mekanik yang sangat baik, ketahanan kimia yang tinggi, dan permeabilitas rendah terhadap gas. Pada kain PET memiliki sifat tahan kerut dan menunjukkan abrasi dan penyusutan yang rendah. Sementara fungsi benang filamen PET digunakan dalam pakaian, dan tekstil teknis dan medis (Gübitz *et al.*, 2011). PET juga dapat digunakan sebagai campuran pada mortar. Jenis PET yang digunakan ialah PET yang berbentuk serat, karena selain memiliki sifat mekanik yang sangat baik, PET juga memiliki sifat listrik, termal, dan ketahanan kimia yang sangat baik (Thomas *et al.*, 2018).

2.2.2 *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)*

Ethylene Vinyl Acetate (EVA) merupakan jenis *copolymer* yang terdiri dari *ethylene* dan *vinyl acetate*. EVA memiliki karakteristik termoplastik, yang berarti mudah

dicetak dan diproses dengan metode industri konvensional seperti, ekstrusi, *blow molding* dan *rotational molding* (James *et al.*, 2019). Pada industri konvensional EVA dapat digunakan sebagai perekat pada pembuatan mortar atau beton. EVA juga mempunyai sifat *softness*, *fleksibilitas*, dan juga mempunyai sifat kehalusan yang baik, sehingga dengan adanya penambahan EVA dalam campuran mortar diharapkan dapat meningkatkan ketahanan terhadap air (Assaad, 2018).

2.3 Semen Portland

Semen Portland adalah salah satu tipe semen yang paling sering digunakan dalam proyek mortar. Semen Portland merupakan bahan perekat hidrolis yang sangat penting dalam konstruksi beton. Bahan perekat hidrolis yaitu dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis (Tjokrodinuljo, 2007).

Secara umum komponen utama dalam pembuatan semen adalah kalsium oksida (CaO), silika oksida (SiO₂), alumina oksida (Al₂O₃), dan besi (III) oksida (Fe₂O₃). Selain itu semen juga mengandung magnesium oksida (MgO), natrium oksida dan kalium oksida (Na₂O dan K₂O), titanium oksida (TiO₂), difosfor pentaoksida (P₂O₅), serta belerang trioksida (SO₃) (Botahala & Pasae, 2020).

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen Portland dikelompokkan menjadi:

1. Semen Portland Tipe I

Semen Portland tipe I adalah jenis semen yang paling banyak dibutuhkan oleh masyarakat secara luas dan dapat dipakai untuk seluruh aplikasi yang tidak membutuhkan persyaratan khusus.

2. Semen Portland Tipe II

Semen Portland tipe II merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen pada tipe I juga tahan terhadap sulfat. Biasanya semen ini cocok digunakan pada daerah dengan suhu tinggi serta struktur drainase. Semen ini disarankan dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai dengan adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

3. Semen Portland Tipe III

Semen Portland tipe III ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin. Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

4. Semen Portland Tipe IV

Semen Portland tipe IV digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan kalor hidrasi rendah. Oleh karena itu, semen jenis ini memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat dibandingkan Portland tipe I.

5. Semen Portland Tipe V

Semen Portland tipe V cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

2.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar. Menurut SNI 03-6820-2002 agregat dibedakan menjadi dua golongan berdasarkan ukurannya yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual maupun dari mesin dengan besar butiran antara 5 mm sampai 40 mm, sedangkan agregat halus adalah agregat yang berasal dari alam atau hasil alam dengan besar butir maksimum 4,76 mm.

Pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi merupakan agregat yang dipakai sebagai suatu media pengikat untuk membentuk suatu mortar. Kandungan pasir sebagai agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap kinerja mortar, sehingga pemilihan pasir merupakan bagian penting dari pembuatan mortar. Pasir memiliki berbagai macam variasi yang berbeda dengan karakteristik khusus untuk masing – masing jenis. Variasi pasir antara lain adalah pasir pasang, pasir beton, pasir merah, pasir elod dan juga pasir sungai. Pasir bertindak sebagai pengisi untuk campuran mortar dan membuat sekitar 70 % – 75 % dari volume mortar yang telah mengeras (Fuad *et al.*, 2020).

2.5 Pengujian Sifat Mekanik dan Sifat Fisis

2.5.1 Kuat Tekan

Kemampuan mortar untuk menerima gaya tekan per satuan luas dikenal sebagai kekuatan tekan. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, semakin baik

kualitas mortar yang diciptakan (Swardika *et al.*, 2019). Berdasarkan SNI 03-6825-2002 nilai kuat tekan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

$$P = \frac{F_{maksimum}}{A} \quad (2.1)$$

dengan P sebagai kuat tekan mortar (MPa), F sebagai beban maksimum (N) dan A sebagai luas penampang benda uji (mm^2)

2.5.2 Porositas

Porositas dapat diartikan perbandingan antara volume ruang yang kosong (pori-pori) terhadap volume total dari suatu mortar. Pori adalah ruang di dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida, contohnya air tawar, air asin, udara maupun gas bumi. Semakin meningkat kepadatan mortar maka semakin besar kuat tekan mortar, sedangkan semakin besar porositas mortar, maka kekuatan mortar akan semakin kecil (Nurwidyanto *et al.*, 2006). Berdasarkan ASTM C 642-06 nilai porositas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

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

dengan ϕ sebagai porositas (%), m_1 sebagai massa kering (g), m_2 sebagai massa setelah dikeringkan (g) dan m_3 sebagai massa di dalam air (g).

2.5.3 Absorpsi

Absorpsi merupakan jumlah air yang diserap oleh benda uji. Pori-pori atau rongga dalam benda memiliki dampak yang signifikan pada jumlah air yang diserapnya. Semakin banyak pori-pori dalam mortar, semakin besar penyerapan dan demikian

semakin rendah ketahanannya (Nurwidyanto *et al.*, 2006). Berdasarkan ASTM C 642-06 nilai absorpsi dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3)

$$\text{Absorpsi } (A) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan A sebagai absorpsi (%), m_1 sebagai massa kering (g) dan m_2 sebagai massa basah (g).

2.5.4 Massa Jenis

Massa jenis merupakan pengukuran massa mortar terhadap volume mortar. Massa jenis juga merupakan sifat fisis yang menggambarkan suatu kerapatan atau ikatan antar material penyusun (Pauliza, 2008). Berdasarkan ASTM C 642-06 nilai massa jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4).

$$\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \times \rho_{air} \quad (2.4)$$

dengan ρ sebagai massa jenis (g/cm^3), m_1 sebagai massa kering (g), m_2 sebagai massa basah (g), m_3 sebagai massa di dalam air (g), dan ρ_{air} sebagai massa jenis air (g/cm^3).

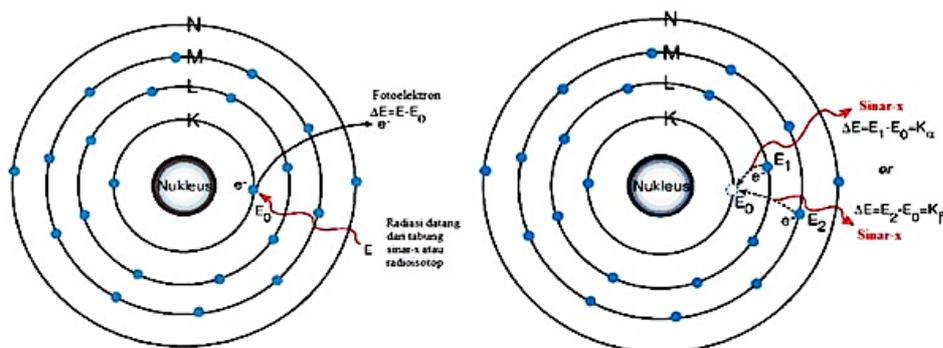
2.6 Karakterisasi

2.6.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis serta menentukan konsentrasi suatu unsur sampel padatan, bubuk maupun cairan

dalam suatu bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. *X-Ray Fluorescence* mampu menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur pada sampel menggunakan metode spektrometri (Jenkin *et al.*, 1995). Bahan uji untuk XRF juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis (Brouwer, 2010).

Dalam analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Apabila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Atom target akan mengalami kekosongan elektron, kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Prinsip kerja *X-Ray Fluorescence* ditunjukkan pada Gambar 2.1.

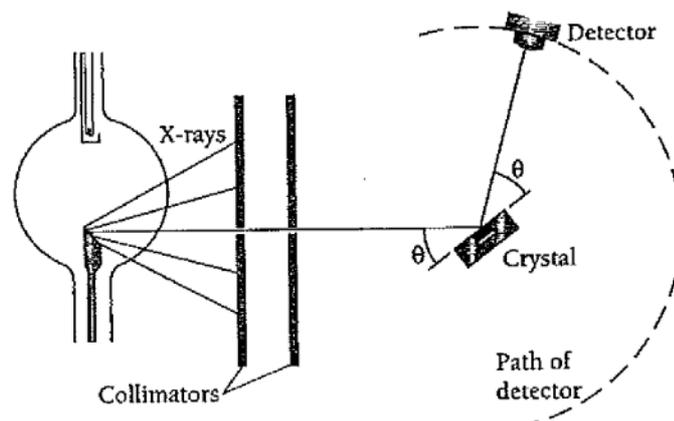


Gambar 2.1 Prinsip kerja XRF (Kalnicky & Singhvi, 2001).

2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin yang terbentuk, meliputi transformasi struktur fase, ukuran partikel bahan seperti keramik, komposit, polimer dan lain-lain. XRD juga digunakan sebagai metode analisis data untuk mengetahui jenis dan sifat mineral tertentu agar terlihat pola difraksi mineral yang dihasilkan (Oktamuliani *et al.*, 2015).

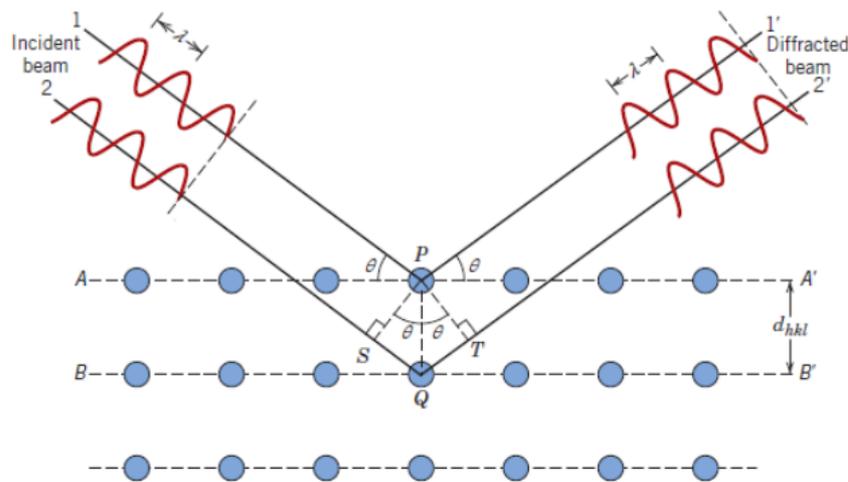
Secara umum, pola difraksi mengandung informasi tentang simetri susunan atom (*space group*), penentuan struktur bahan kristal atau amorf, orientasi kristal serta pengukuran berbagai sifat bahan yaitu tegangan (*strain*), vibrasi termal dan cacat kristal. Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola-pola difraksi yaitu ukuran dari setiap selnya, nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel (Cullity, 1978). Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Berdasarkan Gambar 2.2 menunjukkan skema sinar-X yang menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar-X tersebut ke segala arah dengan

berdasarkan Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang (λ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan (d). Skema hukum Bragg ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Hukum Bragg (Callister & Rethwisch, 2009).

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa sinar datang pertama yang menumbuk pada titik P lalu kemudian dihamburkan, begitu juga dengan sinar datang kedua yang menumbuk pada titik Q lalu dihamburkan, maka dari itu sinar ini menempuh jarak $SQ + QT$. Sehingga persamaan menjadi:

$$\lambda = SQ + QT \quad (2.5)$$

$$\sin \theta = \frac{SQ}{PQ} = \frac{SQ}{d} \quad (2.6)$$

$$d \sin \theta = SQ \quad (2.7)$$

karena $SQ + QT$, maka

$$\lambda = 2SQ \quad (2.8)$$

atau

$$d \sin \theta = SQ$$

$$d \sin \theta = \frac{1}{2} \lambda$$

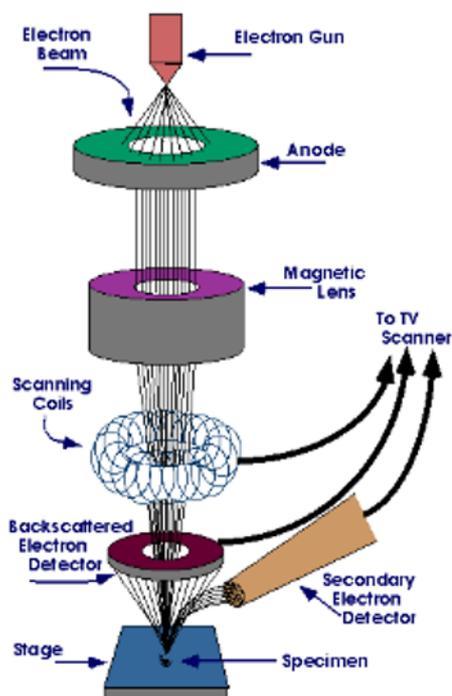
$$2 d \sin \theta = \lambda \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) adalah Hukum Bragg, dengan d sebagai jarak antara bidang dalam kristal, θ sebagai sudut difraksi, λ sebagai panjang gelombang (m). Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $\lambda \leq 2d$, karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan n adalah bilangan bulat = 1, 2, 3, dan seterusnya sampai n (Beiser, 2003).

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

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk menganalisis struktur morfologi dan komposisi dari suatu bahan, sedangkan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) adalah teknik analitik yang digunakan untuk analisis elemen atau karakterisasi kimia pada sampel. SEM-EDS dapat menentukan ukuran, bentuk, dan komposisi unsur partikel untuk mengidentifikasi partikel yang berbeda (Yingzi *et al.*, 2015). SEM juga dapat

menganalisis bahan organik dan anorganik pada skala nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). SEM memberikan gambar yang sangat tepat dari berbagai bahan pada pembesaran tinggi hingga 300.000x dan bahkan 1.000.000x (Mohammed & Abdullah, 2018). Skema SEM ditunjukkan pada Gambar 2.4.



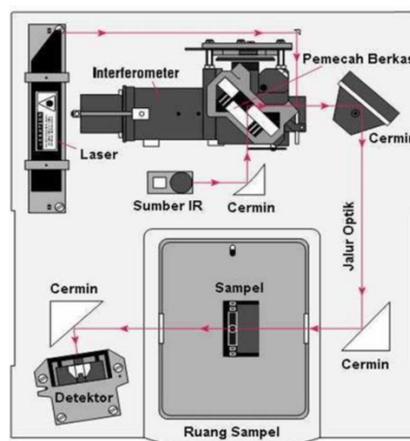
Gambar 2.4 Skema SEM (Mhadhbi, 2022).

Berdasarkan Gambar 2.4 dapat diketahui prinsip kerja SEM adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut sebagai *Backscattered Electrons* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu *Secondary Electrons* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya sinar-X yang karakteristik untuk setiap

filamen. Elektron sekunder ditangkap oleh detektor *Secondary Electron* (SE) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Sujatno *et al.*, 2015).

2.6.4 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan teknik spektroskopi yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, baik organik maupun anorganik. Pada sistem optik FTIR dipakai radiasi *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang berguna sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi *infra-red* agar sinyal radiasi *infra-red* diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Spektroskopi FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin, dan detektor. Skema alat karakterisasi FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema FTIR (Smith, 2011).

Prinsip kerja FTIR yakni energi *infra-red* diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Di sisi lain, berkas LASER memasuki interferometer dan kemudian terjadi pengkodean sampel menghasilkan sinyal interferogram yang kemudian keluar dari interferogram. Berkas LASER kemudian memasuki ruang sampel, berkas akan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya, yang mana merupakan karakteristik dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor (Griffiths, 1975).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2023 sampai dengan Juni 2024 di Laboratorium PP Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: timbangan digital, cetakan kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, gelas ukur ukuran 100 ml, plastik *zipper*, sarung tangan, baskom, spidol *permanent*, mesin *press* hidrolik, mesin uji kuat tekan *type Universal Testing Machines (UTM) made in Thailand type HT-2402 capacity 50 kN*, *X-Ray Fluorescence (XRF) PANalytical type minipal 4*, *X-Ray Diffraction (XRD) PANalytical type X'pert Pro*, *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) type Quattro S*, dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Bruker type INVENIO*.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: semen Portland, polimer EVA sebagai substitusi semen, pasir, polimer PET sebagai substitusi pasir, dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi dan karakterisasi bahan, pembuatan mortar polimer, pengujian dan karakterisasi mortar polimer.

3.3.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan

Prosedur preparasi dan karakterisasi bahan pada penelitian ini adalah:

1. Semen Portland jenis PCC yang berasal dari Indonesia dengan ukuran butir lolos 325 sampai 400 *mesh* ditimbang sesuai dengan variasi komposisi pada Tabel 3.1.
2. Pasir dilakukan uji Modulus Halus Butir (MHB) lalu diayak ukuran lolos 325 *mesh* dan ditimbang sesuai pada Tabel 3.1.
3. Polimer EVA Taisox Grade 7350m yang berasal dari Taiwan ditimbang sesuai dengan variasi komposisi pada Tabel 3.1.
4. Polimer PET yang berasal dari cacahan kemasan botol plastik dipotong dengan ukuran 2x2 mm² dan ditimbang sesuai dengan variasi komposisi seperti pada Tabel 3.1.
5. Semen, pasir, dan polimer yang telah dipreparasi dilakukan karakterisasi (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	0,0	80,00	0,00	100
2EVA/0,2PET	19,6	0,4	79,84	0,16	100
4EVA/0,5PET	19,2	0,8	79,60	0,40	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	18,0	2,0	78,88	1,12	100

Untuk memudahkan penyajian data, sampel diberi kode dengan format 0EVA/0PET menunjukkan sebagai *control*, 2EVA/0,2PET menunjukkan 2% EVA dan 0,2% PET, 4EVA/0,5PET menunjukkan 4% EVA dan 0,5% PET, 6EVA/0,8PET menunjukkan 6% EVA dan 0,8% PET, 8EVA/1,1PET menunjukkan 8% EVA dan 1,1% PET, dan 10EVA/1,4PET menunjukkan 10% EVA dan 1,4% PET.

3.3.2 Pembuatan Mortar Polimer

Prosedur pembuatan mortar polimer pada penelitian ini adalah:

1. Bahan baku mortar polimer yaitu semen Portland, pasir, polimer EVA dan polimer PET ditimbang sesuai dengan variasi komposisi seperti Tabel 3.1.
2. Bahan baku mortar polimer dicampurkan ke dalam wadah lalu diaduk hingga rata.
3. Seluruh bahan dicetak dengan cetakan berbentuk kubus berukuran 5x5x5 cm³ kemudian dipadatkan menggunakan alat *press* hidrolik dengan tekanan 2 ton.
4. Mortar polimer didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dilepas dari cetakan.

5. Mortar polimer direndam di dalam air dengan waktu perendaman selama 7 dan 14 hari.

3.3.3 Pengujian pada Mortar Polimer

Uji pada produk mortar polimer terdiri dari uji mekanik dan uji fisis.

a. Uji Mekanik

1. Kuat tekan

Langkah – langkah uji kuat tekan pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer yang telah diangkat dari dalam baskom yang berisi air dengan waktu perendaman 7 dan 14 hari disiapkan.
- b. Mortar polimer didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- c. Mortar polimer diletakkan pada mesin uji kuat tekan.
- d. Beban tekan maksimum yang dihasilkan dicatat ketika *dial* tidak naik lagi atau saat benda uji telah hancur (P).
- e. Kuat tekan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

b. Uji Fisis

1. Porositas

Langkah – langkah uji porositas pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_1 .
- b. Mortar polimer direndam selama 24 jam
- c. Mortar polimer diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar

polimer setelah dilakukan perendaman pada air dan hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_2 .

- d. Mortar polimer ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air menggunakan timbangan digital dan hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_3 .
- e. Nilai porositas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2)

2. Absorpsi

Langkah – langkah uji absorpsi pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_1 .
- b. Mortar polimer direndam selama 24 jam.
- c. Mortar polimer diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar polimer setelah dilakukan perendaman pada air dan hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_2 .
- d. Nilai absorpsi dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3)

3. Massa Jenis

Langkah – langkah uji densitas pada mortar polimer adalah:

- a. Mortar polimer dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_1 .
- b. Mortar polimer direndam selama 24 jam.
- c. Mortar polimer diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar

polimer setelah dilakukan perendaman pada air hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_2 .

- d. Mortar polimer ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air menggunakan timbangan digital dan hasil yang diperoleh dicatat sebagai m_3 .
- e. Nilai massa jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4).

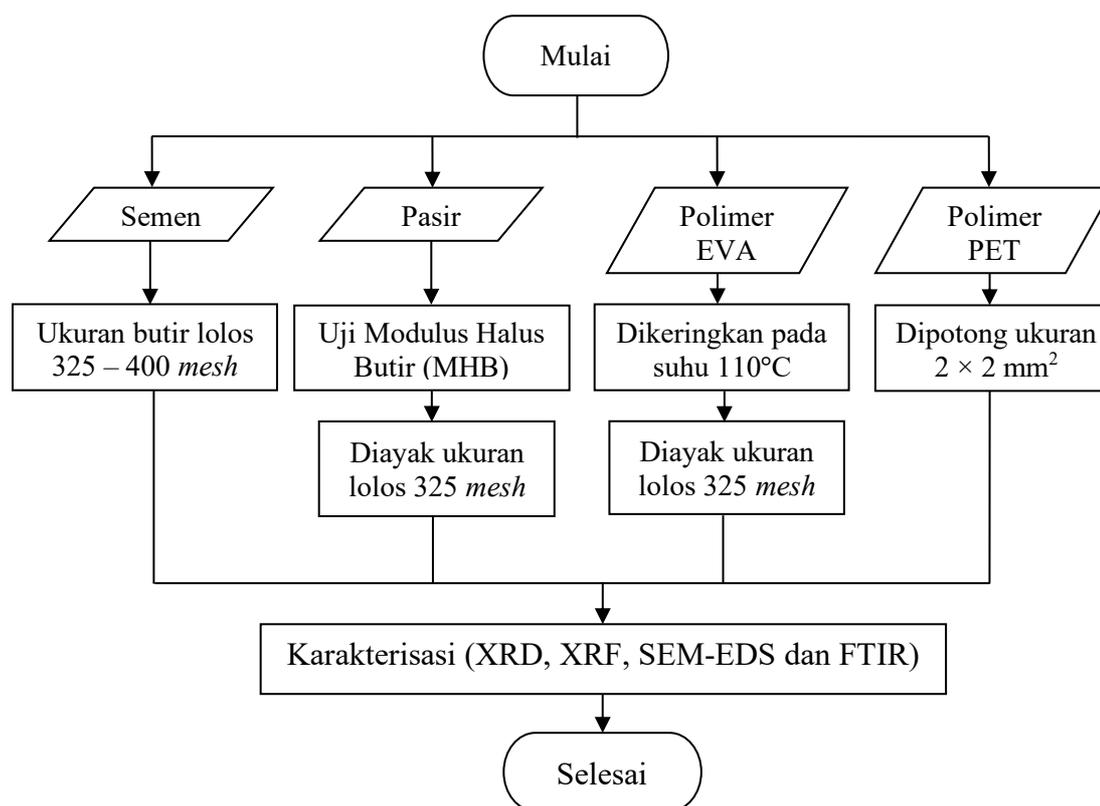
3.3.4 Karakterisasi Mortar Polimer

Mortar polimer dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menggunakan mesin XRF *PANalytical type minipal 4*, *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan mesin XRD *PANalytical type X'pert Pro*, *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) menggunakan mesin SEM-EDS *type Quattro S* dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menggunakan mesin FTIR *Bruker type INVENIO*.

3.4 Diagram Alir

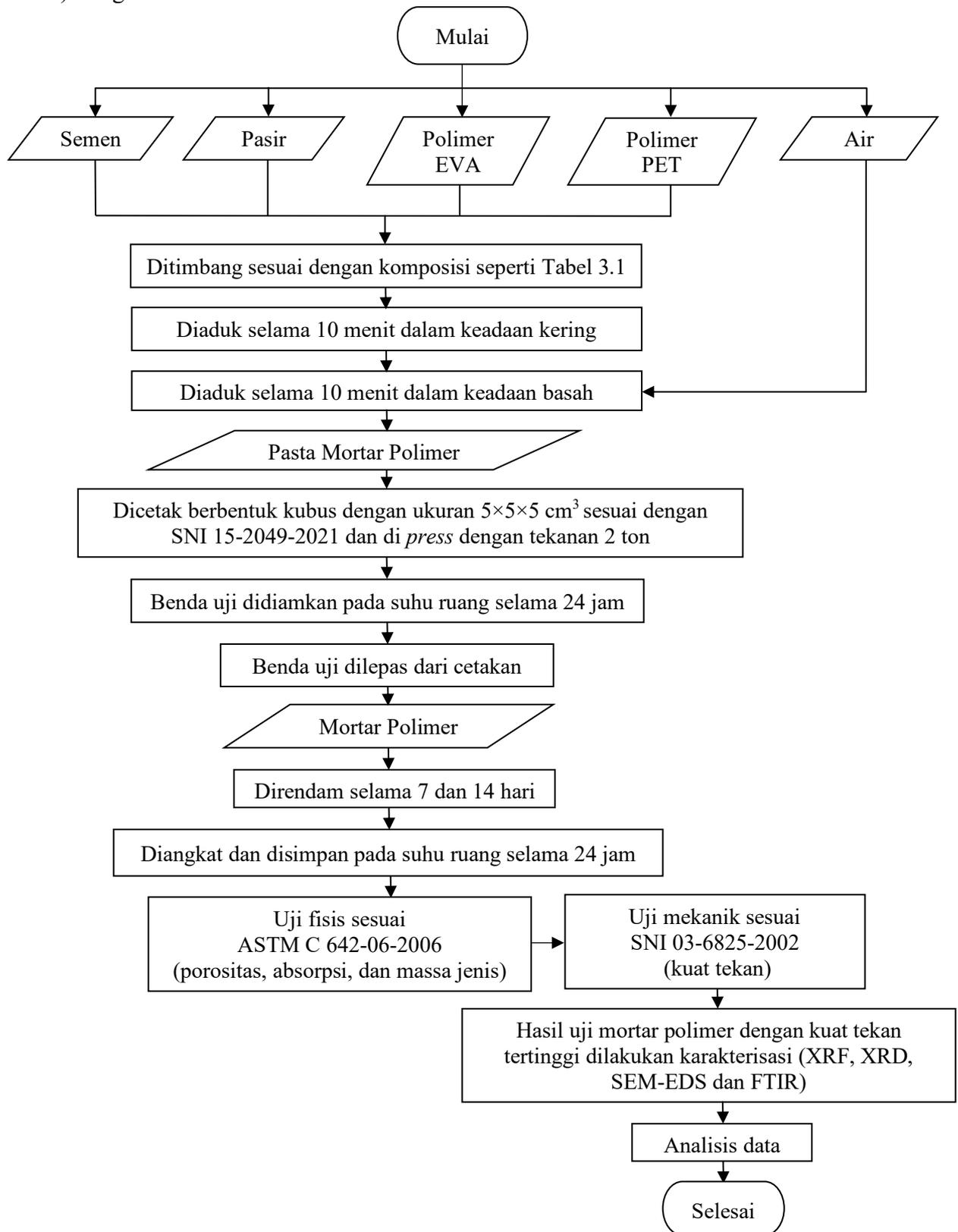
Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dan 3.2.

1) Diagram Alir Preparasi dan Karakterisasi Bahan



Gambar 3.1 Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan.

2) Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan mortar polimer menggunakan bahan baku semen Portland, polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA), pasir, dan polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET). Variasi komposisi polimer EVA yang digunakan sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; 8% dan 10% dan variasi komposisi polimer PET yang digunakan sebesar 0%; 0,2%; 0,5%; 0,8%; 1,1% dan 1,4%. Mortar polimer dilakukan perendaman selama 7 dan 14 hari. Mortar polimer dilakukan uji mekanik (kuat tekan), uji fisis (porositas, absorpsi, dan massa jenis), serta dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

4.1 Karakterisasi Bahan Baku

Karakterisasi dilakukan terhadap bahan baku meliputi XRF, XRD, SEM-EDS, dan FTIR.

4.1.1 Hasil Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) Bahan Baku

Karakterisasi XRF dilakukan pada bahan baku meliputi semen Portland dan pasir.

Hasil karakterisasi XRF terhadap bahan baku semen dan pasir ditunjukkan pada

Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil karakterisasi XRF bahan baku semen dan pasir.

Senyawa Oksida	Persentase (%)	
	Semen Portland	Pasir
CaO	77,82	1,73
SiO ₂	9,49	63,61
Fe ₂ O ₃	5,94	6,39
Al ₂ O ₃	2,91	17,12
SO ₃	1,59	-
K ₂ O	1,29	8,97
TiO ₂	0,42	0,87
SrO	0,29	-
P ₂ O ₅	-	0,64
ZrO ₂	-	0,20

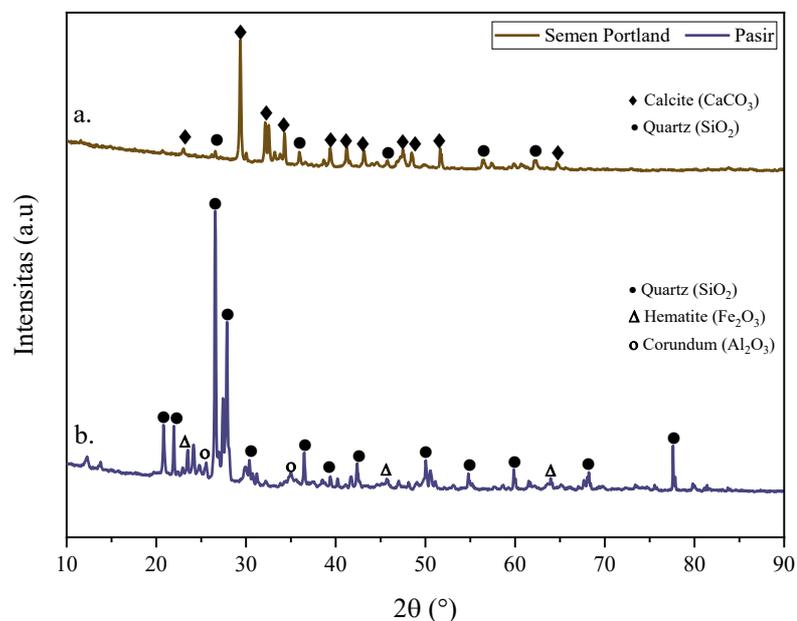
Berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kandungan senyawa oksida tertinggi dimiliki oleh bahan baku semen adalah *Calcium Oxide* (CaO) sebesar 77,82%. Semen Portland yang dapat digunakan untuk konstruksi umum memiliki syarat kimia berdasarkan SNI 15-7064-2004 yaitu kandungan senyawa CaO yang dapat digunakan sebagai bahan campuran bangunan yaitu lebih dari 45% dan SO₃ kurang dari 4%.

Hasil karakterisasi XRF pada Tabel 4.1 membuktikan bahwa kandungan senyawa pada bahan baku semen Portland dapat digunakan pada penelitian ini sebagai bahan pembuatan mortar. Sedangkan bahan baku pasir ialah salah satu bahan yang memiliki kandungan silika tertinggi. Silika dapat dimanfaatkan sebagai beberapa aplikasi dalam industri termasuk dalam pembuatan mortar (Prasetya *et al.*, 2021). Pernyataan ini sesuai dengan hasil XRF bahan baku pasir memiliki senyawa oksida tertinggi yaitu *Silicon Dioxide* (SiO₂) sebesar 63,61%.

4.1.2 Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) Bahan Baku

Karakterisasi XRD dilakukan pada bahan baku meliputi semen Portland dan pasir.

Hasil difraktogram bahan baku ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil karakterisasi XRD bahan baku (a) semen Portland dan (b) pasir

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil karakterisasi XRD pada semen Portland dan pasir memiliki bentuk difraktogram yang dapat digolongkan ke dalam fasa kristalin, ditandai dengan fasa-fasa tajam dengan intensitas tinggi. Sedangkan, polimer EVA dan PET ialah termasuk fasa *amorph*. Terdapat beberapa fasa dominan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Fasa dominan pada bahan baku.

Fasa	Rumus Kimia	Ref.code ICDD	2θ ($^\circ$)
Calcite	Calcium Carbonate (CaCO_3)	00-005-0586	$29,406^\circ$
Quartz	Silicon Dioxide (SiO_2)	00-046-1045	$26,640^\circ$
Hematite	Iron Oxide (Fe_2O_3)	00-024-0072	$33,115^\circ$
Corundum	Aluminium Oxide (Al_2O_3)	00-010-017	$43,363^\circ$

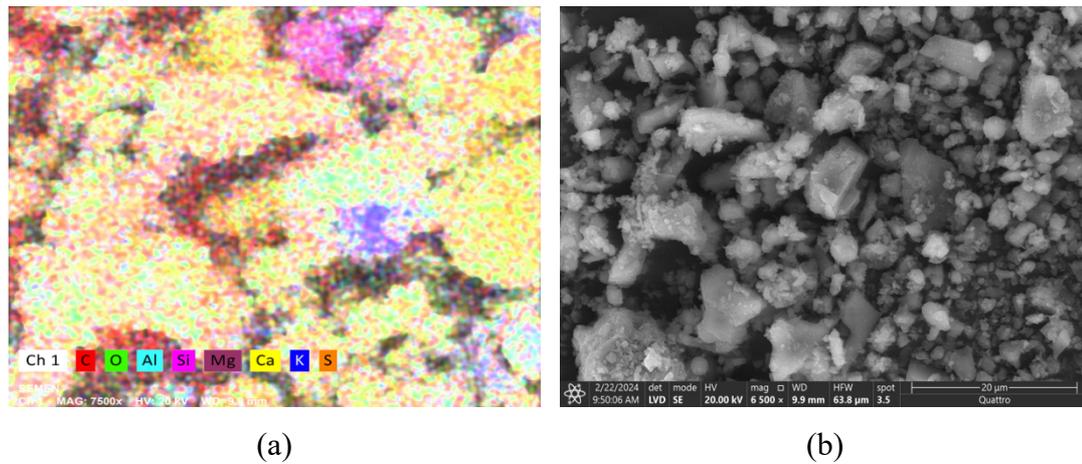
Berdasarkan Gambar 4.1 (a) menunjukkan bahwa fasa tertinggi dari difraktogram XRD pada bahan baku semen Portland adalah fasa *calcite* (CaCO_3). Fasa *calcite* yang terdeteksi menandakan adanya *calcium carbonate* yang berasal dari bahan utama pembuatan semen yaitu batu kapur (Tabikh & Weht, 1971). Pada Gambar 4.1 (b) menunjukkan bahwa terdapat fasa tertinggi pada pasir yaitu fasa *quartz* (SiO_2). Fasa *quartz* yang terdapat pada pasir menunjukkan bahwa pasir merupakan salah satu bahan mineral yang keberadaannya sangat melimpah dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi (Prasetya *et al.*, 2021).

4.1.3 Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Bahan Baku

Karakterisasi SEM-EDS dilakukan pada bahan baku meliputi semen, pasir, EVA dan PET.

1. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Semen Portland

Hasil karakterisasi SEM-EDS pada bahan baku semen Portland ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (*mapping*) unsur kimia semen Portland (b) Morfologi semen Portland.

Pada Gambar 4.2 (a) menunjukkan penyebaran unsur kimia yang terdeteksi pada semen Portland. Sedangkan, Gambar 4.2 (b) menunjukkan citra dari semen Portland dengan perbesaran 5.000 kali. Berdasarkan Gambar 4.2 (a) terlihat bahwa penyebaran yang paling merata ditunjukkan oleh unsur Ca ditandai dengan warna kuning dan unsur Si berwarna ungu. Sehingga dapat dikatakan bahwa Ca dan Si merupakan unsur dominan yang terdapat pada semen Portland. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil komposisi unsur menggunakan EDS yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Komposisi unsur semen Portland menggunakan EDS.

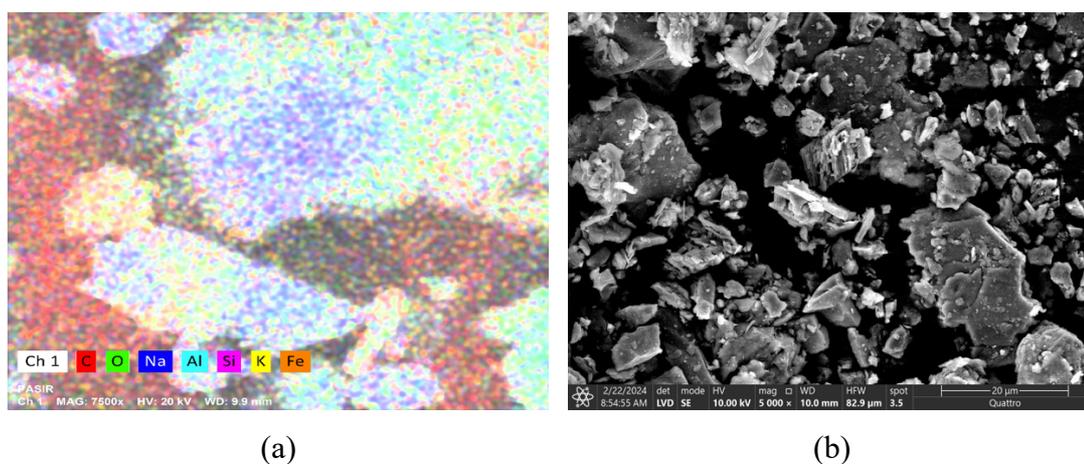
Unsur	Persentase (%)
C	27,53
O	34,75
Al	2,24
Si	4,51
Mg	0,48
Ca	29,34

Unsur	Persentase (%)
K	0,77
S	0,37

Pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa komposisi unsur Si dan Ca memiliki persentase komposisi dengan nilai berturut-turut sebesar 4,51% dan 29,34%. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS sesuai dengan karakterisasi menggunakan XRF ditunjukkan bahwa unsur Si dan Ca merupakan unsur dominan yang dimiliki oleh bahan baku semen Portland.

2. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Pasir

Hasil karakterisasi SEM-EDS pada bahan baku pasir ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (*mapping*) unsur kimia pasir (b) Morfologi pasir.

Pada Gambar 4.3 (a) menunjukkan penyebaran unsur kimia yang terdeteksi pada pasir. Sedangkan, Gambar 4.3 (b) menunjukkan citra dari pasir dengan perbesaran 5.000 kali. Berdasarkan Gambar 4.3 (a) terlihat bahwa penyebaran yang paling merata ditunjukkan oleh unsur Si ditandai dengan warna ungu dan unsur Al berwarna biru. Sehingga dapat dikatakan bahwa Si dan Al merupakan unsur yang

dominan terdapat pada pasir. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil komposisi unsur menggunakan EDS yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

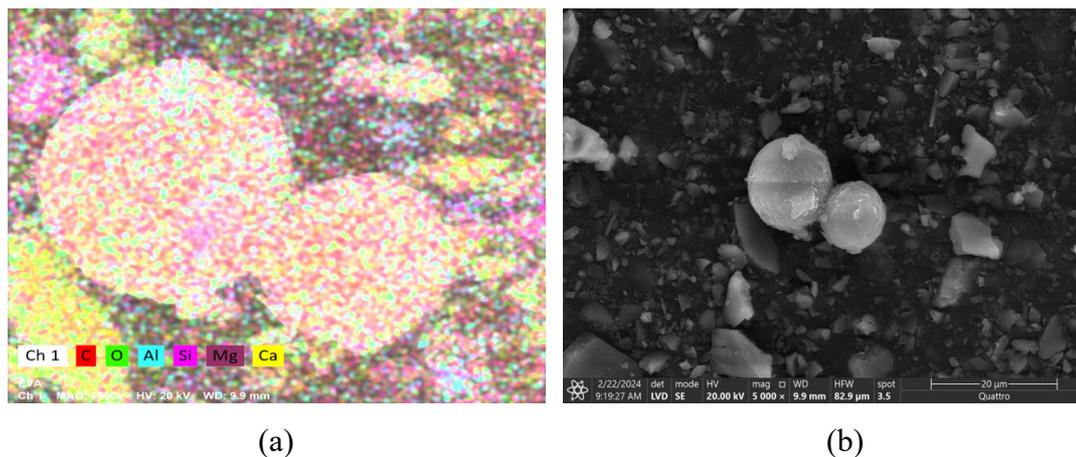
Tabel 4.4 Komposisi unsur pasir menggunakan EDS.

Unsur	Persentase (%)
C	45,87
O	31,83
Al	7,16
Si	11,10
Na	1,49
K	1,35
Fe	1,19

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa komposisi unsur Si dan Al memiliki persentase komposisi dengan nilai berturut-turut sebesar 11,10% dan 7,16%. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS sesuai dengan karakterisasi menggunakan XRF ditunjukkan bahwa unsur Si dan Al merupakan unsur dominan yang dimiliki oleh bahan baku pasir.

3. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Polimer EVA

Hasil karakterisasi SEM-EDS pada bahan baku polimer EVA ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (*mapping*) unsur kimia polimer EVA (b) Morfologi polimer EVA.

Pada Gambar 4.4 (a) menunjukkan penyebaran unsur kimia yang terdeteksi pada polimer EVA. Sedangkan, Gambar 4.4 (b) menunjukkan citra dari polimer EVA dengan perbesaran 5.000 kali. Berdasarkan Gambar 4.4 (a) terlihat bahwa penyebaran yang paling merata ditunjukkan oleh unsur Ca ditandai dengan warna kuning dan unsur Mg berwarna magenta. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil komposisi unsur EDS yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

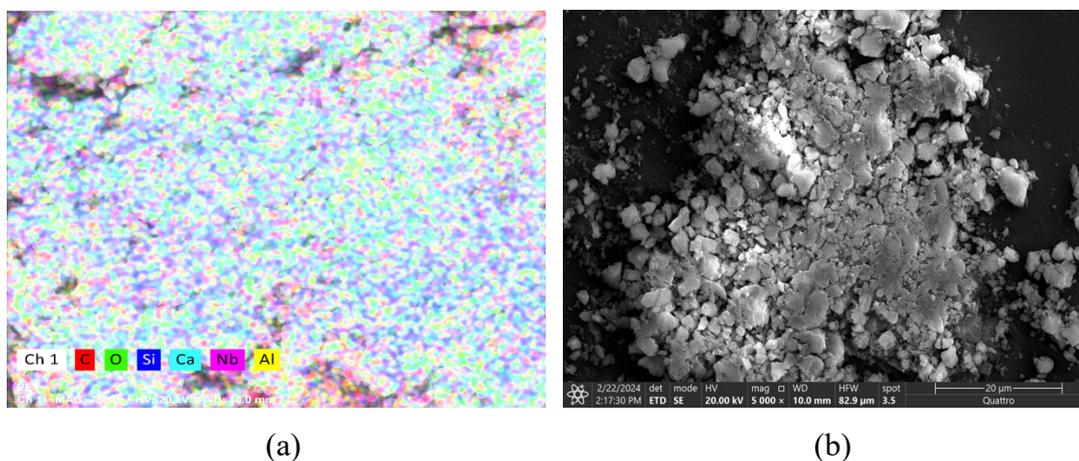
Tabel 4.5 Komposisi unsur polimer EVA menggunakan EDS.

Unsur	Persentase (%)
C	57,52
O	31,46
Al	0,43
Si	1,67
Mg	3,63
Ca	5,28

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan bahwa Ca dan Mg merupakan unsur dominan yang terdapat pada polimer EVA. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS sesuai dengan karakterisasi menggunakan XRF ditunjukkan bahwa unsur Ca dan Mg merupakan unsur dominan yang dimiliki oleh bahan baku EVA.

4. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Polimer PET

Hasil karakterisasi SEM-EDS pada bahan baku polimer PET ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil karakterisasi SEM-EDS (a) Penyebaran (*mapping*) unsur kimia polimer PET (b) Morfologi polimer PET.

Pada Gambar 4.5 (a) menunjukkan penyebaran unsur kimia yang terdeteksi pada polimer PET. Sedangkan, pada Gambar 4.5 (b) menunjukkan citra dari polimer PET dengan perbesaran 5.000 kali. Berdasarkan Gambar 4.5 (a) terlihat bahwa penyebaran yang paling merata ditunjukkan oleh unsur Ca ditandai dengan warna biru muda. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil komposisi unsur menggunakan EDS yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Komposisi unsur polimer PET menggunakan EDS.

Unsur	Persentase (%)
C	19,12
O	36,91
Al	0,63
Si	2,34
Ca	38,40
Nb	2,59

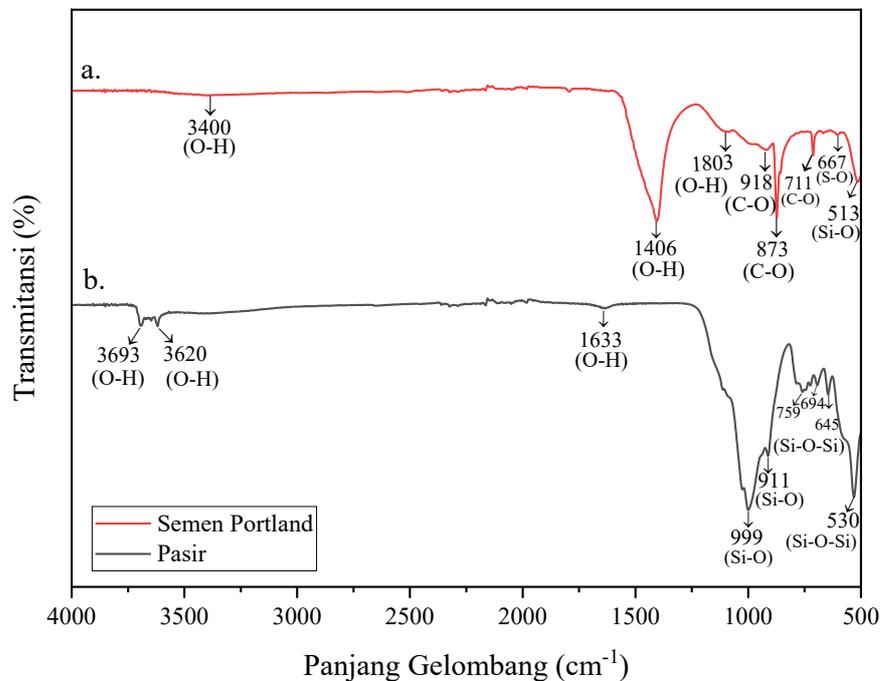
Pada Tabel 4.6 ditunjukkan bahwa Ca merupakan unsur dominan yang terdapat pada polimer PET. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS sesuai dengan karakterisasi menggunakan XRF dimana unsur Ca merupakan unsur dominan yang dimiliki oleh bahan baku PET.

4.1.4 Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Bahan Baku

Karakterisasi FTIR dilakukan pada bahan baku meliputi semen, pasir, EVA dan PET.

1. Hasil Karakterisasi FTIR pada Semen Portland dan Pasir

Hasil karakterisasi FTIR pada bahan baku semen dan pasir ditunjukkan pada Gambar 4.6.



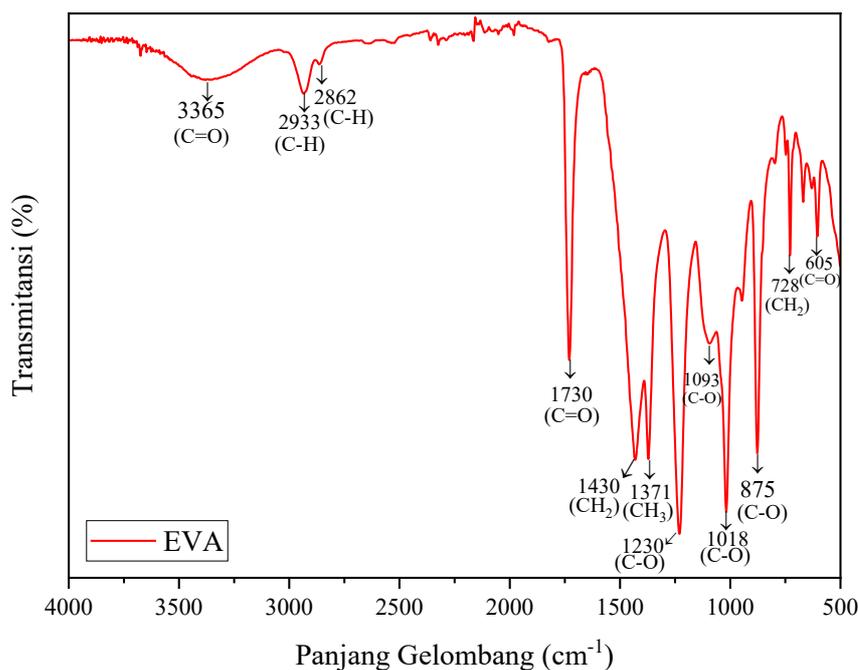
Gambar 4.6 Hasil karakterisasi FTIR (a) Semen Portland dan (b) Pasir.

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.6 (a) dapat diamati gugus fungsi dan panjang gelombang dari bahan baku semen. Pada panjang gelombang 3400 cm^{-1} adanya ikatan O-H yang menunjukkan sedikit peningkatan air. Pada panjang gelombang 900 cm^{-1} hingga 1000 cm^{-1} menghasilkan lenturan asimetris yang kuat mewakili pembentukan C-S-H pada mortar. Pada panjang gelombang 873 cm^{-1} dan 711 cm^{-1} terbentuk pita C-O. Gugus fungsi S-O terbentuk pada panjang gelombang 667 cm^{-1} yang menunjukkan adanya pembentukan sulfat dalam *ettringite* (Aft) dalam pengikatan semen Portland. Ikatan Si-O terbentuk pada panjang gelombang 513 cm^{-1} (Ylmen dan Jäglid, 2013; Tararushkin *et al.*, 2020; Horgnies *et al.*, 2013).

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.6 (b) menunjukkan gugus fungsi dan panjang gelombang dari bahan baku pasir. Pada panjang gelombang 3693 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , dan 1633 cm^{-1} terbentuk pita O-H. Terdapat gugus fungsi Si-O pada gelombang 999 cm^{-1} dan 911 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 759 cm^{-1} , 694 cm^{-1} , 645 cm^{-1} dan 530 cm^{-1} terbentuk pita Si-O-Si (Stuart, 2004; Malathy *et al.*, 2022; Chopra *et al.*, 2015).

2. Hasil Karakterisasi FTIR pada Polimer EVA

Hasil karakterisasi FTIR pada bahan baku polimer EVA ditunjukkan pada Gambar 4.7.

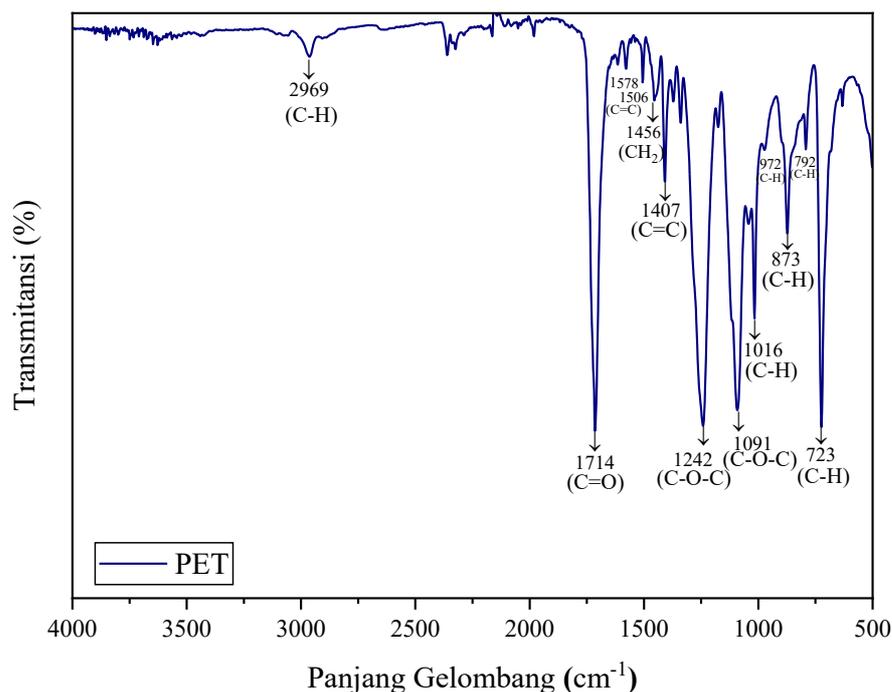


Gambar 4.7 Hasil karakterisasi FTIR polimer EVA.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 dapat menunjukkan jenis gugus fungsi dari bilangan panjang gelombang. Pada hasil grafik yang menunjukkan panjang gelombang 3365 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi O-H. Pada panjang gelombang 1730 cm^{-1} dan 605 cm^{-1} menunjukkan ikatan gugus fungsi C=O. Gugus fungsi C-H terbentuk pada panjang gelombang 2933 cm^{-1} dan 2862 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1230 cm^{-1} , 1093 cm^{-1} , dan 1018 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C-O. Ikatan CH₃ terbentuk pada panjang gelombang 1371 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1430 cm^{-1} dan 728 cm^{-1} menunjukkan terbentuknya pita CH₂ yang menunjukkan bahwa adanya serapan pada gugus *ethylene* (Silva *et al.*, 2002; Rafiq *et al.*, 2023).

3. Hasil Karakterisasi FTIR pada Polimer PET

Hasil karakterisasi FTIR pada bahan baku polimer PET ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil karakterisasi FTIR polimer PET.

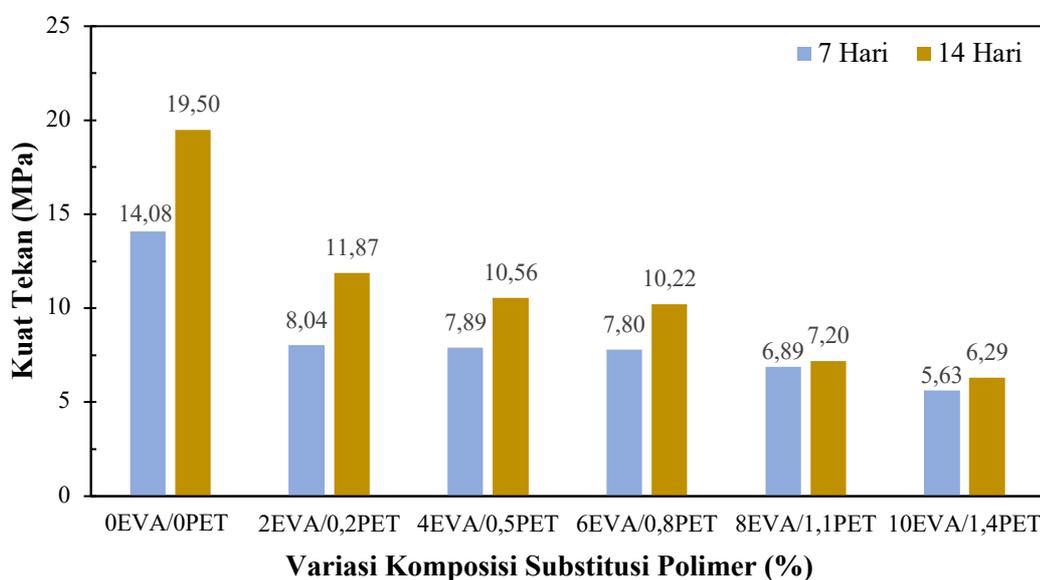
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.8 dapat menunjukkan jenis gugus fungsi dari bilangan panjang gelombang. Pada hasil grafik regangan alifatik C-H mempunyai puncak kecil pada panjang gelombang 2969 cm^{-1} dan mengalami pembengkokan puncak yang sama pada panjang gelombang 972 cm^{-1} . Pita regangan gugus ester C=O terletak pada panjang gelombang 1714 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1242 cm^{-1} dan 1091 cm^{-1} menunjukkan adanya dua pita intens untuk peregangan C-O-C dalam gugus ester. Gugus fungsi C=C ditunjukkan pada 1407 cm^{-1} . Pada panjang gelombang 1016 cm^{-1} menunjukkan pita serapan yang disebabkan oleh pembengkokan ikatan C-H. Ikatan C-H ditunjukkan pada panjang gelombang 723 cm^{-1} (Silvertein *et al.*, 1981; Vidales *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2012).

4.2 Hasil Pengujian Mortar Polimer

Pengujian mortar polimer yang dilakukan meliputi uji mekanik yaitu kuat tekan dan uji fisis yaitu porositas, absorpsi, dan massa jenis.

4.2.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Polimer

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada mortar polimer dengan kuat tekan tertinggi. Hasil pengujian kuat tekan mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram nilai kuat tekan pada mortar polimer.

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa variasi komposisi bahan yang digunakan memengaruhi nilai kuat tekan mortar polimer. Nilai kuat tekan mortar polimer berdasarkan variasi waktu perendaman 7 dan 14 hari mengalami kenaikan, sedangkan nilai kuat tekan mengalami penurunan diakibatkan bertambahnya komposisi polimer yang digunakan. Pada mortar polimer umur 7 dan 14 hari, nilai kuat tekan pada variasi komposisi polimer 0EVA/0PET berturut-turut yaitu sebesar 14,08 MPa dan 19,50 MPa, kode sampel 2EVA/0,2PET sebesar 8,04 MPa dan 11,87 MPa, kode sampel 4EVA/0,5PET sebesar 7,89 MPa dan 10,56 MPa, kode sampel

6EVA/0,8PET sebesar 7,80 MPa dan 10,22 MPa, kode sampel 8EVA/1,1PET sebesar 6,89 MPa dan 7,20 MPa, dan pada kode sampel 10EVA/1,4PET sebesar 5,63 MPa dan 6,29 MPa.

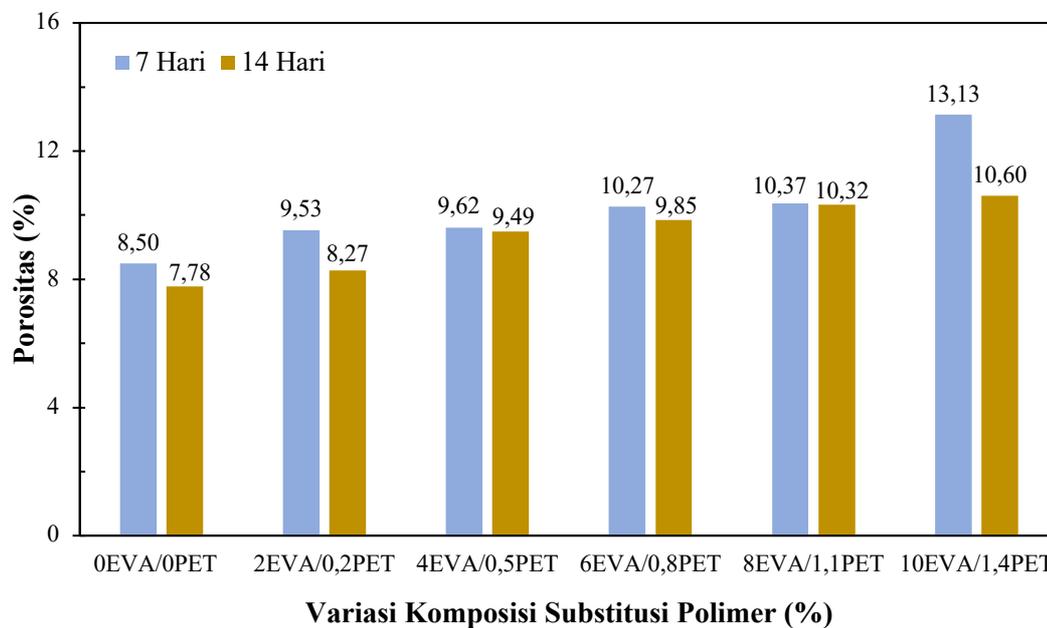
Penambahan polimer yang digunakan pada mortar polimer sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan mortar polimer yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 4.9 mortar polimer dengan penambahan polimer PET dan EVA menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah daripada nilai kuat tekan mortar normal. Penurunan nilai kuat tekan dipengaruhi oleh penggunaan komposisi polimer PET dan EVA yang semakin banyak.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Chowdhury *et al.*, (2013) yang menunjukkan bahwa polimer PET pada campuran mortar polimer memiliki tekstur permukaan halus dan mengkilat yang menyebabkan lemahnya ikatan yang terjadi antara pasta semen dan polimer sehingga mengurangi nilai kuat tekan pada mortar. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Dong *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa polimer EVA pada mortar polimer dapat menghambat hidrasi kalsium sulfoaluminat dan dapat mengurangi kontinuitas struktur semen mortar sehingga menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada mortar polimer.

Dari hasil kuat tekan yang didapatkan menunjukkan bahwa mortar polimer pada penelitian ini memenuhi syarat ASTM C720 karena nilai kuat tekan mortar lebih dari 5,2 MPa dan termasuk dalam mortar tipe N. Mortar tipe N umumnya digunakan pada dinding penahan beban interior maupun eksterior.

4.2.2 Hasil Pengujian Porositas Mortar Polimer

Hasil pengujian porositas mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram nilai porositas pada mortar polimer.

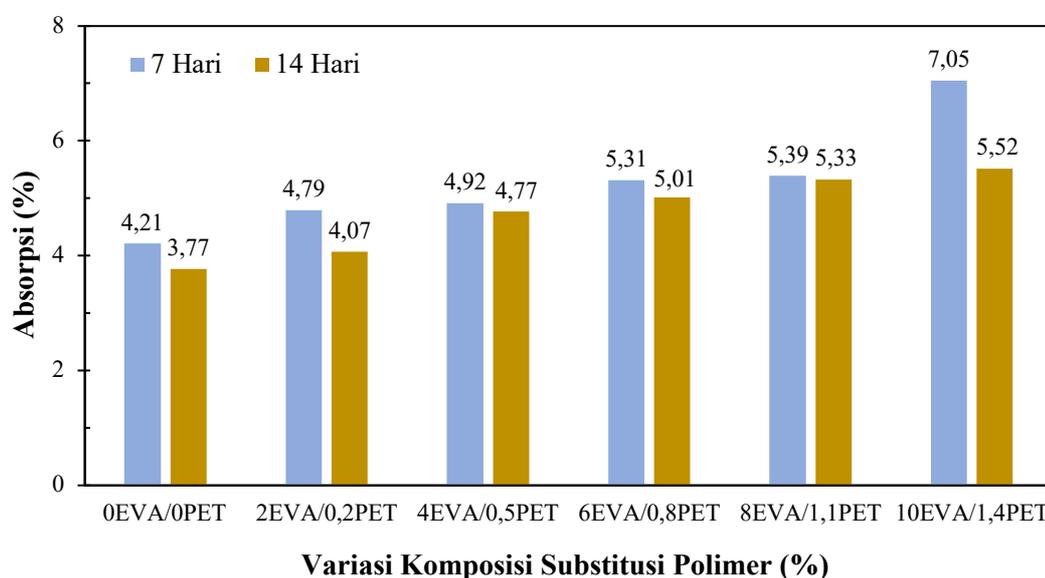
Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa variasi komposisi polimer dan waktu perendaman dapat mempengaruhi nilai porositas pada mortar polimer. Nilai porositas mortar polimer berdasarkan variasi waktu perendaman 7 hari dan 14 hari mengalami penurunan. Pada waktu perendaman umur 14 hari nilai tertinggi porositas mortar polimer terdapat pada variasi komposisi polimer 10EVA/1,4PET yaitu sebesar 10,60%, sedangkan nilai terendah porositas mortar polimer terdapat pada mortar polimer dengan kode sampel 2EVA/0,2PET yaitu sebesar 8,27%.

Pada Gambar 4.10 menunjukkan semakin banyak komposisi polimer yang digunakan maka nilai porositas akan semakin meningkat. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Chen *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa pada jenis polimer PET

berbentuk serat sebagai bahan substitusi pasir tidak mampu menutupi pori-pori sehingga dapat menurunkan nilai kuat tekan pada mortar polimer. Hal tersebut membuktikan bahwa nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan dan massa jenis.

4.2.3 Hasil Pengujian Absorpsi Mortar Polimer

Hasil pengujian absorpsi mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.11.



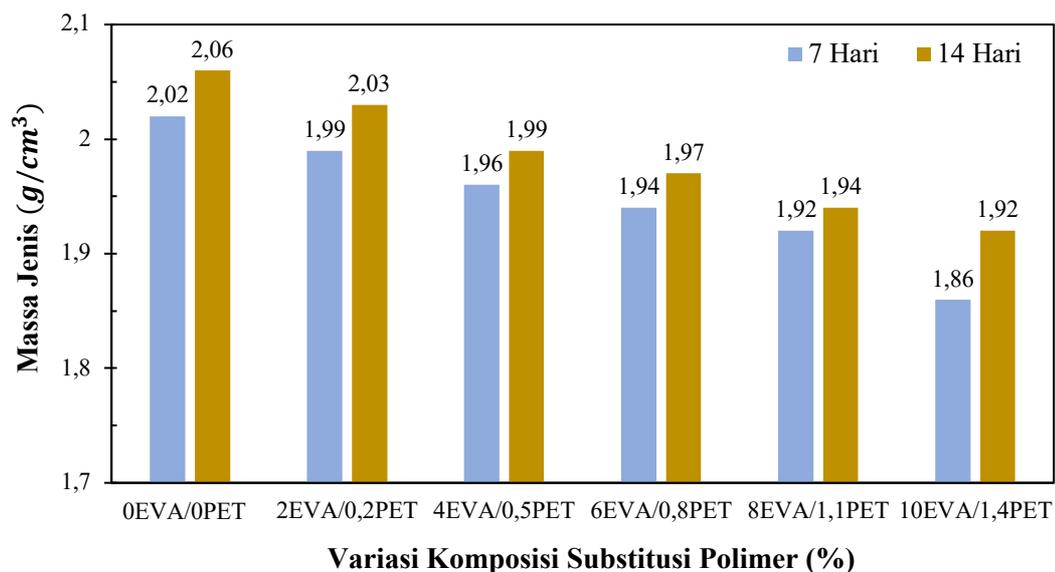
Gambar 4.11 Diagram nilai absorpsi pada mortar polimer.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa variasi komposisi polimer dan waktu perendaman dapat memengaruhi nilai absorpsi pada mortar polimer. Nilai absorpsi mortar polimer berdasarkan variasi waktu perendaman 7 hari dan 14 hari mengalami penurunan. Pada waktu perendaman umur 14 hari nilai tertinggi absorpsi mortar polimer terdapat pada variasi komposisi polimer 10EVA/1,4PET yaitu sebesar 5,52%, sedangkan nilai terendah absorpsi mortar polimer terdapat pada mortar polimer dengan kode sampel 2EVA/0,2PET yaitu sebesar 4,07%.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ramli *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai absorpsi maka semakin besar kadar penyerapan air pada mortar polimer dan semakin tinggi pula nilai porositas. Hal ini dikarenakan, semakin tinggi nilai porositas artinya semakin besar pori-pori pada mortar polimer sehingga rongga pori yang kosong tidak dapat menyerap banyak air. Nilai absorpsi akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya cacahan polimer PET yang tidak dapat menutupi pori-pori mortar. Selain itu, penelitian yang telah dilakukan oleh Hambali *et al.*, (2013) menjelaskan bahwa sifat dari PET adalah tidak larut dalam air sehingga menyebabkan terjadi penurunan daya serap air pada mortar polimer. Hal ini membuktikan bahwa nilai absorpsi berbanding lurus dengan porositas dan berbanding terbalik dengan kuat tekan mortar (Razak *et al.*, 2020).

4.2.4 Hasil Pengujian Massa Jenis Mortar Polimer

Hasil pengujian massa jenis mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Diagram nilai massa jenis pada mortar polimer.

Berdasarkan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa variasi komposisi polimer dan waktu perendaman dapat mempengaruhi nilai massa jenis pada mortar polimer. Nilai massa jenis mortar polimer berdasarkan variasi waktu perendaman 7 hari dan 14 hari mengalami kenaikan, sedangkan nilai massa jenis mengalami penurunan diakibatkan bertambahnya komposisi polimer yang digunakan. Pada waktu perendaman umur 14 hari nilai tertinggi massa jenis mortar yang telah dimodifikasi dengan polimer terdapat pada kode sampel 2EVA/0,2 PET yaitu sebesar $2,03 \text{ g/cm}^3$, sedangkan nilai terendah massa jenis mortar terdapat pada variasi komposisi polimer 10EVA/1,4PET yaitu sebesar $1,92 \text{ g/cm}^3$.

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai massa jenis berbanding terbalik dengan nilai porositas, jika struktur mortar semakin padat maka pori-pori pada mortar tersebut akan semakin sedikit. Hal ini dikarenakan, kerapatan struktur pada mortar dapat sangat berpengaruh pada nilai kuat tekan mortar. Semakin tinggi nilai massa jenis maka akan semakin tinggi pula nilai kuat tekan yang diperoleh. Hal tersebut membuktikan bahwa nilai massa jenis berbanding lurus dengan nilai kuat tekan mortar (Othman *et al.*, 2021).

4.3 Karakterisasi Mortar Polimer

Karakterisasi dilakukan terhadap mortar polimer dengan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi komposisi 2EVA/0,2PET pada waktu perendaman 7 dan 14 hari.

4.3.1 Hasil Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) Mortar Polimer

Hasil karakterisasi XRF mortar polimer ditunjukkan pada Tabel 4.7.

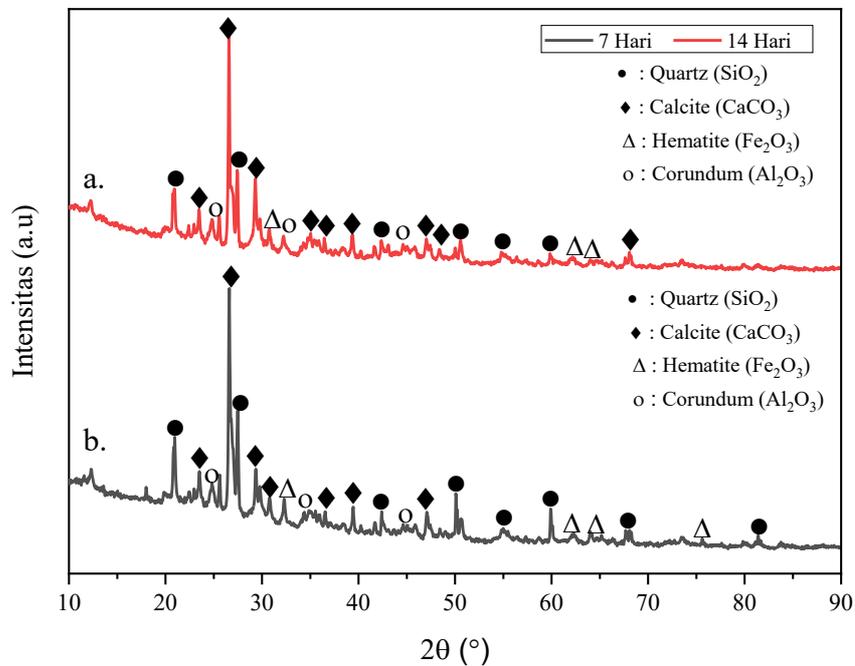
Tabel 4.7 Hasil karakterisasi XRF mortar polimer.

Senyawa Oksida	Komposisi 2EVA0,2/PET (%)	
	7 Hari	14 Hari
CaO	35,96	38,65
SiO ₂	33,61	30,34
Al ₂ O ₃	11,90	11,35
Fe ₂ O ₃	8,89	9,50
K ₂ O	7,56	7,01
TiO ₂	0,74	0,76
SO ₃	0,40	0,35
SrO	0,20	0,25
MgO	0,14	1,19
MnO	0,13	0,11
BaO	0,12	0,14

Berdasarkan Tabel 4.7 menunjukkan bahwa komposisi kimia dari kedua sampel didominasi oleh senyawa *Calcium Oxide* (CaO) dan *Silicon Dioxide* (SiO₂) dengan nilai berturut-turut yaitu sebesar 35,96% dan 33,61% pada umur perendaman 7 hari, sedangkan pada umur perendaman 14 hari sebesar 38,65% dan 30,34%. Semen, EVA, dan PET merupakan bahan yang memiliki kandungan senyawa CaO yang tinggi. Pada umumnya, senyawa CaO memiliki peran sebagai bahan perekat dalam pembuatan semen. Sehingga, ketika semen disubstitusikan sebagai material utama pada mortar kadar senyawa CaO tetap menjadi paling dominan (Silva *et al.*, 2002).

4.3.2 Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) Mortar Polimer

Hasil difraktogram mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Hasil karakterisasi XRD mortar polimer (a) 14 hari (b) 7 hari

Berdasarkan Gambar 4.13 hasil karakterisasi mortar polimer memiliki bentuk difraktogram yang dapat digolongkan ke dalam fasa kristalin, ditandai dengan fasa *calcite* yang memiliki intensitas tinggi. Terdapat beberapa fasa dominan yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

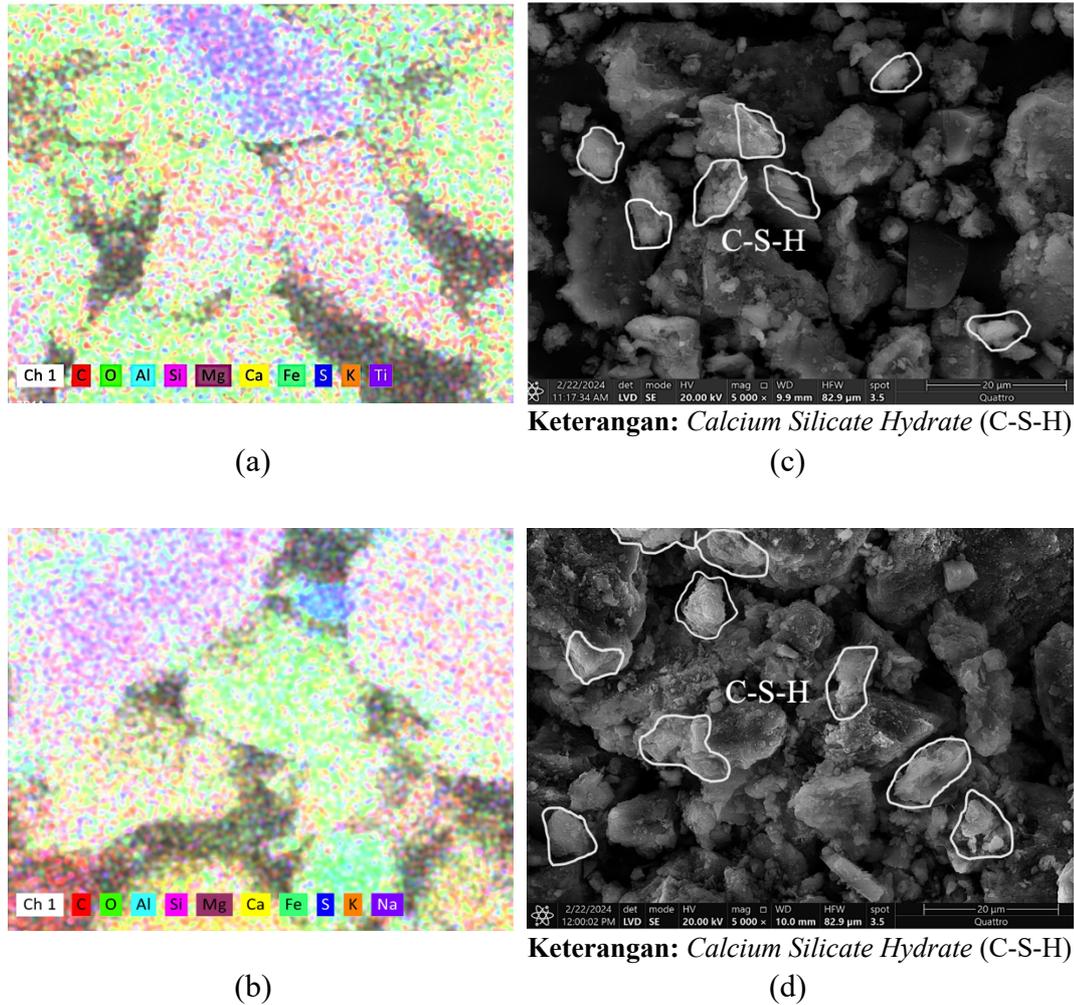
Tabel 4.8 Fasa dominan pada mortar polimer 7 hari dan 14 hari.

Fasa	Rumus Kimia	Ref.code ICDD	2θ (°)
<i>Calcite</i>	<i>Calcium Carbonate</i> (CaCO ₃)	00-005-0586	29,406°
<i>Quartz</i>	<i>Silicon Dioxide</i> (SiO ₂)	00-046-1045	26,640°
<i>Hematite</i>	<i>Iron Oxide</i> (Fe ₂ O ₃)	00-024-0072	33,115°
<i>Corundum</i>	<i>Aluminum Oxide</i> (Al ₂ O ₃)	00-010-0173	43,363°

Berdasarkan Gambar 4.13 fasa tertinggi dari difraktogram XRD mortar polimer dengan waktu perendaman 7 hari dan 14 hari adalah fasa *calcite* (CaCO_3). Fasa *calcite* menandakan adanya *calcium carbonate* yang dapat membantu proses hidrasi pada mortar polimer (Matschei *et al.*, 2007). Selain itu, terdapat fasa dominan lainnya yaitu *quartz* (SiO_2) yang dapat mempengaruhi sifat mekanik mortar polimer (Badaoui *et al.*, 2018). Fasa *hematite* (Fe_2O_3) pada mortar dapat meningkatkan daya rekat yang baik dengan pasta semen (Gencel, 2011) dan fasa *corundum* (Al_2O_3) menandakan bentuk kristal stabil dari aluminium oksida (Moutei *et al.*, 2018). Hasil karakterisasi XRD ini sesuai dengan hasil analisis XRF yang menyebutkan bahwa unsur Ca, Si, Al, dan Fe merupakan unsur yang memiliki kadar tertinggi yang terkandung pada mortar polimer komposisi 2% EVA dan 0,2% PET dengan CaO yang paling mendominasi.

4.3.3 Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Mortar Polimer

Hasil karakterisasi SEM-EDS pada mortar polimer dengan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi komposisi 2EVA/0,2PET dengan waktu perendaman 7 dan 14 hari ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil karakterisasi SEM-EDS penyebaran (*mapping*) unsur kimia (a) 7 Hari (b) 14 Hari dan morfologi mortar polimer (c) 7 hari (d) 14 hari.

Pada Gambar 4.14 menunjukkan penyebaran unsur kimia yang dan morfologi mortar polimer dengan nilai kuat tekan tertinggi pada waktu perendaman 7 dan 14 hari. Berdasarkan Gambar 4.14 (a) dan Gambar 4.14 (b) terlihat bahwa penyebaran yang paling merata pada mortar polimer ditunjukkan oleh unsur Ca ditandai dengan warna kuning dan unsur Si berwarna ungu. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil komposisi unsur menggunakan EDS pada mortar polimer umur perendaman 7 dan 14 hari ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9 Komposisi unsur menggunakan EDS 7 hari.

Unsur	Persentase (%)
C	17,80
O	36,48
Al	5,80
Si	9,64
Mg	0,33
Ca	17,56
Fe	1,72
S	0,26
K	3,08
Ti	7,32

Tabel 4.10 Komposisi unsur menggunakan EDS 14 hari.

Unsur	Persentase (%)
C	22,89
O	35,40
Al	6,50
Si	13,82
Mg	0,38
Ca	15,38
Fe	2,32
S	0,18
K	3,02
Na	0,11

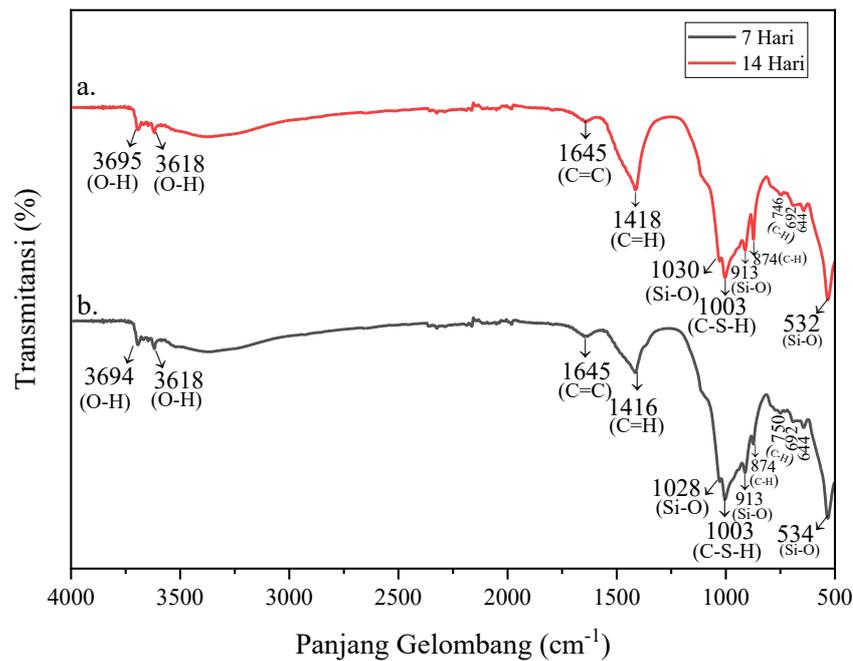
Pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 menunjukkan bahwa hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS sesuai dengan karakterisasi menggunakan XRF ditunjukkan bahwa unsur *Calcium* (Ca) dan *Silica* (Si) merupakan unsur dominan yang dimiliki oleh mortar polimer dengan waktu perendaman 7 dan 14 hari.

Pada Gambar 4.14 (c) menunjukkan morfologi pada mortar polimer umur perendaman 7 hari sedangkan pada Gambar 4.14 (d) menunjukkan morfologi pada mortar polimer umur perendaman 14 hari. Adanya pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) pada mortar polimer ditandai dengan adanya garis putih pada gambar morfologi mortar polimer. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Peng *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa mortar yang memiliki kandungan polimer dapat menghambat proses hidrasi pada mortar. Sehingga, pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) pada mortar polimer kurang optimal dibandingkan dengan mortar tanpa campuran polimer. Pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) terjadi saat reaksi kimia antara silika (Si) dan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bereaksi dengan air sehingga semakin lama waktu perendaman akan berpengaruh terhadap senyawa C-S-H yang dapat memberikan kekuatan dan stabilitas mekanik pada mortar (Lea, 2018).

4.3.4 Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Mortar

Polimer

Karakterisasi FTIR dilakukan pada mortar polimer dianalisis menggunakan aplikasi *OriginLab* dengan parameter yaitu panjang gelombang (cm^{-1}) dan transmitansi (%). Hasil karakterisasi FTIR mortar polimer ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil karakterisasi FTIR mortar polimer (a) 14 hari dan (b) 7 hari.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15 dapat menunjukkan bilangan panjang gelombang mortar polimer umur perendaman 7 hari dan 14 hari. Hasil analisis grafik yang menunjukkan pada panjang gelombang 3694 cm^{-1} , 3695 cm^{-1} , dan 3618 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan pada pita O-H yang berarti adanya molekul air yang teradsorpsi dari fasa C-S-H. Pada panjang gelombang 1645 cm^{-1} menunjukkan ikatan gugus fungsi C=C. Ikatan gugus fungsi C=H ditunjukkan pada panjang gelombang 1416 cm^{-1} dan 1418 cm^{-1} (Silva *et al.*, 2002; Benosman *et al.*, 2012). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yu *et al.*, (1999) telah menyelidiki struktur C-S-H yang terbentuk terletak pada panjang gelombang antara 980 cm^{-1} sampai 1080 cm^{-1} .

Lenturan asimetris yang kuat terhadap pembentukan C-S-H pada mortar polimer dapat ditunjukkan pada panjang gelombang 1003 cm^{-1} yang menunjukkan sebagai

peregangan pada pita Si-O (Silvertein *et al.*, 1981). Pada panjang gelombang 1030 cm^{-1} , 1028 cm^{-1} , 913 cm^{-1} , dan 912 cm^{-1} menunjukkan ikatan gugus fungsi Si-O. Pada panjang gelombang 874 cm^{-1} , 746 cm^{-1} , 750 cm^{-1} , 692 cm^{-1} , dan 644 cm^{-1} menunjukkan ikatan gugus fungsi C-H. Pada panjang gelombang 532 cm^{-1} dan 534 cm^{-1} menunjukkan ikatan gugus fungsi Si-O. (Silva *et al.*, 2002; Dachriyanus, 2004; Benosman *et al.*, 2012; Kashyap *et al.*, 2021; Yusuf, 2023).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Nilai kuat tekan dan massa jenis semakin meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, tetapi mengalami penurunan dengan bertambahnya variasi komposisi substitusi polimer yang digunakan. Sedangkan, nilai porositas dan absorpsi pada mortar polimer mengalami penurunan dengan bertambahnya variasi waktu perendaman, tetapi mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi komposisi polimer yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian ini pada mortar polimer umur perendaman 14 hari menunjukkan nilai porositas dan absorpsi berturut-turut sebesar 8,27% dan 4,07%, serta nilai massa jenis sebesar 2,03 g/cm³ dan nilai kuat tekan sebesar 11,87 MPa sesuai dengan ASTM C720 menunjukkan nilai kuat tekan mortar lebih dari 5,2 MPa termasuk ke dalam mortar tipe N.
2. Komposisi kimia yang dominan dari hasil karakterisasi XRF pada mortar polimer umur perendaman 14 hari adalah CaO, SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃.
3. Struktur fasa yang terbentuk dari hasil karakterisasi XRD pada mortar polimer adalah *calcite*, *quartz*, *corundum*, dan *hematite*.

4. Penyebaran unsur yang dominan dari hasil karakterisasi SEM-EDS pada mortar polimer yaitu *calcium* (Ca) dan *silica* (Si).
5. Gugus fungsi yang terbentuk dari hasil karakterisasi FTIR pada mortar polimer yaitu C=C, C-H, Si-O, dan O-H.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya ialah menambah variasi terhadap waktu perendaman pada mortar polimer agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akçaözoğlu, S., Atiş, C. D., & Akçaözoğlu, K. 2010. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*. Vol. 30. No. 2. Hal: 285-290.
- Assaad, J. J. 2018. Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair applications. *Construction and Building Materials*. Vol. 163. Hal: 139-148.
- ASTM C 270-10. 2010. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. ASTM Internasional. West Conshohocken. PA. USA.
- ASTM C 642-06. 2006. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM Internasional. West Conshohocken. PA. USA.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002: SNI 03-6820-2002. *Tentang Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan adukan dan Plasteran dengan Bahan Dasar Semen*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002: SNI 03-6825-2002. *Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004: SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004: SNI 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*. Jakarta.
- Badaoui, A., Benamara, A., & Benaimeche, A. M. 2018. Effect of quartz sand grains diameter on the mechanical properties of mortars. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*. Vol. 2. No. 6. Hal: 612-616.
- Beiser, A. 2003. *Concepts of Modern Physics*. Kent A. Peterson. New York.
- 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. *Material Sciences and Applications*. Vol. 3. No. 3. Hal: 139-150.

- Botahala, L. & Pasae, Y. 2020. *Kimia Semen: Suatu Kajian Literatur Ilmiah*. Deepublish. Yogyakarta.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of XRF: Getting Acquainted with The Principles 3rd Edition*. Panalytical B.V. Netherland.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. 2009. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th Edition. Wiley. New York.
- Chen, Z., Hay, J. N., & Jenkins, M. J. 2012. FTIR spectroscopic analysis of poly (ethylene terephthalate) on crystallization. *European Polymer Journal*. Vol. 48. No. 9. Hal: 1586-1610.
- Chen, X., Wu, S., & Zhou, J. 2013. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*. Vol. 40. No. 1. Hal: 869-874.
- Choi, J. Y., Joo, M. K., & Lho, B. C. 2016. Effects of silica fume content and polymer-binder ratio on properties of ultrarapid-hardening polymer-modified mortars. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 10. No. 2. Hal: 249-256.
- Chopra, D., & Siddique, R. 2015. Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*. Vol. 130. Hal: 72-80.
- Chowdhury, S., Maniar, A. T., & Suganya, O. 2013. Polyethylene terephthalate (PET) waste as building solution. *International Journal of Chemical Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*. Vo. 1. No. 5. Hal: 308-312.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction. Departement of Metallurgical Engineering and Materials Science*. Addison-Wesley Publishing Company. United States of America.
- Czarnecki. L. & Kapron, M. 2010. Sustainable construction as a research area. *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*. Vol. 17. No. 2. Hal: 99-106.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi. Sumatera Barat.
- Dong, D., Sun, H., Liu, W., Yu, J., Zuo, J., Yuan, L., Bian, Y., Huang, Y., & Lu, L. 2022. Investigation on the properties of calcium sulfoaluminate cement waterproof repair mortar modified with ethylene-vinyl acetate powder. *7 th International Conference on the Durability of Concrete Strictures*. University of Jinan, Jinan, Shandong, China.

- Francis, R. 2016. *Recycling of Polymers: Methods, Characterization and Applications*. Wiley. Germany.
- Francken, L. 1998. *Bituminous Binders and Mixes*. E & FN Spon. London.
- Fuad, I. S., Perwira, A., & Jayusman, H. 2020. Pengaruh pemakaian semen dan pasir yang berbeda terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Desiminasi dan Teknologi*. Vol. 8, No. 1. Hal: 8-12.
- Garcia, M. L., Oliveira, M. R., Silva, T. N., & Castro, A. C. M. 2021. Performance of mortars with PET. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Vol. 23. No. 2. Hal: 699-706.
- Gencil, O. 2011. Physical and mechanical properties of concrete containing hematite as aggregates. *Science and Engineering of Composite Materials*. No. 18. Hal: 191-199.
- Giergiczny, Z. 2013. Fly ash in the composition of cement and concrete. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej* (in Polish).
- Griffiths, P. R. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform*. John Willey & SMS. Toronto.
- Gübitz, G.M., Nyanhongo, G. S., & Steiner, W. 2011. *Biofunctionalization of Polymers and Their Applications*. Springer. Germany.
- Hambali, M., Lesmania, I., & Midkasna, A. 2013. Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 19. No.4. Hal: 14-21.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M., & Rangan, B. V. 2004. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *Materials Journal*. Vol. 101. No. 6. Hal: 467-472.
- Horgnies, M., Chen, J.J., & Bouillon, C. 2013. Overview about the use of Fourier Transform Infrared spectroscopy to study cementitious materials. *WIT Transaction Engineering Sciences*. Vol. 77. Hal: 251–262.
- James, J., Pal, K., Kalarikkal, N., Thomas, S., & Weimin, Y. 2019. *Processing and Characterization of Multicomponent Polymer Systems: New Insights*. Apple Academic Press. United States.
- Jenkin, R., Gould, R. W., & Dale, G. 1995. *Quantitative X-Ray Spectrometry, 2nd Edition*. Marcel Dekker. New York.
- Kalnicky, D. J. & Singhvi, R. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. No. 2. Hal: 93-122.

- Kashyap, V. S., Agrawal, U., Arora, K., & Sancheti, G. 2021. FTIR analysis of nanomodified cement concrete incorporating nano silica and waste marble dust. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 796. No. 1. Hal: 1-8.
- Lea, F. M. 2018. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Elsevier Science. United Kingdom.
- Letcher, M.T. 2020. *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*. Elsevier Science. Netherlands.
- Mansur, A. A., do Nascimento, O. L., & Mansur, H. S. 2009. Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces. *Cement and Concrete Research*. Vol. 39. No. 12. Hal: 1199-1208.
- Malathy, R., Rajagopal Sentilkumar, S. R., Prakash, A. R., Das, B. B., Chung, I. M., Kim, S. H., & Prabakaran, M. 2022. Use of industrial silica sand as a fine aggregate in concrete—an explorative study. *Buildings*. Vol. 12. No. 8. Hal: 1-26.
- Matschei, T., Lothenbach, B., & Glasser, F. P. 2007. The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*. Vol. 37. No. 4. Hal: 551-558.
- Mhadhbi, M. 2022. *Electron Microscopy*. IntechOpen. Tunisia.
- Mineral Commodity Summaries. 2014. *US Department of the Interior US Geological Survey*. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014/> (accessed 30. 09.23).
- Mohammed, A. & Abdullah, A. 2018. Scanning electron microscopy (SEM): A review. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania*. Vol. 2018. Hal: 77-85.
- Mohan, H. T., Jayanarayanan, K., & Mini, K. M. 2021. Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. *Construction and Building Materials*. Vol. 271. Hal: 1-11.
- Moutei, L., Benbrahim, Y., Bouih, A., Labied, S., Guedira, T., & Benali, O. 2018. The effect of the addition of Alumina powder on the confinement properties of a cement mortar. In *MATEC Web of Conferences*. Vol. 149. No. 1. Hal: 1-6.
- Nisticò, R. 2020. Polyethylene Terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing*. Vol. 90. Hal: 1-18.
- 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.

- Odian, G. 1991. *Principles of Polimerization*. Third edition. John Willey & Sons. New York.
- Oktamuliani, S., Samsidar, M. Z., & Nehru. 2015. Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning electron microscopy. *Journal of Physics* Vol. 1. No. 1. Hal: 12-17.
- Othman, R., Jaya, R. P., Muthusamy, K., Sulaiman, M., Duraisamy, Y., Abdullah, M. M. A. B., & Sandu, A. V. 2021. Relation between density and compressive strength of foamed concrete. *Materials*. Vol. 14. No. 11. Hal: 1-22.
- Pauliza, O. 2008. *Fisika Kelompok Teknologi dan Kesehatan*. Grafindo media Pratama. Bandung.
- Pavithra, P. E., Reddy, M. S., Dinakar, P., Rao, B. H., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. 2016. A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 133. Hal: 117-125.
- Peng, Y., Zhao, G., Qi, Y., & Zeng, Q. 2020. In-situ assessment of the water-penetration resistance of polymer modified cement mortars by μ -XCT, SEM and EDS. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 114. Hal: 1-18.
- Prasetya, F. A., Faria, N., Susanto, T. E., Firdaus, R. N. A., & Zamzami, Y. A. 2021. Influence of Sand Casting Waste as Substitutor of Quartz Sand in Mortar. *Journal of Science and Technology*. Vol. 14. No. 3. Hal: 416-420.
- Rafiq, A., Asim, M., Saud, H., Raza, M. K., & Muhammad, A. 2023. Development of Polymer-Modified Concrete Using Ethylene Vinyl Acetate Copolymer. *Iran Journal Chemical Engineering*. Vol. 42. No. 10. Hal: 3338-3347.
- 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. Hal: 221-233.
- Razak, S., Zainal, F. F., & Shamsudin, S. R. 2020. Effect of porosity and water absorption on compressive strength of fly ash based geopolymer and OPC Paste. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 957. No. 1. Hal: 1-8.
- Ribeiro, M. C. S., Ferreira, A. J. M., & Marques, A. T. 2009. Effect of natural and artificial weathering on the long-term flexural performance of polymer mortars. *Mechanics of Composite Materials*. Vol. 45. Hal: 515-526.

- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. 2021. Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 280. No.1. Hal: 1-17.
- Septianingrum, A. T., Fatmala, E. D., & Yulandri, C. M. 2019. Penambahan polimer EVA/VEOVA pada waterproof cement termodifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 14. No. 1. Hal: 10-15.
- Shamsuyeva, M. & Endres, H. J. 2021. Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market. *Composites Part C: open access*. Vol. 6. Hal: 1-16.
- Shi, C., Zou, X. & Wang, P. 2018. Influences of ethylene-vinyl acetate and methylcellulose on the properties of calcium sulfoaluminate cement. *Construction and Building Materials*. Vol. 193. Hal: 474-480.
- Sihombing, A. P, Yuzuar, A., & Agustin, G. 2018. Pengaruh penambahan arang batok kelapa terhadap kuat tekan mortar. *Jurnal Inersia*. Vol. 10. No.1. Hal: 31-38.
- 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.
- Silverstein, R. M., Bassler, G. C., & Morrill, T. C. 1981. *Spectrometric Identification of Organic Compounds* 4th ed. John Wiley & Sons. New York.
- Simanullang, D. Y. 2014. Kajian kuat tekan mortar menggunakan pasir sungai dan pasir apung dengan bahan tambahan fly ash dan conplast dengan perawatan (curing). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 2. No. 4. Hal: 621-631.
- Singh, D., Malik, H. K., Gupta, C. K., & Singh, V. 2017. X-ray diffraction studies for identification of polyethylene terephthalate fibres. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 10. No. 17. Hal. 1-4.
- Singh, A. K., Bedi, R., & Kaith, B. S. 2020. Mechanical properties of composite materials based on waste plastic - A review. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 26. No. 2. Hal: 1293-1301.
- Smith, B. C. 2011. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press. United State of America.
- Stuart, B.H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley and Sons Ltd. United Kingdom.

- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana & Dimiyati, A. 2015. Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol 9. No 2. Hal: 44-50.
- Sujatmiko, B. 2019. *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*. Media Sahabat Cendikia. Surabaya.
- Swardika, D. P., Herlina, L., Laely, A., & Kardin, F. 2019. Pengaruh rasio larutan alkali aktivator berbasis fly ash ex PLTU Suralaya Banten. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*. Vol. 2. No.1. Hal: 314-319.
- Tabikh, A. A. & Weht, R. J. 1971. An X-ray diffraction analysis of Portland cement. *Cement and Concrete Research*. Vol. 1. No. 3. Hal: 317-328.
- Tararushkin, E.V., Shchelokova, T. N., & Kudryavtseva, V.D. 2020. A study of strength fluctuations of Portland cement by FTIR spectroscopy. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*. Vol. 919. No 1. Hal: 1-4.
- Thomas, S., Rane, A., Kanny, K., Abitha, V. K., & Thomas, M. G. 2018. *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. Elsevier Science. United Kingdom.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Utomo, L. W. & Arfiana, S. 2023. Pemanfaatan limbah plastik daur ulang dari polietilen tereftalat (PET) sebagai bahan tambahan dalam pembuatan nanokomposit, semen mortar, dan aspal. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. Vol. 11. No. 1. Hal: 164-179.
- Vidales, J. M. M., Hernández, L. N., López, J. I. T., Flores, E. E. M., & Hernández, L. S. 2014. Polymer mortars prepared using a polymeric resin and particles obtained from waste pet bottle. *Construction and Building Materials*. Vol. 65. Hal: 376-383.
- Wang, R. & Zhang, L. 2015. Mechanism and durability of repair systems in polymer-modified cement mortars. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2015. No. 1. Hal: 1-8.
- 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: 1-14.
- Yingzi, L., Li, Y., Li, Q., Bao, J., Hao, D., Zhao, Z., Song, D., Wang, J., & Hu, Z. 2015. Micro-to nanoscale morphologies and chemical components of soils investigated by SEM-EDS for forensic science. *Journal of Chemistry*. Vol. 2015. Hal: 1-5.

- Ylmen, R., & Jäglid, U. 2013. Carbonation of Portland cement studied by diffuse reflection Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 7. No. 2. Hal: 119-125.
- Yu, P., Kirkpatrick, R.J., Poe, B., McMillan, P.F., & Cong, X. 1999. Structure of calcium silicate hydrate (C-S-H): near, mid and far-infrared spectroscopy. *Journal of American Ceramic Society*. Vol. 82. Hal: 742-748.
- Yusuf, M. O. 2023. Bond characterization in cementitious material binders using Fourier-transform infrared spectroscopy. *Applied Sciences*. Vol. 13. No. 5. Hal: 1-27.
- Zhao, X., Korey, M., Li, K., Copenhaver, K., Tekinalp, H., Celik, S., & Ozcan, S. 2022. Plastic waste upcycling toward a circular economy. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 428. Hal: 1-59.