

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI DAN WAKTU PERENDAMAN
TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR DENGAN PENAMBAHAN
*FIBERGLASS DAN LIMBAH STYROFOAM (POLYSTYRENE)***

(Skripsi)

Oleh

**PUTRI AMBAR WATI
2017041020**



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

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI DAN WAKTU PERENDAMAN
TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR DENGAN PENAMBAHAN
*FIBERGLASS DAN LIMBAH STYROFOAM (POLYSTYRENE)***

(Skripsi)

Oleh

**PUTRI AMBAR WATI
2017041020**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA FISIKA**

Pada

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



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR DENGAN PENAMBAHAN *FIBERGLASS* DAN LIMBAH *STYROFOAM (POLYSTYRENE)*

Oleh

PUTRI AMBAR WATI

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap karakteristik mortar dengan penambahan *fiberglass* dan limbah *styrofoam (polystyrene)* yang bertujuan untuk menentukan komposisi pembuatan mortar polimer yang optimal terhadap kuat tekan. Mortar polimer dibuat dengan mencampurkan *fiberglass* dan *styrofoam* sebagai bahan pengisi pengganti pasir dengan variasi (0, 2.5, 5, 7.5, 10, dan 12.5) wt% dari total berat mortar. Campuran tersebut dicetak dalam bentuk kubus berdimensi 5 x 5 x 5 cm³ dan direndam selama 14 dan 21 hari. Sampel mortar polimer dengan kode PM 5%-14D dan PM 5%-21D menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi, yaitu 2,65 MPa dan 4,96 MPa. Peningkatan kuat tekan ini disebabkan oleh penurunan pori dan peningkatan kerapatan struktur pada mortar polimer. Sampel tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, FTIR dan SEM-EDS. Hasil XRF menunjukkan dominasi senyawa CaO dan SiO₂, yang berkontribusi terhadap kekuatan struktur mortar. Hasil XRD mengidentifikasi fase utama sebagai *calcite* (CaCO₃) pada $2\theta = 29,40^\circ$ setelah 14 hari perendaman dan pada $2\theta = 29,41^\circ$ setelah 21 hari perendaman. Hasil FTIR mengidentifikasi ikatan hidroksil (-OH), C-S-H, Si-O, dan Si-O-Si mengindikasikan interaksi kimia yang stabil dalam mortar polimer. Hasil SEM-EDS menunjukkan penurunan jumlah pori dan peningkatan kerapatan struktur seiring bertambahnya waktu perendaman.

Kata Kunci: *fiberglass*, *styrofoam*, mortar polimer, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS.

ABSTRACT

EFFECT OF COMPOSITION VARIATION AND SOAKING TIME ON MORTAR CHARACTERISTICS WITH *FIBERGLASS* AND *STYROFOAM* (POLYSTYRENE) WASTE ADDITION

By

PUTRI AMBAR WATI

A research was conducted to investigate the effect of composition variation and soaking time on the characteristics of mortar with the addition of *fiberglass* and *styrofoam* (polystyrene) waste. The goal was to determine the optimal polymer composition for improving of compressive strength. Polymer mortars were prepared by mixing *fiberglass* and *styrofoam* as filler materials instead of sand, with variations of 0, 2.5, 5, 7.5, 10, and 12.5 wt% of the total mortar weight. The mixtures were molded into cubes with dimensions of 5 x 5 x 5 cm³ and soaked for 14 and 21 days. The polymer mortar samples coded as PM 5%-14D and PM 5%-21D exhibited the highest compressive strength values of 2.65 MPa and 4.96 MPa, respectively. This increase in compressive strength was attributed to the reduction in pore size and the enhancement in structural density of the polymer mortar. The samples were characterized using XRF, XRD, FTIR, and SEM-EDS. XRF results revealed the dominance of CaO and SiO₂ compounds, contributing to the mortar's structural strength. XRD identified the main phases as *calcite* (CaCO₃) at $2\theta = 29.40^\circ$ after 14 days of immersion and at $2\theta = 29.41^\circ$ after 21 days of immersion. FTIR results detected hydroxyl (-OH), C-H, Si-O, and Si-O-Si suggesting stable chemical interactions within the polymer mortar. SEM-EDS results showed a decrease in pore number and an increase in structural density with prolonged immersion time.

Keywords: *fiberglass*, *styrofoam*, polymer mortar, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS.

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Komposisi dan Waktu Perendaman Terhadap Karakteristik Mortar dengan Penambahan *Fiberglass* dan Limbah *Styrofoam* (*Polystyrene*)

Nama Mahasiswa : *Putri Ambar Wati*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017041020

Program Penelitian : Fisika

Bidang Keahlian : Material

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.
NIP. 196312281986102001

Pembimbing II

Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.
NIP. 19820327015021002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

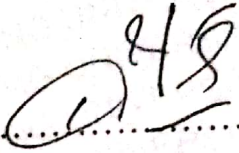
Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

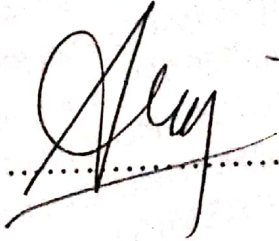
Ketua

: **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**


.....


Sekretaris

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


.....

Penguji
bukan Pembimbing

: **Prof. Drs. Posman Manurung,
B.Sc., M.Si., Ph.D.**


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 November 2024**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi saya ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepengetahuan saya juga tidak ada karya orang lain yang ditulis dan diterbitkan sama dengan yang saya tulis, kecuali referensi yang saya cantumkan pada daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan skripsi ini ditulis oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 November 2024



Putri Ambar Wati

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Putri Ambar Wati dilahirkan di Kota Lubuklinggau, Provinsi Sumatera Selatan pada 08 April 2002 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Sanim dan Ibu Titik Sinah Priyani.

Penulis memulai Pendidikan di SD Negeri 05 Kota Lubuklinggau dan lulus pada tahun 2014 lalu melanjutkan di SMP Negeri 07 Kota Lubuklinggau dan lulus pada tahun 2017, serta melanjutkan sekolah menengah atas di MAN 1 (Model) Kota Lubuklinggau dan lulus pada tahun 2020. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN) pada tahun 2020.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) dibidang Kaderisasi pada tahun 2021-2022. Aktif sebagai pengurus Rohani Islam (ROIS) dibidang Akademik dan Riset pada tahun 2020-2021. Aktif sebagai pengurus Bina Rohani Islam Mahasiswa (BIROHMAH) dibidang Riset dan Prestasi pada tahun 2020-2021. Penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di UPTD Laboratorium Lingkungan Provinsi Lampung dengan judul “Pengujian Kadar Besi (Fe) pada Sampel Air Limbah dan

Air Bersih Di UPTD Laboratorium Lingkungan Provinsi Lampung Mengacu pada SNI 6989-84:2019 Menggunakan Metode Uji Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)” pada bulan Januari tahun 2023.

Penulis juga aktif dalam program Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2023 di Desa Pasar Baru, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran, yang mana penulis berperan aktif dalam kegiatan penyuluhan tentang pentingnya pendidikan, pelatihan *eco*-enzim, serta kegiatan pengembangan UKM guna peningkatan Pembangunan Desa Pasar Baru. Penulis melakukan penelitian tugas akhir di Laboratorium *Heat-Treatment*, Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTP-BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan pada bulan Januari 2024 hingga Mei 2024.

Penulis aktif sebagai Asisten Dosen untuk Mata Kuliah Fisika Zat Padat pada semester ganjil tahun ajaran 2023/2024 dan 2024/2025. Penulis juga aktif sebagai Asisten Praktikum Fisika Dasar pada tahun ajaran 2022/2023, Asisten Praktikum Komposit, Lapisan Tipis, Logam dan Korosi pada tahun ajaran 2023/2024, juga sebagai Asisten Praktikum Sol Gel pada tahun 2024/2025. Melalui pengalaman ini, penulis memperdalam pemahaman dalam bidang Fisika sekaligus ikut berkontribusi pada proses pembelajaran mahasiswa lain sebagai tutor sebaya.

MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”.

Qs. Al Baqarah : 216

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu.”

~Umar bin Khattab

“Fokuslah pada tujuanmu,
jangan pikirkan tentang terjalnya perjalanan,
selama kamu membawa bekal dan kamu masih terus berjalan,
kamu pasti sampai.”

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa Syukur kepada Allah SWT penulis mempersembahkan karya
ini kepada:

Kedua orang tuaku

Bapak Sanim & Ibu Titik Sinah Priyani

Terima kasih atas semua do'a dan dukungan yang senantiasa diberikan demi
keberhasilan mbak hingga dapat menyelesaikan Pendidikan sebagai Sarjana Sains.

Adik-adikku

Ikhsan Micho Sandjaya & Abqary Ihafran

Terima kasih telah menjadi semangat mbak untuk tetap bisa tersenyum dan
berjuang sampai dititik ini.

Keluarga Besar & Sahabat

Terima kasih atas segala bentuk dukungan yang diberikan.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi dan Waktu Perendaman Terhadap Karakteristik Mortar dengan Penambahan *Fiberglass* dan Limbah *Styrofoam (Polystyrene)*”**. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bentuk perbaikan penulis kedepannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan wawasan mengenai penelitian perkembangan mortar polimer serta dapat menjadi penelitian literatur pada penelitian selanjutnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 12 November 2024

Putri Ambar Wati

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi dan Waktu Perendaman Terhadap Karakteristik Mortar dengan Penambahan *Fiberglass* dan Limbah *Styrofoam (Polystyrene)*”** adalah memperoleh gelar sarjana Fisika di Universitas Lampung. Selama proses penulisan skripsi ini terdapat banyak drama internal dan eksternal, namun karena dibantu dan didukung oleh banyak pihak sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama yang senantiasa membimbing dan memberikan saran dalam proses penulisan skripsi ini;
2. Bapak Muhammad Amin, S.T. dan Dr. Sudiby, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam proses penulisan skripsi ini;
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang senantiasa memberikan memberikan kritik dan arahan dalam skripsi ini.

4. Bapak Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis;
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
7. Pimpinan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah memberikan kesempatan untuk dalam melaksanakan penelitian ini;
8. Seluruh staff BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian ini;
9. Seluruh Dosen Fisika yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis;
10. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
11. Sahabat penulis yaitu Sutiana, Tuti Yuliyanti, Erlinda Maelani, Nanda Hervina Eka Septiani dan seluruh Mahasiswa Fisika Angkatan 2020 yang selalu kebersamai penulis dalam perjuangan;
12. Seluruh member ZEROBASEONE dan BTOB yang selalu menjadi *support system* bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT meridhoi dan memberikan balasan terbaik untuk semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 12 November 2024

Putri Ambar Wati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Mortar Polimer.....	7
2.2. Bahan Pengisi Mortar	9
2.2.1. <i>Styrofoam</i>	9
2.2.2. <i>Fiberglass</i>	10
2.3. Karakterisasi Mortar Polimer.....	12
2.3.1. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	12
2.3.2. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	13
2.3.3. SEM-EDS	14
2.3.4. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.3.5. Uji Tekan (<i>compression test</i>).....	18

III. METODE PENELITIAN.....	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2. Alat dan Bahan.....	20
3.3. Prosedur Penelitian	22
3.3.1. Preparasi Bahan Pembuatan Mortar Polimer	22
3.3.2. Pembuatan Mortar Polimer.....	22
3.4. Diagram Alir Penelitian	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Karakterisasi Bahan Baku.....	26
4.1.1. Hasil Karakterisasi XRF Bahan Baku	26
4.1.2. Hasil Karakterisasi XRD Bahan Baku	29
4.1.3. Hasil Karakterisasi FTIR Bahan Baku	32
4.1.4. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Bahan Baku.....	35
4.1.4.1. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Semen.....	35
4.1.4.2. Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Pasir.....	38
4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Polimer.....	40
4.3. Karakterisasi Mortar Polimer.....	44
4.3.1. Hasil Karakterisasi XRF Mortar Polimer	45
4.3.2. Hasil Karakterisasi XRD Mortar Polimer	46
4.3.3. Hasil Karakterisasi FTIR Mortar Polimer	51
4.3.4. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Mortar Polimer.....	52
4.3.4.1. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Mortar Polimer PM 5%-14D.....	52
4.3.4.2. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Mortar Polimer PM 5%-21D.....	55
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1. Simpulan	57
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Mortar semen (Al-Ghaban <i>et al.</i> , 2018).....	7
2.2. Mortar polimer (Putri <i>et al.</i> , 2021).....	8
2.3. <i>Styrofoam</i> yang sudah diparut.....	9
2.4. Struktur kimia <i>styrene</i> dan <i>polystyrene</i> (Gurman <i>et al.</i> , 1987).....	9
2.5. <i>Fiberglass</i>	11
2.6. Skema alat XRF (Beckhoff <i>et al.</i> , 2008).....	12
2.7. Skema alat XRD (Cullity, 1978).....	13
2.8. Skema alat FTIR (Prasad, 2021).....	15
2.9. Skema alat SEM-EDS (Goldstein <i>et al.</i> , 2017).....	17
2.10. Skema pengujian tekan (<i>Compression Test</i>) pada mortar (Kuhn and Medlin, 2000)	19
3.1. Diagram alir penelitian.....	25
4.1. Hasil karakterisasi XRD bahan baku (a) pasir (b) semen	29
4.2. Hasil <i>refinement</i> data XRD pasir silika menggunakan <i>software</i> Rietica	30
4.3. Hasil <i>refinement</i> data XRD semen menggunakan <i>software</i> Rietica	31
4.4. Hasil karakterisasi FTIR bahan baku (a) semen (b) pasir (c) <i>fiberglass</i> dan (d) <i>styrofoam</i>	32
4.5. Hasil karakterisasi SEM bahan baku semen perbesaran 10.000 kali	36
4.6. Hasil karakterisasi EDS bahan baku semen	37
4.7. Hasil karakterisasi SEM bahan baku pasir perbesaran 10.000 kali	38
4.8. Hasil karakterisasi EDS bahan baku pasir	39
4.9. Diagram nilai kuat tekan mortar polimer dengan waktu perendaman 14 hari dan 21 hari	41
4.10. Hasil karakterisasi XRD mortar polimer (a) PM 5%-14D dan	

(b) PM 5%-21D	46
4.11. Hasil <i>refinement</i> data XRD mortar polimer dengan kode sampel PM 5%-14D menggunakan <i>software</i> Rietica	49
4.12. Hasil <i>refinement</i> data XRD mortar polimer dengan kode sampel PM 5%-21D menggunakan <i>software</i> Rietica	49
4.13. Hasil karakterisasi FTIR mortar polimer (a) PM 5%-14D dan (b) PM 5%-21D	51
4.14. Hasil karakterisasi SEM mortar polimer (PM 5%-14D) perbesaran 10.000 kali	53
4.15. Hasil karakterisasi EDS mortar polimer (PM 5%-14D)	54
4.16. Hasil karakterisasi SEM mortar polimer (PM 5%-21D) perbesaran 10.000 kali	55
4.17. Hasil karakterisasi EDS mortar polimer (PM 5%-21D)	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	21
3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	21
3.3. Variasi komposisi mortar polimer dengan waktu perendaman 14 hari.....	22
3.4. Variasi komposisi mortar polimer dengan waktu perendaman 21 hari.....	23
4.1. Hasil karakterisasi XRF bahan baku semen dan pasir	27
4.2. Hasil karakterisasi XRF bahan baku <i>fiberglass</i> dan <i>styrofoam</i>	28
4.3. Fasa pada bahan baku pasir	29
4.4. Fasa pada bahan baku semen	30
4.5. Parameter kesesuaian <i>refinement</i> data XRD pasir silika dan semen.....	31
4.6. Parameter fasa dalam persen berat (<i>wt%</i>)	32
4.7. Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada bahan pasir silika.....	32
4.8. Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada bahan semen.....	32
4.9. Komposisi unsur semen menggunakan EDS	37
4.10. Komposisi unsur pasir menggunakan EDS.....	40
4.11. Hasil uji kuat tekan mortar polimer dengan waktu perendaman 14 hari dan 21 hari	42
4.12. Hasil karakterisasi XRF mortar polimer dengan kode sampel PM 5%-14D dan PM 5%-21D	45
4.13. Fasa pada mortar polimer dengan kode sampel PM 5%-14D.....	47
4.14. Fasa pada mortar polimer dengan kode sampel PM 5%-21D.....	48
4.15. Parameter kesesuaian <i>refinement</i> data XRD sampel PM 5%-14D dan PM 5%-21D	50
4.16. Parameter fasa dalam persen berat (<i>wt%</i>)	50
4.17. Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada sampel PM 5%-14D dan	

PM 5%-21D	50
4.18. Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada sampel PM 5%-14D dan PM 5%-21D	50
4.19. Komposisi unsur mortar polimer (PM 5%-14D) menggunakan EDS	54
4.20. Komposisi unsur mortar polimer (PM 5%-21D) menggunakan EDS	56

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mortar adalah material yang digunakan dalam konstruksi bangunan untuk merekatkan batu, pasir, atau material lainnya (Neville, 2012). Ada tiga jenis mortar yang umum digunakan dalam konstruksi, yaitu mortar semen, mortar kapur, dan mortar polimer. Mortar semen merupakan jenis mortar yang menggunakan semen sebagai pengikat utamanya dan biasanya digunakan untuk merekatkan bata, batu, atau material bangunan lainnya. Mortar kapur merupakan jenis mortar yang menggunakan kapur hidrat (Ca(OH)_2) sebagai pengikat utamanya dan biasanya digunakan pada bangunan bersejarah atau proyek yang memerlukan material alami. Sementara itu, mortar polimer merupakan jenis mortar yang menggunakan matriks polimer sebagai pengikatnya dan biasanya digunakan untuk perbaikan struktur bangunan yang rusak, seperti pada dinding dan lantai (Schmidt, 2008).

Ketiga jenis mortar tersebut umumnya memiliki karakteristik yang saling melengkapi. Namun, saat ini mortar polimer populer digunakan pada berbagai aplikasi didalam bidang konstruksi seperti untuk perbaikan struktur beton, dinding, lantai, dan pengisi retakan (Zhang *et al.*, 2021). Hal tersebut disebabkan karena penambahan polimer pada mortar dapat meningkatkan kuat tekan,

kekerasan dan elastisitas (Zhang *et al.*, 2021). Berdasarkan ini maka, banyak dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai mortar polimer (Kreutz *et al.*, 2021; Prasittisopin *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2023; Balagopal *et al.*, 2023).

Berbagai penelitian terkait mortar polimer telah dilakukan, diantaranya penelitian oleh Balagopal *et al.* (2023) menunjukkan bahwa penambahan polimer EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) dapat meningkatkan sifat elastisitasnya dan tahan terhadap deformasi. Penelitian lain menggunakan polimer *styrofoam* atau *polystyrene* sebagai bahan pengganti pasir (Kreutz *et al.*, 2021; Prasittisopin *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2023) dan didapatkan hasil bahwa penambahan *styrofoam* atau *polystyrene* dapat mengurangi massa jenisnya (Kreutz *et al.*, 2021), membuatnya lebih ringan (Yu *et al.*, 2023) dan mudah untuk diaplikasikan (Prasittisopin *et al.*, 2022). Penelitian oleh Devi *et al.* (2022) menggunakan penambahan polimer *fiberglass* (*fiberglass*) sebanyak 2 % dan didapatkanlah hasil bahwa penambahan *fiberglass* dapat meningkatkan elastisitas mortar polimer hingga 30 % dibandingkan dengan mortar polimer tanpa *fiberglass*.

Namun, penting untuk dipahami bahwa keunggulan tersebut hanya akan tercapai jika faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti komposisi bahan baku yang digunakan tepat (Kujawa *et al.*, 2021), penambahan polimer yang sesuai (Kim, 2020), proses pencampuran yang baik (Qi *et al.*, 2022), dan waktu perendaman yang tepat (Verma *et al.*, 2021). Penelitian oleh Zhao *et al.* (2022) menunjukkan bahwa jumlah polimer yang berlebihan dapat menghasilkan mortar polimer yang cenderung rapuh dan rentan retak akibat *over-polimerisasi*. Pentingnya

pencampuran yang homogen dan waktu perendaman yang tepat juga ditegaskan dalam penelitian oleh Verma *et al.* (2021), Zhao *et al.* (2022), dan Qi *et al.* (2022). Sebagai contoh, perendaman selama 14-28 hari, seperti yang disarankan oleh Zhang *et al.* (2021) sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan hingga 15 %.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya melibatkan penambahan satu jenis polimer dalam mortar, seperti yang telah diuraikan. Maka, telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap karakteristik mortar dengan penambahan *fiberglass* dan *styrofoam* (*Polystyrene*) yang diharapkan akan menghasilkan mortar polimer yang memiliki sifat mekanis seperti kuat tekan, kekerasan dan elastisitas yang lebih unggul, karena mengkombinasikan keunggulan dari *styrofoam* dan *fiberglass*. Mortar polimer telah dikarakterisasi menggunakan *X-Ray fluorescence* (XRF) untuk menganalisis unsur kimia, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui mikrostruktur, dan akan dilakukan juga pengujian tekan (*compression test*) pada setiap sampel mortar polimer.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana proses pembuatan mortar dengan penambahan *styrofoam* dan *fiberglass*?
2. Bagaimana pengaruh komposisi penambahan polimer *styrofoam* dan *fiberglass* dan waktu perendaman terhadap kuat tekan pada mortar?
3. Bagaimana komposisi kimia, struktur kristal, bentuk morfologi dan gugus fungsi yang terbentuk pada mortar polimer?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui proses pembuatan mortar dengan penambahan *styrofoam* dan *fiberglass*.
2. Mengetahui komposisi penambahan *styrofoam* dan *fiberglass* dan pengaruh waktu perendaman yang tepat terhadap kuat tekan pada mortar.
3. Mengetahui komposisi kimia, struktur kristal, bentuk morfologi dan gugus fungsi yang terbentuk pada mortar polimer.

1.4. Batasan Masalah

Adapun dalam penelitian ini penulis membatasi masalah kedalam beberapa hal di bawah ini :

1. Semen yang digunakan pada penelitian sesuai dengan SNI-15-7064-2004 untuk semen portland komposit dengan merk dagang semen Baturaja.

2. Pasir yang digunakan pada penelitian berasal dari BRIN Tanjung Bintang.
3. *Styrofoam* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan limbah *styrofoam* yang dihaluskan dengan variasi komposisi penambahan 0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 %, 10 %, dan 12.5 %.
4. *Fiberglass* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *fiberglass Chopped Strand Matt* yang dibeli di Toko Mega Sakti Bandar Lampung dengan variasi komposisi penambahan 0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 %, 10 %, dan 12.5 %.
5. Perendaman pada mortar polimer dilakukan pada 14 hari dan 21 hari.
6. Pengujian kuat tekan (*compression test*) dilakukan pada semua mortar polimer yang berbentuk kubus dengan dimensi 5 x 5 x 5 cm³ berdasarkan SNI 15-2049-2021 dan menggunakan alat uji yaitu, UTM (*Universal Testing Machine*) tipe HT-2402 yang tersedia di BRIN Tanjung Bintang.
7. Semen, pasir, *styrofoam*, dan *fiberglass* yang akan dikarakterisasi sudah dihaluskan dan diayak hingga lolos mesh 325. Selanjutnya, dikarakterisasi XRF, XRD, SEM-EDS, dan FTIR yang tersedia di BRIN Tanjung Bintang.
8. Karakterisasi mortar polimer dilakukan menggunakan XRF, XRD, FTIR, dan SEM-EDS untuk nilai uji tekan menggunakan yang variasi 5 % (sesuai dengan hasil uji UTM).

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui proses pembuatan mortar dengan penambahan *styrofoam* dan *fiberglass*.

2. Dapat mengetahui komposisi penambahan polimer dan waktu perendaman yang optimal pada mortar sehingga memiliki kuat tekan yang baik.
3. Dapat mengetahui komposisi kimia, struktur kristal, bentuk morfologi dan gugus fungsi yang terbentuk pada mortar polimer dengan penambahan *styrofoam* dan *fiberglass*.
4. Dapat menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam bidang material konstruksi untuk mengembangkan penelitian mengenai mortar polimer.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Pustaka ini menjelaskan beberapa konsep dasar dan teori yang mendukung topik penelitian. Pembahasan dimulai dari penjelasan tentang mortar polimer, bahan pengisi mortar polimer, *styrofoam*, *fiberglass*, karakterisasi mortar polimer meliputi, *X-Ray fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy-Energy-Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*, dan uji tekan (*compression test*).

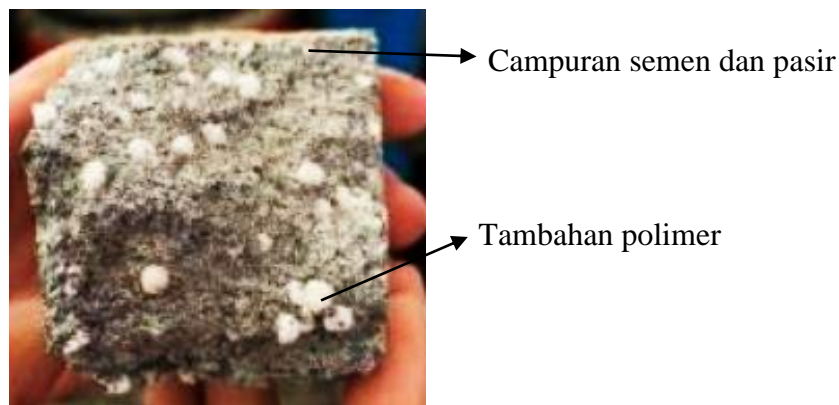
2.1. Mortar Polimer

Mortar polimer merupakan jenis mortar yang menggunakan matriks polimer sebagai pengikatnya dan sering digunakan untuk perbaikan struktur bangunan yang rusak, seperti pada dinding dan lantai (Schmidt, 2008). Mortar polimer juga merupakan modifikasi dari mortar semen, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Mortar semen (Al-Ghaban *et al.*, 2018).

Gambar 2.1 menunjukkan mortar semen yang dibuat oleh Al-Ghaban *et al.* (2018) pada penelitiannya tersebut mortar semen masih rawan retak. Mortar semen memiliki beberapa kelemahan seperti pengerasan lambat, kuat tekan yang lemah, dan ketahanan kimia yang terbatas (Ohama, 1996). Sehingga dibutuhkan modifikasi dalam mortar semen agar meningkatkan sifat-sifat mortar semen tersebut menjadi lebih baik. Maka, dilakukanlah upaya modifikasi mortar semen dengan dilakukan penambahan polimer, karena polimer memiliki sifat elastisitas yang baik (Zhang *et al.*, 2021). Selain itu, penambahan polimer juga dapat mengurangi massa jenis mortar, sehingga membuat mortar lebih ringan dan mudah untuk diaplikasikan (Yu *et al.*, 2023). Setelah dilakukan penambahan polimer kedalam mortar semen, mortar tersebut lebih dikenal dengan nama mortar polimer.



Gambar 2.2. Mortar polimer (Putri *et al.*, 2021).

Gambar 2.2 menunjukkan mortar polimer yang dibuat oleh Putri *et al.* (2021), yang dalam penelitiannya digunakan matriks polimer *styrofoam* atau *polystyrene* sebagai bahan pengisi mortar dan didapatkan hasil bahwa penambahan *styrofoam* atau *polystyrene* sebanyak 4 % didapatkan kuat tekan sebesar 13,52 MPa dan didapatkan juga hasil bahwa semakin besar persentase penambahan *styrofoam*

membuat kuat tekan mortar semakin menurun, karena terjadi *over*-polimerisasi. Untuk itu penambahan polimer sebagai bahan penggisi mortar tidak lebih dari 5% dari komposisi pasir atau bisa juga dikombinasikan dengan penambahan polimer lain yang sifatnya berbeda dari polimer sebelumnya.

2.2. Bahan Pengisi Mortar

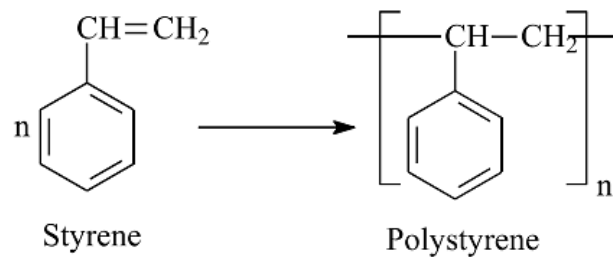
2.2.1. *Styrofoam* (*Polystyrene*)

Styrofoam adalah bahan plastik ringan yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Dibuat dari polistirena, *styrofoam* dikenal karena ringan, tahan air, dan memiliki sifat isolasi yang baik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Styrofoam* yang sudah diparut.

Polystyrene adalah polimer termoplastik yang terdiri dari rantai panjang unit monomer stiren seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Struktur kimia *styrene* dan *polystyrene* (Gurman *et al.*, 1987).

Proses ekstrusi melibatkan pemanasan polistirena hingga suhu yang tinggi dan kemudian ditekan melalui cetakan untuk membentuk bentuk akhirnya (Gray, 2011). Produk berbahan dasar polistirena dibuat melalui hampir semua metode fabrikasi yang dikenal dalam industri plastik (Fry, 1999).

Styrofoam mempunyai sifat yang ringan sehingga sering digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan kemasan (Kreutz *et al.*, 2021) sehingga sering menjadi limbah. Limbah *styrofoam* telah menjadi masalah lingkungan yang signifikan karena sulit terurai dan dapat mencemari lingkungan, terutama lautan (Prasittisopin *et al.*, 2022). *Styrofoam* yang dibuang secara tidak bertanggung jawab dapat menciptakan polusi plastik yang merusak lingkungan (Deng *et al.*, 2022). Untuk mengatasi masalah itu digunakanlah *styrofoam* sebagai bahan pengisi pengganti pasir pada mortar polimer. Menurut penelitian oleh Zhang *et al.* (2021) penggunaan *styrofoam* dapat mengurangi berat dan kerapatan mortar polimer sehingga mortar memiliki massa jenis rendah dan sifat elastisitas yang baik.

2.2.2. Fiberglass

Fiberglass adalah serat panjang yang terbuat dari kaca yang ditarik (Lopatin and Zagoruiko, 2020). Sistem $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{ZrO}_2\text{SiO}_2$ sukses dipatenkan oleh N.R.D.C. dan akhirnya dikembangkan menjadi proses yang layak untuk diproduksi menjadi *fiberglass*. *Fiberglass* memiliki sifat mekanik yang baik (Somaiah *et al.*, 2022) dan bertindak sebagai penguat struktural dalam matriks polimer sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan tekan mortar polimer (Malek *et al.*,

2021). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan *fiberglass* dalam mortar polimer dapat meningkatkan sifat mekanis (Yuan and Jia, 2021; Malek *et al.*, 2021) dan ketahanan terhadap retakan (Zhang *et al.*, 2021). Namun, penambahan *fiberglass* sebagai bahan pengisi tidak boleh melebihi 20 % dari massa bahan dasar mortar (ACI Committee 440, 2008) karena akan terjadi *over-polimerisasi* yang membuat mortar polimer menjadi cenderung rapuh dan rentan retak (Zhao *et al.*, 2022). *Fiberglass* atau lembaran *fiberglass* yang ringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 digunakan sebagai bahan pengganti pasir pada mortar polimer, menurut penelitian oleh Devi *et al.* (2022) penambahan *fiberglass* dapat mengurangi kemungkinan terjadinya retakan pada struktur material sehingga cocok diaplikasikan dalam bidang konstruksi.



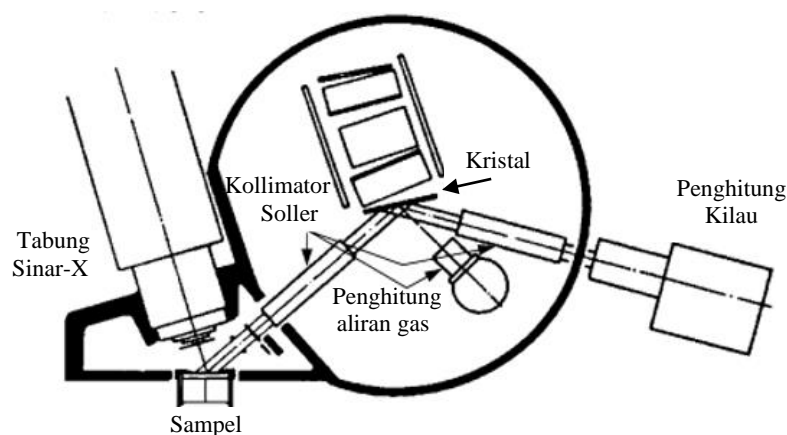
Gambar 2.5. *Fiberglass*.

Fiberglass sering digunakan dalam bidang konstruksi sebagai bahan tambahan pada pembuatan beton bertulang dan struktur bangunan yang memerlukan kekuatan tambahan, karena *fiberglass* memiliki modulus elastisitas yang tinggi, yang berarti *fiberglass* memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk aslinya setelah mengalami deformasi (Zhang *et al.*, 2024).

2.3. Karakterisasi Mortar Polimer

2.3.1. X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF adalah sebuah teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari suatu sampel material. Teknik ini didasarkan pada sifat fluoresensi yang dimiliki oleh materi saat terkena radiasi sinar-X. Ketika sampel terkena sinar-X, atom-atom di dalam sampel akan menyerap energi dari radiasi tersebut dan menghasilkan fluoresensi sinar-X yang khas. Sinyal fluoresensi ini kemudian direkam dan dianalisis untuk menentukan komposisi kimia dari sampel (Beckhoff *et al.*, 2008). Adapun skema alat XRF ditunjukkan pada Gambar 2.6.



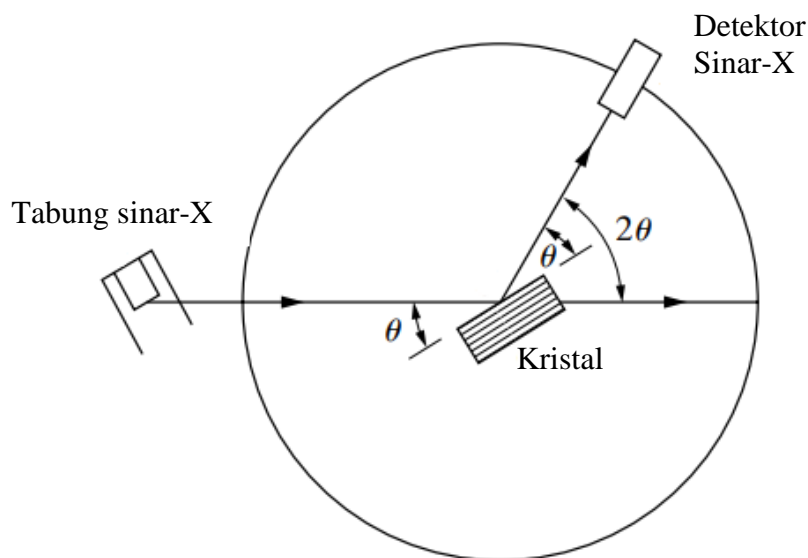
Gambar 2.6. Skema alat XRF (Beckhoff *et al.*, 2008).

Alat tersebut terdiri dari tabung sinar-X, sampel, kolimator soller, kristal, penghitung aliran gas, dan penghitung kilau. Analisis XRF melibatkan beberapa tahap proses, termasuk persiapan sampel, pengaturan peralatan, akuisisi data, dan analisis data. Persiapan sampel melibatkan penggilingan atau penghancuran sampel menjadi serbuk halus untuk memastikan homogenitasnya. Setelah itu, sampel ditempatkan di dalam perangkat XRF dan terkena sinar-X. Radiasi sinar-X

fluoresen yang dihasilkan kemudian direkam oleh detektor XRF. Data fluoresensi yang terdeteksi kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus untuk menentukan komposisi kimia dari sampel, baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Beckhoff *et al.*, 2008).

2.3.2. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dari suatu material dengan menganalisis pola difraksi sinar-X yang dihasilkan oleh sampel (Cullity, 1978) Adapun skema alat XRD ditunjukkan pada Gambar 2.7.



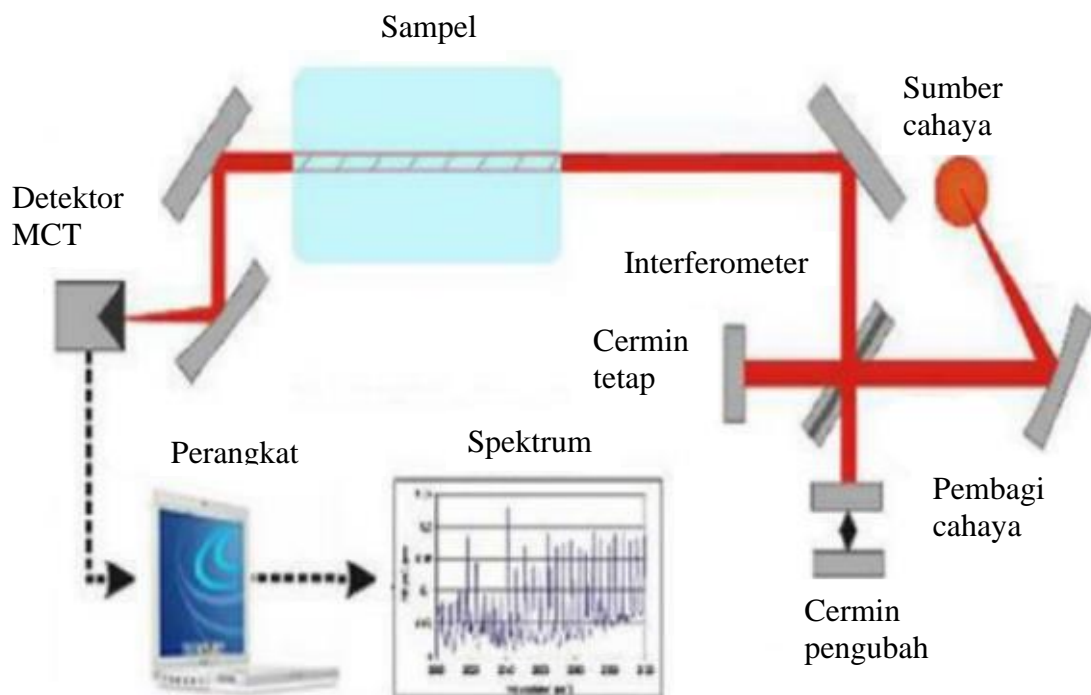
Gambar 2.7. Skema alat XRD (Cullity, 1978)

Alat tersebut terdiri dari Tabung sinar-X, kristal, detektor sinar-X, dan sampel. Analisis XRD melibatkan beberapa tahap proses, termasuk persiapan sampel, akuisisi data, dan analisis data. Persiapan sampel umumnya melibatkan penghancuran atau penggilingan sampel menjadi serbuk halus untuk memastikan homogenitasnya. Kristal biasanya dipotong atau dibelah sehingga satu set bidang

difraksi tertentu dengan jarak tertentu yang diketahui sejajar dengan permukaannya, seperti yang disarankan oleh Gambar 2.8. Lalu, kristal diposisikan yang sesuai sehingga bidang difraksinya membentuk sudut tertentu dengan sinar datang. Ketika sampel dan detektor berputar, intensitas sinar X yang dipantulkan dicatat. Jika bentuk sinar-X yang mengenai sampel memenuhi hukum Bragg, maka akan terjadi interferensi konstruktif dan akan muncul puncak intensitas. Detektor menangkap dan memproses sinyal sinar-X ini, mengubah sinyal menjadi kecepatan hitungan dan mengeluarkannya ke perangkat (komputer) untuk diidentifikasi dan membandingkan pola difraksi dengan *database* untuk menentukan struktur kristal dan komposisi fase dari sampel (Cullity, 1978).

2.3.3. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

FTIR adalah sebuah teknik spektroskopi yang digunakan untuk menganalisis struktur molekuler suatu sampel dengan memanfaatkan interaksi antara radiasi inframerah dan sampel. Teknik ini didasarkan pada prinsip bahwa molekul dalam sampel akan menyerap energi radiasi inframerah pada frekuensi tertentu, yang menyebabkan terjadinya gerakan vibrasi atau rotasi pada ikatan kimia di dalam molekul tersebut. Pola serapan inframerah yang dihasilkan oleh sampel kemudian direkam dan dianalisis untuk menentukan komposisi kimia dan struktur molekuler dari sampel (Griffiths and de Haseth, 2007). Adapun skema alat FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.8.



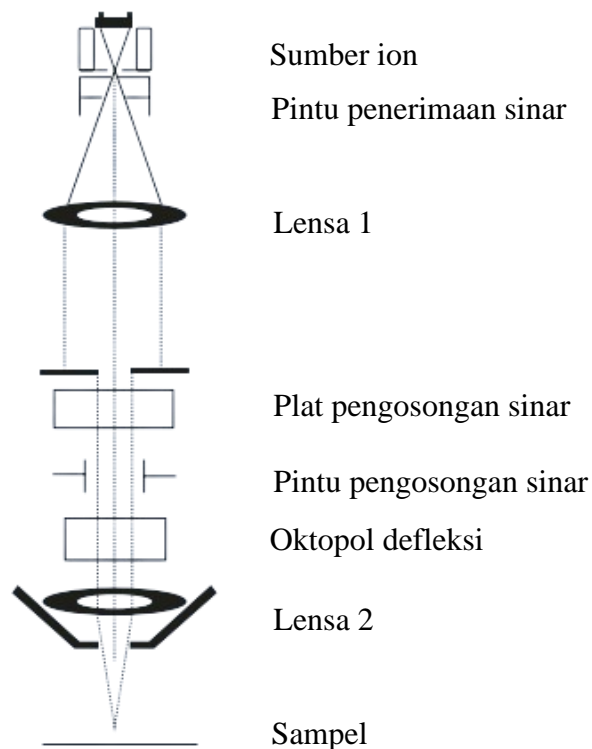
Gambar 2.8. Skema alat FTIR (Prasad, 2021).

Alat tersebut terdiri dari sumber cahaya berupa sinar inframerah, interferometer, pembagi berkas cahaya, cermin tetap, cermin bergerak, sampel, detektor MCT, perangkat berupa komputer), dan spektrum. Analisis FTIR dimulai saat sampel ditempatkan di dalam spektrometer FTIR dan terkena radiasi inframerah dari sumber cahaya (Griffiths and de Haset, 2007). Ketika sampel disinari dengan sinar inframerah, sinar inframerah yang diserap biasanya mengeksitasi molekul ke keadaan getaran yang lebih tinggi. Bilangan gelombang cahaya yang diserap oleh molekul tertentu merupakan fungsi dari perbedaan energi antara keadaan getaran tunak dan keadaan getaran tereksitasi. Bilangan gelombang yang diserap sampel adalah properti struktur molekulnya. Spektrometer FTIR menggunakan interferometer untuk memodulasi bilangan gelombang sumber inframerah. Detektor mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau dipantulkan

sebagai fungsi bilangan gelombang. Sinyal yang diperoleh dari detektor berupa interferogram yang harus dianalisis oleh komputer menggunakan transformasi Fourier untuk mendapatkan spektrum inframerah suatu berkas. Spektrum FTIR biasanya ditampilkan sebagai plot intensitas versus bilangan gelombang (dalam cm^{-1}). Bilangan gelombang merupakan kebalikan dari bilangan gelombang. Intensitas dapat diplot sebagai transmisi atau penyerapan cahaya pada setiap bilangan gelombang (Prasad, 2021).

2.3.4. SEM-EDS

Scanning Electron Microscopy (SEM) dan *Energy-Dispersive Spectroscopy* (EDS) merupakan dua teknik analisis yang sering digunakan bersama untuk memeriksa struktur dan komposisi sampel dengan resolusi tinggi. Ketika digunakan bersama, SEM-EDS memungkinkan pengguna untuk mengamati struktur dan komposisi sampel secara simultan dengan resolusi tinggi (Goldstein *et al.*, 2017). Adapun skema alat SEM-EDS ditunjukkan pada Gambar 2.9.



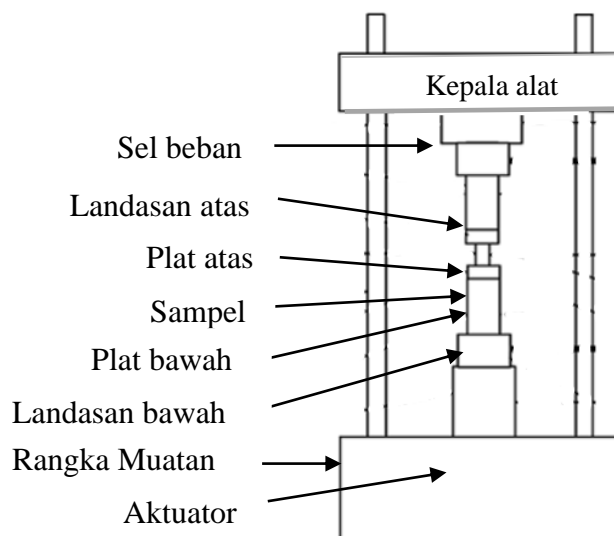
Gambar 2.9. Skema alat SEM (Goldstein *et al.*, 2017).

Alat tersebut terdiri dari sumber ion, pintu penerimaan sinar, lensa 1, pelat pengosongan sinar, pintu pengosongan sinar, aktopol defleksi, lensa 2, dan sampel. Analisis SEM-EDS dimulai saat sampel dimasukkan ke dalam ruang vakum di dalam SEM. Berkas elektron yang terfokus dengan baik diarahkan ke permukaan sampel padat, menghasilkan gambar SEM. Berkas elektron memindai seluruh sampel. Ketika sinar elektron diarahkan ke sampel, beberapa elektron di permukaan sampel akan berinteraksi dengan atom-atom di dalamnya, menyebabkan terjadinya emisi elektron sekunder dan emisi sinar-X karakteristik (Goldstein *et al.*, 2017). Sinyal yang dihasilkan diterima melintasi permukaan (arah z), disimpan di komputer, dan diubah menjadi gambar. Jenis sinyal yang dihasilkan untuk peralatan SEM adalah elektron hamburan balik atau elektron sekunder kemudian direkam oleh detektor EDS. Analisis data dari detektor EDS

memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi unsur kimia yang hadir dalam sampel (Goldstein *et al.*, 2017).

2.3.5. Uji Tekan (*Compression Test*)

Pengujian tekan merupakan metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi kekuatan mekanis suatu material dengan menerapkan gaya tekan hingga sampel mengalami deformasi atau pecah (Kuhn and Medlin, 2000). Pengujian ini penting dalam bidang konstruksi untuk memastikan kekuatan dan ketahanan struktural material, terutama dalam aplikasi beban kompresi. pengujian tekan juga dilakukan untuk menentukan kuat tekan material tersebut (Kuhn and Medlin, 2000; Kreith and Goswami, 2018). Pengujian tekan dapat dilakukan menggunakan mesin uji tekan beton, uji tekan hidrolik, alat uji tekan sederhana, dan *universal testing machine* (UTM). Adapun alat pengujian tekan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Skema pengujian tekan (*Compression Test*) (Kuhn and Medlin, 2000).

Alat tersebut terdiri dari kepala alat, sel beban, landasan atas, pelat atas, sampel, pelat bawah, landasan bawah, rangka pemuatan, dan aktuator. Pengujian tekan pada sampel dimulai dengan menempatkan sampel di antara dua pelat, diikuti dengan pemuatan beban secara bertahap hingga sampel mengalami deformasi atau keretakan. Selama pengujian, UTM merekam data berupa beban yang diterapkan dan deformasi sampel (Kuhn and Medlin, 2000).

Adapun rumus dari kuat tekan beton atau mortar dapat dihitung menggunakan rumus:

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

Dimana P adalah kuat tekan yang diukur dalam N/mm² atau MPa, F adalah berat beban maksimum (*peak load*) yang diterapkan pada beton atau mortar dalam Newton (N), dan A adalah luas permukaan area beton atau mortar yang menerima beban dalam milimeter persegi (mm²) (Neville, 1995).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Januari 2024 hingga Mei 2024 di Laboratorium *Heat-Treatment*, Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR tipe Bruker *made in Germany*, XRF tipe Epsilon 3XLE *made in Netherlands*, SEM-EDS tipe Thermo Scientific Apreo *made in USA*, XRD tipe X'Pert PRO *made in Netherlands*, dan uji tekan (Compression Test) dengan UTM tipe HT-2402 *made in China* di Laboratorium Terpadu, Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada Tabel 3.1 dan 3.2 berikut.

Tabel 3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi	Keterangan
1	Neraca Digital	- Menimbang massa bahan yang digunakan.	- <i>Made in Japan</i> , kapasitas 2000g, presisi 0.001g, tipe Shimadzu.
2	Tangga ayak mesh 10, 18, 20, 35, 40, 60, dan 100	- Melakukan uji MHB pasir yang digunakan.	- Material <i>stainless steel</i> , standar ASTM.
3	<i>Mixer</i>	- Menghomogenkan bahan-bahan mortar polimer.	- <i>Made in Germany</i> , merk Bosch, daya listrik 600 W.
4	Cetakan kubus	- Mencetak mortar polimer.	- Material kayu berdimensi 5 x 5 x 5 cm ³ , dengan ketebalan dinding 1.5 cm.
5	<i>Box</i>	- Sebagai media perendaman mortar polimer.	- Kapasitas 50 liter, material plastik PP.

Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Nama Bahan	Fungsi	Keterangan
1	Semen	- Sebagai bahan utama pembuatan mortar polimer.	- PCC, Merk Semen Baturaja, <i>Made in Indonesia</i> , tipe I, kuat tekan 32.5 MPa.
2	Pasir	- Sebagai bahan utama pembuatan mortar polimer.	- Tipe pasir silika, hasil uji MHB 2,20 (termasuk kategori pasir halus).
3	Air	- Sebagai pelarut dalam pembuatan mortar polimer dan digunakan untuk perendaman sampel mortar polimer.	- pH 7, bebas dari kontaminan, tidak bau dan tidak berwarna.
4	<i>Fiberglass</i>	- Sebagai bahan pengisi dalam mortar polimer.	- Dari Toko Mega Sakti, <i>Made in China</i> , tipe <i>E-glass</i> , panjang serat 6 mm, diameter serat 14 μ m.
5	<i>Styrofoam</i>	- Sebagai bahan pengisi dalam mortar polimer.	- Dari limbah <i>styrofoam</i> , <i>Made in Indonesia</i> , tipe EPS, densitas 0.96 g/cm ³ .

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam pembuatan mortar polimer adalah sebagai berikut.

3.3.1. Preparasi Bahan Pembuatan Mortar Polimer

1. Meringkakan pasir di bawah sinar matahari selama \pm 4 jam, kemudian menyiapkan 1000 gram pasir yang sudah kering untuk melakukan pengujian MHB (Modulus Halus Butir) dengan cara mengayaknya dengan tangga ayak ukuran mesh 10, 18, 20, 35, 40, 60, dan 100.
2. Memotong lembaran *fiberglass* menjadi ukuran 1 x 1 cm².
3. Menyiapkan butiran *styrofoam* dari limbah *styrofoam* yang sudah diparut dan semen Baturaja yang sudah dalam keadaan bubuk.

3.3.2. Pembuatan Mortar Polimer

1. Menyiapkan pasir, *fiberglass*, limbah *styrofoam* yang sudah diparut, dan semen Baturaja, kemudian menimbanginya sesuai dengan komposisi seperti yang tertera dalam Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Variasi komposisi mortar polimer dengan waktu perendaman 14 hari.

Kode Sampel	Komposisi Penambahan Polimer (%)	Semen (%)	Pasir (%)	<i>Fiber glass</i> (%)	<i>Styrofoam</i> (%)	Air (W/C =0,4) ml
PM 0-14D	0,0	25,0	75,0	0,0	0,0	100
PM 2,5-14D	2,5	25,0	72,5	1,5	1,0	100
PM 5-14D	5,0	25,0	70,0	3,5	1,5	100
PM 7,5-14D	7,5	25,0	67,5	5,5	2,0	100
PM 10-14D	10,0	25,0	65,0	6,5	3,5	100
PM 12,5-14D	12,5	25,0	62,5	8,5	4,0	100

Tabel 3.4. Variasi komposisi mortar polimer dengan waktu perendaman 21 hari.

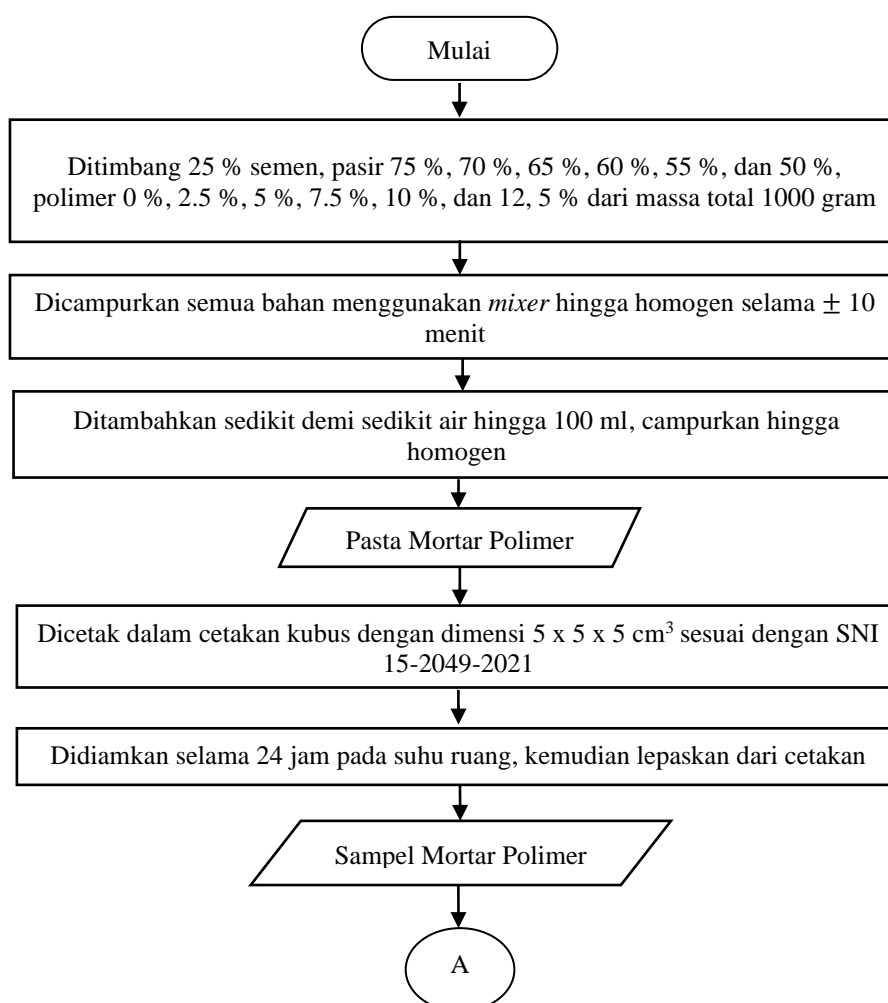
Kode Sampel	Komposisi Penambahan Polimer (%)	Semen (%)	Pasir (%)	Fiber glass (%)	Styrofoam (%)	Air (W/C =0,4) ml
PM 0-21D	0,0	25,0	75,0	0,0	0,0	100
PM 2,5-21D	2,5	25,0	72,5	1,5	1,0	100
PM 5-21D	5,0	25,0	70,0	3,5	1,5	100
PM 7,5-21D	7,5	25,0	67,5	5,5	2,0	100
PM 10-21D	10,0	25,0	65,0	6,5	3,5	100
PM 12,5-21D	12,5	25,0	62,5	8,5	4,0	100

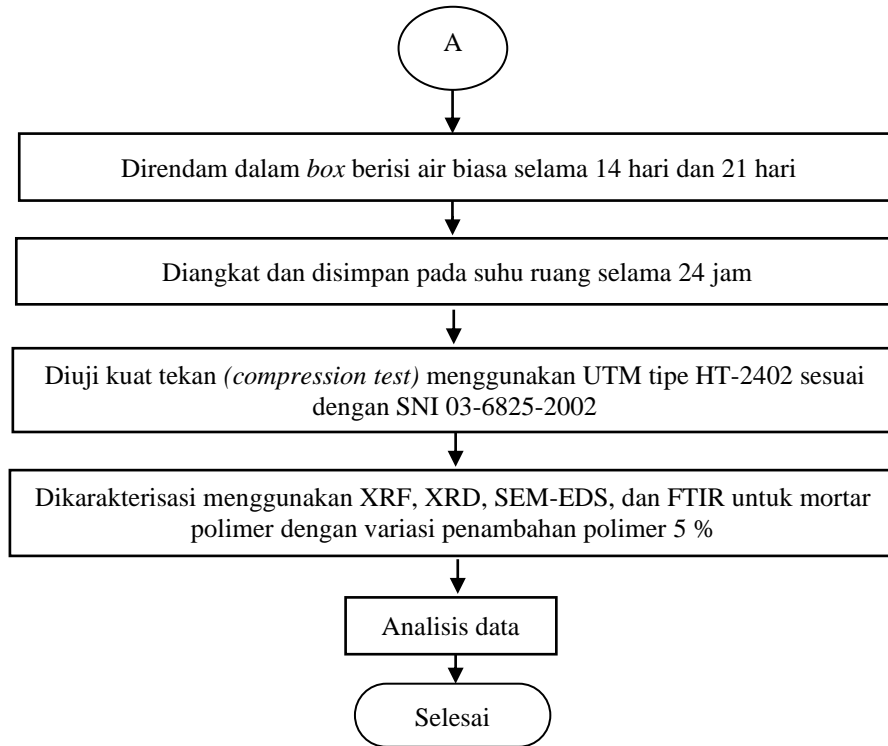
2. Membuat campuran pasir dan semen sesuai dengan variasi komposisi penambahan polimer (0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 %, 10 %, dan 12.5 %) hingga homogen dengan menggunakan *mixer*.
3. Memasukkan air sedikit demi sedikit hingga mencapai 100 ml sambil terus diaduk hingga homogen.
4. Menambahkan *fiberglass* dan *styrofoam* sesuai dengan Tabel 3.2 dan mengaduknya hingga homogen setelah campuran pasir dan semen tercampur.
5. Mencetak pasta adukan mortar polimer menggunakan cetakan kubus dengan dimensi 5 x 5 x 5 cm³ setelah adukan homogen.
6. Menggunakan alas datar pada cetakan saat mencetak mortar polimer dan memadatkan adukan pasta yang telah dicetak dengan menggunakan pematik kayu.
7. Mendinginkan cetakan selama 24 jam pada suhu ruang, lalu melepaskan sampel dari cetakan.
8. Merendam sampel dalam wadah *box* yang berisi air selama 14 dan 21 hari setelah sampel dilepaskan dari cetakan.

9. Mengangkat sampel dan mendinginkannya selama 24 jam pada suhu ruang dengan ditutup kain basah.
10. Mengkarakterisasi sampel mortar polimer menggunakan FTIR, XRF, SEM-EDS, dan XRD untuk sampel dengan hasil kuat tekan tertinggi, serta dilakukan juga uji kuat tekan (*compression test*) pada semua sampel mortar polimer. Analisis fasa kristal menggunakan *software* HighScore Plus (PANalytical B.V., 2012), Rietica (Hunter, 1997), analisis puncak gugus fungsi menggunakan *software* Origin (OriginLab Corporation, 2024), dan analisis ukuran butir menggunakan *software* ImageJ (Rasband, 2024).

3.4. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut :

1. Mortar dibuat dengan mencampur semen dan pasir dalam perbandingan 1:3, serta penambahan *fiberglass* dan *styrofoam* dalam variasi 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, dan 12.5% dari volume total, kemudian dicetak dan didiamkan selama 24 jam sebelum perendaman.
2. Mortar dengan penambahan *fiberglass* dan *styrofoam* 5 % menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 2,65 MPa (setelah 14 hari) menjadi 2,86 MPa (setelah 21 hari) karena terjadi penurunan pori dan peningkatan kerapatan struktur pada mortar.
3. Analisis XRF menunjukkan dominasi CaO dan SiO₂, XRD menunjukkan fasa utama *calcite* (puncak pada 29,40° untuk 14 hari) dan (puncak pada 29,41° untuk 21 hari) dengan peningkatan kristalinitas C-S-H, SEM menunjukkan struktur yang lebih padat dengan lebih sedikit pori, dan FTIR menunjukkan interaksi gugus hidroksil (-OH), C-S-H, Si-O, dan Si-O-Si.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan pengujian tarik dan lentur untuk mengetahui elastisitas dari mortar dengan substitusi polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 440. 2008. *Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (Metric)*. American Concrete Institute (ACI): Michigan. 15-17.
- Adams, R., Balyuzi, H.H.M. and Burge, R.E. 1978. The structure of amorphous polystyrene by X-ray scattering and simple conformational analysis. *Journal of Materials Science*. Vol. 13. No. 1. Pp. 391-401.
<https://doi.org/10.1007/bf00647784>.
- Al-Ghaban, A. M., Jaber, H. A., and Shaher, A. A. 2018. Investigation of Addition Different Fibers on the Performance of Cement Mortar. *Engineering and Technology Journal*. Vol. 36. No. 9. Pp. 11-12.
<https://doi.org/10.30684/etj.36.9A.3>.
- Al-Hadithi, A. I., Hilal, N. N., and Farhan, N. A. 2021. Effect of polymer additions on the properties of lightweight concrete containing expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*. Vol. 276. No. 1. Pp. 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122196>.
- Arckarapunyathorn, W., Markpiban, P., and Sahamitmongkol, R. 2024. Impact of Superabsorbent Polymer on Shrinkage and Compressive Strength of Mortar and Concrete. *Sustainability*. Vol. 16. No. 5. Pp. 2158.
<https://doi.org/10.3390/su16052158>.
- Balagopal, V., Raju, J. P., Kumar, A. A., Sajeev, M., and Veena, P. 2023. Effect of ethylene vinyl acetate on cement mortar – A review. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 3. No. 1. Pp. 9-15.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.692>.
- Beckhoff, B., Langhoff, N., Kanngiesser, B., Wedell, R., and Wolff, H. 2008. *Handbook of Practical X-ray Fluorescence Analysis*. Springer: Berlin. 45-47.
- Beeldens, A., Monteny, J., Vincke, E., De Belie, N., Van Gemert, D., Taerwe, L., and Verstraete, W. 2001. Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars. *Construction and Building Materials*. Vol. 23, No. 1, Pp. 47–56. [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(00\)00039-1](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(00)00039-1).

- Benosman, A. S., Mouli, M., Taibi, H., Belbachir, M., Senhadji, Y., Behlouli, I., and Houivet, D. 2012. Mineralogical study of polymer-mortar composites with PET polymer by means of spectroscopic analyses. *Mineral Sciences and Applications*. Vol. 3. No. 3. Pp. 139-150.
<http://dx.doi.org/10.4236/msa.2012.33022>.
- Birgisson, R., Garboczi, E. J., and Grim, R. 2005. Effects of polymer addition on the mechanical properties of concrete. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 35. No. 7. Pp. 1189-1198.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.01.005>.
- Brundle, C. R., Evans, C. A., and Wilson, S. G. 1992. *Encyclopedia of Materials Characterization*. Butterworth-Heinemann: Oxford. 102-104.
- Chopra, D., and Siddique, R. 2015. Strength, permeability and microstructures of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*. Vol. 130. No. 1. Pp. 72-80.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.005>.
- Cullity, B. D., 1978. *Elements of X-ray Diffraction (2nd ed.)*. Pearson Education Limited: Harlow. 220-223.
- Dachriyanus, 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi: Sumatera Barat. 78-80.
- De Windt, L., and Devillers, P. 2010. Modeling the degradation of Portland cement pastes by biogenic organic acids. *Cement and Concrete Research*. Vol. 40, No. 8, Pp. 1165–1174.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.005>.
- De Windt, L., Devillers, P., and Florsch, N. 2010. Modeling the degradation of Portland cement pastes by biogenic organic acids. *Cement and Concrete Research*. Vol. 40. No. 8. Pp. 1165-1174.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.005>.
- Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J. 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman Scientific and Technical: London 210-215.
- Deng, W., Li, G., Li, W., Yang, M., and Cui, W. 2022. Facile fabrication of polystyrene particles/graphene composites for improved dielectric and thermal properties. *Designed Monomers and Polymers*. Vol. 26. No. 1. Pp. 12-18. <https://doi.org/10.1080/15685551.2022.2162282>.
- Devi, C., Vijayan, D. S., Nagalingam, R., and Arvindan, S. 2022. A review of the implementations of glass fiber in concrete technology. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 62. No. 4. Pp. 7-12.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.293>.

- Eřtokova, A. 2012. Study of the deterioration of concrete influenced by biogenic sulphate attack. *Procedia Engineering*. Vol. 42. No. 1. Pp. 1731-1738. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.530>.
- Fan, J., Li, G., Deng, S., and Wang, Z. 2019. Mechanical Properties and Microstructure of Polyvinyl Alcohol (PVA) Modified Cement Mortar. *Applied Sciences*. Vol. 9. No. 11. Pp. 2178. <https://doi.org/10.3390/app9112178>.
- Folk, R. L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company: Austin. 155-157.
- Fry, B. 1999. *Working with Polystyrene*. Speaking of Plastics Manufacturing Series, Society of Manufacturing Engineers (SME): Dearborn. 65-67.
- Garboczi, E. J., and Bullard, J. W. 2006. Modeling the effects of fibers on concrete properties. *Cement and Concrete Research*. Vol. 36. No. 1. Pp. 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.009>.
- Ghosh, S.N., and Handoo, S. K. 1980. Infrared and Raman spectral penelitanes in cement and concrete (review). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy*. Vol. 36, No. 6, Pp. 771–782. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(80\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(80)90005-8).
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Joy, D. C., Lyman, C. E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., and Michael, J. R. 2003. *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*. Springer Science and Business Media: New York. 302-305.
- Goldstein, J., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Lyman, C. E., Lifshin, E., Sawyer, L., and Michael, J. R. 2017. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis (4th ed.)*. Springer: New York. 180-182.
- Gray, J. E. 2011. *Polystyrene: Properties, Performance, and Applications*. Nova Science Publishers. New York. 54-56.
- Griffiths, P. R., and de Haseth, J. A. 2007. *Fourier Transform Infrared Spectrometry (2nd ed.)*. Wiley-Interscience: New Jersey. 89-91.
- Grim, R. E. 1968. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill: New York. 112-114.
- Gurman, J.L., Baier, L., and Levin, B.C. 1987. Polystyrenes: A Review of the Literature on the Products of Thermal Decomposition and Toxicity. *Fire and Materials*. Vol. 11. No. 1. Pp. 109-130. <https://doi.org/10.1002/FAM.810110302>.
- Gutiérrez-Padilla, M.G.D., Bielefeldt, A., Ovtchinnikov, S., Hernandez, M., and Silverstein, J. 2010. Biogenic sulfuric acid attack on different types of

- commercially produced concrete sewer pipes. *Cement and Concrete Research*. Vol. 40, No. 2, Pp. 293–301.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.10.002>.
- Hernandez, M., Marchand, E.A., Roberts, D., and Peccia, J. 2002. In situ assessment of active Thiobacillus species in corroding concrete sewers using fluorescent RNA probes. *Cement and Concrete Research*. Vol. 49, No. 4, Pp. 271–276. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00054-9).
- Horgnies, M., Chen, J.J., and Bouillon, C. 2013. Overview about the use of Fourier Transform Infrared spectroscopy to study cementitious materials. *WIT Transaction Engineering Sciences*. Vol. 77. No. 1. Pp. 251-262.
<http://dx.doi.org/10.2495/MC130221>.
- Huang, J., Wei, Y., and Xu, P. 2021. Experimental study on flexural and elastic properties of mortar reinforced with fiberglass. *Advances in Civil Engineering Materials*. Vol. 10. No. 2. Pp. 105-115.
- Hughes, T.L., Methven, C.M., Jones, T.G.J., Pelham, S.E., Fletcher, P., and Hall, C. 1995. Determining cement composition by Fourier transform infrared spectroscopy. *Cement and Concrete Research*. Vol. 25, No. 3, Pp. 91–104.
[https://doi.org/10.1016/1065-7355\(94\)00031-x](https://doi.org/10.1016/1065-7355(94)00031-x).
- Hunter, B.A., 1997. *Rietica: IUCR Powder Diffraction Version 4*.
- Kashyap, V. S., Agrawal, U., Arora, K., and Sancheti, G. 2021. FTIR analysis of nanomodified cement concrete incorporating nano silica and waste marble dust. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 796. No. 1. Pp. 1-8. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/796/1/012022>.
- Kim, M.O. 2020. Influence of Polymer Types on the Mechanical Properties of Polymer-Modified Cement Mortars. *Applied Sciences*. Vol. 10. No. 3. Pp. 4-12. <https://doi.org/10.3390/app10031061>.
- Kong, L., Xie, S., Wang, C. and Wang, L. 2023. Effect of Iron Tailings as Fine Aggregate and Mineral Admixture on Strength and Microstructure of Cement Mortar. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 17. No. 24. Pp. 6-9. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00584-6>.
- Kreith, F., and Goswami, D.Y. 2018. *Mechanical Engineering Handbook (3rd ed.)*. CRC Press: Florida. 443-445.
- Kreutz, J. C., Souza, P. R. de, Benetti, V. P., Freitas, A. d. R., Bittencourt, P. R. S., and Gaffo, L. 2021. Mechanical and thermal properties of polystyrene and medium density fiberboard composites. *Polimeros*. Vol. 31. No. 2. Pp. 23-26. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.07120>.

- Kuhn, H., and Medlin, D. 2000. *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM Handbook Vol. 8: Ohio. 205-207.
- Kujawa, W., Olewnik-Kruszkowska, E., and Nowaczyk, J. 2021. Concrete Strengthening by Introducing Polymer-Based Additives into the Cement Matrix-a Mini Review. *Materials*. Vol. 14. No. 20. Pp. 9-21. <https://doi.org/10.3390/ma14206071>.
- Lea, F. M. 2018. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Elsevier Science: United Kingdom. 130-132.
- Liu, Y., Yang, S., and Wu, X. 2020. Influence of polymer distribution on mechanical properties of lightweight mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 32. No. 9. Pp. 23-29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003333](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003333).
- Lopatin, S. I., and Zagoruiko, A. 2020. *Structured fiberglass catalysts*. CRC Press/Taylor and Francis Group: Florida. 60-62.
- Łukowski, P., and Dębska, D. 2020. Effect of Polymer Addition on Performance of Portland Cement Mortar Exposed to Sulphate Attack. *Materials*. Vol. 13. No. 1. Pp. 71. <https://doi.org/10.3390/ma13010071>.
- Malathy, R., Rajagopal Sentilkumar, S. R., Prakash, A. R., Das, B. B., Chung, I. M., Kim, S. H., and Prabakaran, M. 2022. Use of industrial silica sand as a fine aggregate in concrete-an explorative study. *Buildings*. Vol. 12. No. 8. Pp. 1-26. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings12081273>.
- Malek, M., Jackowski, M., Lasica, W., Kadela, M., and Wachowski, M. 2021. Mechanical and Material Properties of Mortar Reinforced with Glass Fiber: An Experimental Study. *Materials*. Vol. 14. No. 3. Pp. 11-14. <https://doi.org/10.3390/ma14030698>.
- Marthong, C. 2018. Influence of expanded polystyrene (EPS) beads on the properties of lightweight concrete. *Journal of Building Engineering*. Vol. 15. No. 1. Pp. 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.11.014>.
- Mollah, M.Y.A., Yu, W., Schennach, R., and Cocke, D. L. 2000. A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate. *Cement and Concrete Research*. Vol. 30, No. 2, Pp. 267-273. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00243-4](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00243-4).
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., and Cocke, D. L. 2003. A Fourier Transform Infrared Spectroscopic Investigation of the Early Hydration of Portland Cement and the Influence of Sodium Lignosulfonate. *Cement and Concrete Research*. Vol. 33. No. 5. Pp. 779-784. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00045-3](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00045-3).

- Nadour, M., F. Boukraa, A. Ouradi, and A. Benaboura. 2017. Effects of Methylcellulose on the Properties and Morphology of Polysulfone Membranes Prepared by Phase Inversion. *Material Research*. Vol. 20. No. 2. Pp. 339-348. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0544>.
- Neville, A. 1995. *Properties of Concrete*. Pearson: Harlow. 301-303.
- Neville, A. M. 2012. *Properties of Concrete (5th ed.)*: Pearson Education: Harlow. 344-346.
- Ohama, Y. 1996. *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars: Properties and Process Technology (Building Materials Science Series)*: William Andrew: New York. 210-213.
- OriginLab Corporation, 2024. *OriginPro 2024b (64-bit) Version 10.1.5.132 [Learning Edition]*. Northampton, MA, USA: OriginLab Corporation. Installed by ACER, owned by (12).
- Ou, Z.H., Ma, B.G., and Jian, S.W. 2010. Comparison of FT-IR, Thermal Analysis and XRD for Determination of Products of Cement Hydration. *Advanced Materials Research*. Vol. 168-170, No. 1, Pp. 518–522. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.168-170.518>.
- PANalytical B.V., 2012. *HighScore Plus Version 3.0e (3.0.5)*. Almelo, The Netherlands: PANalytical B.V. Licensed to Peking University.
- Peng, Z., Zhang, W., and Zhang, H. 2019. Effects of polymers on the properties of cement-based materials. *Construction and Building Materials*. Vol. 210. Pp. 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.098>.
- Peng, Z., Zhang, W., and Zhang, H. 2020. Influence of fiber reinforcement on the mechanical properties of cement mortar. *Journal of Building Materials*. Vol. 8. No. 2. Pp. 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.jbm.2020.01.007>.
- Prasad, D. D. 2021. Fourier transformed-infrared spectroscopy (FTIR) penelitanes on the concrete/cement mortar mass made of cent percentage recycled coarse and fine aggregates. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. Vol. 12. No. Pp. 387-400. <https://doi.org/10.34218/IJARET.12.1.2021.034>.
- Prasetya, F. A., Faria, N., Susanto, T. E., Firdaus, R. N. A., and Zamzami, Y. A. 2021. Influence of sand-casting waste as substitutor of quartz sand in mortar. *Journal of Science and Techology*. Vol. 14. No. 3. Pp. 416-420. <http://dx.doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12451>.
- Prasittisopin, L., Termkhajornkit, P., and Kim, Y. H. 2022. Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects.

- Journal of Cleaner Production*. Vol. 366. No. 1. Pp. 23-26.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>.
- Putri, A. Y., Manaha, Y. P., dan Indra, S. 2021. Pemanfaatan *styrofoam* sebagai bahan tambah untuk mortar dalam pembuatan genteng beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 28. No. 1. Hal. 27-30. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.1.1>.
- Qi, S., Wang, X., Li, B., Ran, Q., Sun, D., Liu, C., and Zhang, X. 2022. Design and preparation of high-performance polymer mortars based on performance prediction model. *Materials Research Express*. Vol. 9. No. 12. Pp. 7-11. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aca749>.
- Rasband, W., 2024. *ImageJ Version 1.54d*. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA.
- Satoh, H., Odagiri, M., Ito, T., and Okabe, S. 2009. Microbial community structures and in situ sulfate-reducing and sulfur-oxidizing activities in biofilms developed on mortar specimens in a corroded sewer system. *Water Research*. Vol. 43, No. 18, Pp. 4739–4748.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.035>.
- Schmidt, P. 2008. *Guide to Concrete: Masonry and Stucco Projects*. Creative Publishing International: Minneapolis. 85-87.
- Scrivener, K. L., and Nonat, A. 2011. Hydration of cementitious materials, present and future. *Cement and Concrete Research*. Vol. 41. No. 7. Pp. 651-665. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>.
- Shaukat, A.J., Feng, H., Khitab, A., and Jan, A. 2020. Effect of Admixtures on Mechanical Properties of Cementitious Mortar. *Civil Engineering Journal*. Vol. 6. No. 11. Pp. 2175-2187. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091610>.
- Silvia, D. A., Roman, H. R., and Gleize, P. J. P. 2002. Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement. *Cement and Concrete Research*. Vol. 32. No. 9. Pp. 1383-1390.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00805-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00805-0).
- SNI 03-6825-2002. 2002. *Spesifikasi mortar untuk pasangan batu dan plesteran*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Somaiah, A., Anjaneya Prasad, B., and Kishore Nath, N. 2022. A comprehensive review: Characterization of glass fiber reinforced polymer composites with fillers from a Thermo-mechanical perspective. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 62. No. 6. Pp. 9-13.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.219>.
- Stuart, B. H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley and Sons: United Kingdom. 92-94.

- Tararushkin, E. V., Shchelokova, T. N., and Kudryavtseva, V. D. 2020. A study of strength fluctuations of Portland cement by FTIR spectroscopy. *IOP Conf. Series: Material Sciences Engineering*. Vol. 919. No. 2. Pp. 1-4. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/919/2/022017>.
- Trezza, M. A., and Lavat, A. E. 2001. Analysis of the system $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\text{--CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O--CaCO}_3\text{--H}_2\text{O}$ by FT-IR spectroscopy. *Cement and Concrete Research*. Vol. 31. No. 6. Pp. 869–872. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(01\)00502-6](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(01)00502-6).
- Verma, A., Babu, V. S., and Srinivasan, A. 2021. Strength and Durability Properties of Treated Recycled Aggregate Concrete by Soaking and Mechanical Grinding Method: Influence of Processing Technique. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 33. No. 10. Pp. 11-17. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003908](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003908).
- Vincke, E., Van Wanseele, E., Monteny, J., Beeldens, A., De Belie, N., Taerwe, L., Van Gemert, D., and Verstraete, W. 2002. Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 49, No. 4, Pp. 283–292. [https://doi.org/10.1016/s0964-8305\(02\)00055-0](https://doi.org/10.1016/s0964-8305(02)00055-0).
- Wallenberger, F. T. and Bingham, P. A. 2010. *Fiberglass and Glass Technology*. Springer: New York. 75-78.
- Wang, Z., Georgarakis, K., Nakayama, K.S., Li, Y., Tsarkov, A.A., Xie, G., Dudina, D., Louzguine-Luzgin, D. V. and Yavari, A. R., 2016. Microstructure and mechanical behavior of metallic glass fiber-reinforced Al alloy matrix composites. *Scientific Reports*. Vol. 6. No. 1. Pp. 24384. <https://doi.org/10.1038/srep24384>.
- Williams, D. B., and Carter, C. B. 2009. *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science*. Springer Science and Business Media: New York. 150-153.
- Ylmen, R., and Jaglid, U. 2013. Carbonation of Portland cement penelitaned by diffuse reflection fourier transform infrared spetroscopy. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 7. No. 2. Pp. 119-125. <http://dx.doi.org/10.1007/s40069-013-0039-y>.
- Yu, F., Chen, Y., Fang, Y., Xu, P., Xu, B., and Liu, Q. 2023. Crack behavior of expanded polystyrene foam-ceramsite composite thermal insulation mortar. *Journal of Building Engineering*. Vol. 74. No. 1. Pp. 23-26. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106930>.
- Yu, P., Kirkpatrick, R. J., Poe, B., McMillan, P. F., and Cong, X. 1999. Structure of calcium silicate hydrate (C-S-H): near, mid and far-infrared spectroscopy.

- Journal of American Ceramic Society*. Vol. 82. No. 1. Pp. 742-748.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1151-2916.1999.tb01826.x>.
- Yuan, Z., and Jia, Y. 2021. Mechanical properties and microstructure of glass fiber and polypropylene fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*. Vol. 266. No. 1. Pp. 27-30.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121048>.
- Zhang, F., Lu, Z., Wang, D., and Fang, H. 2024. Mechanical properties of the composite sandwich structures with cold formed profiled steel plate and balsa wood core. *Engineering Structures*. Vol. 300. No. 1. Pp. 15-18.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117256>.
- Zhang, S., Li, G. and Ning, C. 2011. Properties of the Mortar Modified with the Styrene-Acrylic Emulsion. *Advanced Materials Research*. Vol.10. No.1. Pp. 1022-1025. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.194-196.1022>.
- Zhang, X., Du, M., Fang, H., Shi, M., Zhang, C., and Wang, F. 2021. Polymer-modified cement mortars: Their enhanced properties, applications, prospects, and challenges. *Construction and Building Materials*. Vol. 299. No. 1. Pp. 19-22. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124290>.
- Zhang, T., Gao, R., and Li, Y. 2019. Enhancing mechanical properties of cement-based composites with fiber reinforcements. *Journal of Building Materials*. Vol. 19. No. 3. Pp. 345-356.
- Zhao, J., Hu, M., Liu, W., Feng, J., Zhang, H., Liu, M., and Guo, J. 2022. Toughening effects of well-dispersed carboxylated styrene-butadiene latex powders on the properties of oil well cement. *Construction and Building Materials*. Vol. 340. No. 1. Pp. 10-13.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127768>.