

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ABU TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT, POLIMER EVA DAN SUHU TERHADAP PEMBUATAN
MORTAR GEOPOLIMER**

(Skripsi)

Oleh

**RIKA EMILIA
2117041019**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ABU TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT, POLIMER EVA DAN SUHU TERHADAP PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER

Oleh

RIKA EMILIA

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi abu tandan kosong kelapa sawit, polimer eva dan suhu terhadap pembuatan mortar geopolimer dibuat dengan mencampurkan abu tandan kosong sawit, polimer EVA, NaOH, Na_2SiO_3 dicetak dalam bentuk balok $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ dan dioven dengan suhu 60°C dan 80°C selama 5 jam. Sampel mortar geopolimer lalu diuji kuat lentur dan memperoleh nilai kuat lentur tertinggi pada sampel GM3 suhu 80°C sebesar 18,9 MPa. Hasil XRF dan SEM-EDS menunjukkan dominasi senyawa SiO_2 dan CaO yang berkontribusi terhadap kekuatan struktur mortar. Hasil XRD mengidentifikasi fasa utama sebagai quartz (SiO_2) dan corundum (Al_2O_3). Hasil FTIR mengidentifikasi ikatan hidroksil (-OH), C-H, dan Si-O-Al. Penambahan polimer EVA terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat lentur mortar geopolimer, dapat kita lihat pada variasi ketiga dengan penambahan 1,8% EVA pada suhu 80°C yang mencapai 18,9 MPa, dibandingkan dengan sampel tanpa EVA yang hanya memiliki kuat lentur 1,2 MPa.

Kata Kunci : Mortar geopolimer, suhu.

ABSTRACT

THE EFFECT OF COMPOSITION VARIATIONS OF EMPTY PALM FRUIT ASH, EVA POLYMER AND TEMPERATURE ON THE PRODUCTION OF GEOPOLYMER MORTAR

By

RIKA EMILIA

A study has been conducted on the effect of variations in the composition of empty oil palm fruit bunch ash, EVA polymer and temperature on the manufacture of geopolymer mortar made by mixing empty oil palm fruit bunch ash, EVA polymer, NaOH, Na₂SiO₃ molded in the form of 4 x 4 x 16 cm³ blocks and oven-dried at 60°C and 80°C for 5 hours. Geopolymer mortar samples were then tested for flexural strength and obtained the highest flexural strength value in the GM3 sample at 80°C of 18.9 MPa. XRF and SEM-EDS results showed the dominance of SiO₂ and CaO compounds which contributed to the strength of the mortar structure. XRD results identified the main phases as quartz (SiO₂) and corundum (Al₂O₃). FTIR results identified hydroxyl (OH), Si-O, and Si-O-Si bonds. The addition of EVA polymer has been proven to have a significant effect on increasing the flexural strength of geopolymer mortar, as can be seen in the third variation with the addition of 1.8% EVA at a temperature of 80°C which reaches 18.9 MPa, compared to the sample without EVA which only has a flexural strength of 1.2 MPa.

Keywords: Geopolymer mortar, temperature

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ABU TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT, POLIMER EVA DAN SUHU TERHADAP PEMBUATAN
MORTAR GEOPOLIMER**

(Skripsi)

Oleh

**RIKA EMILIA
2117041019**

**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
2025**

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Komposisi Abu Tandan
Kosong Kelapa Sawit, Polimer Eva dan Suhu
terhadap Pembuatan Mortar Geopolimer

Nama Mahasiswa : **Rika Emilia**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041019

Program Penelitian : Fisika

Bidang Keahlian : Material

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

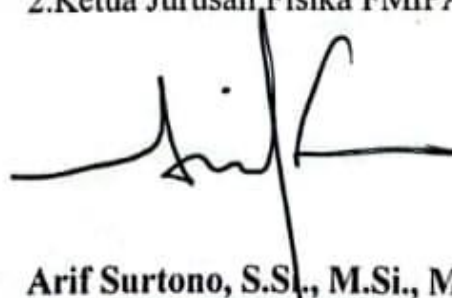


Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.
NIP. 195903081991031001



Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.
NIP.198203272015021002

2.Ketua Jurusan Fisika FMIPA



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D

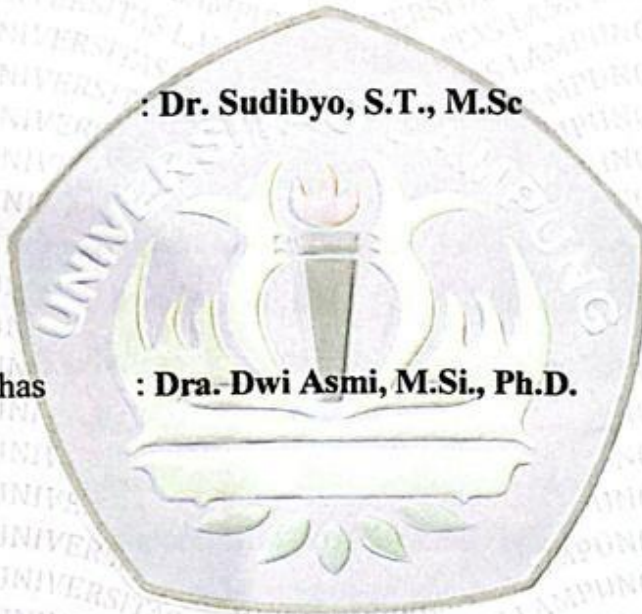
Sekretaris

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

Penguji

Bukan Pembahas

: 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 Lulus Ujian Skripsi: 07 Agustus 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rika Emilia
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041019
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit, Polimer Eva dan Suhu Terhadap Pembuatan Mortar Geopolimer”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data atau skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 07 Agustus 2025

Yang Menyatakan,



Rika Emilia

NPM. 2117041019

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Rika Emilia dilahirkan di Desa Peninjauan Kota Baturaja Provinsi Sumatera Selatan pada 15 Oktober 2002 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Ismail dan Ibu Dewi Sartika. Penulis memulai Pendidikan di TK Putri Candi Pada tahun 2008. SDN 150 OKU dan lulus pada tahun 2015 lalu melanjutkan di SMP Negeri 06 OKU dan lulus pada tahun 2018, serta melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 07 OKU dan lulus pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN) pada tahun 2021. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) dibidang Kaderisasi pada tahun 2021-2023. Penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di UPTD Laboratorium Lingkungan Provinsi Lampung dengan judul “Penetapan Kadar Logam Nikel (Ni) dan Tembaga (Cu) Pada Sampel Air Saungai Dengan Metode Uji Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Mengacu Pada SNI 6989-84:2019 di UPTD Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Lampung” pada bulan januari 2024. Penulis juga aktif dalam program Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2024 di Desa Way mili, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur, yang mana penulis berperan aktif dalam kegiatan penyuluhan tentang pentingnya pendidikan, pelatihan eco-enzim, pelatihan membuat briket serta kegiatan pengembangan UKM guna peningkatan Pembangunan Desa Waymili. Penulis melakukan penelitian tugas akhir di Laboratorium PP Non Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan (P RTPBRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan pada bulan Oktober – Desember 2024.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

-Q.S. Al-Baqarah 2:286-

“Nanti engkau akan paham tentang scenario Allah yang paling indah, disaat engkau tidak berniat mencari sesuatu. Tetapi Allah justru menghadirkan anugrah, disaat engkau tidak pernah berfikir untuk mengejar, tetapi Allah memberikan kemudahan untuk tiba-tiba engkau dapatkan”

-Gus Baha-

Rasakanlah setiap proses yang kamu tempuh dalam hidupmu, sehingga kamu tau betapa hebatnya dirimu sudah berjuang sampai detik ini.

-Rika-

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karya ini dipersembahkan kepada :

Kedua Orang tuaku

Bapak Ismail & Ibu Dewi Sartika

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan putrinya ini hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai sarjana

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 Abu Tandan Kosong Sawit, Poimer EVA dan Suhu Terhadap Pembuatan Mortar Geopolimer**”. 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, 07 Agustus 2025

Rika Emilia

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit, Polimer EVA, dan Suhu Terhadap Pembuatan Mortar Geopolimer”** 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. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing utama yang senantiasa memberikan memberikan saran dan arahan dalam skripsi ini;
2. Bapak Muhammad Amin, S.T. dan Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam proses penulisan skripsi ini;
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang senantiasa membimbing dan memberikan saran dalam proses penulisan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Gurum Pauzi, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan nasehat.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
6. Pimpinan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah memberikan kesempatan untuk dalam melaksanakan penelitian ini;
7. Staf laboratorium dan staf administrasi Brin Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian ini;

8. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
9. Sahabat seperjuangan penulis selama masa kuliah ini yaitu Muhammad Dzaki Nurrahman yang selalu berjuang bersama-sama sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
10. Sahabat Penulis yang selalu menemani meskipun berbeda universitas yaitu Tintou Pramuda dan Muhammad Rangga Maulana yang selalu menjadi pendengar yang baik 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, 07 Agustus 2025

Rika Emilia

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL.....	xv
-------------------	----

DAFTAR GAMBAR.....	xvi
--------------------	-----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geopolimer.....	5
2.2. Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	6
2.3. <i>Ethylene Vinly Acetate</i> (EVA).....	9
2.4. Natrium Hidroksida (NaOH)	10
2.5. Kuat Lentur	11
2.6. Karakterisasi	12
2.6.1. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	12
2.3.2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	13
2.3.3. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	14
2.3.4. <i>SEM-EDX</i>	16

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2. Alat dan Bahan.....	18
3.3. Prosedur Penelitian.....	18
3.3.1. Preparasi Sampel.....	18
3.3.2. Tahapan Pembuatan Mortar	19
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	20
4.1. Diagram Alir Preparasi Bahan.....	20
3.4.2. Diagram Alir Mortar Geopolimer.....	21

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Kuat Lentur Mortar Geopolimer.....	22
4.2. Karakterisasi Mortar Geopolimer	23
4.2.1. Hasil Karakterisasi XRF Mortar Geopolimer.....	24
4.2.2. Hasil Karakterisasi XRD Mortar Geopolimer.....	24
4.2.3. Hasil Karakterisasi FTIR Mortar Geopolimer.....	27

4.2.4. Hasil Karakterisasi SEM-EDX Mortar Geopolimer	28
V. KESIMPULAN DAN SARAN	32
DAFTAR PUSTAK	33
LAMPIRAN	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Komposisi Abu Incenerator Kelapa Sawit.....	8
3.1. Komposisi Bahan Beton Geopolimer	13
4.1. Hasil karakterisasi XRF mortar geopolimer	21
4.2. Fasa pada mortar geopolimer pada GM2 suhu 60 °C	22
4.3. Fasa pada mortar geopolimer pada GM3 suhu 60 °C	23
4.4. Parameter kesesuaian refinement data XRD pada sampel GM2 Suhu 60 °C dan GM3 Suhu 80 °C.....	27
4.5 Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada sampel GM2 Suhu 60 °C	27
4.6 Parameter sel dari fasa yang terdeteksi pada sampel GM3 Suhu 80 °C	27
4.7. Komposisi unsur GM2 suhu 60 °C menggunakan EDS	28
4.8. Komposisi unsur GM3 suhu 60 °C menggunakan EDS	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Reaksi geopolimerisasi (Duxson dkk, 2007)	5
2.2. Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit	6
2.3. Tandan Kosong Kelapa Sawit (Assegaf, 2024)	6
2.4. Struktur Kimia EVA	8
2.5. Alat Uji Kuat Lentur	10
2.6. Prinsip kerja XRF (Brouwer, 2006)	10
2.7. Skema difraksi sinar-X(Beiser, 2003).....	12
2.7. Skema FTIR(Paras, 2021).....	13
2.7. Skema SEM-EDX (Galdansty2017)	13
3.1. Diagram Preparasi Bahan.....	18
3.2. Diagram Pembuatan Mortar Geopolimer.....	19
4.1. Diagram nilai kuat lentur mortar geopolimer GM2 dan GM3	20
4.2. Hasil Karakterisasi XRD Pada GM2 dan GM3	23
4.3. Hasil Karakterisasi FTIR Pada GM2 dan GM3	25
4.4. Hasil refinement XRD mortar polimer dengan kode sampel GM2 Suhu 60 °C menggunakan software Rietica	27
4.5. Hasil refinement XRD mortar polimer dengan kode sampel GM3 Suhu 80 °C menggunakan software Rietica	27
4.6. Hasil Karakterisasi SEM Pada GM2 suhu 60 °C	28

4.7. Hasil Karakterisasi EDS Pada GM2 suhu 60 °C.....	29
4.8. Hasil Karakterisasi SEM Pada GM3 suhu 80 °C.....	30
4.9. Hasil Karakterisasi SEM Pada GM3 suhu 80 °C.....	31
1. Lampiran Dokumentasi Penelitian.....	44
2. Lampiran Data ICCD	46
3. Lampiran Input Rietica	50

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam SNI 2049-2015 dikatakan bahwa mortar adalah suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan. Mortar digunakan sebagai perekat dalam struktur bangunan serta mortar juga berfungsi sebagai plesteran suatu permukaan struktur bangunan. Berdasarkan ASTM C307-03 (2004), ada empat tipe mortar untuk adukan pasangan berdasarkan kuat tekannya. Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi minimum 17,2 MPa. Mortar tipe S merupakan campuran dengan kuat tekan sedang dengan minimum 12,4 MPa. Mortar tipe N merupakan campuran umum yang dapat menahan beban tekan kecil dengan minimum 5,2 MPa. Mortar tipe O merupakan mortar kuat tekan yang rendah dengan minimumnya mencapai 2,4 MPa.) (ASTM C307-03, 2004).

Berbagai penelitian terkait mortar geopolimer telah dilakukan, diantaranya penelitian oleh Wardhono (2019) menyatakan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang kelas C yang memiliki kandungan Ca dan Fe cukup tinggi dibandingkan kelas F. Penelitian lain menggunakan bahan dasar dari abu cangkang sawit (Yusnar, 2022) mendapatkan hasil bahwa semakin besar presentase larutan alkalin akan memperbesar waktu pengerasan serta menurunkan kekuatan terhadap mortar geopolimer.

Geopolimer adalah polimer anorganik yang terdiri dari rantai atom Al, Si, dan O, yang dihasilkan melalui reaksi antara padatan aluminosilikat dan aktivator basa kuat. Geopolimer dapat digunakan sebagai bahan perekat dalam konstruksi, menggantikan semen Portland, dengan konsumsi energi produksi yang lebih rendah (Samadhi dan Pambudi, 2013). Sebagian besar limbah padat industri dan

abu bawah pembakaran limbah ditumpuk sesuka hati, yang tidak hanya menyita sumber daya lahan, tetapi juga berdampak buruk terhadap lingkungan. Daur ulang mereka dapat digunakan sebagai bahan baku untuk menyiapkan geopolimer. Bahan geopolimer dapat secara efektif menyerap berat, logam, pewarna, dan polusi radioaktif lainnya, yang sangat bermanfaat bagi perkembangan masyarakat di masa depan (Cong *et al.*, 2021). Selama ini produksi kelapa sawit hanya buah kelapa sawitnya saja yang dimanfaatkan untuk pembuatan minyak kelapa sawit sedangkan pada Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit selain bijinya juga menghasilkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) (Saleh dan Muthia., 2016).

Tandan kosong sawit yang merupakan hasil produk samping pengolahan sawit hanya digunakan sebagai bahan bakar boiler dan abu hasil pembakaran tersebut dimanfaatkan sebagai pengganti pupuk (Saletes *et al.*, 2004). Abu hasil pembakaran TKS mempunyai kadar kalium yang tinggi (45-50 %) bila abu ini dilarutkan dalam air akan diperoleh larutan alkali (Onyegbado *et al.*, 2002). Adapun penelitian yang telah dilakukan oleh Saleh menyatakan bahwa abu tandan kosong sawit banyak mengandung K_2O yang bersifat mudah teroksidasi dan peka terhadap perubahan suhu (Saleh dan Muthia., 2016).

Namun, pada penelitian ini bahan pengikat yang digunakan dalam campuran pembuatan geopolimer yaitu abu tandan kosong sawit dan polimer eva pengikat geopolimer menguntungkan dalam hal menggunakan limbah industri dan perkebunan sebagai bahan dasar, tetapi varian dalam komposisi kimia, fase kristal, dan sumber material akan mempengaruhi kekuatan bahan-bahan ini pada akhirnya. Satu jenis bahan dasar dapat digunakan dalam pembuatan geopolimer, selain itu geopolimer juga dapat dibuat dari dua atau tiga jenis bahan, seperti paduan fly ash dan *etilen vinil asetat* (EVA) (Mohd *et al.*, 2011).

EVA merupakan polimer yang dimodifikasi dengan mortar tahan air yang ramah lingkungan. (Septianingrum *et al.*, 2019). Berbagai penelitian terkait polimer EVA yang telah dilakukan, diantaranya penelitian oleh Amin *et al.* (2024) menyatakan bahwa EVA dalam jumlah yang cukup sebagai substitusi pasir dan

semen maka akan menghasilkan mortar yang mempunyai kuat lentur tinggi dan massa jenis yang rendah juga sehingga mortar dengan penambahan polimer akan memberikan sifat fleksibel dan ringan sehingga apabila terjadi gempa bumi maka konstruksi bangunan akan tidak langsung patah tapi masih ada gaya lentur jadi tidak langsung menimpa manusia yang ada didalam bangunan tersebut, selain itu dapat menanggulangi limbah botol plastik. Mortar ini cocok untuk konstruksi bangunan bertingkat.

Berdasarkan studi literatur di atas, dilakukan penelitian pembuatan beton geopolimer menggunakan bahan utama abu tandan kosong kelapa sawit dan polimer EVA. Penelitian ini dilakukan dengan campuran larutan alkali yaitu NaOH dan Na_2SiO_3 kemudian dicetak berbentuk balok dengan ukuran $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ dan dikeringkan pada suhu pengeringan 60°C , 70°C dan 80°C selama 5 jam. Selanjutnya dilakukan uji fisis dan mekanis yaitu uji kuat lentur mortar geopolimer. Karakterisasi yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia bahan uji, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fase kristal pada bahan uji, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional, dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDX) untuk mengetahui mikrostruktur.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh unsur penyusun abu tandan kosong sawit dan polimer EVA pada pembentukan geopolimer?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap sifat mekanis pada beton geopolimer?
3. Bagaimana komposisi kimia dan fasa serta penyebaran unsur kimia yang terbentuk pada beton geopolimer?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui Pengaruh komposisi bahan dan suhu terhadap sifat mekanis pada

mortar geopolimer

2. Mengetahui komposisi kimia dan fasa serta penyebaran unsur kimia yang terbentuk pada mortar geopolimer.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Limbah abu tandan kosong sawit dan polimer EVA berasal dari Laboratorium Non Logam BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
2. Ukuran benda uji mortar $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$
3. Suhu Pengeringan sebesar 60°C dan 80°C selama 5 jam.
4. Uji mekanis yang dilakukan yaitu kuat lentur.
5. Karakterisasi yang digunakan antara lain XRF, XRD, SEM-EDX, FTIR,

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini sebagai berikut:

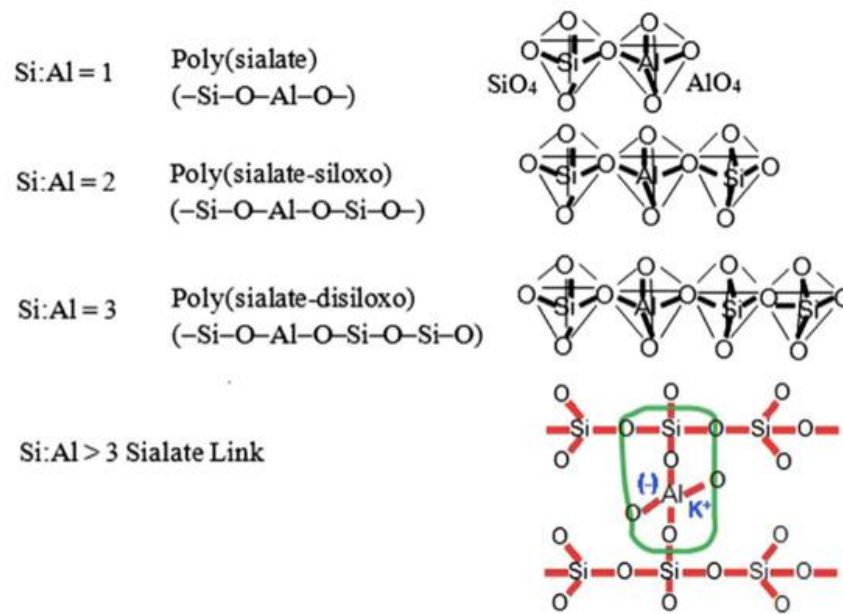
1. Mengetahui pengaruh abu tandan kosong sawit dan polimer EVA dalam pembuatan mortar geopolimer.
2. Memberikan pengetahuan baru terhadap perkembangan teknologi khususnya dalam pembuatan geopolimer.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila di bidang Fisika Material.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geopolimer

Geopolimer adalah material pengikat anorganik yang terbentuk melalui reaksi kimia antara bahan sumber kaya aluminosilikat (seperti fly ash, metakaolin, atau slag) dengan larutan alkali, seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat. Proses ini disebut geopolimerisasi, menghasilkan struktur tiga dimensi yang terdiri atas ikatan Si–O–Al dan membentuk matriks tecto-aluminosilikat yang kuat dan stabil. Geopolimer dianggap sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap semen Portland karena proses produksinya menghasilkan emisi karbon yang jauh lebih rendah dan dapat dilakukan pada suhu rendah. (Cong dan Cheng, 2021). Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, silika (Si) dan alumunium (Al) mempunyai peranan yang penting dalam ikatan polimerisasi. Reaksi silika dan alumunium dengan alkaline akan menghasilkan SiO dan AlO_4 (Nisa dan Djoko, 2020).

Ikatan dalam geopolimer ini lebih lanjut dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu poli(sialat) tipe (-Si-O-Al-O-), poli(sialat-silokso) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-), serta poli(sialat-disilokso) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-) (Davidovits, 1994c). Geopolimer terbuat dari senyawa aluminosilikat sebagai bahan dasar dan aktivator dalam bentuk larutan alkali hidroksida dan silikat alkali. Reaksi geopolimerisasi dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Reaksi geopolimerisasi (Baskara *et al*, 2023).

2.2. Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit

Abu tandan kelapa sawit merupakan hasil limbah padat tandan kosong kelapa sawit yang telah mengalami pembakaran di dalam incenerator di pabrik pengolahan kelapa sawit, dan abu tandan kelapa sawit juga dapat diperoleh dengan melakukan pembakaran secara manual. Abu tandan ini mengandung kalium yang tinggi (30-40% K_2O) bersifat higroskopis dan alkalis sebagai bahan pengapuran sehingga dapat meningkatkan pH tanah. Sofiah 2017 menyatakan bahwa abu cenderung meningkatkan unsur hara P, K, Ca dan Mg serta meningkatkan unsur hara N bagi tanaman. Abu tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan 30-40% K_2O , 7% P_2O_5 , 9% CaO , dan 3% MgO . Selain itu, juga mengandung unsur hara mikro yaitu 1.200 ppm Fe, 100 ppm Mn, 400 ppm Zn, dan 100 ppm Cu (Sofiah *et al.*, 2017). Gambar 2.1 menunjukkan abu tandan kosong sawit seperti berikut.



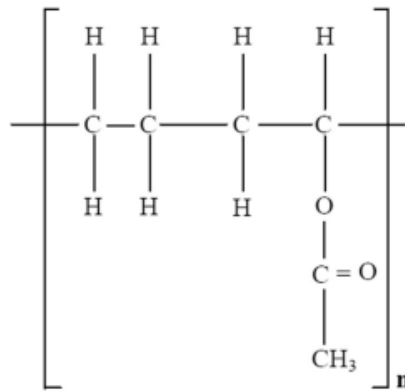
Gambar 2.2. Abu tandan kosong kelapa Sawit (BRIN)

Tandan kosong kelapa sawit ini memiliki kandungan senyawa lignin, selulosa, dan hemiselulosa. 23% tandan buah segar kelapa sawit terdiri dari tandan kosong atau setiap 1 ton buah kelapa sawit terdiri dari 230 kg tandan kosong. Tandan kosong memiliki bahan lignoselulosa sebesar 55-60% berat kering. Lignoselulosa merupakan komponen penyusun utama TKKS yang memiliki kemampuan mengadsorpsi polutan karena TKKS mengandung gugus aktif $-OH$ dan $-COOH$. (Sofiah *et al*, 2017).

2.3. Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) adalah kopolimer etilena dan vinil asetat yang banyak digunakan sebagai material pelapis pada modul fotovoltaik (PV), dikembangkan untuk memberikan transparansi tinggi serta daya rekat pada lapisan pengikat sel surya. EVA memiliki berbagai derajat kandungan vinil asetat (VA); persentase VA yang berbeda menghasilkan variasi sifat permukaan dan distribusi oksigen, yang dapat dianalisis menggunakan spektroskopi X-ray Photoelectron (XPS), FTIR menunjukkan korelasi linear antar teknik analisis terhadap kadar VA dalam EVA. Struktur bahan dibentuk dari rantai polimer acak di mana perubahan VA content mengubah fase amorf dan kristal EVA, terutama terlihat pada permukaan yang kaya fase amorf dan distribusi agen penghubung silang setelah perlakuan peroksida (Sackl *et al.*, 2024). Ethylene Vinyl Acetate (EVA) merupakan salah satu polimer yang mampu mengatasi masalah seperti temperature yang tinggi, volume lalu lintas yang tinggi dan over loading.

Tipe polimer ini mudah digunakan serta mempunyai kemampuan yang baik untuk bersatu dengan aspal, suhunya yang stabil pada normal mixing serta temperaturnya yang mudah dikendalikan (Ardian *et al.*, 2016). Gambar 2.4 memperlihatkan struktur kimia EVA.



Gambar 2.4. Struktur kimia EVA (Oliviera *et al*, 2017).

2.4. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida (NaOH) merupakan salah satu senyawa ion yang bersifat basa kuat, kaustik dan memiliki sifat korosif dan higroskopik (suka menyerap air). Dalam kehidupan kita sehari-hari, senyawa ini biasa kita sebut dengan nama "soda api" atau "kaustik soda", namun untuk nama resmi atau nama perdagangannya senyawa ini biasa disebut dengan nama "Sodium Hidroksida". Tingkat kelarutan senyawa natrium hidroksida di dalam air cukup tinggi. Pada suhu 0°C, kelarutan natrium hidroksida berada pada kisaran 418 g/L. Pada suhu 20°C, kelarutan natrium hidroksida berada pada kisaran 1150 g/L. Jika dilihat dari data diatas, kita dapat menyimpulkan bahwa senyawa ini memiliki tingkat kelarutan yang sangat tinggi. Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Anugrah dan Arie, 2020).

2.5. Sodium Silicate (Na₂SiO₃)

Natrium silikat Na₂SiO₃, sering dikenal sebagai waterglass, adalah kristal putih

yang dapat larut dalam air (*soluble glass*) untuk menghasilkan larutan alkali. Sodium orthosilicate, sodium coplicate, dan sodium pyrosilicate adalah semua contoh sodium silicate. Dalam larutan murni dan basa, Na_2SiO_3 selalu stabil. Ion silikat bergabung dengan ion hidrogen dalam larutan asam untuk menghasilkan asam silikat, yang ketika dipanaskan dan dibakar membentuk gel silika keras dan jernih yang menyerap air dengan cepat (Fairus *et al*, 2009). Karena membantu mempercepat reaksi polimerisasi, Na_2SiO_3 merupakan komponen penting dalam produksi beton geopolimer (Manuahe *et al*, 2014). Efek Na_2SiO_3 pada beton geopolimer adalah meningkatkan kemampuan kerja (*workability*) dan memberikan kuat tekan yang baik. Semakin besar jumlah Na_2SiO_3 , semakin tinggi viskositas dan semakin cepat proses produksi pengikat. Selain itu, meningkatkan jumlah Na_2SiO_3 dalam campuran beton geopolimer meningkatkan jumlah SiO_3 yang mempengaruhi kuat tekan beton (Sengkey *et al*, 2020).

2.6. Kuat Lentur

Uji kuat lentur merupakan kemampuan sebuah material yang diletakkan di antara dua perletakkan untuk menahan gaya lentur yang diberikan oleh beban dengan arah tegak lurus terhadap penampang sampe, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (Darmawi & Mahyudin, 2013). Menurut SNI 03-4431 (1997) kuat lentur dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

$$\sigma_{bending} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.1)$$

Dimana $\sigma_{bending}$ sebagai kuat lentur (MPa), F sebagai beban pada waktu lentur (N), L sebagai Jarak dari perletakan ke gaya (mm), b sebagai lebar penampang balok (mm), d sebagai tinggi penampang balok (mm). Gambar 2.5. menunjukkan alat uji kuat tekan seperti berikut.



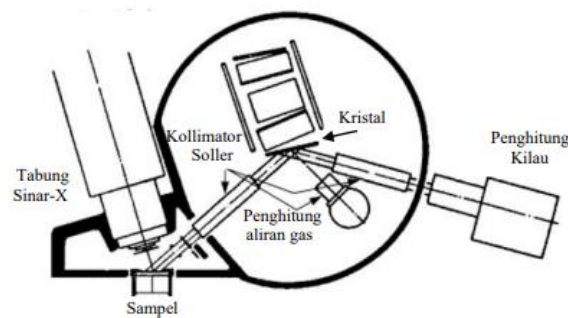
Gambar 2.5. Alat uji kuat lentur (BRIN)

2.7. Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat kimiawi suatu material, adapun pengujiannya sebagai berikut :

2.7.1. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Ray Fluorescence atau 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 XRF yang ditunjukkan seperti Gambar 2.6

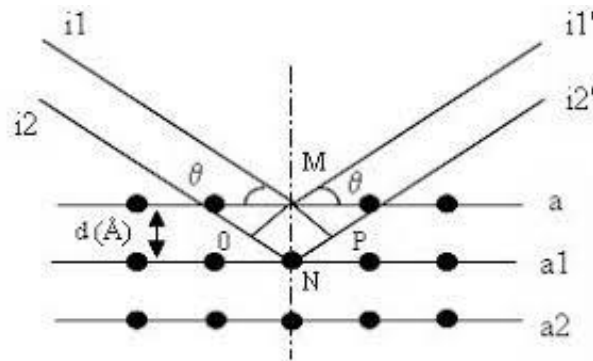


Gambar 2.6. Skema XRF (Beckhoff *et al.*, 2008).

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 (Kalnicky, 2001).

2.7.2. X-Ray Diffraction (XRD)

Tabrakan elektron yang memiliki kecepatan tinggi dengan benda metal atau logam sebagai targetnya dihasilkan dari gelombang elektromagnetik atau yang biasa dikenal sebagai sinar-X. Oleh sebab itu, tabung sinar-X membutuhkan sumber muatan negatif (katoda), sumber tegangan listrik (40 kV dan 30 mA), target sebagai anoda dan ruang vakum sebagai pembebas hambatan (Cullity, 1978). Tabung sinar-X, monokromator, detektor, dan lainnya termasuk dalam komponen XRD. Peristiwa difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.7.

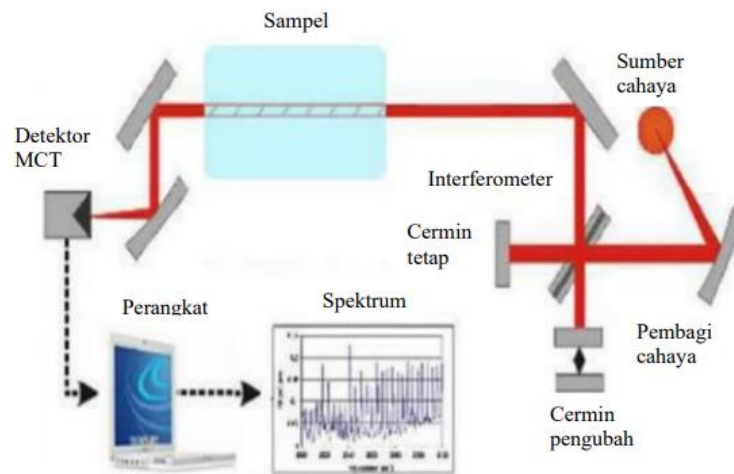


Gambar 2.7. Difraksi sinar-x (Cullity, 1978).

Sistem difrakometer sinar-X didasarkan pada hukum Bragg, yang menetapkan bahwa setiap bahan memiliki perbedaan dari berbagai pola, sudut difraksi (2θ) dan intensitas. Interaksi antara sinar-X dan atom di bidang kristal menyebabkan gangguan dalam bentuk puncak sebagai akibat dari interferensi (Cullity, 1978).

2.7.3. *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.

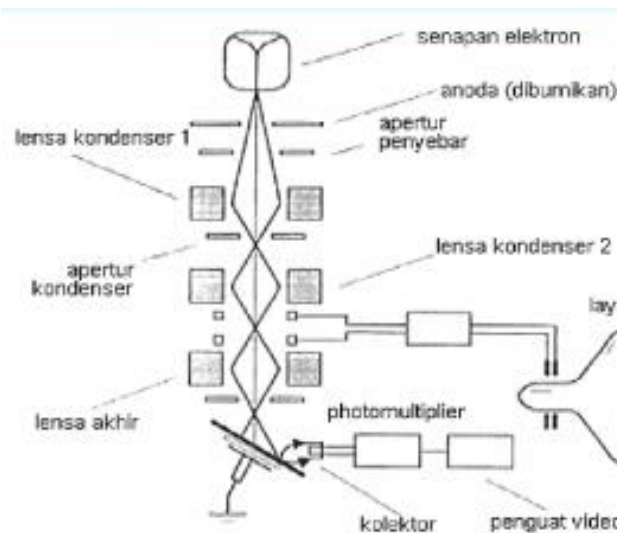


Gambar 2.8. Skema alat FTIR (Prasad, 2021).

Alat tersebut terdiri dari *light source* (sumber cahaya berupa sinar inframerah), interferometer, *beam splitter*, *fixed mirror*, *moving mirror*, sampel, *MCT detector* (detektor MCT), *device* (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 Haseth, 2007). Ketika sampel disinari dengan sinar inframerah, sinar inframerah yang diserap biasanya mengeksitasi molekul ke keadaan getaran yang lebih tinggi. Panjang gelombang cahaya yang diserap oleh molekul tertentu merupakan fungsi dari perbedaan energi antara keadaan getaran tunak dan keadaan getaran tereksitasi. Panjang gelombang yang diserap sampel adalah properti struktur molekulnya. Spektrometer FTIR menggunakan interferometer untuk memodulasi panjang gelombang sumber inframerah. Detektor mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau dipantulkan sebagai fungsi panjang 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 panjang gelombang (Prasad, 2021).

2.7.4 SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) dan *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) merupakan dua teknik analisis yang sering digunakan bersama untuk memeriksa struktur dan komposisi sampel dengan resolusi tinggi. Ketika digunakan bersama, SEM-EDX memungkinkan pengguna untuk mengamati struktur dan komposisi sampel secara simultan dengan resolusi tinggi (Goldstein *et al.*, 2017). Perangkat SEM-EDS terdiri dari berbagai komponen utama, termasuk sumber ion, pintu penerimaan sinar, lensa pertama, pelat pengosongan sinar, pintu pengosongan sinar, aktopol defleksi, lensa kedua, dan sampel yang akan dianalisis. Prinsip SEM-EDS dapat ditunjukkan pada Gambar 2.9.



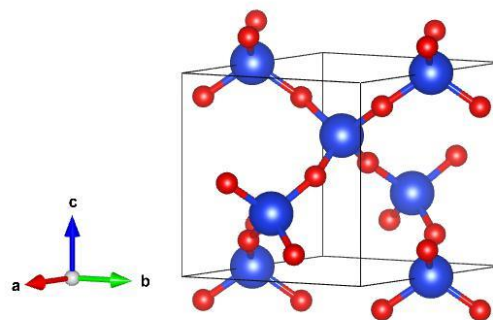
Gambar 2.9 Prinsip SEM-EDS

Proses analisis dimulai dengan memasukkan sampel ke dalam ruang vakum SEM. Di dalam alat ini, berkas elektron yang sangat terfokus diarahkan ke permukaan sampel padat untuk menghasilkan gambar SEM. Proses pemindaian berkas elektron melibatkan pergerakan menyeluruh melintasi permukaan sampel. Ketika berkas elektron mengenai permukaan sampel, terjadi interaksi dengan atom-atom di dalam material. Interaksi ini memicu emisi elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Sinyal yang dihasilkan diterima oleh sistem detektor pada arah z, kemudian disimpan dalam komputer, dan diolah menjadi gambar yang dapat dianalisis. Dalam analisis

SEM, sinyal-sinyal seperti elektron sekunder dan elektron hamburan balik direkam untuk menghasilkan informasi mengenai morfologi dan topografi permukaan. Selanjutnya, sinyal sinar-X yang dihasilkan selama proses interaksi ditangkap oleh detektor EDS. Data dari detektor ini memungkinkan identifikasi elemen kimia yang ada di dalam sampel (Goldstein *et al.*, 2017).

2.8. Silikon Dioksida

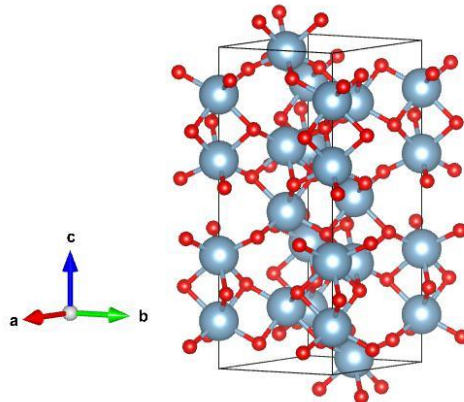
Struktur kristal senyawa anorganik sangat memengaruhi sifat fisika dan kimia bahan, khususnya dalam hal stabilitas termal, kekerasan, sifat dielektrik, hingga perilaku korosinya. Silikon dioksida (SiO_2) merupakan salah satu senyawa oksida yang umum ditemukan dalam bentuk kristalin seperti kuarsa (quartz), tridimit, dan kristobalit. Di antara polimorf tersebut, α -kuarsa adalah bentuk paling stabil pada suhu dan tekanan ruang, memiliki struktur trigonal yang terdiri dari tetrahedron SiO_2 yang saling terhubung secara kovalen membentuk jaringan tiga dimensi. Setiap atom silikon terkoordinasi secara tetrahedral dengan empat atom oksigen, sedangkan setiap oksigen menjembatani dua atom silikon, menciptakan kerangka struktural yang kaku dan kuat (Hawthorne *et al.*, 2000). Struktur kristal SiO_2 dalam bentuk trigonal menggunakan perangkat lunak VESTA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Struktur kristal SiO_2 (Downs dan Hall, 2003).

2.9. Aluminium Oksida

Aluminium oksida (Al_2O_3), atau alumina, hadir dalam berbagai bentuk polimorf, tetapi yang paling stabil adalah $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (korundum) dengan sistem kristal heksagonal tertutup rapat. Dalam struktur ini, atom oksigen membentuk susunan HCP (hexagonal close-packed), sedangkan ion Al^{3+} menempati dua pertiga dari celah oktahedral antar oksigen. Konfigurasi ini menghasilkan struktur yang sangat padat dan simetris, menyumbang pada sifat mekanik luar biasa seperti kekerasan tinggi dan titik lebur di atas 2000°C . Levin dan David (1998) menyebutkan bahwa struktur kristal $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ sangat penting dalam pengembangan keramik fungsional dan abrasif karena kestabilan termal dan kimianya yang tinggi (Levin dan David, 1998). Struktur kristal Al_2O_3 dalam bentuk trigonal menggunakan perangkat lunak VESTA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

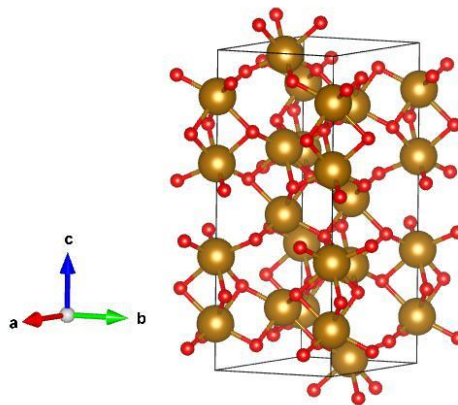


Gambar 2.11. Struktur kristal Al_2O_3 (Levin dan David, 1998).

2.10. Hematit

Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) adalah polimorf Fe_2O_3 yang paling stabil di kondisi ambien, memiliki struktur kristal rhombohedral (heksagonal close-packed) dengan grup ruang $R\bar{3}c$ serupa dengan struktur korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)—dengan parameter sel $a \approx 5,038 \text{ \AA}$ dan $c \approx 13,772 \text{ \AA}$. Dalam struktur ini, ion O^{2-} tersusun dalam konfigurasi HCP; sementara Fe^{3+} menempati dua pertiga dari selokulasi oktahedral, menghasilkan susunan kristal yang padat dan simetris. Kristalografi hematit yang kuat inilah yang mendasari sifat magnetik antiferromagnetik pada suhu di bawah transisi Morin ($\sim 260 \text{ K}$).

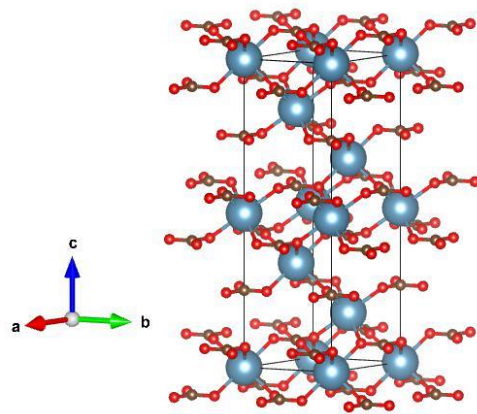
serta karakteristik optiknya, menjadikannya bahan unggul untuk aplikasi sensor, pigmen, dan elektroda baterai. Pengontrolan bentuk dan ukuran nanostruktur hematit, misalnya melalui hidrotermal dengan agen pengendali bentuk, juga telah terbukti memengaruhi performa fotokatalitik dan sensorinya (Krashoper *et al*, 2018). Struktur kristal Fe_2O_3 dalam bentuk trigonal menggunakan perangkat lunak VESTA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Struktur kristal Fe_2O_3 (Krashoper *et al*, 2018).

2.12. Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat (CaCO_3), dalam bentuk polimorf kalsit, memiliki struktur kristal trigonal dengan grup ruang H-M P 1, di mana ion Ca^{2+} dikelilingi oleh enam ion O^{2-} dalam konfigurasi oktahedral (CaO_6) yang saling berbagi sudut, sementara gugus karbonat (CO_3^{2-}) tersusun secara planar dan berorientasi bergantian antar lapisan kalsium. Struktur yang sangat simetris ini berperan penting dalam stabilitas mekanik dan termal material serta sifat reaktivitasnya terhadap pelarut dan ion asing di lingkungan. Struktur kristal CaCO_3 (Hazen *et al.*, 1989). Dalam bentuk trigonal menggunakan perangkat lunak VESTA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Struktur kristal CaCO₃ (Hazen *et al.*, 1989).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 01 Oktober 2024 sampai dengan 10 Desember 2024 di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTP–BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu timbangan digital, oven, cetakan balok 4 x 4 x 16 cm³, ember, beaker gelas, gelas ukur, mesin uji kuat lentur type *Universal Testing Machines* (UTM) *made in Thailand* type HT-2402 capacity 50kN, (XRF) *PANalytical type minipal 4*, (XRD) *PANalytical type X'pert Pro*, (SEM-EDS) *Quattro S*, dan (FTIR) *Bruker type INVENIO*.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu abu tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari PTPN VII Lampung Tengah, polimer EVA berbentuk butiran diperoleh dari toko bahan kimia, sodium silikat yang diperoleh dari toko bahan kimia, sodium hidroksida yang diperoleh dari toko bahan kimia dengan kemurnian 99% - 100%, aquades yang diperoleh dari laboratorium PP NON Logam.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Tahapan preparasi sampel pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menimbang abu tandan kosong sawit sesuai dengan 4 variasi komposisi dengan ukuran lolos 325 mesh.
2. Menimbang polimer EVA sesuai dengan 4 variasi kompois
3. Menyiapkan larutan alkali NaOH 15 M sesuai dengan 4 variasi komposisi.
4. Menyiapkan larutan Na_2SiO_3 sesuai dengan 4 variasi komposisi.
5. Menyiapkan abu tandan kosong kelapa sawit, Polimer EVA, NaOH, Na_2SiO_3 dan air yang sudah ditimbang dengan masing-masing komposisi persentase seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi Bahan Beton Geopolimer

Kode Sampel	Komposisi Bahan (%)					Total
	Abu Tandan Kosong sawit	EVA	NaOH	Na_2SiO_3	Air	
GM1	89,7	0	1,6	7,6	4,9	100
GM2	85,1	0,8	1,6	7,6	4,9	100
GM3	84,1	1,8	1,6	7,6	4,9	100
GM4	83,1	2,8	1,6	7,6	4,9	100
GM5	82,1	3,8	1,6	7,6	4,9	100

3.3.2 Tahap Pembuatan Mortar Geopolimer

Tahapan pembuatan geopolimer dengan persentase 4 variasi komposisi seperti pada Tabel 3.1 adalah sebagai berikut:

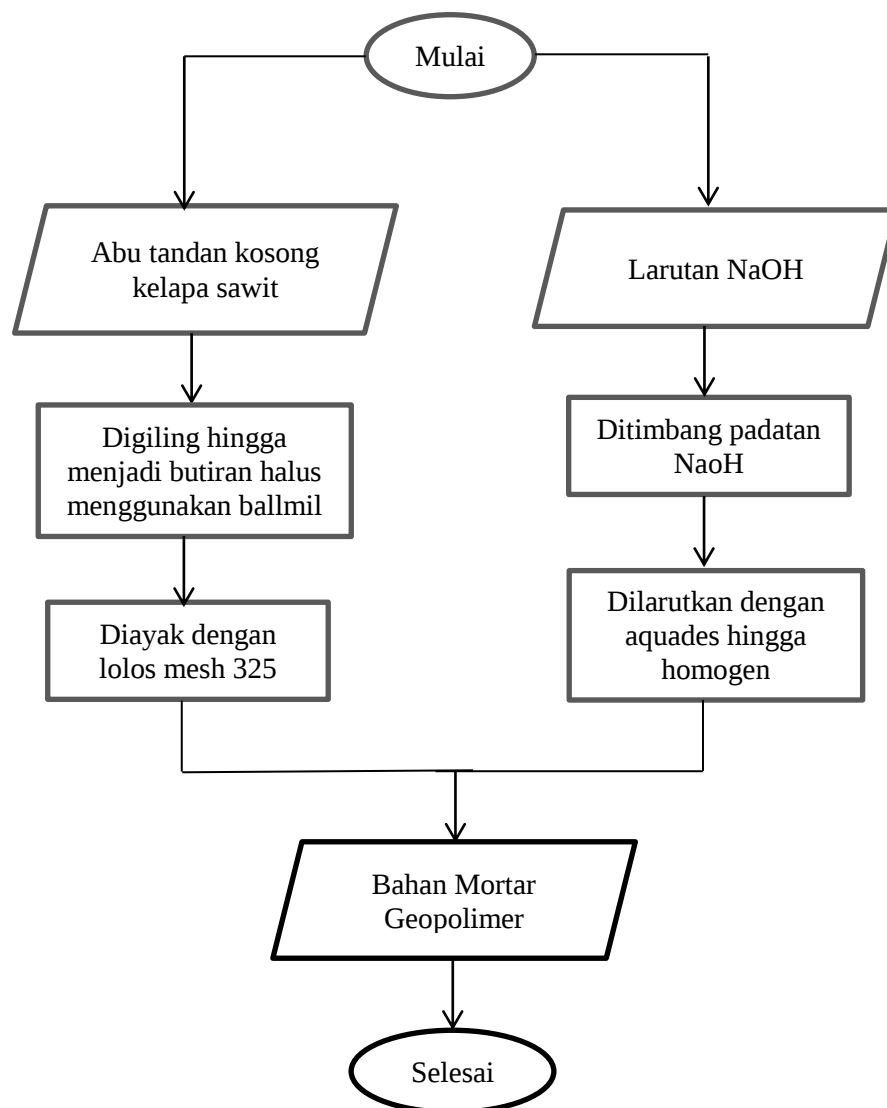
1. Memasukkan abu tandan kosong sawit, polimer EVA kedalam mixer sesuai variasi komposisi diaduk selama 10 menit.
2. Menambahkan larutan perkursor sebanyak ± 100 ml kedalam mixer sambil diaduk sampai terlihat homogen.
3. Memaukkan adonan geopolimer kedalam cetakan berbentuk balok ukuran $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ kemudian dipadatkan dengan kayu dalam cetakan.
4. Meletakkan adonan geopolimer didalam cetakan selama 2 hari pada suhu ruang, kemudian dilepaskan dari cetakan.
5. Mengeringkan geopolimer dalam oven pada variasi suhu 60°C dan suhu 80°C selama 5 jam.
6. Mortar dikarakterisasi dengan XRF, XRD, SEM-EDX, FTIR dan uji mekanis seperti kuat lentur.

3.4. Diagram Alir

Diagram alir yang dilakukan adalah preparasi bahan, pembuatan sampel, uji mekanis (kuat tekan) dan karakterisasi menggunakan XRF, XRD, FTIR, SEM-EDX. Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.4.1. Diagram Alir Preparasi Bahan

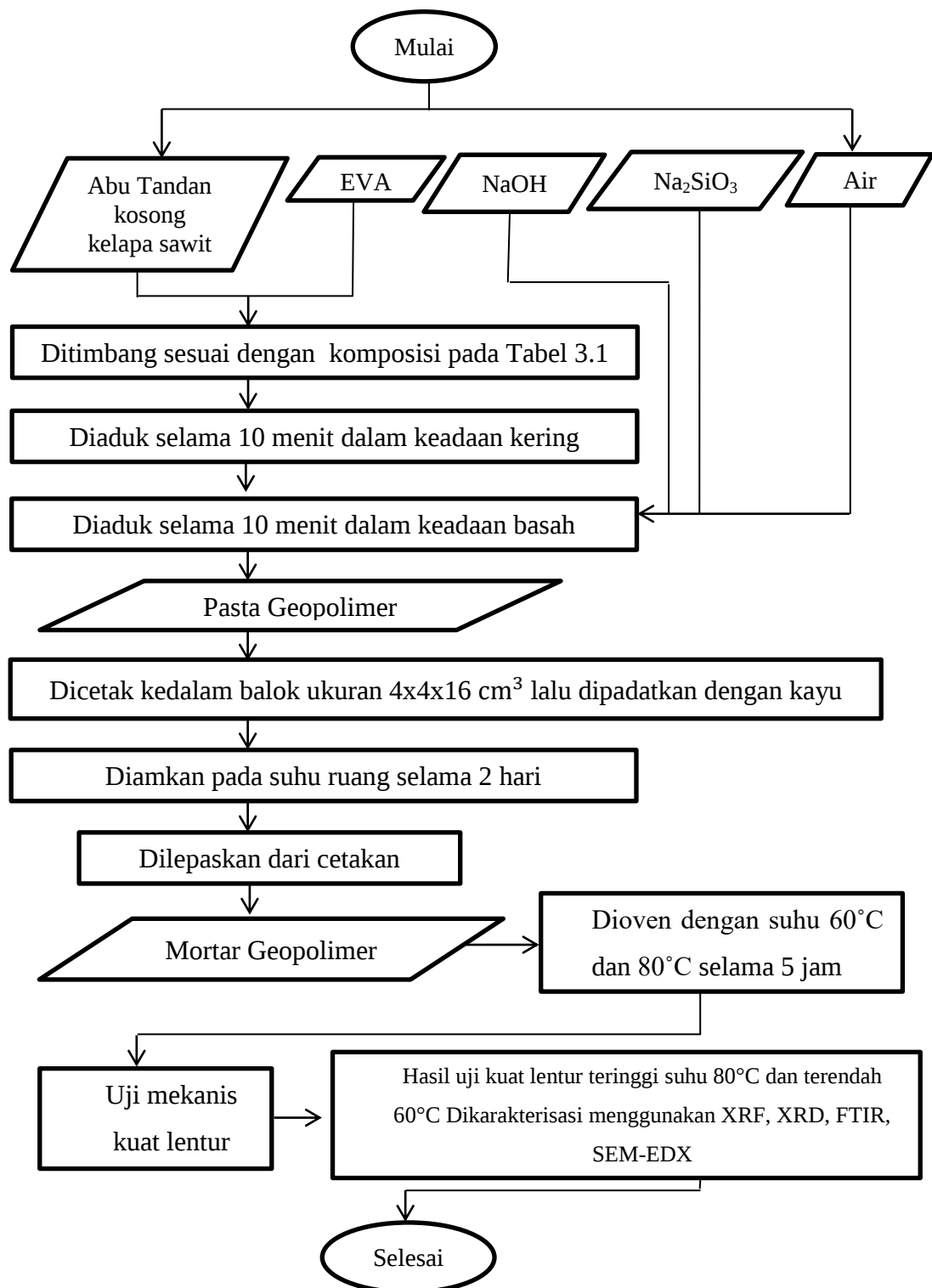
Diagram alir preparasi bahan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir preparasi bahan

3.4.2. Diagram Alir Mortar Geopolimer

Diagram alir pembuatan sampel mortar geopolimer ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir pembuatan sampel mortar geopolimer

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi komposisi dan suhu pada mortar geopolimer menggunakan uji mekanis (kuat lentur) nilai tertinggi pada sampel GM3 suhu 80 °C sebesar 18,9 MPa dan nilai kuat lentur terendah pada sampel GM2 suhu 60 °C sebesar 1,4 MPa.
2. Hasil komposisi kimia dari karakterisasi XRF komposisi kimia yang mendominasi pada mortar geopolimer yaitu SiO₂ dan CaO.
3. Hasil XRD mengidentifikasi fasa utama sebagai quartz (SiO₂) pada $2\theta = 26,56^\circ$.
4. Penambahan polimer EVA terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat lentur mortar geopolimer. Hal ini terlihat dari peningkatan kuat lentur yang paling tinggi diperoleh pada variasi ketiga (GM3) dengan penambahan 1,8% EVA pada suhu 80 °C yang mencapai 18,9 MPa, dibandingkan dengan sampel tanpa EVA yang hanya memiliki kuat lentur 1,2 MPa.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan uji kuat tekan agar dapat mengetahui seberapa besar tekanan yang bisa ditahan oleh mortar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Bin Hussain, M., Khairul Nizar, I., Zarina, Y., dan Rafiza, A. R. 2011. The effect of curing temperature on physical and chemical properties of geopolymers. *Physics Procedia*, Vol 22, Hal 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.045>
- Al-Ghamdi, H., Al-Fakih, A., Harb, M., Al-Otaibi, N., and Alshahrani, H. 2021. Thermal and structural properties of EVA-based composites. *Polymers*, 13(4), 679. <https://doi.org/10.3390/polym13040679>
- Amin, M., Juwono, A. L., Sudibyo, Suprihatin, dan Putriana, S. 2024. Pengaruh limbah polimer PET dan EVA sebagai substitusi pasir silika dan semen terhadap peningkatan kuat lentur, sifat fisis dan karakterisasi mortar polimer. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.31 No.3, Hal 255–266. <https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.3.3>
- Anugrah, A. D., Arie, W. 2020. Pengaruh Variasi NaOH Terhadap Na_2SiO_3 Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Dry Mixing Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 2:1. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 8, No. 1. Hal 1-7.
- Ardian, M., Setyawan, A., dan Sarwono, D. 2016. Pengaruh Bitumen Modifikasi Polimer Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) pada Asphalt Concrete terhadap Karakteristik Marshall. *Matriks Teknik Sipil*, Vol. 4, No. 1. Hal 544-552 <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i2.37011>
- ASTM C307-03. 2004. *Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing*. ASTM International. United States.
- Baskara, P., Shalini, A., Kaviya, S., Mayakrishanan, P. 2023. A Review on Fresh, Hardened, and Microstructural Properties of Fibre-Reinforced Geopolymer Concrete. *Polymers*, 15, 1484. <https://doi.org/10.3390/polym15101484>
- Beckhoff, B., Langhoff, N., Kanngiesser, B., Wedell, R., and Wolff, H. 2008. *Handbook of Practical X-ray Fluorescence Analysis*. Springer: Berlin. 45-47.
- Churata, R.; Almirón, J.; Vargas, M.; Tupayachy-Quispe, D.; Torres-Almirón, J.; Ortiz-Valdivia, Y.; Velasco, F. Study of Geopolymer Composites Based

- on Volcanic Ash, Fly Ash, Pozzolan, Metakaolin and Mining Tailing. *Buildings* 2022, 12, 1118. <https://doi.org/10.3390/buildings12111118>
- Cullity, B., D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical Engeneering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company, Inc: USA. Hal 277-281.
- Cong, P., dan Cheng, Y. 2021. Advances in geopolymer materials: A comprehensive review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(3), 283–314. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>
- Darmawi, M. & Mahyudin, A. 2013. Pengaruh penambahan serat ijuk terhadap sifat fisis dan mekanik papan semen-gypsum. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 2, No 1, Hal 1-7.
- Downs, R. T., dan Hall-Wallace, M. 2003. The American Mineralogist Crystal Structure Database. *American Mineralogist*, Vol 88, No. 1, Hal 247–250. <https://doi.org/10.2138/am-2003-1-202>
- Fairus, S., Haryono, H., Sugita, M. H., & Sudrajat, A. 2009. Proses pembuatan waterglass dari pasir silika dengan peleburan natrium hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, Vol 8, No. 2, Hal 56–62.
- Griffiths, P. R., and de Haseth, J. A. 2007. *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (2nd ed.). Wiley-Interscience: New Jersey. Hal 89-91.
- 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. Hal 180-182.
- Hawthorne, F. C. Sergey, F. K., and Peter, C. B. 2000. The Cristal Chesmitry of Sulfat Minerals. *Reviews in Mineralogi and Geochemistry* Vol 40 NO 1 Hal 1-112.
- Hazen, R. M., Finger, L. W., Hemley, R. J., dan Mao, H. K. 1989. High-pressure crystal chemistry of calcite and aragonite. *American Mineralogist*, 74(7-8), 777–789. <https://doi.org/10.2138/am-1989-7-807>
- Huseien, G. F., Kubba, Z., & Ghoshal, S. K. 2023. Engineering attributes of ternary geopolymer mortars containing high volumes of palm oil fuel ash: Impact of elevated temperature exposure. *Fire*, 6(9), 340. <https://doi.org/10.3390/fire6090340>
- Huseien, G. F., Hussein, Z. J., Kubba, Z., Mikhail Nikolaevich, B., & Mirza, J. 2023. Improved Bond Strength Performance of Geopolymer Mortars: Role of High Volume Ground Blast Furnace Slag, Fly Ash, and Palm Oil Fuel Ash Incorporation. *Minerals*, 13(8), 1096.

<https://doi.org/10.3390/min13081096>

- Javed, U., Shaikh, F. U. A., and Sarker, P. K. 2022. Microstructural investigation of lithium slag geopolymer pastes containing silica fume and fly ash as additive chemical modifiers. *Cement and Concrete Composites*, 134, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104736>
- Kalnicky, D.J., dan Singhvi, R. 2001. Field Portable X-RF Analysis of Enviromental Samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 83. Hal 93-122.
- Kim, B., dan Lee, S. 2020. Review on characteristics of metakaolin-based geopolymer and fast setting. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 57(4), 368–377. <https://doi.org/10.1007/s43207-020-00043-y>
- Kim, H.-J., Park, J.-Y., Suh, H.-W., Cho, B.-Y., Park, W.-J., dan Bae, S.-C. 2019. Mechanical Degradation and Thermal Decomposition of Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Polymer-Modified Cement Mortar (PCM) Exposed to High-Temperature. *Sustainability*, 11(2), 500. <https://doi.org/10.3390/su11020500>
- Krashoper, F., Jakub, Z., Bichler, M., Hulva, J., Drmotha, P., Weilnol, M., Schamid, M., Setvin, M., Diebol, O., Belaha, P., and Parkison, G. S. 2018. Atomic Scale Structure of The Hematite α – Fe_2O_3 (1102) “R-Cut” Survace. *The Journal of Phisical Chemistry*. Vol 122 Hal 1657-1669.
- Kwasny, J., Aiken, T. A., Soutsos, M. N., McIntosh, J. A., & Cleland, D. J. 2018. Sulfate and acid resistance of lithomarge-based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 166, 537-553. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.129>
- Levin, I., and David, B. 1998. Metastable Alumina Polimorphs : Chirstal Structure and Transtior Squences. *Journal of American Ceramic Society* Vol 81 No 8. Hal 1995-2012. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1998.tb02581.x>
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D., dan Windah, R. S. 2014. Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Mohd Ariffin, M. A., Hussin, M. W., dan Rafique Bhutta, M. A. 2011. Mix design and compressive strength of geopolymer concrete containing blended ash from agro-industrial wastes. *In Advanced Materials Research* Vol. 339, 452-457.
- Mostovoy, A., Shcherbakov, A., Slesarenko, V., Lopukhova, M., & Kurilova, A. 2025. Epoxy Composites Modified with Functionalized Aluminosilicate Microspheres from Thermal Power Plant Ash. *Polymers*, 17(12), 1666. <https://doi.org/10.3390/polym17121666>

- Nisa, S., Djoko, P. 2020. Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Absorpsi Kadmium Terlarut. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Teknologi Hasil Industri* vol 8 No 2. Hal 55-66.
- Nelson, L. M., Hussin, M. W., Ismail, M. A. M., Lim, N. H. A. S., & Ariffin, M. A. M. 2023. Extraction and characterization of silica from empty palm fruit bunch (EPFB) ash. *Processes*, 11(6), 1684. <https://doi.org/10.3390/pr11061684>
- Oliviera, M. C. C. D., Antonia, S. A. D. C., Mrcelo, M. V., Vanessa, D. F. C. L. 2017. The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Vol 81, No. 2. Hal 2299–2317.
- Onyegbado, C. O., Iyagba, E. T., dan Offor, O. J., 2002, Solid Soap Production using Plantain Peel Ash as Source of Alkali, *J. Appl. Sci. & Environ. Manage.*, 6, 1, 73-77.
- Prasad, S. G., De, A., & De, U. 2021. Structural and optical investigations of radiation damage in transparent PET polymer films. *International Journal of Spectroscopy*. Vol. 2011, No. 1, Hal. 1-7.
- Rahmat, N., Othman, R., Ariffin, H., Yusoff, M., & Mohamed, A. 2021. Synthesis and characterization of ZnO–SiO₂ composite using oil palm empty fruit bunch as a potential silica source. *Molecules*, 26(4), 1061. <https://doi.org/10.3390/molecules26041061>
- Saleh, A., Muthia, A. 2016. Pengaruh Penambahan Abu Tandan Kosong Sawit (ATKS) Terhadap Nilai Penetrasi Indeks Aspal Pertamina PEN.60/70. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, Vol. 2, No. 2. Hal 107-113.
- Saletes, S., Caliman, J. P., dan Raham, D., 2004, Study of Mineral Nutrient Losses from Oil Palm Empty Fruit Bunches During Temporary Storage, *J. Oil Palm Res.*, Vol. 16, No. 1, Hal 11-21.
- Samadhi, T. W., Pambudi, P.P. 2013. Pembuatan Geopolimer Dari Metakolin dan Abu Terbang. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* Vol. 11, No 5. Hal 265–274. <https://doi.org/10.5614/jtki.2013.12.2.6>
- Sengkey, S. L., Irmawaty, R., Hustim, M., dan Purwanto, P. 2020. Pengaruh Alkali Aktivator terhadap Workabilitas dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Fly Ash Klas C. *Seminar Nasional Teknik Sipil X* 2020. Hal 101-108.
- Septianingrum, A. T., Fatmala, E. D., dan Yulandri, C. M. 2019. Penambahan Polimer EVA/VeoVa pada Waterproof Cement Termodifikasi. *Jurnal*

Teknik Kimia, 14(1), 10–15.
https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i1.1649

SNI 03-4431. 1997. Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta: *Badan Standarisasi Nasional*.

SNI 2049-2015. (2015). Semen Portland, *Badan Standarisasi Nasional*

Sofiah, N., Prasatyo, D, dan Afiantara, D, B,. (2017). Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Adsorpsi Kadmium Terlarut, *J RTPPI*, Vol. 8 (2) 55-66.

Sturm, P., Gluth, G. J. G., Brouwers, H. J. H., & Kühne, H. C. (2016). Synthesizing one-part geopolymers from rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 124, 961-966.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.017>

Ukrintukun, S., Koshy, P., Feng, C., Rawal, A., Castel, A., and Sorrell, C. C. 2021. Development of low-alkali, fly ash/slag geopolymers: Predictive strength modelling and analyses of impact of curing temperatures. *Minerals*, 11(1), 60. <https://doi.org/10.3390/min11010060>

Wardhono, A. 2019. *Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Kelas C*. Skripsi. Universitas Surabaya.

Xing, X., Wei, J., Xu, W., Wang, B., Luo, S., and Yu, Q. 2022. Effect of organic polymers on mechanical property and toughening mechanism of slag geopolymer matrix. *Polymers*, Vol, 14. No. 21, Hal 1-24.
<https://doi.org/10.3390/polym14214214>

Yeon, J. H., Kim, S. W., & Park, H. 2019. Compressive and Flexural Strengths of EVA-Modified Mortars for 3D Additive Construction. *Materials*, 12(20), 3346. 12, 2600 <https://doi10.3390/ma12162600>

Yılmaz, A., Degirmenci, F. N., & Aygormez, Y. 2024. Effect of initial curing conditions on the durability performance of low-calcium fly ash-based geopolymer mortars. *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, 63(3), 238–254. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2023.10.010>

Yusnar, C. 2022. Fresh Karakteristik Beton Pasta Geopolimer Berbasis POFA dan OPC. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* Vol.6 No.1. Hal 1-6.

Zarina, Y., Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Khairul Nizar, I., & Rafiza, A. R. (2013). Review on the various ash from palm oil waste as geopolymer material. *Reviews on Advanced Materials Science*, 34(1), 37–43.

Zhang, Q., Liu, Y., Wang, H., Li, X., & Chen, M. 2024. Thermal degradation and FTIR analysis of EVA in modified cement-based materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147, 1345–1355. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12678-7>