

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BAHAN BAKU, SUHU, DAN WAKTU  
PEMANASAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN  
MORFOLOGI PADA PEMBUATAN KLINKER SEMEN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Naufal Zaidan  
NPM 1917041049**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BAHAN BAKU, SUHU, DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN MORFOLOGI PADA PEMBUATAN KLINKER SEMEN

Oleh

**Naufal Zaidan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu (800, 900, dan 1000°C) dan waktu pemanasan (2 dan 4 jam) terhadap komposisi kimia, fasa, morfologi dan pembentukan dari klinker semen. Tahapan penelitian ini terdiri atas penyiapan bahan baku, preparasi sampel, reduksi selektif, separasi sampel, dan karakterisasi. Berdasarkan hasil karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) diketahui bahwa klinker semen memiliki empat senyawa penting yaitu CaO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang sudah memenuhi standar, untuk senyawa SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tidak memenuhi standar. Berdasarkan hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) diketahui bahwa fasa kristal yang terbentuk adalah *calcium oxide*, *silicon oxide* dan *calcium silicate*. Berdasarkan hasil *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) pada setiap suhu pemanasan mineral memiliki bentuk bulat telur yang menandakan persebaran fasa *calcium oxide* merupakan yang paling dominan terbentuk dari senyawa CaO dengan SiO<sub>2</sub>. Klinker semen hasil pemanasan memiliki nilai LSF yang melebihi target dari 94%, untuk nilai SM tidak mencapai target 2-2,4%, dan untuk nilai AM juga tidak mencapai target 1,4-1,8%.

**Kata Kunci** : Klinker semen, *dicalcium silicate*, XRF, XRD, SEM-EDS.

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF VARIATION RAW MATERIAL COMPOSITION, TEMPERATURE, AND HEATING TIME ON PHASE STRUCTURE COMPOSITION, AND MORPHOLOGY IN CEMENT CLINKER PRODUCTION**

**By**

**Naufal Zaidan**

This study aims to determine the effect of temperature (800, 900, and 1000 °C) and heating time (2 and 4 hours) on the chemical composition, phase, morphology and formation of cement clinker. The stages of this research consisted of preparing raw materials, sample preparation, selective reduction, sample separation, and characterization. Based on the results of X-Ray Fluorescence (XRF) characterization, it is known that cement clinker has four important compounds, namely CaO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> which meet the standards, while SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do not meet the standards. Based on the results of X-Ray Diffraction (XRD) it is known that the crystalline phases formed are calcium oxide, silicon oxide and calcium silicate. Based on the results of Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) at each heating temperature, minerals have an ovoid shape which indicates the distribution of the calcium oxide phase is the most dominant formed from CaO compounds with SiO<sub>2</sub>. Heated cement clinker has an LSF value that exceeds the target of 94%, the SM value does not reach the target of 2-2.4%, and the AM value also does not reach the target of 1.4-1.8%.

**Keywords** : Cement clinker, dicalcium silicate, XRF, XRD, SEM-EDS.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BAHAN BAKU, SUHU, DAN WAKTU  
PEMANASAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN  
MORFOLOGI PADA PEMBUATAN KLINKER SEMEN**

**Oleh**

**NAUFAL ZAIDAN**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul : **PENGARUH VARIASI BAHAN BAKU, SUHU,  
DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP  
KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN  
MORFOLOGI PADA PEMBUATAN  
KLINKER SEMEN**

Nama Mahasiswa : **Naufal Zaidan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917041049**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI**  
1. **Komisi Pembimbing**

**Suprihatin, S.Si., M.Si.**  
NIP.19730414 199702 2 001

**Fathan Bahfie, S.T., M.Si.**  
NIP.19901218 201401 1 001

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

**Gurum Ahmad Pauzi, M.Si., S.T.**  
NIP. 19801010 200501 1 002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

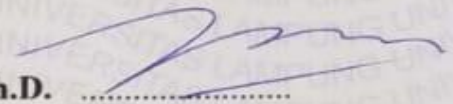
Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Fathan Bahfie, S.T., M.Si.**



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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Juni 2023**

## PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 15 Juni 2023



Handwritten signature of Naufal Zaidan in black ink.

Naufal Zaidan  
NPM. 1917041049

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Naufal Zaidan, dilahirkan pada tanggal 4 Juli 2001 di Jakarta. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Yuyus Yusriansah dan Ibu Titin Fatimah.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar Negeri 09 Pasaman pada Tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Pasaman pada

Tahun 2016, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bandar Lampung pada Tahun 2019. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada bidang dana usaha pada tahun 2020-2021. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Bukit Asam Tbk, Tarahan, pada tahun 2022. Penulis juga telah mengikuti program pengabdian masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2022 di Desa Sriminosari, Labuhan Maringgai, Lampung Timur.

Selanjutnya penulis melakukan penelitian bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pengaruh Variasi Komposisi (Abu Terbang dan Batu Silika), Suhu dan Waktu Pemanasan terhadap



Komposisi Struktur Fasa dan Morfologi pada Pembuatan Klinker Semen”. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BPTM-BRIN), Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

## MOTTO

*“Doa orang tua menembus langit”*

*“...Tidak akan wafat seseorang sampai semua rezekinya  
disempurnakan oleh Allah...”*

*(HR. Musnad Ibnu Abi Syaibah 8:129 dan Thabrani dalam Al-  
Mu’jam Al-Kabir 8:166)*

*“... 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.”*

*(Surah Al Baqarah: 216)*

## **PERSEMBAHAN**

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

**Bapak Tercinta Yuyus Yusriansah, dan Ibu Tercinta Titin Fatimah**

“Terimakasih untuk segala do’a dan usaha yang selalu diberikan demi  
keberhasilanku. Tak lupa kakak dan adikku yang selalu memberikan semangat  
dalam menyelesaikan skripsi ini”

**Keluarga besar & Sahabat Sahabat Terdekat**

Rekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA UNILA 2019”

Serta Almamater Tercinta

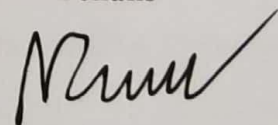
“Universitas Lampung”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Baku, Suhu, dan Waktu Pemanasan terhadap Komposisi, Struktur Fasa dan Morfologi pada Pembuatan Klinker Semen”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang pengaruh variasi suhu pemanasan, waktu pemanasan, abu terbang dan batu silika pada pembuatan klinker semen kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023  
Penulis



Naufal Zaidan

## SANWACANA

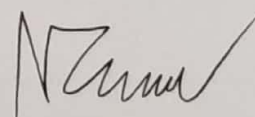
Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Baku, Suhu, dan Waktu Pemanasan Terhadap Komposisi, Struktur Fasa dan Morfologi Pada Pembuatan Klinker Semen”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama dan Pembimbing Akademik yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya, memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika..
2. Bapak Fathan Bahfie, S.T., M.Si. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Muhammad Amin, S.T. selaku Pembimbing Lapangan yang telah membantu selama proses penelitian ini.
4. Bapak Prof., Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Pegawai Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Kedua orang tuaku Bapak Yuyus Yusriansah dan Ibu Titin Fatimah. Kepada saudara kandungku Ega Rifqiandra, Khansa Millenia Yustinsta, dan Afa Anjab Meicola yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan dan do'a untuk penulis.
10. Fitria Nadhila Irsal yang selalu mendukung dan mampu memahami setiap proses kehidupan penulis.
11. Sahabat sahabatku yang aku sayangi, selalu ada disaat senang dan susah serta menjadi kawan diskusi yang baik. Semoga Allah membalas dengan hal yang lebih baik. Aamiin.
12. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2019. Semoga Allah membalas kebaikan dengan hal yang lebih baik

Bandar Lampung, 15 Juni 2023

Penulis



Naufal Zaidan

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang.....	7
2.2 Batu Kapur .....	8
2.3 Batu Silika.....	9
2.4 Asam Borat .....	10
2.5 Klinker Semen.....	11
2.6 Semen.....	12
2.7 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> .....	13
2.8 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	14
2.9 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i> .....	17

## III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.2.1 Alat Penelitian.....	18
3.2.2 Bahan Penelitian.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.3.1 Preparasi Bahan.....	19
3.3.2 Karakterisasi Bahan .....	19
3.3.3 Pembuatan Klinker Semen.....	19
3.3.4 Karakterisasi Klinker Semen.....	20
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	20

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi XRF Bahan .....	23
4.1.1 Hasil Karakterisasi XRF Abu Terbang .....	23
4.1.2 Hasil Karakterisasi XRF Batu Silika.....	24
4.1.3 Hasil Karakterisasi XRF Batu Kapur.....	24
4.2 Hasil Karakterisasi pada Klinker Semen.....	25
4.2.1 Hasil Karakterisasi XRF pada Klinker Semen .....	25
4.2.2 Hasil Karakterisasi XRD pada Klinker Semen .....	26
4.2.3 Hasil Karakterisasi SEM-EDS pada Klinker Semen.....	30
4.3 Hasil Perhitungan LSF, SM, dan AM .....	37
4.3.1 Perhitungan <i>Lime Saturation Factor (LSF)</i> .....	37
4.3.2 Perhitungan <i>Silica Modulus (SM)</i> .....	38
4.3.3 Perhitungan <i>Alumina Modulus (AM)</i> .....	39

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	40
5.2 Saran.....	41

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Skema proses XRF .....	14
<b>Gambar 2.2</b> Skematik hukum bragg .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Skematik difraksi sinar-X .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Mesin SEM-EDS .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian .....	21
<b>Gambar 4.1</b> Difraktogram XRD klinker semen K3-800-4 .....	27
<b>Gambar 4.2</b> Difraktogram XRD klinker semen K3- 900-4 .....	28
<b>Gambar 4.3</b> Difraktogram XRD klinker semen K3-1000-4 .....	29
<b>Gambar 4.4</b> Karakterisasi SEM-EDS klinker semen K3-800-4 .....	30
<b>Gambar 4.5</b> Spektrum EDS klinker semen K3-800-4 .....	31
<b>Gambar 4.6</b> Karakterisasi SEM-EDS klinker semen K3-900-4 .....	32
<b>Gambar 4.7</b> Spektrum EDS klinker semen K3-900-4 .....	33
<b>Gambar 4.8</b> Karakterisasi SEM-EDS klinker semen K3-1000-4 .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Spektrum EDS klinker semen K3-1000-4 .....	35
<b>Gambar 4.10</b> a) Morfologi klinker semen K3-800-4, b) Morfologi klinker semen K3-900-3, c) Morfologi klinker semen K3-1000-4 .....	36

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi kimia abu terbang.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi kimia batu kapur .....	9
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi kimia klinker semen .....	12
<b>Tabel 2.4</b> Susunan oksida semen portland .....	13
<b>Tabel 3.1</b> Variasi komposisi bahan .....	19
<b>Tabel 4.1.</b> Sampel klinker semen .....	22
<b>Tabel 4.2</b> Hasil karakterisasi XRF abu terbang.....	23
<b>Tabel 4.3</b> Hasil karakterisasi XRF batu silika .....	24
<b>Tabel 4.4</b> Hasil karakterisasi XRF batu kapur.....	24
<b>Tabel 4.5</b> Hasil karakterisasi XRF klinker semen .....	25
<b>Tabel 4.6</b> Komposisi unsur klinker semen K3-800-4.....	32
<b>Tabel 4.7</b> Komposisi unsur klinker semen K3-900-4.....	33
<b>Tabel 4.8</b> Komposisi unsur klinker semen K3-1000-4.....	35
<b>Tabel 4.9</b> Hasil perhitungan LSF klinker semen .....	37
<b>Tabel 4.10</b> Hasil perhitungan SM klinker semen .....	38
<b>Tabel 4.11</b> Hasil perhitungan AM klinker semen .....	39

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia, mengakibatkan tingkat konsumsi semen di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Tingkat konsumsi semen dipengaruhi oleh perkembangan di sektor *real estate*, seperti pembangunan gedung, perumahan, dan perbaikan infrastruktur yang direncanakan oleh pemerintah, seperti pembangunan jembatan dan pekerjaan umum yang lain. Perbaikan infrastruktur akan berdampak signifikan terhadap peningkatan ekonomi dan pembangunan nasional, sehingga meningkatkan permintaan semen (Asosiasi Semen Indonesia, 2013). Industri Semen masuk dalam daftar sepuluh besar industri penyumbang polusi udara terbesar di Indonesia (Hermawan, 2003).

Semen pada dasarnya adalah kalsium silikat dan kandungan kalsium aluminat. Semen memiliki daya rekat yang baik, sehingga dapat menggabungkan bahan yang halus dan padat menjadi satu kesatuan yang kokoh. Senyawa utama yang dibutuhkan untuk produksi semen adalah oksida kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Rahadja, 1990). Pada produksi semen, klinker menjadi bahan baku utama yang merupakan bahan padat yang dihasilkan dari pembakaran di dalam kiln hingga membentuk partikel atau nodul, biasanya berdiameter 3-25mm (Anonim, 2010).

Klinker semen *portland* adalah suatu material hidraulik yang terdiri atas  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  serta  $C_4AF$ . Untuk memproduksi klinker, *raw meal* akan dibakar di kiln pada suhu  $1450^{\circ}C$  menggunakan panas akibat pembakaran batubara. Proses pembakaran klinker merupakan proses paling penting bagi industri semen. Pada industri semen portland, batubara tidak hanya dipergunakan menjadi bahan bakar, tetapi juga bisa memengaruhi komposisi asal klinker (Dahliar *et al.*, 2014).

Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan banyak sekali macam bahan bakar, terutama batubara. Proses pembakaran batubara terjadi pada sistem *boiler* dimana selain membuat uap, sistem ini juga menyebabkan produk samping atau limbah. Limbah yang ditimbulkan industri pembangkit listrik dinamakan abu terbang sebanyak 80% dan abu dasar sebanyak 20% dari total limbah abu setiap produksi. (Aida *et al.*, 2018). Sementara itu, tingkat pemanfaatan abu terbang di Indonesia hanya 10-12% (Ekaputri *et al.*, 2019). Jika keadaan ini tidak berubah, maka akan terjadi penumpukan abu terbang di Indonesia hingga 10,4 juta-ton per tahun pada tahun 2027 (Ekaputri dan Bari, 2020). Oleh karena itu, perlu adanya solusi untuk memanfaatkan abu dasar dan abu terbang (Blissett dan Rowson, 2012).

Abu terbang telah digunakan sebagai bahan pengganti dalam industri konstruksi, terutama sebagai bahan baku atau sebagai bahan tambahan pada industri semen (ASTM, 2008). Abu terbang mengandung senyawa kimia  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ , alkali,  $MgO$  dan bahan lainnya. Dengan kandungan silika dan oksida, abu terbang dengan sifat *pozzolan* dapat digunakan dalam produksi semen. (Blissett dan Rowson, 2012). *Pozzolan* yaitu bahan yang mengandung senyawa silika ( $SiO_2$ ) atau silika alumina ( $Al_2SiO_5$ ), dimana bahan *pozzolan* itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen. Karena bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka

senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu ruangan, dan membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti semen (Romli dan Syahminan, 2015). Penggunaan *pozzolan* buatan dari abu terbang juga akan mengurangi penggunaan pasir silika dan abu vulkanik dari alam, sehingga lebih ramah lingkungan dengan mengubah limbah menjadi sesuatu yang berguna bagi kehidupan industri semen (Wijaya *et al.*, 2021). Dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan baku produksi semen, dapat menambah pengolahan abu terbang yang lebih ekonomis dan mengurangi penggunaan batu kapur yang banyak menyumbang polusi gas CO<sub>2</sub> (M.Komljenovic *et al.*, 2009).

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya tentang material yang digunakan sebagai bahan *additive* dalam pembuatan klinker semen Rumiyantri *et al.*, (2019) melakukan penelitian mengenai substitusi 20% batu basalt terhadap massa batu kapur dan 20% batubara terhadap massa total pada suhu 1000 , 1100 , 1200 °C selama 1 jam. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan kimia pada klinker semen yakni SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tidak memenuhi 70% agar dapat dikatakan memiliki sifat *pozzolan*, hanya mencapai 32,2% (suhu 1000 °C), 39,4% (suhu 1100 °C), 41,8% (suhu 1200 °C). Kandungan CaO menurun seiring bertambahnya suhu 62,3% (suhu 1000 °C), 55,6% (suhu 1100 °C), 54,1 (suhu 1200 °C).

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Nurwanti, (2020) mengenai substitusi batu kapur menggunakan batubara dan batu basalt dengan komposisi masing-masing bahan 10% dan 20% sebagai bahan *additive* material klinker semen. Variasi yang dilakukan suhu pemanasan: 1000, 1100, dan 1200°C, dan waktu: 1, 2, dan 3 jam. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan kimia pada klinker semen

memenuhi syarat karena mengandung *pozzolan* dengan jumlah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 79,2%.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan klinker semen dengan menggantikan tanah liat dan pasir besi menggunakan abu terbang. Dengan penambahan abu terbang sebesar 10%, 12%, dan 14% dari komposisi bahan sebanyak 500 gram, dari total komposisi bahan tersebut dilakukan penambahan 25 gram asam borat pada sampel. Pemanasan dilakukan dengan variasi suhu: 800, 900, 1000°C, dan variasi waktu 2 jam dan 4 jam. Karakterisasi klinker yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa kimia, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fasa yang terbentuk, dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi dan persebaran unsur dari permukaan klinker semen.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap komposisi kimia dan fasa yang terbentuk dari klinker semen dengan karakterisasi XRF dan XRD?
2. Bagaimana pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap morfologi klinker semen dengan karakterisasi SEM-EDS?
3. Bagaimana pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap pembentukan klinker semen?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap komposisi kimia dan fasa yang terbentuk dari klinker semen dengan karakterisasi XRF dan XRD.
2. Mengetahui pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap morfologi dan persebaran unsur dari klinker semen dengan karakterisasi SEM-EDS.
3. Mengetahui pengaruh abu terbang dan batu silika dengan variasi komposisi, suhu, dan waktu pemanasan terhadap pembentukan klinker semen

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan klinker semen adalah batu kapur, abu terbang, batu silika, asam borat.
2. Abu terbang Tipe F yang digunakan berasal dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan.
3. Batu kapur, abu terbang, dan silika digiling menggunakan mesin ball mill selama 8 jam.
4. Variasi suhu pemanasan pembuatan produk klinker yang digunakan adalah 800 °C, 900 °C, 1000°C.
5. Variasi Waktu pemanasan pembuatan produk klinker semen yang digunakan yaitu 2 jam dan 4 jam.

6. Menambahkan abu terbang yang digunakan untuk membuat produk klinker semen yaitu 10%, 12%, 14% dari komposisi bahan 500 gram.
7. Menambahkan asam borat yang digunakan untuk membuat produk klinker semen yaitu 5% selain dari komposisi bahan 500 gram.
8. Karakterisasi yang dilakukan antara lain: menggunakan mesin XRF *PanAnalytical Type minipal 4*, menggunakan mesin XRD *PanAnalytical type expertpro*, dan menggunakan mesin SEM-EDS Quattro S.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh abu terbang sebagai bahan baku pengganti dalam pembuatan klinker semen dengan memvariasikan komposisi abu terbang dan batu silika.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti selanjutnya mengenai pembuatan klinker.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dalam bidang Fisika Material.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Abu Terbang

Abu terbang merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara dengan tekstur yang halus dan bersifat *pozzolan* (Krisbiyantoro, 2005). Abu terbang batubara biasanya masih mengandung komponen/senyawa seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan sebagian kecil unsur seperti  $\text{Na}_2$ ,  $\text{MgO}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  beserta pengotor lainnya. Unsur utama tersebut adalah bahan *pozzolan* yaitu bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina, dimana bahan *pozzolan* itu sendiri tidak memiliki sifat mengikat semen, karena memiliki bentuk yang halus dan masih mengandung air, senyawa tersebut kemudian bereaksi secara kimiawi dengan senyawa kalsium hidroksida pada suhu kamar dan membentuk senyawa dengan sifat seperti semen (kalsium silikat dan aluminat hidrat, sehingga abu terbang dapat dicampur dengan semen *portland* untuk membuat semen) (Romli, 2010).

Sifat kimia dari abu terbang dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Pembakaran batu bara lignit dan sub-bituminous dapat menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida yang lebih banyak jika dibandingkan pembakaran bituminus. Namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous (Adha, 2009). Komposisi abu terbang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi abu terbang (Said *et al.*, 2019).

Mineral	Persentase (%)
Silika (SiO <sub>2</sub> )	42,13
Titanium Oksida (TiO <sub>2</sub> )	0,60
Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,91
Besi Oksida (FeO)	25,00
Mangan Oksida (MnO)	0,40
Magnesium Oksida (MgO)	7,77
Kalsium Oksida (CaO)	11,50
Natrium Oksida (Na <sub>2</sub> O)	0,50
Kalium Oksida (K <sub>2</sub> O)	0,50
Air (H <sub>2</sub> O)	0,29
Sulfur Trioksida (SO <sub>3</sub> )	1,50
Belerang (S)	0,60

## 2.2 Batu Kapur

Batu kapur (*limestone*) merupakan jenis batuan karbonat yang terjadi di alam, biasanya disebut pula batu gamping. Mineral utama batu kapur adalah kalsit (CaCO<sub>3</sub>), mineral lainnya ialah mineral pengotor, umumnya berasal dari kuarsa (SiO<sub>2</sub>), karbonat yang tergabung dengan mineral besi dan mineral lempung, serta bahan organik sisa tanaman. Mineral kalsit terbentuk melalui proses sedimentasi sebagai akibatnya batu kapur dianggap juga batuan sedimen. Selain kalsit di alam ditemukan pula mineral karbonat lainnya yaitu aragonit (CaCO<sub>3</sub>) yang mempunyai komposisi kimia sama dengan mineral kalsit namun struktur kristalnya berbeda yaitu sistem ortorombik. Aragonit ditemukan pada kulit kerang (*oyster shells*) dan keong (*oolites*). Aragonit bersifat metastabil, pada saat waktu yang lama akan berubah menjadi kalsit. Mineral karbonat lain yang berasosiasi menggunakan kalsit merupakan siderit (FeCO<sub>3</sub>), ankerit (Ca<sub>2</sub>MgFe(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>), serta magnesit (MgCO<sub>3</sub>), mineral-mineral tersebut umumnya ditemukan pada jumlah yang kecil (Lefond, 1995).

Mineral-mineral karbonat sulit dibedakan satu dari yang lainnya karena memiliki sifat-sifat fisis yang hampir sama, mirip berat jenis, warna, bentuk kristal, serta sifat-sifat fisik lainnya. Pengotor yang paling banyak terdapat dalam batuan karbonat adalah lempung (*clay*). Mineral-mineral lempung, terutama kaolinit, ilit, khlorit, dan smektit dapat beredar di seluruh batuan atau terkonsentrasi dalam lapisan tipis (*laminae*) pada batuan. Selain lempung, pengotor lain adalah kuarsa, yang beredar dalam batuan karbonat berupa butiran halus ukuran 1 sampai 10 mikron (*microcrystalline quartz*) hingga butiran pasir (*sandsize quartz*). Pengotor lainnya artinya bitumen yaitu zat organik, beredar pada bentuk halus didalam batuan karbonat. Zat organik ini memberikan warna coklat sampai hitam di batuan. Untuk beberapa penggunaan tertentu saja seperti pengisi serta pelapis kertas adanya bitumen ini tidak diinginkan (Lefond, 1995). Komposisi batu kapur dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi kimia batu kapur (Lukman *et al.*, 2012).

Komposisi Kimia	Persentase %
Kalsium (Ca)	92,1
Besi (Fe)	2,38
Magnesium (Mg)	0,9
Silikon (Si)	3,0
Inidium (In)	1,4
Titanium (Ti)	0,14
Mangan (Mn)	0,03
Lutesium (Lu)	0,14

### 2.3 Batu Silika

Batu silika merupakan salah satu jenis mineral yang terkandung pada kerak bumi dengan jumlah besar. Batu silika bisa ditemukan pada bermacam struktur zat serta modifikasi. Selain berasal kerak bumi, silika juga bisa didapat secara alami dari

beberapa tumbuhan, seperti daun bambu (Silviana *et al.*, 2019). Silika terbentuk dari pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan *feldspar*, berbentuk sebagai bubuk putih. Silika merupakan senyawa non-reaktif dan hanya dapat larut dalam asam kuat, misalnya menggunakan asam klorida (HCl). Silika memiliki tiga bentuk kristal, yaitu kuarsa, kristobalit, dan trydimite (Hadi *et al.*, 2011).

Dalam aplikasinya, silika umumnya diproduksi dalam bentuk kaca, kristal, gel, aerogel, dan silika koloid (aerosil) (Dyana dan Triwikantoro, 2017). Jumlah silika yang cukup membantu pembentukan  $C_2S$  dan  $C_3S$  yang memiliki fungsi kekuatan pada semen (Anupoju, 2018). Selain itu, silika dapat juga digunakan sebagai bahan *filler* yang berguna untuk memperkuat keramik, karena *filler* dapat mengisi kekosongan pada matriks (Hayati *et al.*, 2011).

#### **2.4 Asam Borat**

Asam borat umumnya dikenal sebagai asam boraks ( $H_3BO_3$ ) adalah monobasa dari asam lewis boron lemah yang dapat digunakan sebagai desinfektan, insektisida, penyangga pH atau penyerap neutron. Asam borat larut dalam air mendidih, ketika senyawa dipanaskan hingga suhu di atas  $170^\circ C$ , senyawa tersebut kehilangan air dan kemudian membentuk  $HBO_2$  atau asam metaborat. Senyawa dengan rumus  $H_3BO_3$  ini berbentuk bubuk putih dan kristal tidak berwarna (Dwynda dan Zainul., 2018).

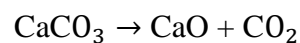
Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah asam borat dan penurunan suhu sintering menyebabkan peningkatan sifat isolasi termal. Penambahan asam borat pada batu apung dengan sintering  $700^\circ C$  menurunkan konduktivitas termal sebesar 42%, menurunkan 0,236 W/mK, dan densitas sebesar

44,8% sehingga menurunkan menjadi 0,64 g/cm<sup>3</sup>. Seperti yang diharapkan, menambahkan asam borat akan menurunkan suhu leleh batu apung (Palaci, 2022).

## 2.5 Klinker Semen

Klinker semen portland merupakan material hidrolis yang paling sedikit terdiri dari dua pertiga massa kalsium silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  dan  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), sisanya terdiri dari aluminium dan besi yang mengandung fasa klinker dan senyawa lainnya (Schumacer dan Juniper, 2013). Senyawa ini menjadi kristal terkait ikatan satu sama lain ketika mereka menjadi klinker. Komposisi trikalsium silikat dan dikalsium silikat adalah 70-80% berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan dari sifat semen (Mulyono, 2005).

Klinker menjadi bahan baku utama dalam produksi semen yang merupakan bahan padat yang dihasilkan dari pembakaran di dalam kiln hingga membentuk partikel atau nodul, biasanya berdiameter 3-25 mm (Rahmawatie dan Damayanti, 2017). Proses pemanasan ini bertujuan untuk terjadinya proses *Pre-calcination*, dan dari proses kalsinasi ini akan terbentuk oksida-oksida pembentuk klinker (akibat proses pemanasan di kiln).



Reaksi ini terjadi suhu sekitar 800°C. Kemudian terjadi proses kalsinasi lanjutan yang suhunya mencapai 1400°C. Pada suhu ini, di kiln terjadi reaksi-reaksi logam sehingga dihasilkan mineral-mineral baru (Anonim, 2017). Komposisi klinker semen dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Komposisi kimia klinker semen (ASTM, 1999).

Komposisi Kimia	Persentase %
<i>Lime Saturation Factor</i> (LSF)	94-98
<i>Silica Modulus</i> (SM)	2-2,4
<i>Alumina Modulus</i> (AM)	1,4-1,8
Trikalsium Silikat (C <sub>3</sub> S)	55-60
Dikalsium Silikat (C <sub>2</sub> S)	10-14
Trikalsium Aluminat (C <sub>3</sub> A)	8-12
Tetra Kalsium Aluminat (C <sub>4</sub> AF)	10-12

## 2.6 Semen

Semen berasal dari bahasa Latin *caementum* yang berarti material yang mampu merekatkan. Secara sederhana, definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan-bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum, semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat (Pangaribuan, 2013).

Bahan standar pembuat semen berupa klinker (berasal asal batu kapur, tanah liat serta pasir silika), gypsum, dan penambahan *pozzolan* (Malau, 2014). Bila ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar serta bila digabung dengan agregat kasar akan menjadi adonan beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*) (Ferguson, 1991). Kandungan terbesar pada semen merupakan CaO yang mempunyai fungsi pada proses perekatan, sedangkan SiO<sub>2</sub> berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai fungsi pada proses mempercepat pengerasan. Sedangkan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki suhu leleh yang rendah yang menyebabkan menjadi bahan bakar dalam proses pembakaran klinker (Wiryasa *et al.*, 2008). Komposisi semen *portland* dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Susunan oksida semen Portland (Tjokrodimuljo, 1996).

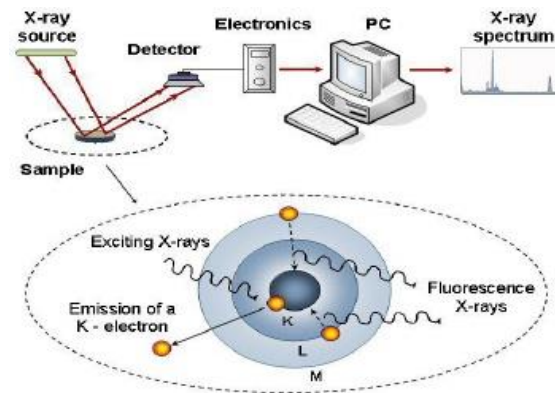
Komposisi Kimia	Persentase %
Kapur (CaO)	60-65
Besi (Fe)	0,5-6
Silika (SiO <sub>2</sub> )	7-25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3-8
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1-2
Potash (Na <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> O)	0,5-1

### 2.7 X-Ray Fluorescence (XRF)

*X-Ray Fluorescence (XRF) spectroscopy* merupakan metode analisis berdasarkan deteksi radiasi sinar-X yang diemisikan dari sampel yang dianalisis. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan konsentrasi senyawa dalam sampel dengan mengukur intensitas karakteristik emisi. Metode ini sangat sederhana, paling akurat dan sangat ekonomis untuk penentuan komposisi kimia dari berbagai bahan, non-destruktif, tidak memerlukan atau sangat sedikit preparasi sampel, dan cocok untuk sampel padat, cair, dan bubuk. Metode ini dapat digunakan untuk penentuan berbagai unsur dari kalium (19) sampai uranium (92), dan memberi batas deteksi tingkat ppm, tetapi dapat mengukur konsentrasi hingga 100% lebih mudah dan secara bersamaan (John *et al.*, 2001).

Prinsip dasar dari *XRF spectroscopy* adalah sinar-X akan mengeluarkan elektron yang terdapat pada kulit bagian paling dalam (misalnya kulit K) dalam suatu atom, dan menyebabkan kekosongan elektron pada bagian ini, sehingga elektron pada kulit yang lebih luar (misalnya kulit L, M, N) akan mengisi kekosongan elektron pada kulit bagian dalam yang menyebabkan pelepasan energi berupa energi foton

atau memancarkan sinar X (Girard, 2010). Skema proses dan alat XRF dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Skema proses XRF.

## 2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal, fasa, komposisi kimia, dan sifat dari bahan atau zat yang halus. Dengan metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan cara melihat pola difraksi yang dihasilkan.

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sebagai sasarannya. XRD dilengkapi beberapa komponen seperti tabung sinar-X, monokromator, detektor dan lain-lain. Sinar-X terjadi ketika bahan ditembakkan dengan elektron yang memiliki kecepatan dan tekanan tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron berasal dari anoda dipercepat menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X, sehingga elektron mengalami penurunan kecepatan (Cullity, 1978). Sinar-X yang menembak ke arah sampel kemudian didifraksikan ke segala arah. Detektor akan bergeak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X. Sampel



yang berbentuk serbuk atau padatan kristalin memiliki kisi bidang yang tersusun secara tidak teratur dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula dengan partikel-partikel kristal yang ada di dalamnya. Setiap kumpulan kisi bidang memiliki banyak sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi persamaan Hukum Bragg. Persamaan (2.1) ditunjukkan persamaan Hukum Bragg.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.1)$$

Keterangan:

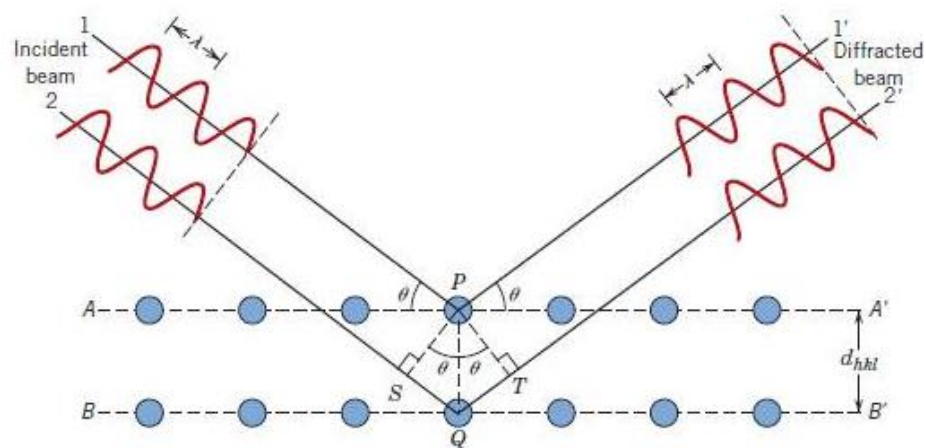
$d$  = jarak antar bidang

$\theta$  = sudut difraksi

$n$  = orde difraksi (1,2,3,.....)

$\lambda$  = panjang gelombang

Skematik Hukum Bragg ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skematik hukum Bragg (Cullity, 1978).

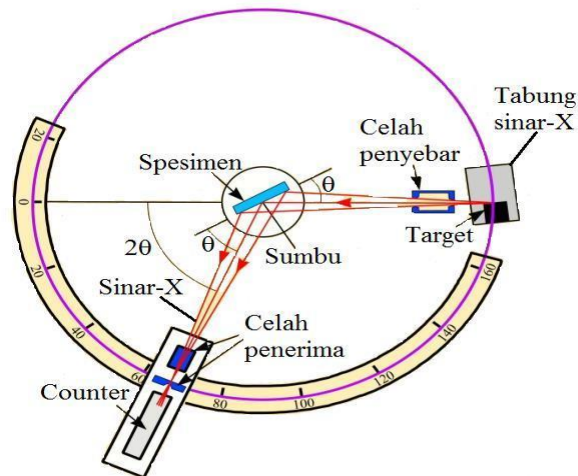
Keterangan:

$\theta$  = sudut difraksi

Jarak AB = jarak antar bidang

● = atom-atom

Hukum Bragg merupakan perumusan proses difraksi yang terjadi akibat hasil interaksi sinar-X yang dipantulkan oleh material. Peristiwa pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi. Skematik difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Skematik difraksi sinar-X. Sumber: (Cullity, 1978).

## 2.9 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang bisa digunakan untuk mengamati serta menganalisis struktur mikro dan morfologi bermacam material. SEM mempunyai keahlian dimana sumber tenaga yang digunakan merupakan berkas elektron sehingga menciptakan resolusi yang besar, tekstur, topografi, morfologi dan tampilan permukaan ilustrasi yang bisa nampak dalam dimensi mikron. SEM juga mampu membagikan data skala atomik dari sesuatu ilustrasi (Griffin dan Nix, 1991).

Prinsip kerja dari SEM yaitu sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Dengan proses penembakan elektron pada

permukaan sampel. Setelah permukaan sampel ditembak berkas elektron maka sampel akan memantulkan elektron tersebut kesegala arah sehingga terbentuk elektron sekunder. Dari banyaknya elektron sekunder yang dihasilkan hanya terdapat satu elektron sekunder yang memiliki intensitas tertinggi. Elektron sekunder ini yang akan dideteksi oleh detektor. Kemudian detektor yang ada di dalam SEM akan memproses pantulan tersebut sehingga mendapat informasi mengenai bentuk permukaan sampel yang diuji (Smallman dan Bishop, 2000). Perangkat alat SEM dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Mesin SEM-EDS.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2022 sampai Februari 2023 di Laboratorium Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital, XRF *PanAnalytical Type minipal 4*, XRD *PanAnalytical type expertpro*, SEM-EDS *Quattro S*, *beaker glass 100 ml Pyrex made in Thailand*, ayakan *100 mesh*, *325 mesh ASTM:E11 Nakatama Scientific Type:A6-342A*, plastik sampel, *mixer*, *furnace*, oven, dan mesin *ball mill*.

##### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: abu terbang dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan, batu kapur, batu silika, dan asam borat.

#### **3.3 Metode Penelitian**

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi bahan, karakterisasi bahan, pembentukan klinker, dan karakterisasi klinker semen.

### 3.3.1 Preparasi Bahan

Prosedur preparasi bahan pada penelitian ini adalah:

1. Batu kapur dan batu silika dihaluskan selama 8 jam, kemudian diayak dengan ukuran lolos 100 *mesh*. Setelah itu batu kapur ditimbang sesuai dengan 3 variasi komposisi sesuai dengan Tabel 3.1
2. Batu kapur, batu silika, abu terbang, dan asam borat ditimbang sesuai dengan 3 variasi komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Variasi komposisi bahan.

Variasi Komposisi	Batu Kapur (g)	Komposisi Bahan		Asam borat (g)
		Batu Silika (g)	Abu terbang (g)	
1	405	45	50	25
2	405	35	60	25
3	405	25	70	25

### 3.3.2 Karakterisasi Bahan

#### 1) Batu Kapur

Batu kapur di *ball mill* dan diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh*. Pemeriksaan terhadap batu kapur dilakukan dengan karakterisasi XRF.

#### 2) Batu Silika

Batu silika diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh*. Pemeriksaan terhadap silika dilakukan dengan karakterisasi XRF.

#### 3) Abu Terbang

Abu terbang diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh*. Pemeriksaan terhadap abu terbang dilakukan dengan karakterisasi XRF.

### 3.3.3 Pembuatan Klinker Semen

Prosedur pembuatan klinker semen pada penelitian ini adalah:

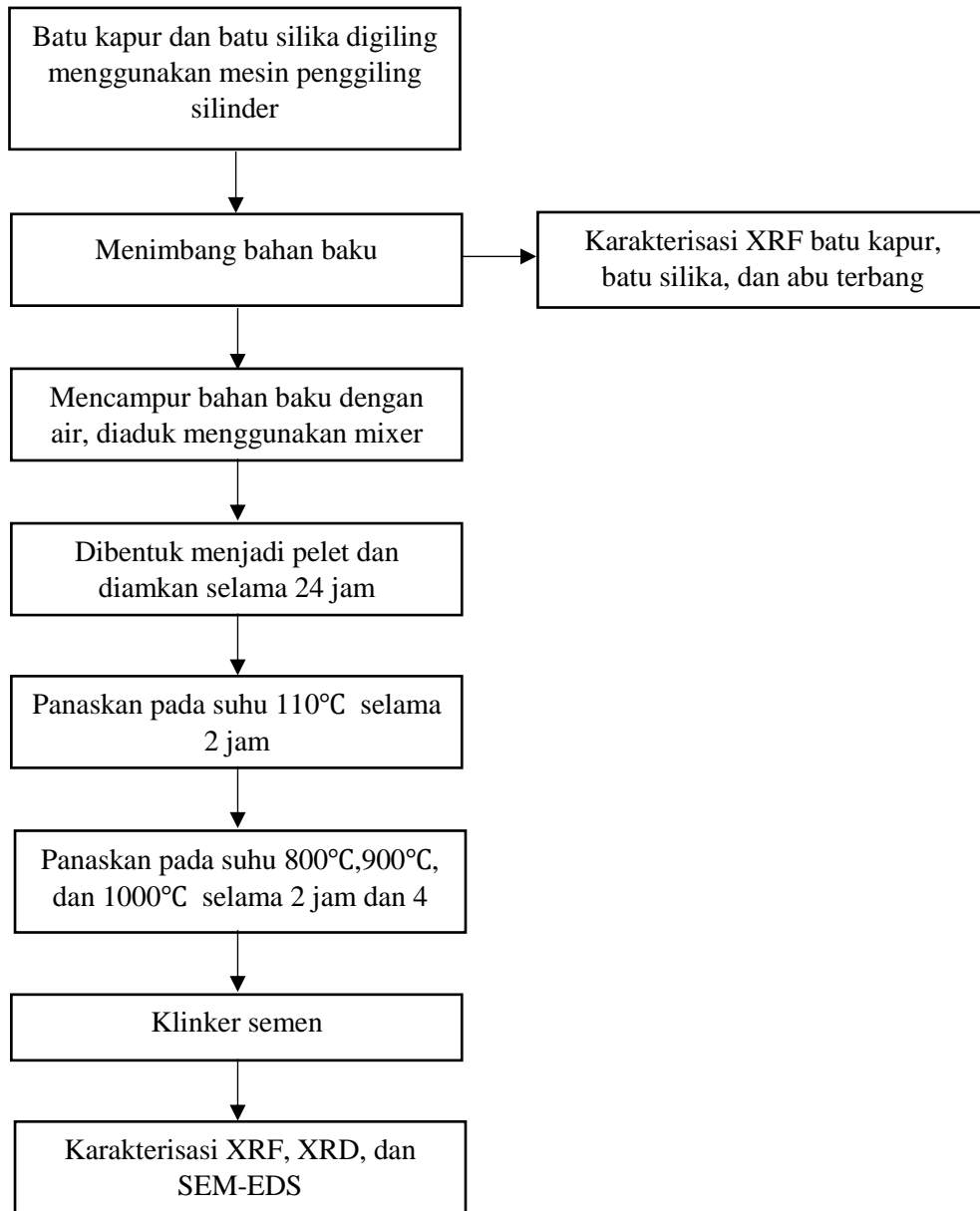
1. Bahan baku klinker semen disiapkan yang terdiri dari batu kapur, batu silika, abu terbang, dan asam borat.
2. Ditambahkan air ke dalam campuran variasi komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.
3. Mengaduk campuran bahan menggunakan mixer.
4. Setelah campuran bahan teraduk secara merata, bahan dibentuk menjadi pelet
5. Pelet didiamkan selama 24 jam.
6. Pelet dipanaskan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 2 jam.
7. Pelet dipanaskan menggunakan *furnace* pada suhu 800, 900, dan 1000 °C yang ditahan selama 2 dan 4 jam.

#### **3.3.4 Karakterisasi Klinker Semen**

Sampel dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, SEM-EDS.

#### **3.4 Diagram Alir Penelitian**

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil karakterisasi XRF komposisi kimia yang dominan dari klinker semen adalah  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
2. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD fasa yang terbentuk pada klinker semen sampel K3-800-4, K3-900-4, dan K3-1000-4 adalah *calcium oxide* ( $\text{CaO}$ ), *silicon oxide* ( $\text{SiO}_2$ ), dan *calcium silicate* ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ). Dengan *calcium oxide* merupakan fasa tertinggi yang terbentuk.
3. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM-EDS pada klinker semen pada sampel K3-800-4 menunjukkan bahwa pada biru muda yang mengandung unsur Ca, dan biru tua yang mengandung unsur Si memiliki penyebaran warna yang merata. Klinker semen pada sampel K3-900-4 menunjukkan bahwa biru muda yang mengandung unsur Ca, dan biru tua yang mengandung unsur Si memiliki penyebaran warna yang merata. Klinker semen pada sampel K3-1000-4 menunjukkan bahwa ungu yang mengandung unsur Ca dan biru muda yang mengandung Si memiliki penyebaran warna yang merata. Sehingga Ca dan Si adalah unsur dominan yang terdapat pada klinker semen.



4. Pembentukan klinker semen pada penelitian ini masih belum sempurna, karena kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  belum memenuhi standar pada komposisi klinker semen dan belum munculnya fasa  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_5$ , dan  $\text{C}_4\text{AF}$ .

## 5.2 Saran

1. Untuk memperoleh produk klinker semen dengan kualitas yang baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan suhu.
2. Kualitas klinker semen dengan penambahan abu terbang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan komposisi batu silika untuk mencapai standar klinker semen yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adha, A. 2009. Pengaruh Penambahan Abu Batubara (fly ash) Pada Tanah Gambut Terhadap Kapasitas Dukung Tanah. *Skripsi*. Universitas Islam. Indonesia. Yogyakarta.
- Admin/anonim.2010.KlinkerSemenPortland.<http://cementportland.blogspot.com/2010/05/klinker-semen-portland.html>, diakses pada 21 Desember 2022 Pukul 17.34.
- Admin/anonim. 2017. Semen Manufaktur Indonesia : Proses Pembuatan Clinker. <http://cementindonesia.blogspot.com/2017/11/proses-pembuatan-clinker.html>, diakses pada 10 Oktober 2022 jam 15.41 WIB.
- Aida, E. K., Lisha, S. Y., dan Puty, Y. 2018. Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Batubara (*Fly Ash*) Di PLTU Ombilin Sebagai Bahan Koagulan. *Research and Learning In Vocational Education*. Vol. 1. No. 3. Hal: 125-131.
- Alemayu, F., dan Sahu, O. 2013. Minimization of Variation in Clinker Quality. *Advances in Materials. Science Publishing Group*. Vol. 2. No. 2. Hal: 23-28.
- Amin, M., dan Kurniasih, A. 2019. Pengaruh Ukuran dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur Terhadap Tingkat Perolehan Kadar CaO. *Proceeding of Sains Matematika Informatika dan Aplikasinya*, Bandar Lampung. Hal: 74-82.
- Anupoju, S. 2018. Proportions of Cement Ingredients, Their Functions and Limitations. <https://theconstructor.org/building/proportions-cement-ingredients-functions-limitations/7561/?amp=1>, diakses pada 22 Mei 2023 jam 19.06 WIB.
- Asosiasi Semen Indonesia. 2013. Perkembangan Industri Semen di Indonesia Tahun 2012-2016. [www.asi.or.id](http://www.asi.or.id), diakses pada 29 Desember 2022 jam 11.01 WIB.
- ASTM, 2008. Standard C618-08 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM. 1999. C150/ C150M – 11 Standard Specification for Portland Cement.

- Benmohammed, M., Alouani, R., Jmayai, A., Amara, A. B. H., dan Rahiem, H. B. 2016. Morphological Analysis of White Cement Clinker Minerals: Discussion on the Crystallization-Related Defects. *International Journal of Analytical Chemistry*. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1259094>, diakses pada 3 Maret 2023 Pukul 9.51 WIB.
- Blissett, R.S., dan Rowson, N.A. 2012. *Fuel*. Elsevier. Amsterdam.
- Cullity, B.D. 1978. *Elements of X-ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. New Jersey, USA.
- Dahliar, N., Widodo, S., dan Tonggiroh, A. 2014. Pengaruh Komposisi Ash Batubara Terhadap Kualitas Klinker Portland Cement Pada PT. Semen Sentosa Unit III. *Geosains*. Vol. 10. No. 02. Hal: 58-67.
- Dwynda, I., Zainul, R. 2018. Boric Acid ( $H_3(BO_3)$ ): Recognize The Molecular Interaction in Solutions, INA-Rxiv, 19 November, available at: <https://doi.org/10.31227/osf.io/6wead>.
- Dyana, R.G.L dan Triwikantoro. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi -SiO<sub>2</sub> dengan Pengisi Gel SiO<sub>2</sub> dari Pasir Bancar Tuban. *Sains dan Seni ITS*. Vol 6. No. 1. Hal: 14-19.
- Ekaputri, J. J., Brahmantyo, D., Rahmadina, A., Wijaya, A. L., Karuru, R. S., Raizal, P., Al Bari, M. S., & Muhammad, A. R. 2019a. *Laporan TW IV: Kajian Karakterisasi Kandungan Fly Ash – Bottom Ash PLTU Air Anyir*.
- Ekaputri, J. J., dan Al Bari, M. S. 2020. Perbandingan Regulasi *Fly Ash* Sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol. 26. No. 2. Hal: 150-162.
- Erol, M., Demirle, U., and Kucukbayurk, S. 2003. Characterization Investigation of Glass - Ceramic Developed from Syntomer Thermal Power Plant Flay Ash. *Journal of European Ceramic Society*. Vol. 23. Hal: 757-763.
- Ferguson, P. M. 1991. *Dasar-Dasar Beton Bertulang Versi S1*. Erlangga. Jakarta.
- Girard, J. E. 2010. *Principles of Environmental Chemistry*. Jones and Bartlett Publishers. Burlington. USA.
- Griffin, P., dan Nix., P. 1991. *Educational Assessment and Reporting*. Harcourt Brace Javanovich, Publisher. Sydney.
- Hadi, S., Munasir., dan Triwikiantoro. 2011. Sintetis Silika Berbasis Pasir Alam Bancar Menggunakan Metode Kopesipitasi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol 7. No. 2. Hal: 1-4.

- Hayati, S., Munasir, dan Triwikantoro. 2011. Sintesis Silika Berbasis Pasir Alam Bancar Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* Vol. 7. No. 2. Hal: 1-4.
- Hermawan, W. 2003. Pengembangan Sektor Industri Manufaktur Yang Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan dengan Menggunakan Pendekatan Metode Input Output dan Industrial Pollutions Projection System (IPPS). *Bina Ekonomi*. Vol. 7. No. 1. Hal: 53-71.
- Horkoss, S., Ltief, R., dan Rizk, T. 2011. Influence of the Clinker  $SO_3$  on the Cement Characteristics. *Cement and Concrete Research*. Vol. 41. No. 8. Hal: 913-919.
- John, A., Alexanda, S. and Larry, A. 2001. Approaching a universal sample Preparation method for XRF analysis of powder materials. International Center for Diffraction Data 2001. *Advances in X – Ray Analysis*. 44: 368-370.
- Kerton, C. P. and Murray R. J. 1983. Portland Cement Production: in Structure and Performance of cements. Applied Science Publisher. London.
- Krisbiyantoro, B. 2005. Tinjauan Permeabilitas dan Shrinkage Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Mineral Metakolin dan Superplasticizer. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Lefond J. S. 1995. Industrial Mineral and Rocks. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York.
- Lukman, M., Yudyanto., Hartatiek. 2012. Sintesis Biomaterial Komposit CaO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Material Alam (Batuan Kapur Dan Pasir Kuarsa) Dengan Variasi Suhu Pemanasan Dan Pengaruhnya Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Mikrostruktur. *Journal Sains*. Vol. 2. No. 1. Hal: 1-7.
- Malau, F.B. 2014. Penelitian Kuat Tekan Dan Berat Jenis Mortar Untuk Dinding Panel Dengan Membandingkan Penggunaan Pasir Bangka Dan Pasir Baturaja Dengan Tambahan Foaming Agent Dan Silica Fume. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol 2. No. 2. Hal: 287-296.
- M. Komljenovic, Lj. Petrasinovic, Z. Bascarevic, N. Jovanovic, A. Rosic. 2009. Fly Ash as the Potential Raw Mixture Component for Portland Cement Clinker Synthesis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol 96. No. 2. Hal: 363-368.
- Mohammed, T. A. M. 2012. Composition and Phase Mineral Variation of Portland Cement in Mass Factory Sulaimani–Kurdistan Region NE- Iraq. *International Journal of Basic & Application Science* Vol. 12. No. 6. Hal: 109-118.
- Mulyono, T. 2005. *Teknologi Beton*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

- Murdock, L. J. Dan Brook, K. M. 1986. *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi keempat, Terjemahan Stephanus Hindarko. Erlangga. Jakarta.
- Nisah, K. 2016. Ekstraksi Alumina Oksida ( $Al_2O_3$ ) Dari Tanah Liat Dengan Variabel Suhu dan Konsentrasi Asam Sulfat. *Lantanida Journal*. Vol. 4. No. 1. Hal: 1-10.
- Nurwanti, Kiki., 2020. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Pemanasan pada Proses Pembuatan Klinker dengan Mensubstitusi Bahan Baku Menggunakan Batu Basalt dan Penambahan Batu Bara. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Noirfontaine, M. N., Dunstetter, F., Courtial, M., Gasecki, G., dan Frehelsignes M. 2006. Polymorphism of tricalcium silicate, the major compound of Portland cement clinker: 2. Modelling alite for Rietveld analysis, an industrial challenge. *Cement and Concrete Research*. Vol. 36. No. 1. Hal: 54–64.
- Palaci, Y., 2022. Development of boric acid added pumice based insulation material. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. Vol 37. No. 1 Hal: 399-405.
- Pangaribuan, B. 2013. *Cement Manufacturing Process*. Holcim: Jakarta.
- Prijatama, H. 1993. Abu Terbang dan Pemanfaatannya. *Proceeding of Batubara Indonesia*, Yogyakarta: 7-8 September.
- Rahadja, Hasan. 1990. Kursus Eselon III Produksi Teknologi Semen. Indonesia *Cement Institute*: Padang.
- Rahmawatie, B., dan Damayanti, R.L. 2017. Pengendalian Kualitas Produk Klinker Pada PT. XYZ dengan Menggunakan Grafik  $T^2$  *Hotteling*. *Proceeding of Seminar dan Konferensi Nasional*, Surakarta: 8-9 Mei. Hal. 365-374. ISSN: 2579-6429.
- Rijal, S. 2018. Formulasi Model Optimalisasi Komposisi Bahan Baku Untuk Mencapai Standar Kualitas Klinker (Studi Kasus Di Indarung IV PT. Semen Padang). *Tesis*. Universitas Andalas. Padang.
- Romli, A. 2010. Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara Untuk Pembuatan Semen Portland Pozzolan. *Jurnal Teknik*. Vol. 9. No. 1. Hal 1-6.
- Romli, A., dan Syahminan. 2015. Pemanfaatan *Fly Ash* (abu batu bara) yang diaktifkan Untuk Komposisi Semen *Portland Pozzolan*. *Proceeding of Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (IPTEK)*. Hal: 410-412.
- Rumiyanti, L., Sari, Y., Amin, M. 2019. Pengaruh Temperatur Terhadap Karakterisasi Klinker Semen Dengan Substitusi 20% Batu Basalt Terhadap Massa Batu Kapur dan 20% Batubara Terhadap Massa Total sebagai Reduktor

*Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7. No. 1. Hal. 29-34.

- Said, M. S., Nurhawaisyah, S. R., Juradi, M. I., Asmiani, N., Kusuma, G. J. 2019. Analisis Kandungan Fly Ash Sebagai Alternatif Bahan Penetral Dalam Penanggulangan Air Asam Tambang. *Jurnal Geomine*. Vol. 7. No. 3. Hal: 163- 170.
- Sari, I. A. P., Pramusanto., dan Sriwidayati. 2018. Analisa Klinker Berdasarkan Lime Saturation Factor (LSF), Silica Modulus (SM) dan Alumina Modulus (AM) Untuk Menjaga Kualitas Produk Di PT Cemindo Gemilang Desa Darmasari Kecamatan Bayah Kabupaten Lebak Provinsi Banten. *Prosiding Teknik Pertambangan*. Vol. 4. No. 1. Hal: 1-10.
- Schumacher, G., dan Juniper, L. 2013. *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Woodhead Publishing. Cambridge.
- Sembiring, S., Karo-Karo, P. 2008. Karakteristik Abu Hasil Pembakaran Batubara Bukit Asam Sebagai Bahan Keramik. *Jurnal ILMU DASAR*. Vol. 9 No. 2. Hal: 127-134.
- Silviana., Rifaldi, M. H., Christyowati, P. S., Oky, D. N., Ahmad, F., Suhartana., Jati, U. D. H. 2019. Natural Silica of Solid Waste from Geothermal Drilling in Dieng as Silica Gel Through Environmentally Benign Processing. *Proceeding of Teknologi Industri Hijau*, Semarang. Hal: 341-346.
- Smallman, R. E. dan Bishop, R. J. 2000. *Modern physical metallurgy and materials engineering*. Hill International Book Company. New York.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Buku Ajar. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Wijaya, R. A., Wijayanti, S., dan Astuti, Y. 2021. *Fly Ash* Limbah Pembakaran Batubara sebagai Zat Mineral Tambahan (*Additive*) untuk Perbaikan Kualitas dan Kuat Tekan Semen. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol. 27. No. 1. 127-134.
- Winter, N. 2009. *Understanding cement (An Introduction to Cement Production, Cement Hydration, and Deleterious Processes in Concrete)*. WHD Microanalysis Consultants Ltd. Woodbridge.
- Wirayasa, N. M. A., Nyoman, S., Agus, S. W. 2008. Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 12. No. 1. Hal: 29-36.