

**PENGARUH VARIASI BIJIH BESI (SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR) DAN  
WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASE  
DAN SIFAT FISIS PADA PEMBUATAN MORTAR**

(Skripsi)

Oleh  
**Ibnu Hambali**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI BIJIH BESI (SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR) DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASE DAN SIFAT FISIS PADA PEMBUATAN MORTAR

Oleh

**Ibnu Hambali**

Mortar merupakan campuran yang terdiri dari pasir semen dan air. Bijih besi dimanfaatkan untuk substitusi pasir sebagai agregat halus pada pembuatan mortar dengan variasi 0% (standar), 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%. Bahan-bahan tersebut dicampur hingga homogen, dicetak dengan ukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$  kemudian didiamkan selama 24 jam, dan direndam selama 7, 14, 21 dan 28 hari. Karakterisasi mortar meliputi analisis XRF dan XRD serta uji fisis meliputi massa jenis, porositas, absorpsi dan kuat tekan. Mortar standar dengan perendaman 28 hari diperoleh kuat tekan 16,31 MPa, pada kadar bijih besi 60% diperoleh kuat tekan terbesar 20,97 MPa, dan pada kadar bijih besi 100% diperoleh kuat tekan terkecil 11,67 MPa. Karakterisasi mortar dengan kuat tekan terbesar menunjukkan bahwa fase tertinggi yang terbentuk yaitu *microline ordered* ( $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ) dan karakterisasi mortar dengan kuat tekan terkecil menunjukkan bahwa fase tertinggi yang terbentuk yaitu *grossular* ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ) *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ). Mortar dalam penelitian ini termasuk dalam kategori mortar tipe M karena memiliki kuat tekan tertinggi di atas 17,2 MPa.

**Kata kunci:** bijih besi, karakterisasi, pasir, sifat fisis, substitusi.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF VARIATION IRON ORE (AS A SUBSTITUTE FOR SAND) AND IMMERSION TIME ON THE COMPOSITION, PHASE STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF MORTAR MAKING

By

**Ibnu Hambali**

Mortar is a mixture consisting of sand, cement and water. Iron ore is used to substitute sand as fine aggregate in the manufacture of mortar with variations of 0% (standard), 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 100%. The materials were mixed until homogeneous, printed with a size of 5x5x5 cm<sup>3</sup>, then allowed to stand for 24 hours, and soaked for 7, 14, 21 and 28 days. Mortar characterization includes XRF and XRD analysis and physical tests include density, porosity, absorption and compressive strength. Standard mortar with 28 days of immersion obtained a compressive strength of 16.31 MPa, at 60% iron ore grade the largest compressive strength was 20.97 MPa, and at 100% iron ore grade the smallest compressive strength was 11.67 MPa. The characterization of the mortar with the highest compressive strength showed that the highest phase formed was *microcline ordered* (K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)), *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *quartz* (SiO<sub>2</sub>) and the characterization of the mortar with the smallest compressive strength showed that the highest phase formed was *grossular* (Ca<sub>3</sub>A<sub>12</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>) *hematite*. (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *quartz* (SiO<sub>2</sub>). The mortar in this study is included in the category M type mortar because it has the highest compressive strength above 17.2 MPa.

**Keywords:** *iron ore, characterization, sand, physical properties, substitution*

**PENGARUH VARIASI BIJIH BESI (SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR) DAN  
WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KOMPOSISI, STRUKTUR FASE  
DAN SIFAT FISIS PADA PEMBUATAN MORTAR**

Oleh

**IBNU HAMBALI**

**Skripsi**

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

Pada

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



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2021**

Judul Skripsi : **Pengaruh Variasi Biji Besi (sebagai Substitusi Pasir) dan Waktu Perendaman terhadap Komposisi, Struktur Fase dan Sifat Fisis pada Pembuatan Mortar**

Nama Mahasiswa : Ibnu Hambali

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617041034

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

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

**Ir. Suharto, M.T.**  
NIP. 196660916 199403 1 001

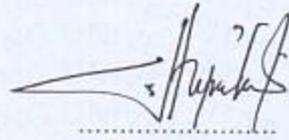
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

**Gurun Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

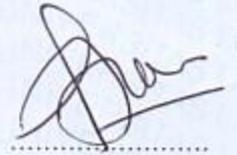
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

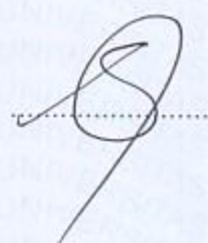
Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Ir. Suharto, M.T.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Juli 2021**

## PERNYATAAN

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

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

Surabaya, 15 Juli 2021



Ibnu Hambali  
NPM. 1617041034

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ibnu Hambali, dilahirkan pada tanggal 28 Oktober 1998 di Jakarta Selatan, Jakarta. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Agus Suhendar dan Ibu Muniroh. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar Negeri 1

Manggarai Selatan pada Tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama Negeri 33 Jakarta pada Tahun 2013, Sekolah Menengah Atas Negeri 37 Jakarta pada Tahun 2016.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Pemrograman Komputer pada tahun 2017. Pada Tahun 2018, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, yang berjudul “Siklus Oksidasi pada Suhu Tinggi dari Paduan  $\text{FeCrAlSiMo}_y$ ”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Bilateral Universitas Lampung dengan mahasiswa IPB pada tahun 2019 di Desa Datar Lebuay, Tanggamus. Dalam bidang organisasi penulis dipercaya sebagai anggota bidang Kaderisasi Rois FMIPA Universitas Lampung (2017-2018), anggota bidang Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA Universitas Lampung (2017), anggota Bidang Sains dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA Universitas Lampung (2018).

## **MOTTO**

***“Memulai dengan penuh keyakinan, menjalankan dengan penuh keikhlasan,  
menyelesaikan dengan penuh kebahagiaan”***

***“Audaces Fortuna Iuvat”***  
**(Nasib baik bersama mereka yang berani)**  
***-pepatah Olympus***

## **PERSEMBAHAN**

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

**Bapak Tercinta Agus Suhendar, dan Ibu Tercinta Muniroh**

**Keluarga besar yang selalu memberi dukungan do'a dan semangat**

Rekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA UNILA 2016”

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 Bijih Besi (sebagai Substitusi Pasir) dan Waktu Perendaman terhadap Komposisi, Struktur Fase dan Sifat Fisis pada Pembuatan Mortar”** 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 bijih besi sebagai substitusi pasir yang kemudian diuji fisis dan dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD.

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 Juli 2021

Ibnu Hambali  
NPM. 1617041034

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Bijih Besi (sebagai Substitusi Pasir) dan Waktu Perendaman terhadap Komposisi, Struktur Fase dan Sifat Fisis pada Pembuatan Mortar”**. 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 yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
2. Bapak Ir. Suharto, M.T. 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. Simon Sembiring, Ph.D. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Agus Riyanto, S.Si. M.Sc. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika.
8. Kedua orang tuaku Bapak Agus Suhendar dan Ibu Muniroh dan kedua adikku Syahril dan Damar yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan dan do'a untuk penulis.
9. Ijal, Irsyad, Ari, Rizky dan teman-teman Serdadu Himapes serta seseorang yang selalu ada disaat senang dan susah serta menjadi kawan diskusi yang baik. Semoga Allah SWT membalas dengan hal yang lebih baik. Aamiin.
10. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2016.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan hal yang lebih baik

Bandar Lampung, 15 Juli 2021

Ibnu Hambali

## 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> .....	viii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	x
<b>SANWACANA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<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 Masalah.....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen.....	6
2.2 Reaksi Hidrolisis .....	7
2.2 Bijih Besi .....	9
2.3 Pasir.....	10
2.4 Mortar .....	12
2.5 Pengujian dan Karakterisasi.....	16

## III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	
3.2.1 Alat Penelitian.....	23
3.2.2 Bahan Penelitian .....	24
3.3 Metode Penelitian	
3.3.1 Pemeriksaan Bahan.....	24
3.3.2 Karakterisasi Bahan .....	25
3.3.3 Pembuatan Mortar.....	25
3.3.4 Karakterisasi dan Analisis Mortar .....	27
3.3.5 Pengujian Mortar .....	27
3.4 Diagram Alir .....	29

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi Bijih Besi	
4.1.1 Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Bijih Besi .....	30
4.1.2 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Bijih Besi .....	32
4.2 Hasil Karakterisasi Pasir	
4.2.1 Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Pasir .....	33
4.2.2 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Pasir.....	34
4.3 Hasil Karakterisasi Semen	
4.3.1 Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Semen.....	36
4.4 Hasil Karakterisasi Mortar	
4.4.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) pada Mortar .....	37
4.4.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) pada Mortar .....	38
4.5 Hasil Uji Fisis Bahan Pembuatan Mortar	
4.5.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Pasir.....	42
4.5.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Bijih Besi .....	42
4.6 Hasil Uji Fisis Mortar	
4.6.1 Hasil Pengujian Massa Jenis Mortar.....	43
4.6.2 Hasil Pengujian Porositas Mortar .....	45
4.6.3 Hasil Pengujian Absorpsi Mortar.....	47
4.6.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	49

## V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan .....	51
----------------------	----

5.2 Saran .....52

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Mortar .....	13
<b>Gambar 2.2</b> Prinsip kerja XRF .....	19
<b>Gambar 2.3</b> Skema difraksi sinar-X .....	20
<b>Gambar 2.4</b> Skema hukum Bragg.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir preparasi dan pengujian bahan baku bijih besi.....	29
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir pembuatan dan pengujian mortar .....	29
<b>Gambar 4.1</b> Difraktogram XRD bijih besi (Keterangan: ●= <i>Hematite</i> , □= <i>Quartz</i> , ■= <i>Anorthite</i> , ○= <i>Metanite</i> .....	32
<b>Gambar 4.2</b> Difraktogram XRD pasir (Keterangan: ●= <i>Quartz</i> , ◆= <i>Kyanite</i> , ■= <i>Ferrosilite</i> .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Difraktogram XRD Mortar 60 Wt%. (Keterangan: ●= <i>Andradite</i> , ◆= <i>Mayenite</i> , ○= <i>Microlite Ordered</i> , ■= <i>Hematite</i> , □= <i>Quartz</i> )... 39	39
<b>Gambar 4.4</b> Difraktogram XRD mortar 100 Wt%. (Keterangan: ●= <i>Andradite</i> , ◆= <i>Mayenite</i> , ○= <i>Grossular</i> , ■= <i>Hematite</i> , □= <i>Quartz</i> ).....	40
<b>Gambar 4.5</b> Hubungan kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap massa jenis mortar.....	44
<b>Gambar 4.6</b> Hubungan kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap porositas mortar .....	46
<b>Gambar 4.7</b> Hubungan kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap absorpsi mortar .....	47
<b>Gambar 4.8</b> Hubungan kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar.....	49

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Kandungan kimia semen tipe PCC.....	7
<b>Tabel 2.2</b> Sifat fisis pasir .....	11
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi bahan pada pembuatan mortar .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Hasil karakterisasi XRF bijih besi.....	31
<b>Tabel 4.2</b> Hasil karakterisasi XRF pasir.....	34
<b>Tabel 4.3</b> Hasil karakterisasi XRF semen .....	36
<b>Tabel 4.4</b> Hasil karakterisasi XRF pada mortar dengan kadar 60 Wt % dan 100 Wt% .....	37
<b>Tabel 4.5</b> Hasil pemeriksaan sifat fisis pasir .....	42
<b>Tabel 4.6</b> Hasil pemeriksaan sifat fisis bijih besi .....	43

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini industri di Indonesia mengalami perkembangan seiring dengan berkembangnya teknologi dan meningkatnya kebutuhan pembangunan dalam bidang industri, salah satunya adalah industri bijih besi. Bijih besi adalah unsur utama dalam industri baja dengan jumlah deposit berupa sumber daya 8.297.110.474 ton dan cadangan bijih besi sebesar 1.630.807.240 ton. Sumber daya dan cadangan tersebut memiliki karakteristik yang beragam, baik dari segi kualitas maupun jenis mineral besi yang terkandung di dalamnya (Mulyani dan Haryadi, 2018).

Menurut data Pusat Sumber Daya Geologi (2016), sumber daya untuk industri besi baja ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yakni besi laterit, besi primer dan pasir besi. Besi laterit mempunyai sumber daya sebesar 2.440.455.194 ton dan cadangan 542.514.188 ton yang tersebar di Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku Utara dan Papua Barat. Besi primer atau bijih besi magnetit hematit dengan sumber daya 1.397.068.930 ton dan cadangan 279.354.825 ton tersebar di Lampung, Sumatera Barat, Jambi, Belitung, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Papua Barat, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Selatan. Bijih besi atau *iron ore* adalah bahan material yang sangat

kaya dengan kandungan besi oksida. Karakterisasi bijih besi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan bahwa bijih besi mengandung banyak campuran  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*magnetite*),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (*hematite*) dan beberapa senyawa pengotor lainnya seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  dan lain-lain sebagai komponen minor (Rahwanto dan Jalil, 2013). Kandungan besi (Fe) yang terdapat pada bijih besi berkisar 38-64 Wt%, sisanya disusun oleh mineral lain yang terbentuk akibat perubahan panas dan tekanan yang menyebabkan terjadinya aktivitas kimiawi di dalamnya (Harianto, 2008).

Perbedaan kandungan oksida pada bijih besi dapat dimanfaatkan secara langsung sesuai dengan kadar kandungannya, seperti bijih besi dengan kandungan Fe sebesar 37,69-60 Wt% dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku semen (Baradja, 2010). Sedangkan, Ishlah (2009) menjelaskan bijih besi dapat diolah sebagai fero nikel dan nikel matte.

Penelitian sebelumnya tentang material yang dapat digunakan sebagai substitusi pasir, yaitu seperti penelitian yang dilakukan oleh Darwis *et al.*, (2018) mengenai penggunaan pasir besi sebagai bahan tambahan pada pembuatan mortar. Perbandingan komposisi semen dan pasir adalah 1:4 dengan variasi pasir besi sebesar 0 Wt%, 20 Wt%, 40 Wt%, 60 Wt%, 80 Wt% dan 100 Wt% terhadap total massa agregat halus. Lutfi, (2012) mengatakan bahwa penggunaan pasir besi dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah karena secara mekanik gradasi pasir besi mampu mengisi pori-pori diantara butiran-butiran gradasi pasir normal sehingga meningkatkan kepadatan mortar yang mengakibatkan meningkatnya kuat tekan dan kuat tarik belah mortar. Penelitian lainnya

dilakukan oleh Ellen dan Windah, (2016) mengenai pengujian kuat tekan mortar menggunakan agregat halus batu apung dan abu sekam padi pada substitusi semen, dengan variasi 0 Wt%, 10 Wt%, 15 Wt% dan 20 Wt%. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan mortar pada 20 Wt% dari jumlah semen pada waktu perendaman 28 hari mencapai kuat tekan maksimum yaitu sebesar 14,61 MPa.

Provinsi Lampung memiliki potensi cadangan bijih besi lokal yang dapat diolah menjadi produk nilai tambah seperti *pig iron*. Salah satunya di Kabupaten Lampung Selatan. Ketersediaan bijih besi terdapat di Balai Penelitian Mineral Lampung – LIPI (BPML – LIPI) Lampung Selatan. Ukuran bijih besi sebagai umpan *blast furnace* sebesar 2,5-5 cm yang diperoleh dari proses *crushing* sedangkan dibawah ukuran tersebut tidak dapat digunakan sebagai umpan dan dimanfaatkan sebagai material pengganti agregat halus. Bijih besi tersebut dimanfaatkan untuk material substitusi pasir sebagai agregat halus dengan syarat ukuran butiran lebih kecil 4,75 mm sesuai dengan SNI 1970:2008.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku kinerja bijih besi sebagai substitusi pasir dalam pembuatan mortar, dengan kadar bijih besi 0 Wt%, 50 Wt%, 60 Wt%, 70 Wt%, 80 Wt%, 90 Wt% dan 100 Wt% dari massa pasir. Mortar dicetak berbentuk kubus dengan ukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ , perendaman mortar dilakukan selama 7, 14, 21 dan 28 hari. Kemudian dilakukan karakterisasi bijih besi dan mortar menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fase yang terbentuk. Selain itu, mortar diuji massa jenis, porositas, absorpsi dan kuat tekan untuk mengetahui sifat fisis mortar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap komposisi dan fase yang terbentuk pada mortar?
2. Bagaimana pengaruh kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap sifat fisis (massa jenis, porositas, absorpsi dan kuat tekan) pada mortar?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap fase yang terbentuk pada mortar.
2. Mengetahui pengaruh kadar bijih besi dan waktu perendaman terhadap sifat fisis (massa jenis, porositas, absorpsi dan kuat tekan) pada mortar.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pasir yang digunakan dari Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan.
2. Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC).
3. Bijih besi yang digunakan adalah sisa pengolahan pembuatan *pig iron* dan *sponge iron* dari BPTM-LIPI.
4. Perbandingan komposisi antara bijih besi dan pasir yaitu 1:4.
5. Kadar bijih besi terhadap pasir yang digunakan yaitu 0 Wt%, 50 Wt%, 60 Wt%, 70 Wt%, 80 Wt%, 90 Wt% dan 100 Wt%.

6. Variasi waktu perendaman mortar dalam air selama 7, 14, 21 dan 28 hari.
7. Mortar dicetak dengan ukuran 5x5x5 cm<sup>3</sup>.
8. Tingkat kehalusan bijih besi yang digunakan lolos ayakan 25 *mesh* dan 325 *mesh*.
9. Karakterisasi yang digunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan uji fisis meliputi kuat tekan, porositas, absorpsi dan massa jenis.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh kadar bijih besi sebagai substitusi pasir dalam pembuatan mortar.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
3. Secara akademis dapat memberikan wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan mortar.
4. Sebagai tambahan referensi bagi penelitian selanjutnya.
5. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila, terutama bidang Fisika Material.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Semen

Semen adalah bahan yang memiliki dua sifat sebagai bahan pengikat yakni sifat kohesi dan adhesi. Semen mempunyai senyawa kimia yaitu C-S-H (kalsium silikat hidrat) yang akan mengikat bahan-bahan padat lainnya jika bereaksi dengan air dengan membentuk satu kesatuan yang kompak, padat, dan keras (Refnita dkk, 2012).

*Portland Cement Composite* (PCC) merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan dari semen *portland* dan gipsum atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut meliputi terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% hingga 35% dari massa semen *portland* komposit (SNI 15-7064-2004).

Kelebihan semen tipe PCC adalah mudah pengerjaannya, suhu pengadukan rendah sehingga menghasilkan bahan yang tidak mudah retak. Semen PCC menghasilkan permukaan plesteran dan beton yang halus, tahan terhadap bahan campuran sulfat, kedap air, memiliki kuat tekan tinggi dan membuat bangunan atau konstruksi menjadi tahan lama (Yusuf dkk, 2013).

Kandungan kimia semen ditampilkan pada Tabel 2.1.

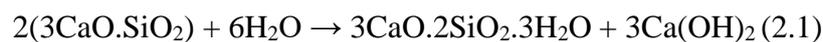
**Tabel 2.1.** Kandungan Kimia Semen tipe PCC

No	Oksida	Persentase (%)
1.	CaO	47,64
2.	SiO <sub>2</sub>	30,53
3.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,63
4.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,63
5.	MgO	1,81
6.	SO <sub>3</sub>	2,61
7.	K <sub>2</sub> O	1,03
8.	Na <sub>2</sub> O	0,70
9.	LOI	4,42
10.	Bagian tak larut	-

(Sumber: Aruntas *et al.*, 2010).

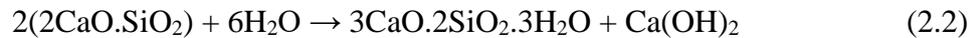
## 2.2 Reaksi Hidrolisis

Proses hidrasi terjadi ketika air ditambahkan kedalam campuran semen dan menghasilkan senyawa-senyawa hidrat (Darma dkk, 2012). Fungsi dari proses hidrasi semen tersebut yaitu untuk mengisi pori-pori antar agregat atau mengikat agregat-agregat menjadi massa yang padat. C<sub>3</sub>S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan C<sub>2</sub>S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama. C<sub>3</sub>A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil (Widjojoko, 2010). Apabila C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S bereaksi dengan air kembali membentuk senyawa CSH dan Ca(OH)<sub>2</sub>. Reaksi yang berlangsung menurut (Hambali dkk, 2013) yaitu:



Reaksi ini memberikan kontribusi kekuatan semen pada perkembangan kuat tekan awal. Reaksi yang terjadi bersifat melepaskan panas dengan nilai energi bebas

gibbs sebesar 42,3 kJ/mol. Senyawa C<sub>3</sub>S umumnya menentukan kekuatan mortar pada 14 hari pertama.



Dikalsium silikat + air → Kalsium hidroksida + Tobermorite

Reaksi ini memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama, umumnya reaksi ini berpengaruh terhadap kekuatan 14 sampai 28 hari. Reaksi diatas memiliki nilai energi bebas gibbs sebesar – 1547,3 kJ/mol.



Trikalsium aluminat + gypsum + air → Tobermorite + Kalsium hidroksida

Reaksi diatas terjadi ketika semen bercampur dengan air dan disertai pelepasan panas yang tinggi. Hal tersebut menyebabkan pengerasan atau disebut *hardening*. Kejadian inilah yang disebut *flash set* atau *quick set*. Untuk menghindari hal tersebut maka ditambahkan *gypsum* pada klinker saat penggilingan yang akan menunda proses hidrasi dan memperpanjang *setting time*. Reaksi diatas memiliki nilai energi bebas gibbs sebesar – 1547,3 kJ/mol. Dari hasil diatas terlihat bahwa reaksi yang berlaku adalah spontan.



Tetra kalsium aluminoforit + kalsium hidroksida + air → aluminoforit hidrat

Reaksi diatas melibatkan C<sub>4</sub>AF bereaksi dengan *gypsum* yang menghasilkan sulfo aluminat hidrat dan kalsium sulfoferit. Reaksi diatas memiliki nilai energi bebas gibbs – 3094,6 kJ/mol. Dari hasil diatas terlihat bahwa reaksi yang berlaku adalah spontan (Dean, 1979). Kehalusan butiran semen akan menyebabkan reaksi hidrasi

yang lebih cepat dan pengerasan yang lebih cepat, sehingga menentukan kuat tekan mortar dan beton (Mordock dan Brook, 1994).

### 2.3 Bijih Besi

Bijih besi mempunyai komposisi mineral  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*magnetite*) dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (*hematite*) serta beberapa senyawa pengotor lainnya seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , dan lain-lain sebagai komponen minor (Liao *et al*, 2015). Bijih besi di proses menjadi ukuran yang lebih lembut untuk proses karakterisasi dan didapatkan bahwa bijih besi memiliki *specific gravity* senilai  $2,6 \text{ g/cm}^3$ , *relative density* senilai  $1,7 \text{ g/cm}^3$  dan *water absorption* sebesar 7 vol% (ASTM D-3175). Menurut Guilbert dan Park (1986), hampir 90% bijih besi di dunia berasal dari *cherty banded iron formation* yang dicirikan oleh endapan-endapan lapisan yang tipis hingga sedang, dibentuk oleh lapisan besi oksida, besi karbonat atau material silikabesi. Proses ini terbentuk dari sedimentasi pembentukan gunung api bawah laut pada zaman Pra-Kambrium.

Bijih besi merupakan suatu logam yang sangat kuat dan keras, namun, kekerasannya tidak melebihi nikel dan kobalt sehingga perlu diberi zat aditif atau dibentuk paduan logam dengan nikel, kobalt, atau logam lain. Bijih besi dapat berupa butiran kecil dan tanah yang gembur dengan warna yang beragam dari hitam hingga merah bata (Suryo, 2018). Bijih besi yang berada di Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur mengandung Fe total 22,28 – 51,26 Wt%;  $\text{SiO}_2$  : 8,02 – 44,18 Wt%;  $\text{TiO}_2$  : 3,8 – 14,76 Wt% (Widodo dkk, 2012). Mineral utama dalam besi adalah *hematite* dan *magnetite*. *Hematite* berwarna merah tua, sedangkan *magnetite* berwarna hitam atau abu-abu. *Hematite* merupakan sumber

utama dari besi karena jumlahnya sangat banyak dan meluas (Karyanto, 2009). Berdasarkan hasil penyelidikan Pusat Sumber Daya Geologi tahun 2016, mineralisasi biji besi ditemukan di daerah Air Manggis Kabupaten Pasaman dengan sumber daya hipotetik 3,08 juta ton dengan kadar Fe total sebesar 40,34%.

#### **2.4 Pasir**

Pasir adalah material bangunan yang memiliki bentuk dengan besaran butir yang telah ditentukan. Secara teori pasir merupakan agregat dengan ukuran butir mulai dari 0,0625 sampai dengan 2 milimeter dan memiliki kandungan silikon dioksida. (Darwis dkk, 2017). Pasir termasuk dalam kelompok *bulk* material dan karakteristik *bulk* ditentukan oleh sifat mekanik, kelembaban, mobilitas partikel, *angle of repose* (sudut tumpukan) dan abrasivitas (Hamsi, 2012).

Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar serta menempati kira-kira sebanyak 70% volume mortar. Pasir sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar sehingga pemilihan pasir merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. (Tjokrodinuljo, 1996).

Distribusi ukuran butiran pasir berpengaruh terhadap kekuatan mortar. Bila butir mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori pasir akan besar. Sebaliknya bila ukuran butiran pasir bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini disebabkan butiran yang kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit (Tugino, 2010). Sifat fisis pasir dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Sifat fisis pasir (Khosama, 2012).

No.	Sifat	
1.	Massa jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	2,65
2.	Modulus kehalusan	2,68
3.	Absorpsi maksimum (%)	13,27
4.	Pori (%)	46,20
5.	Ukuran maksimum	4
6.	<i>Bulk density</i> ( $\text{g/cm}^3$ )	1695
7.	Kadar lumpur (%)	4
8.	Kadar air (%)	14,483
9.	Nilai abrasi (%)	-

Syarat penting untuk pasir yang digunakan pada bahan bangunan sebagai berikut:

- a. Agregat pasir halus sebaiknya terdiri dari butiran yang memiliki tekstur yang tajam dan keras.
- b. Jika pasir digunakan bersama natrium sulfat maka bagian yang hancur sekitar 12 Wt%.
- c. Jika pasir digunakan bersama magnesium sulfat maka bagian yang hancur sekitar 10 Wt%.
- d. Standar dari pasir adalah kandungan lumpur yang dimilikinya tidak lebih dari 5 Wt%.
- e. Karena pasir terdiri dari butir-butir yang berbeda, maka untuk susunan jenis pasir butir besar harus mempunyai modulus sekitar 1,5 hingga 3,8.
- f. Untuk pembuatan beton bermutu tidak diperbolehkan menggunakan pasir dari laut. Kecuali lembaga pemerintahan bahan bangunan memberikan petunjuk khusus (SK SNI-S-04-1989-F;28).

Pengujian pada pasir meliputi:

- a. Pengujian Kadar Lumpur

Kadar lumpur merupakan persentasi kandungan lumpur yang terdapat pada

pasir. Kadar lumpur pada agregat halus tidak boleh lebih dari 5%. Nilai kadar lumpur dapat dihitung dengan Persamaan (2.5).

$$KL = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (2.5)$$

dengan  $KL$  adalah kadar lumpur,  $W_1$  adalah massa pasir awal (g),  $W_2$  adalah massa pasir setelah dicuci dan dipanaskan (g) (SK SNI-S-04-1989-F;28).

b. Modulus Halus Butiran (MHB)

Modulus halus butiran merupakan suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat, semakin besar nilai MHB suatu agregat maka semakin besar butiran agregatnya. Nilai MHB dapat dihitung dengan Persamaan (2.6).

$$MHB = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (2.6)$$

dengan  $A$  adalah massa pasir yang tertinggal (g) dan  $B$  adalah total dari massa pasir yang tertinggal (g) (SNI 03-1968-1990).

## 2.5 Mortar

Mortar merupakan campuran yang terdiri dari agregat halus (pasir), air dan bahan pengikat yang telah didaduk homogen hingga mengeras, bahan pengikat yang sering digunakan adalah semen (Wibowo, 2007). Mortar yang baik memiliki kuat tekan tinggi dan sifat fisis yang baik sehingga kualitas mortar memenuhi syarat SNI (Adi, 2009). Selain itu fungsi utama mortar adalah memperkuat lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya

yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar atau cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Mordock dan Brook, 1991). Mortar mempunyai standar kekentalan yang berfungsi dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi pelapis dinding sehingga diharapkan mortar dapat menahan gaya tekan akibat beban yang berkerja padanya (Mulyono, 2003). Mortar yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Mortar (Sumber: Laboratorium Non-Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI).

Mortar dapat digolongkan dari penggunaannya, yakni untuk tembok, sambungan, dan lantai. Mortar yang berfungsi sebagai sambungan digunakan untuk menyambung bata, batu dan blok beton. Sedangkan mortar yang berfungsi sebagai tembok digunakan dalam berbagai perbandingan campuran untuk memenuhi keperluan pekerjaan (Surdia dan Saito, 1996).

Berdasarkan jenis bahan ikatnya mortar dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu (Tjokrodinuljo, 2007):

1. Mortar air adalah jumlah adukan dan jumlah pasir yang diperoleh dari adukan yang baik dengan jumlah yang tepat. Terlalu sedikit pasir dapat menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras. Terlalu banyak pasir menyebabkan

adukan kurang dapat melekat dengan baik. Mortar jenis ini digunakan sebagai bahan tembok atau tungku api di pedesaan (Tjokrodimuljo, 2007).

2. Mortar kapur adalah campuran yang terdiri dari air, pasir, semen merah dan kapur. Mortar kapur dibuat dari kapur dan air yang dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Jenis kapur yang biasa digunakan yaitu *fat lime* dan *hydraulic lime* (Tjokrodimuljo, 2007).
3. Mortar semen adalah campuran dari adukan semen, pasir dan air. Mortar semen sering digunakan untuk bagian luar (dinding/tembok) pasta yang disebut pasta semen. Dalam adukan mortar, air dan semen terbentuk di antara butir-butir agregat halus sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan padat (Tjokrodimuljo, 2007).
4. Mortar khusus diperoleh dengan menambahkan zat aditif seperti *asbestos fibres*, *jutes fibres* (serat alami), butir-butir kayu, serbuk gergaji kayu dan serbuk kaca. Mortar khusus digunakan dengan tujuan dan maksud tertentu, contohnya sebagai mortar tahan api yang diperoleh dengan penambahan serbuk bata merah dan *aluminous cement*, dengan perbandingan satu *aluminous cement* dan dua serbuk batu api (Simanullang, 2014).

Menurut Tjokrodimuljo (2007), mortar memiliki beberapa sifat menguntungkan pada pekerjaan-pekerjaan tertentu, karena memiliki sifat antara lain:

- a. Murah.
- b. Tahan lama (*durable*).
- c. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan).

- d. Melekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya.
- e. Cepat kering dan mengeras.

Dikarenakan sifat-sifat tersebut maka mortar memiliki cakupan yang luas untuk diaplikasikan pada berbagai macam pekerjaan seperti sebagai bahan pengikat antara bata yang satu dengan bata yang lainnya dan juga untuk menyalurkan beban bahan bangunan (SNI, 2002).

Berdasarkan SNI 03-6882-2002, mortar dapat dibedakan atas 4 tipe, yaitu:

1. Mortar Tipe M

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

2. Mortar Tipe N

Tipe N adalah mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik untuk aplikasi konstruksi umumnya. Kuat tekan minimumnya adalah 12,4 MPa.

3. Mortar Tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban besar yang berasal dari tekanan tanah. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S direkomendasikan untuk pondasi, dinding penahan tanah, dan saluran pembuangan. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.

#### 4. Mortar Tipe O

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

### 2.6 Pengujian dan Karakterisasi

Pengujian pada produk mortar meliputi:

#### 1. Kuat tekan

Kuat tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan (Irawati dkk, 2015). Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral utama. C<sub>3</sub>S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan C<sub>2</sub>S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama. C<sub>3</sub>A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil (Widojoko, 2010).

Pengertian kuat tekan mortar merupakan kemampuan mortar untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Walaupun dalam mortar terdapat tegangan tarik yang kecil diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh mortar tersebut (Mulyono, 2003). Menurut Zulhijah dkk, (2015). Nilai kuat tekan diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dibebani dengan gaya tekan sampai maksimum menggunakan rumus pada Persamaan (2.7).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

dengan  $F$  adalah gaya tekan (N),  $P$  adalah kuat tekan mortar (MPa), dan  $A$  adalah luas penampang (mm<sup>2</sup>).

## 2. Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam mortar terhadap volume benda (volume total mortar). Porositas berhubungan erat dengan permeabilitas mortar. Semakin padat mortar, semakin tinggi tingkat kepadatan maka semakin besar kuat tekan mutu mortar serta kekuatannya dalam menyangga konstruksi yang lebih berat (Tumingan dkk, 2016).

Semakin meningkat kepadatan pada mortar maka semakin besar kuat tekan mortar, sebaliknya semakin besar porositas mortar, maka kekuatan mortar akan semakin kecil (Nurwidyanto dkk, 2006). Nilai porositas dapat dihitung dengan Persamaan (2.8).

$$Po = \frac{m_b - m_k}{m_b - m_g} \times 100\% \quad (2.8)$$

dengan  $Po$  adalah porositas,  $m_k$  adalah massa mortar kering (g),  $m_b$  adalah massa mortar setelah direndam (g),  $m_g$  adalah massa mortar dalam air di udara (g).

## 3. Absorpsi

Absorpsi dilakukan untuk mengetahui besarnya penyerapan air yang terdapat pada mortar. Absorpsi pada mortar dapat diukur setelah umur 28 hari. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya absorpsi antara lain yaitu faktor air semen dan susunan butir (gradasi) agregat (Syamsuddin dkk, 2011). Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam mortar maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Absorpsi berpengaruh terhadap nilai kuat tekan mortar. Rongga (pori) yang terdapat pada mortar terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya (Nurwidyanto dkk, 2006). Nilai absorpsi dapat dihitung dengan Persamaan (2.9).

$$Ab = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (2.9)$$

dengan  $Ab$  adalah absorpsi,  $m_k$  adalah massa mortar kering (g),  $m_b$  adalah massa mortar setelah direndam (g).

#### 4. Massa jenis

Massa jenis merupakan pengukuran massa sebuah bahan yang dibagi dengan setiap satuan volume (Laoli dkk, 2013). Agregat dapat dibedakan berdasarkan massa jenisnya, yaitu agregat normal, agregat berat, dan agregat ringan.

- a. Agregat normal adalah agregat yang massa jenisnya antara  $2,5 \text{ g/cm}^3$  sampai  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, dan sebagainya. Beton yang dihasilkan memiliki massa jenis sekitar  $2,3 \text{ g/cm}^3$ . Betonnya disebut beton normal.
- b. Agregat berat mempunyai massa jenis lebih dari  $2,7 \text{ g/cm}^3$  misalnya magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), barytes ( $\text{BaSO}_4$ ), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan juga massa jenisnya tinggi (sampai  $5 \text{ g/cm}^3$ ), yang efektif sebagai dinding pelindung sinar radiasi sinar-X.
- c. Agregat ringan mempunyai massa jenis kurang dari  $2,5 \text{ g/cm}^3$  yang biasa digunakan untuk bangunan non struktural. Akan tetapi dapat pula untuk beton struktural atau blok dinding tembok (Tjokrodikuljo, 1996).

Nilai massa jenis dapat dihitung dengan Persamaan (2.10).

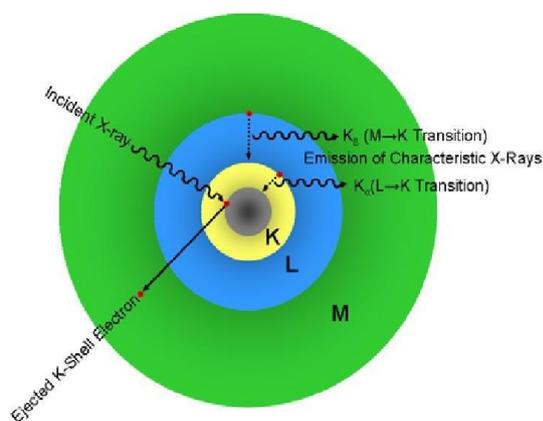
$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.10)$$

dengan  $\rho$  adalah massa jenis,  $m$  adalah massa sampel, adalah  $v$  volume gelas ukur ditambahkan sampel (ml).

## 5. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Karakterisasi menggunakan XRF digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari semua jenis bahan. Teknik ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembaki sinar-X berenergi tinggi. Bahan uji berupa padat, cair bubuk, hasil penyaringan atau bentuk lainnya XRF terkadang juga bisa digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis (Brouwer, 2010).

Dalam XRF, sumber *X-Ray* meradiasi sampel sehingga unsur-unsur yang muncul dalam sampel akan memancarkan radiasi *X-Ray* neon dan energi diskrit, seperti warna untuk cahaya optik (Brouwer, 2006) Prinsip kerja XRF ditampilkan pada Gambar 2.2.



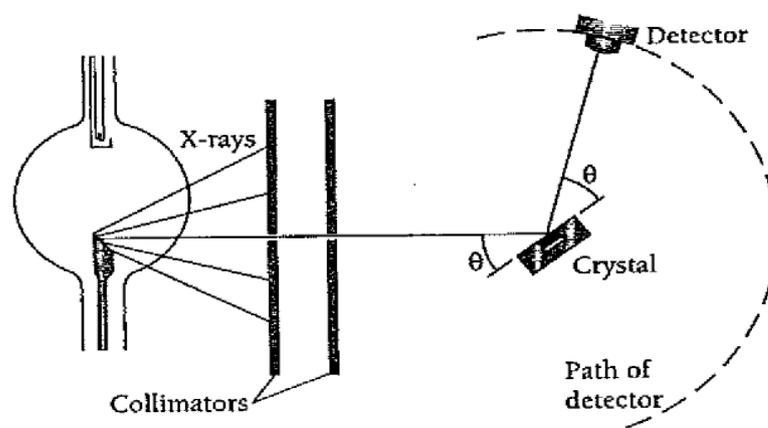
**Gambar 2.2.** Prinsip kerja XRF (Atmodjo *et al.*, 2013).

Berdasarkan Gambar 2.2 reaksi *X-Ray* terjadi selama elektron bergerak dari tingkat energi yang lebih tinggi untuk mengisi kekosongan yang diakibatkan oleh pelepasan elektron, sehingga terjadi perbedaan energi antara dua kulit yang mengakibatkan terjadinya *X-Ray*, spektrum *X-Ray* yang diperoleh selama proses

tersebut terdapat sejumlah puncak energi karakteristik, energi dari puncak tersebut mengarah ke identifikasi unsur yang terjadi dalam sampel (analisis kualitatif dan intensitas puncak yang absolut konsentrasi unsur (semi-kuantitatif atau kuantitatif analisis) (Atmodjo *et al.*, 2013).

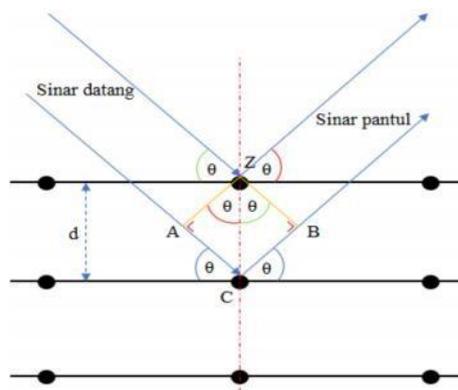
#### 6. *X-Ray Diffraction (XRD)*

*X-Ray Diffraction (XRD)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur kristal dari suatu bahan, dengan metode analisis data untuk mengetahui jenis dan sifat mineral tertentu agar terlihat pola difraksi mineral yang dihasilkan (Oktamuliani *et al.*, 2015). Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola-pola difraksi yaitu ukuran dari selnya, nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel. Analisis difraksi sinar-X dalam padatan kristalin memegang peranan penting untuk mengetahui parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, dimanfaatkan juga untuk mempelajari cacat pada kristal individu dengan mendeteksi perbedaan intensitas difraksi di daerah kristal yang mendekati dislokasi dan daerah kristal yang mendekati kesempurnaan (Smallman dan Bishop, 2000). Skema difraksi sinar-X ditampilkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Skema difraksi sinar-X

Gambar 2.3. menunjukkan skema sinar-X yang menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar-X ke segala arah dengan berdasarkan Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan ( $d$ ). Skema hukum Bragg dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Skema hukum Bragg

Gambar 2.4 menunjukkan seberkas sinar mengenai atom A pada bidang pertama dan B pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang A dengan bidang B adalah  $d$ , sedangkan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang  $\lambda$ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak  $d$  dan sudut  $\theta$ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak  $n\lambda$ . Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah  $2d \sin \theta$ . Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang  $\lambda$ , sehingga dapat dituliskan Persamaan (2.11).

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.11)$$

Pernyataan ini adalah Hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika  $\lambda \leq 2d$ , karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan  $n$  adalah bilangan bulat = 1, 2, 3, dan seterusnya sampai  $n$  (Beiser, 2003).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Agustus sampai Oktober 2020 di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Preparasi, Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 25 *mesh*, 325 *mesh* ASTM:E11 Nakatama Scientific Type:A6-342A, timbangan digital merk *Gold series* Ohaus, timbangan analog merk *Five Goatcapacity* 5 kg serta *graduation* 20 g, oven merk *memmert*, *beaker glass* 100 ml Pyrex made in Thailand, gelas ukur Iwaki 100 ml, *mixer* B10 *capacity* 10 liter serta *rotation* 360/164 rpm, XRF tipe PANalytical Epsilon3<sup>XLE</sup>, XRD tipe PANalytical X'Pert<sup>3</sup> Powder, cetakan mortar ukuran 5x5x5 cm<sup>3</sup>, tumbukan, cawan, ember, wadah nampan, sarung tangan dan mesin uji kuat tekan jenis *universal testing machines* (UTM) made in Thailand Type HT-2402 *capacity* 50 kN.

### 3.2.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih besi, semen *Portland Composite Cement* (PCC), pasir dari Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan dan air.

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah perendaman mortar dalam air selama 7, 14, 21 dan 28 hari. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD. Kemudian dilakukan analisis bahan-bahan baku seperti massa jenis dan kadar lumpur pasir. Selanjutnya dilakukan uji sifat fisis pada benda uji mortar antara lain: pengujian massa jenis, porositas, dan absorpsi serta dilakukan pengujian kuat tekan mortar (Adi, 2009).

#### 3.3.1 Pemeriksaan Bahan

Pasir yang digunakan adalah pasir dari Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

##### 1) Pemeriksaan massa jenis pasir

Langkah-langkah pemeriksaan massa jenis pasir sebagai berikut:

- a. Menimbang 10 g pasir menggunakan timbangan digital.
- b. Memasukkan air ke dalam gelas ukur 100 ml dengan volume 35 ml ( $V_2$ ).
- c. Memasukkan pasir ke dalam gelas ukur yang telah berisi air pada masing-masing gelas ukur ( $V_1$ ).
- d. Menghitung massa jenis pasir menggunakan Persamaan (2.10).

##### 2) Pemeriksaan kadar lumpur pasir

Langkah-langkah pemeriksaan kadar lumpur pasir sesuai dengan SNI 03-2461-2002 sebagai berikut:

- a. Menimbang 10 g pasir dengan timbangan digital ( $W_1$ ).
- b. Memasukkan masing-masing pasir yang telah ditimbang ke dalam *beaker glass* 50 ml.
- c. Memasukkan air bersih sedikit demi sedikit sambil mengaduk pasir secara perlahan-lahan sampai warna air yang telah tercampur pasir benar-benar jernih dan bersih.
- d. Meletakkan masing-masing pasir di dalam cawan dan mengeringkan dalam oven selama 4 jam. Selanjutnya menimbang massanya ( $W_2$ ).
- e. Menghitung kadar lumpur pasir dengan Persamaan (2.5).

### 3.3.2 Karakterisasi Bahan

#### 1) Semen

Semen diayak menggunakan ukuran 325 *mesh*, pemeriksaan semen hanya dikarakterisasi menggunakan XRF.

#### 2) Pasir

Pasir dihaluskan dan diayak menggunakan ukuran 325 *mesh*, pemeriksaan terhadap pasir yaitu dengan karakterisasi XRF dan XRD.

#### 3) Bijih besi

Bijih besi dihaluskan dan diayak menggunakan ukuran 325 *mesh*, pemeriksaan terhadap bijih besi yaitu dengan karakterisasi XRF dan XRD.

### 3.3.3 Pembuatan Mortar

Langkah-langkah dalam pembuatan mortar berdasarkan ASTM C311:

#### 1) Preparasi Bijih Besi

Langkah-langkah dalam preparasi bijih besi adalah:

- a. Mengayak bijih besi menggunakan ayakan ukuran lolos *25 mesh* dan tertahan di *100 mesh* untuk pembuatan mortar.
- b. Mengayak bijih besi menggunakan ayakan ukuran lolos *325 mesh* untuk karakterisasi bahan.

## 2) Pembuatan Mortar

Langkah-langkah dalam proses pembuatan mortar adalah:

- a. Menyiapkan bahan baku mortar yang terdiri dari pasir, air semen *Portland Composite Cement (PCC)*, dan bijih besi.
- b. Menimbang masing-masing komposisi dengan perbandingan 1:4 (semen:pasir) dengan takaran masing-masing komposisi. Massa pasir di variasikan dengan kadar bijih besi yaitu 0 Wt%, 50 Wt%, 60 Wt%, 70 Wt%, 80 Wt%, 90 Wt% dan 100 Wt% (masing-masing komposisi dibuat 3 mortar). Kemudian memasukkannya ke dalam wadah berpengaduk.
- c. Mengaduk campuran mortar dari masing-masing komposisi menggunakan *mixer*. Pengadukan dilakukan hingga merata selama  $\pm 5$  menit.
- d. Memberi air ke dalam campuran bahan mortar. Hal ini bertujuan agar komposisi yang dibuat menjadi lunak sehingga mengurangi terjadinya *cracking* atau keretakan.
- e. Setelah campuran bahan teraduk secara merata, bahan dimasukkan ke dalam alat pencetak mortar berukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ .
- f. Mortar didiamkan selama 24 jam untuk dikeluarkan dari cetakan. Kemudian dimasukkan ke dalam air rendaman (*curing*) dengan umur perendaman 7, 14, 21 dan 28 hari.

Komposisi yang digunakan dalam pembuatan mortar mengacu pada SNI

seperti Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Komposisi Bahan pada Pembuatan Mortar

Sampel (%)	Semen (g)	Air (ml)	Pasir (g)	Bijih Besi (g)
0	300	150	1200	0
50	300	150	600	600
60	300	150	480	720
70	300	150	360	840
80	300	150	240	960
90	300	150	120	1080
100	300	150	0	1200

### 3.3.4 Karakterisasi dan Analisis Mortar

Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) Type PANalytical Epsilon3<sup>XLE</sup> dan *X-Ray Diffraction* (XRD) Type PANalytical X'Pert<sup>3</sup> Powder.

### 3.3.5 Pengujian Mortar

Tahap pelaksanaan pengujian mortar pada penelitian ini sebagai berikut:

#### 1) Pengujian porositas dan absorpsi

Langkah-langkah pengujian porositas dan absorpsi berdasarkan SNI 1969-2008 adalah:

- a. Menimbang dan mencatat massa mortar dalam keadaan kering menggunakan timbangan digital ( $m_k$ ).
- b. Merendam mortar ke dalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan benar-benar basah.
- c. Mengusap sisi permukaan mortar yang berisi air dari masing-masing komposisi menggunakan kain lap, kemudian menimbanginya pada

timbangan digital untuk mencatat massa mortar setelah direndam dalam air ( $m_b$ ).

- d. Menimbang mortar kembali dalam keadaan digantung dalam air dan menghitung persentase porositas dan absorpsi pada mortar berdasarkan Persamaan (2.8) dan Persamaan (2.9).

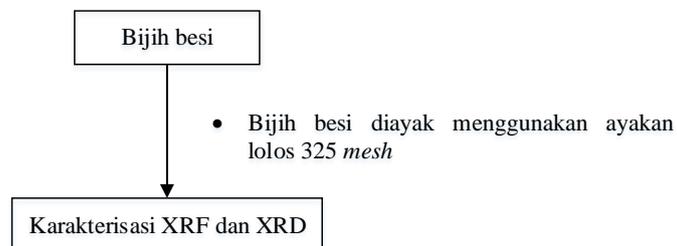
## 2) Kuat tekan

Pengujian kuat tekan pada mortar adalah untuk mendapatkan besarnya beban tekan maksimum yang bisa diterima oleh mortar. Prosedur pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 03-2493-1991 sebagai berikut:

1. Menyiapkan mortar yang telah diangkat dari air dan telah didiamkan selama semalam.
2. Meletakkan mortar simetris dengan mesin uji kuat tekan.
3. Melihat mortar pada saat uji kuat tekan apabila sudah hancur dan *dial* tidak naik lagi lalu mencatat beban tekan maksimum yang bisa diterima oleh benda uji (P).
4. Menghitung kuat tekan dengan Persamaan (2.7).

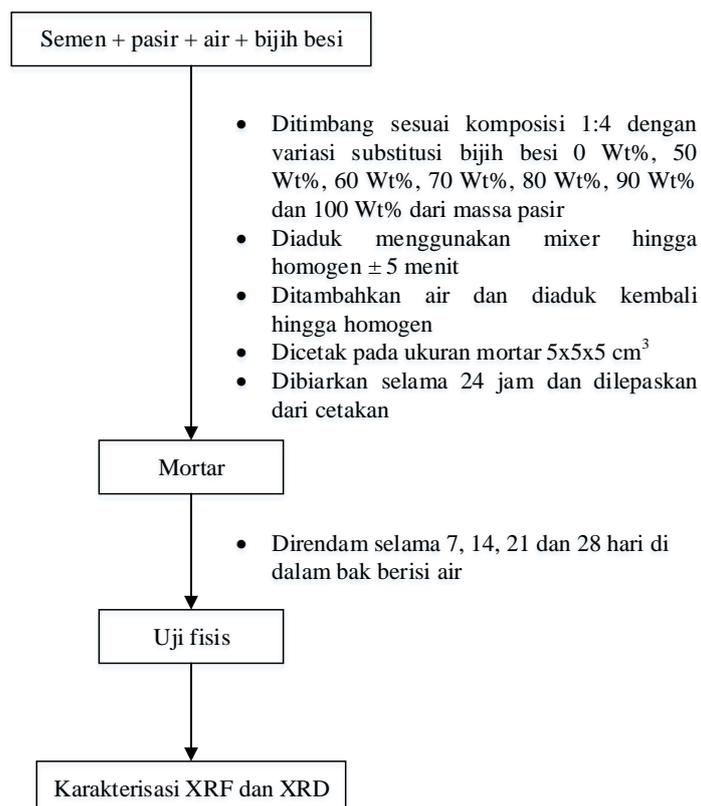
### 3.4 Diagram Alir

Diagram alir preparasi dan pengujian bahan baku bijih besi yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir preparasi dan pengujian bahan baku bijih besi

Diagram alir pembuatan dan pengujian mortar ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Diagram alir pembuatan dan pengujian mortar

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Kadar bijih besi 60 Wt% diperoleh nilai kuat tekan dan massa jenis tertinggi sebesar 20,97 MPa dan 2,29 g/cm<sup>3</sup>, serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 19,72 Wt% dan 8,47 Wt%. Sedangkan kadar bijih besi 100 Wt% nilai kuat tekan dan massa jenis tertinggi sebesar 8,76 MPa dan 1,83 g/cm<sup>3</sup>, serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 23,69 Wt% dan 11,53 Wt%.
2. Waktu perendaman selama 28 hari memperoleh nilai kuat tekan dan massa jenis tertinggi sebesar 20,97 MPa dan 2,29 g/cm<sup>3</sup>, serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 19,72 Wt% dan 8,47 Wt%. dibandingkan dengan waktu perendaman mortar selama 7, 14 dan 21 hari.
3. Senyawa kimia *Hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada bijih besi dapat meningkatkan kekerasan mortar.
4. Berdasarkan hasil yang diperoleh fase yang terbentuk pada mortar dengan kadar bijih besi 60 Wt% adalah *microline ordered* (K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)) serta komposisi kimia yang dominan adalah CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub>. Fase yang terbentuk pada kadar bijih besi 100 Wt% adalah *grossular* (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>) serta komposisi kimia yang dominan adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO dan SiO<sub>2</sub>.

## 5.2 Saran

1. Untuk memperoleh produk mortar dengan kualitas yang baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan bahan mineral alam lain seperti pasir besi dan pasir kuarsa.
2. Kualitas mortar dengan penambahan bijih besi perlu ditingkatkan dengan memvariasikan fraksionasi ukuran partikel bahan penyusun mortar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi, R. Y. 2009. Kuat tekan mortar dengan berbagai campuran penyusun dan umur. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol. 17. No. 1. Hal. 67-84.
- Aruntas, H. Y., Guru, M., Mustafa, D., and Ilker, T. 2010. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials and Design*. Vol. 2. No. 31. Hal. 4039-4042.
- ASTM C311. *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete*. American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- ASTM D-3175. *Standard Method of Laboratory Determination of Moisture Content of Soil*. American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- Atmodjo, D. P. D., Suryana, D., dan Wibowo, H. 2013. Pengujian untuk kerja sampel holder XRF epsilon 5. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Bandung.
- Baradja, H. 2010. *Kursus Eselon III Produksi Teknologi Semen*. PT Semen Padang. Padang.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of XRF: Getting Acquainted with The Principles*. Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF 2nd ed*. Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Cullity, B.D. 1956. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company. New Jersey.
- Darma, E. P. 2012. Pengaruh penggunaan serat polypropelyne dari bahan strapping-band terhadap kemampuan mekanik properties beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 3. No. 9. Hal 112-118.

- Darwis A., Badriani, R.E., dan Arifin, S. 2017. Pengaruh penambahan sekam padi pada campuran beton ringan non struktural terhadap nilai penyerapan dan nilai kuat tekan beton campuran semen, kulit kopi dan fly ash. *Simposium Nasional RAPI XIII*. Vol. 7. No. 6. Hal 50-56.
- Darwis, F., Sultan, M. A., dan Sidogu, D. 2018. Variasi penggunaan pasir pada campuran mortar. *Journal of Science and Engineering*. Vol. 31. No. 40. Hal 22-33.
- Dean, J. 1979. *Langest Hanbook of Chemistry Edition 12*. Mcg Raw Hill. New York
- Denyeko, Mwangi Duncan. 2016. *Partial Substitution Of Cement With Crushed Chicken Egg Shell Powder*. University of Nairobi. Nairobi.
- Ellen, J. K., Windah, R. S. 2016. Pengujian kuat tekan mortar dan beton ringan dengan menggunakan agregat ringan batu apung dan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 4. No. 4. Hal. 271-278.
- Gingos, G. S. and Sutan, N.M. 2011. Effect of pfa on strength and water absorpstion of mortar. *UNIMAS e-journal of Civil Engineering*. Vol. 2. No. 1. Hal. 7-11.
- Guilbert, John M., and Park Charles F. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H.Freeman and Company. Newyork.
- Gruneberg, B. and Kern, J. Phosphorus retention capacity of iron-ore and blast furnace slag in subsurface flow constructed wetlands. *E-journal Science and Technology*. Vol. 11. No.7. Hal. 69-75.
- Hambali, M., Lesmania, I., Midkasna, A. 2013. Pengaruh komposisi kimia bahan penyusun paving block terhadap kuat tekan dan daya serap airnya. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 19. No. 4. Hal. 14-21.
- Hamsi, A. 2012. Analisa pengaruh ukuran butir dan tingkat kelembaban pasir terhadap performansi belt conveyor pada pabrik pembuatan tiang beton. *Jurnal Dinamis*. Vol. 2. No. 8. Hal 14-20.
- Hariato, E. 2008. Studi pemanfaatan bijih besi (hematit dan magnetit low grade dan grade di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan besi Co). *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*. Vol 1. No. 1. Hal 1-2

- Irawati, N., Putri, T. N., dan Herryandie, A. B. A. 2015. Strategi perencanaan jumlah material tambahan dalam memproduksi semen dengan pendekatan taguchi untuk meminimalkan biaya produksi (study kasus PT semen padang). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. Vol. 14. No. 1. Hal. 176-191
- Ishlah, T. 2009. *Potensi Bijih Besi Indonesia dalam Kerangka Pengembangan Klaster Industri Baja*. Buletin Sumber Daya Geologi. Jakarta.
- Karyanto. 2009. Studi tahanan jenis batuan untuk identifikasi mineralisasi bijih besi di Tegineneng Tanggamus. *Skripsi*. Universitas Lampung
- Kadhafi, M. 2015. Pemanfaatan copper slag sebagai substitusi semen pada campuran beton mutu k-225. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 3. No. 1. Hal. 101-109.
- Khosama, L. K. 2012. Kuat tekan beton beragregat kasar batuan tuff merah, batuan tuff putih, dan batuan andesit. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol. 2. No. 1. Hal 273-278. ISSN 2087-9334.
- Laoli, M. E., Kaseke, O. H., Manopo, M. R. E., and Jansen, F. 2013. Kajian penyebab perbedaan nilai berat jenis maksimum campuran beraspal panas yang dihitung berdasarkan metode marshall dengan yang dicari langsung berdasarkan T209. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1. No. 2. Hal 128-132.
- Liao, S., Donggen, H., Yu, D., Su, Y., Yuan, G. 2015. Preparation and characterization of ZnO/TiO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/ZnO/TiO<sub>2</sub> photocatalyst and their photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry*. Vol. 7. No. 168. Hal. 7-13.
- Lutfi. 2012. Penggunaan pasir besi sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah. *Media Bina Ilmiah*. Vol. 6. No. 2. Hal. 24-25.
- Manalu, L. 2012. Pengaruh Penambahan Partikel dan Ukuran Partikel Limbah Batang Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kualitas Paving Block. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Mawardi, M., Deyundha, D., Zainul, R., dan Zalmi, R. P. 2018. Characterization of PCC cement by addition of napa soil from subdistrict sarilamak 50 kota district as alternative additional material for semen padang. *Materials Science and Engineering*. Vol. 3. No. 5. Hal 335-336.
- Mordock, L. J dan Brook, K. M. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga. Jakarta.

- Mordock, L. J dan Brook, K. 1994. *Teknologi Beton dan Praktek*. Erlangga. Jakarta.
- Mulyani, E., dan Haryadi, H. 2018. Analisis bobot dan peringkat porter untuk mengetahui aktivitas yang paling berpengaruh dalam rantai nilai mineral bijih besi di indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. Vol. 14. No. 2. Hal 27-38.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton dan Mortar*. Andi. Yogyakarta.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF pada bahan mineral (batuan dan pasir sebagai sumber material cerdas ( $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$ )). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. Vol 2. No.1. Hal 20-21.
- Nurwidyanto, M. I., Meida, Y., dan Sugeng, W. 2006. Pengaruh ukuran butir terhadap porositas dan permeabilitas pada batu pasir. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. 9. No. 4. Hal. 191-195.
- Oktamuliani, S., Samsidar, M. Z., dan Nehru. 2015. Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning elektron microscopy. *Journal of Physics* Vol. 1. No. 1. Hal 56-64.
- Oktaviani, P. 2016. *Laporan Akhir Pemutakhiran Data Dan Neraca Sumber Daya Mineral*. Pusat Sumber Daya Geologi Bandung. Bandung.
- Rahwanto, A. dan Jalil, Z. 2013. Kajian awal karakteristik mineral magnetik bijih besi mangamat, aceh selatan. *Prosiding Semirata*. Vol 1. No. 1. Hal 1-2.
- Refnita, G., Zuki, Z., dan Yulizar, Y. 2012. Pengaruh penambahan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tekan mortar semen tipe pcc serta analisis air laut yang digunakan untuk perendaman. *Jurnal Kimia Unand*. Vol. 1. No. 1. Hal. 1-7.
- Riswanto, 2013. *Pemeriksaan Laboratorium Hematologi*. Alfabedia. Yogyakarta.
- Rosianda, Y. 2015. Sifat mekanis beton dengan menggunakan steel slag sebagai bahan substitusi agregat halus dan fly ash sebagai bahan substitusi semen. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 3. No. 2. Hal 26-32.
- Rusita, S., Siregar, S., dan Sota, I. 2016. Identifikasi sebaran bijih besi dengan metode geomagnet di daerah pemalongan, bajuin tanah laut. *Jurnal Fisika Unilam*. Vol. 13 No.1. Hal. 234-238.

- Slat, V. B., Sumajouw, M. D. J., dan Wallah S. 2016. Pengaruh kehalusan semen terhadap peningkatan kekuatan mortar. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol 6. No. 3. Hal 547-553.
- Simanullang, D. Y. 2014. Kajian Kuat Tekan Mortar menggunakan Bahan Tambah Fly Ash dan Conplast dengan Perawatan (Curing). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 2. No. 4. Hal. 621-631.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) S-04-1989-F28. *Bata Beton Berlubang (Hollow Brick)*. Badan Standar Nasional. Jakarta
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2493-1991. *Metode Pembuatan dan Perawatan Contoh Uji Beton dan Mortar di Laboratorium*. Badan Standar Nasional. Jakarta,
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1968-1990. *Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus*. Badan Standar Nasional. Jakarta
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1749-1990. *Pemeriksaan Agregat untuk Mortar dan Beton*. Badan Standar Nasional. Jakarta
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6882-2002. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Badan Standar Nasional. Jakarta
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2461-2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1969. 2008. *Pengujian Fisik Pada Pembuatan Mortar dan Beton*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agradat Halus*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Suharto, Amin, M., Muttaqii, M. A., Nurwanti, K. 2020. Pengaruh penggunaan batu basalt lampung dan batubara dalam bahan baku terhadap karakteristik klinker, *Jurnal Teknologi bahan dan barang teknik*. Vol. 10. No. 1. Hal. 50
- Surdia, T dan Saito, S. 1996. *Pengetahuan Bahan Teknik Edisi Keenam*. Pradnya Paramitha. Jakarta.

- Suryo, A. S. 2018. Tinjauan terak baja sebagai bahan pengganti agregat kasar terhadap kuat tarik beton, dengan metode perbandingan 1:1,5:2,5 (Suplemen bahan ajar mata kuliah teknologi beton). *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., dan Fauzan, F. M. 2011. Pengaruh air laut pada perawatan (curing) beton terhadap kuat tekan dan absorpsi beton dengan variasi faktor air semen dan durasi perawatan. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 5. No. 2. Hal. 68-75.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. KMTS FT UGM. Yogyakarta.
- Tumingan, Tjaronge, M. W., Victor, S., dan Rudy, D. 2016. Penyerapan dan porositas pada beton menggunakan bahan pond ash sebagai pengganti pasir. *Jurnal Poli-Teknologi*. Vol. 15. No. 1. Hal. 78-83.
- Umamii, A. M., Yulianto, T., dan Wardhana, D. 2017. Aplikasi metode magnetik untuk identifikasi sebaran bijih besi di kabupaten solok sumatra barat. *Physics Journal*. Vol. 6. No. 4. Hal 293-303.
- Umurrudin, A., Khatulistiani, U., dan Soerjandani. 2018. Pasir kuarsa tuban sebagai bahan substitusi semen dan batu pecah substitusi pasir untuk campuran paving. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*. Vol 6. No.1. Hal 47-52.
- Wenno, R., Wallah, S. E., dan Pandaleke, R. 2014. Kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang (fly ash) asal PLTU Amurang sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2. No. 5. Hal. 252-259.
- Wibowo, M. T. 2007. Pengaruh penambahan trass muria terhadap kuat tekan, kuat tarik dan serapan air pada mortar. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Widari, L. A., Fasdarsyah., dan Iva, D. 2015. Pengaruh penggunaan abu serbuk kayu terhadap kuat tekan dan daya serap air pada paving block. *Teras Jurnal*. Vol. 5. No. 1. Hal. 51-59. ISSN 2008-0561.
- Widodo, W., Bambang P., dan Sari. 2012. Model keterdapatn bijih besi di kabupaten trenggalek provinsi jawa timur. *Jurnal Sipil*. Vol. 1. No.5. Hal. 605-606.
- Widjojoko, L. 2010. Pengaruh sifat kimia terhadap unjuk kerja mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. Vol. 1. No. 1. Hal. 52-59.

- Yusuf, Y., Zuki, Z, dan Gifyul, R. 2013. Pengaruh penambahan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tekan mortar semen tipe PCC serta analisis air laut yang digunakan untuk perendaman. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Vol. 8. No. 2. Hal 756-762.
- Zega, C. J. and Di Maio, A. A.2011. Use of Recycled Fine Aggregate in Concretes with Durable Requirements. *Journal of Waste Management*. Vol. 31. No. 1. Hal. 281-286.
- Zhang, H. 2011. *Building Materials in Civil Engineering*. Woodhead Publishing Limited and Science Press. Cambridge.
- Zulhijah, D., Handani, S., dan Mulyadi, S. 2015. Pengaruh variasi ukuran agregat terhadap karakteristik beton dengan campuran abu sekam padi. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. Vol. 7. No. 2. Hal. 50-55.