

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI MINERAL SLAG TERHADAP  
SIFAT FISIS DAN KARAKTERISTIK PADA PRODUK *PAVING BLOCK***

**(Skripsi)**

**Oleh  
Lekat Zulaifa**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI KONSENTRASI MINERAL SLAG TERHADAP SIFAT FISIS DAN KARAKTEIRISTIK PADA PRODUK *PAVING BLOCK*

Oleh

**Lekat Zulaifa**

Pembuatan *paving block* dilakukan dengan proses pencetakan, perawatan, pengujian fisik meliputi kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, dan susut bakar, serta karakterisasi meliputi XRF dan XRD. *Paving block* ini dibuat dengan tanpa penambahan mineral slag dan dengan penambahan mineral slag 5%, 15%, 25%, dan 35% dengan tingkat kehalusan mesh 60 dan 80. Bahan baku yang digunakan yaitu semen, pasir, batuan andesit dan air. Proses ini menunjukkan hasil bahwa semakin besar variasi konsentrasi mineral slag maka kuat tekan, berat jenis, dan susut bakar yang dihasilkan semakin kecil, serta absorpsi dan porositas semakin besar. *Paving block* tanpa penambahan mineral slag memiliki kuat tekan sebesar 8,612 MPa dan absorpsi sebesar 8,89%, sedangkan dengan penambahan mineral slag 5% pada mesh 60 dan mesh 80 memiliki kuat tekan secara berurutan sebesar 9,115 MPa dan 9,652 MPa, serta nilai absorpsi sebesar 6,61% dan 5,88%. Sehingga *paving block* pada penelitian ini termasuk ke dalam *paving block* tipe D yang biasa digunakan untuk taman. Karakterisasi XRF menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi slag maka CaO yang terkandung dalam *paving block* semakin berkurang sedangkan SiO<sub>2</sub> semakin bertambah. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk yaitu fasa *Gismondine*, *Calcite*, *C-S-H* dan *Quartz*.

**Kata kunci.** *Paving block*, mineral slag, kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, susut bakar, XRF, dan XRD.

## ABSTRACT

### EFFECT OF VARIATION SLAG MINERALS CONCENTRATION ON PHYSICAL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF PAVING BLOCK PRODUCT

By

**Lekat Zulaifa**

Paving Block making process is done with the process of making test objects, printing, maintenance, physical testing includes strong press, density, absorption, porosity, and grinded shrink, as well as characterization including XRF and XRD. *Paving Block* is made with no addition of slag minerals and with the addition of the mineral slag 5%, 15%, 25%, and 35% with the smoothness level of mesh 60 and 80. The raw materials used are cement, sand, andesite rocks and water. This process shows that the greater variation in the concentration of slag minerals then strong press, type weight, and grinded shrink become smaller, and the absorption and porosity are getting bigger. *Paving Block* without additions of slag mineral has a strong press of 8.612 MPa and absorption of 8.89%, while with the addition of slag mineral 5% on mesh No. 60 and mesh No. 80 has strong press of 9.115 MPa and 9.652 MPa, as well as absorption value of 6.61% and 5.88%. So *Paving Block* in this study included in type D *Paving Block* that commonly used for parks. XRF characterization shows that the more concentration of slag then the CaO contained in the *paving block* is decrease while SiO<sub>2</sub> is increase. XRD characterization results shows that the phases formed are the *gishmondine*, *calcite*, *C-S-H* and *Quartz* phases.

**Keywords.** *Paving Block*, Slag Mineral, Strong press, density, Absorption, porosity, grinded shrink, XRF, and XRD.

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI MINERAL SLAG TERHADAP  
SIFAT FISIS DAN KARAKTERISTIK PADA PRODUK *PAVING BLOCK***

Oleh  
**Lekat Zulaifa**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

**Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Konsentrasi Mineral  
Slag terhadap Sifat Fisis dan  
Karakteristik pada Produk Paving Block**

**Nama Mahasiswa : Lekat Zulaiifa**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041054**

**Program Studi : Fisika**

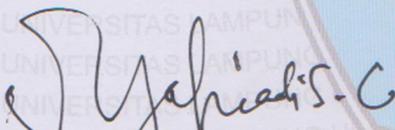
**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



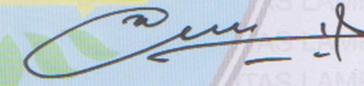
**1. Komisi Pembimbing**

**Pembimbing I,**

**Pembimbing II,**

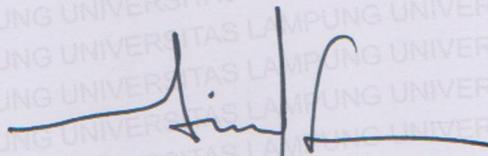
  
**Drs. Syafriadi, M.Si.**

**NIP. 19610821 199203 1 002**

  
**Anton Sapto Handoko, S.T., M.T.**

**NIP. 19790214 00312 1 005**

**2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA**



**Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**

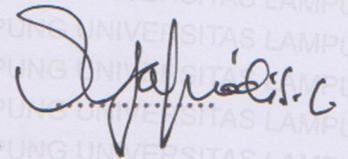
**NIP. 19710909 200012 1 001**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Drs. Syafriadi, M.Si.**



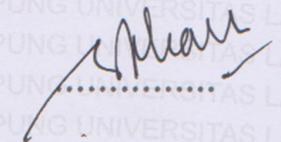
**Sekretaris**

**: Anton Sapto Handoko, S.T., M.T.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing: Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Oktober 2019**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat 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 pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Oktober 2019



Lekat Zulaifa  
NPM. 1517041054

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Lekat Zulaifa dilahirkan di Lombok, Kecamatan Lombok Seminung, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung pada 21 September 1997. Penulis merupakan putri pertama dari tiga bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Khoiri Hasan dan Ibu Sri Minarni.

Penulis menempuh pendidikan formal tingkat Sekolah Dasar di SDN 3 Lombok Timur pada tahun 2003-2009, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Lombok Seminung pada tahun 2009-2012, serta Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Liwa pada tahun 2012-2015. Pada tahun 2015, penulis mendaftar sebagai calon Mahasiswa S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (Unila), diterima melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Material. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai Anggota bidang Kaderisasi ROIS FMIPA Unila periode 2016-2017. Penulis juga aktif sebagai Anggota bidang Kaderisasi HIMAFI FMIPA Unila periode 2017-2018. Pada tahun 2018, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Metalurgi dan

Material- LIPI Serpong, Tangerang Selatan. Kemudian pada juli 2018 penulis mengikuti program KKN di Desa Gedung Ratu, Kecamatan Tulang Bawang Udik, Kabupaten Tulang Bawang Barat. Pada bulan Desember 2019 penulis melakukan penelitian terkait tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Mineral Slag terhadap Sifat Fisis dan Karakteristik pada Produk *Paving Block*” yang bertempat di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Preparasi, Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

## MOTTO

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain dan hanya kepada Tuhanlah hendaknya kamu berharap (Q.S. Al-Insyiroh: 6-8)*

*Waktu bagaikan pedang  
Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik  
Maka ia akan memanfaatkanmu  
(Hadist Riwayat Muslim)*

*Jangan menuntut Tuhanmu karena tertundanya keinginanmu  
Tetapi tuntutanlah dirimu karena menunda perintah Tuhanmu  
(Lekat Zulaiifa)*

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,  
kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang kucintai  
dan kusayangi karena Allah SWT.*

**BAPAK KHOIRI HASAN DAN IBU SRI MINARNI**

*Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang yang telah  
memberikan motivasi, berkorban tanpa mengenal rasa lelah  
dengan cinta kasih sayang yang tiada batas, serta senantiasa  
meridhoi dan mendoakanku hingga dapat menyelesaikan  
pendidikan ditingkat universitas. Terima kasih ibu.. Terima  
kasih ayah.*

**KELUARGA TERSAYANG**

*Terimakasih untuk kedua adikku (Ghufron dan Yulian) serta  
Nenekku tercinta yang selalu memberikan semangat dan doa  
dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih untuk  
orang-orang tersayangku atas doa, nasehat dan motivasi  
yang tak terbatas.*

**BAPAK IBU DOSEN**

*Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang  
telah membuka hati dan wawasanku.*

**PARA SAHABAT DAN TEMAN-TEMAN SEPERJUANGANKU**

*Terima kasih atas kebaikan dan kebersamaan yang kita lalui.*

*dan*

**ALMAMATER TERCINTA**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan segala kekuatan dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi S1 di jurusan Fisika FMIPA Unila ini serta dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul, **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Mineral Slag terhadap Sifat Fisis dan Karakteristik pada Produk *Paving Block*”**. Penelitian ini merupakan studi awal terkait pengaruh penambahan mineral slag sebagai pengurangan terhadap penggunaan semen pada mutu *paving block*, dengan indikator kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, susut bakar, XRF dan XRD.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, demi penyempurnaan serta perbaikan dari skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menjadi salah satu rujukan untuk penelitian tentang mineral slag berikutnya, serta dapat memperkaya ide-ide penelitian yang lain.

Bandar Lampung, 3 Oktober 2019

Lekat Zulaifa

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, penulis telah menyelesaikan skripsi ini berkat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat untuk menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Anton Sapto Handoko, S.T., M.T selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan wawasan serta nasehat untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si selaku Pembahas yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Muhammad Amin, S.T selaku Pembimbing Lapangan yang telah memberi bimbingan lapangan dalam melakukan penelitian tugas akhir.
5. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Ibu Widi Astuti, S.T., M.T selaku Kepala Balai Pengolahan Teknologi

Mineral-LIPI Lampung yang telah memberikan izin penelitian serta memberikan fasilitas selama penulis melakukan penelitian.

9. Ibu Nurbaiti Marsas Prilitasari, S.T selaku koordinator Laborarium Balai Pengolahan Teknologi Mineral-LIPI yang telah memberikan bantuan selama penulis melakukan penelitian.
10. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak membekali ilmu bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas segala bantuannya.
12. Kedua Orang Tuaku tersayang yang telah mendoakan serta memberikan semangat. Dan seluruh keluarga besar Tamong, Papa, Mama, Tete, Mas, Adik, dan seluruh orang tersayang yang tak pernah berhenti berdoa untukku.
13. Sahabat dan teman-temanku tercinta Delfi, Yunita, Niken, Piah, Mba Pariyem, Uncu Rita, Cikwo Desi, Merisa dll. Yang senantiasa menyemangati dan mendoakanku.
14. Kelompok penelitian di LIPI-Lampung yang senantiasa bertukar pendapat dalam mengerjakan tugas akhir.
15. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) dan teman-teman fisika angkatan 2015 yang telah memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga kita semua selalu dalam lindungan Allah SWT.

Bandar Lampung, Oktober 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>COVER DALAM</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	.v
<b>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> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	.4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Semen Portland jenis PCC.....	6
2.2	Slag.....	7
2.3	<i>Paving block</i> .....	9
2.4	Pasir.....	13
2.5	Agregatkasar (Batuan Andesi).....	17
2.6	<i>Ball Milling</i> .....	20
2.7	Pozzolan.....	21
2.8	SifatFisis.....	23
2.8.1	KuatTekan.....	23
2.8.2	BeratJenis ( <i>Specific Gravity</i> ).....	24
2.8.3	Porositas.....	24
2.8.4	Absorpsi.....	24
2.8.5	SusutBakar.....	25
2.9	Sinar-X.....	25
2.9.1	XRF.....	25
2.9.2	XRD.....	27

## III. METODE PENELITIAN

3.1	WaktudanTempatPenelitian.....	30
3.2	AlatdanBahanPenelitian.....	30
3.2.1	AlatPenelitian.....	30
3.2.2	BahanPenelitian.....	31
3.3	ProsedurPenelitian.....	32
3.3.1	PemeriksaanBahan.....	32
3.3.2	PreparasiBubuk Mineral Slag.....	32
3.3.3	Komposisi Benda Uji.....	35
3.3.4	Pembuatan Benda Uji.....	35
3.3.5	Pengujian Benda Uji.....	36
3.4	Diagram Alir.....	39

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Bahan <i>Paving Block</i> .....	41
4.1.1	Semen Tipe PCC.....	41
4.1.2	PasirdanBatuanAndesit.....	41
4.1.3	Mineral Slag.....	44
4.1.3.1	HasilKarakterisasiSlag Menggunakan XRF.....	44
4.1.3.2	HasilKarakterisasiSlag Menggunakan XRD.....	45
4.2	HasilUjiFisisSampel <i>Paving Block</i> .....	46
4.2.1	KuatTekan <i>Paving Block</i> .....	46
4.2.2	BeratJenis <i>Paving Block</i> .....	48
4.2.3	Absorpsi <i>Paving Block</i> .....	49
4.2.4	Porositas <i>Paving Block</i> .....	50
4.2.5	SusutBakar <i>Paving Block</i> .....	51
4.3	HasilKarakterisasiSampel Menggunakan XRF.....	52
4.4	HasilKarakterisasiSampel Menggunakan XRD.....	53

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran .....	56

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN 1**

### **LAMPIRAN 2**

### **LAMPIRAN 3**

### **LAMPIRAN 4**

### **LAMPIRAN 5**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Slag .....	9
<b>Gambar 2.</b> Bentuk-bentuk <i>paving block</i> .....	11
<b>Gambar 3.</b> Pasir .....	14
<b>Gambar 4.</b> Batu andesit .....	19
<b>Gambar 5.</b> <i>Ball Mill</i> .....	21
<b>Gambar 6.</b> Alat uji kuat tekan .....	24
<b>Gambar 7.</b> Prinsipkerja XRF .....	27
<b>Gambar 8.</b> Skemadifraksisinar-X .....	28
<b>Gambar 9.</b> Diagram alirpemeriksaanbahanpasirdanbatuanandesit.....	39
<b>Gambar11.</b> Diagram alirpreparasidanpengujianmineral slag .....	39
<b>Gambar 12.</b> Diagram alirsampel <i>paving block</i> .....	40
<b>Gambar 13.</b> Pola difraktogram sampel slag .....	45
<b>Gambar 14.</b> Hubungan kuat tekan <i>paving block</i> dengan variasi konsentrasi <i>Paving block</i> .....	46
<b>Gambar 15.</b> Hubungan berat jenis <i>paving block</i> dengan variasi konsentrasi <i>Paving block</i> .....	48
<b>Gambar 16.</b> Hubungan absorpsi <i>paving block</i> dengan variasi konsentrasi <i>Paving block</i> .....	49
<b>Gambar 17.</b> Hubungan porositas <i>paving block</i> dengan variasi konsentrasi <i>Paving block</i> .....	50
<b>Gambar 18.</b> Hubungan susut bakar <i>paving block</i> dengan variasi konsentrasi	

<i>Paving block</i> .....	51
<b>Gambar19.</b> Pola difraktogramsampel <i>paving block</i> mesh 60 .....	53
<b>Gambar 20.</b> Pola difraktogramsampel <i>paving block</i> mesh 80 .....	54

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Kandungan kimia semen tipe PCC.....	7
<b>Tabel 2.</b> Komponen pada slag .....	8
<b>Tabel 3.</b> Sifat fisik <i>paving block</i> .....	11
<b>Tabel 4.</b> Sifat fisik pasir .....	14
<b>Tabel 5.</b> Sifat fisis agregat kasar.....	20
<b>Tabel 6.</b> Komposisi kimia batu andesit .....	20
<b>Tabel 11.</b> Komposisi benda uji.....	35
<b>Tabel 12.</b> Kandungan kimia semen tipe PCC.....	41
<b>Tabel 13.</b> Hasil uji fisis pasir dan batuan andesit .....	42
<b>Tabel 14.</b> Hasil karakterisasi XRF mineral slag.....	44
<b>Tabel 15.</b> Hasil karakterisasi XRF <i>paving block</i> .....	52

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi dunia, segala sesuatu mulai dikembangkan dan diperbaharui dalam semua aspek terutama fasilitas berupa bangunan serta media transportasi seperti jalan raya, jembatan, dermaga, bandara dan lain-lain. Pertambahan jumlah penduduk dan berkembangnya industri menjadikan pembangunan khususnya infrastruktur meningkat. Adapun infrastuktur pembangunan yang paling sering kita temukan yaitu perbaikan jalan raya yang biasanya menggunakan media aspal. Akan tetapi, saat ini untuk pengerasan jalan selain menggunakan media aspal banyak dari masyarakat yang lebih memilih menggunakan *paving block* (Soehardjono dkk, 2013).

*Paving block* adalah salah satu jenis batu yang dicetak dengan sistem buatan tangan manusia dengan bentuk dan ukuran tertentu. *Paving block* sudah banyak dikenal oleh kalangan masyarakat yang digunakan untuk keperluan bangunan. Bahan bangunan ini dihasilkan dengan cara mencampurkan semen *portland*, air, dan agregat bisa juga ditambahkan bahan tambahan lainnya seperti halnya bahan kimia tambahan, serat, dan juga bahan non-kimia pada suhu dan tekanan tertentu, sehingga dihasilkan batu cetak buatan dengan tingkat kekerasan yang baik.

Selain itu, *paving block* juga dikenal dengan bahan bangunan yang memiliki tingkat kemudahan dalam penggunaannya dan sistem perawatannya yang cukup murah serta memiliki nilai estetika membuat *paving block* lebih banyak diminati dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya (Ramadhan dkk, 2016). Adapun kelebihan *paving block* dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya yaitu harganya relatif murah dikarenakan bahan-bahan untuk membuatnya sangat mudah didapatkan, kemudian termasuk ke dalam bahan bangunan yang terkenal keawetannya, dengan daya serap air yang cukup tinggi, tahan karat, tahan kebakaran, serta tahan aus (Kadhafi, 2015). Untuk mengetahui pengaplikasian *paving block* ini, dapat dengan mudah ditemukan seperti di trotoar, taman, halaman rumah, pelabuhan, dan bandara.

Penggunaannya yang telah banyak diterapkan di berbagai tempat membuat *paving block* tampak lebih familiar. Namun, semakin meningkatnya minat masyarakat dalam pembuatan *paving block* sebagai bahan bangunan, menjadi tidak sesuai dengan ketersediaan kualitas bahan yang ada, khususnya semen. Berdasarkan hal tersebut, maka diharapkan agar dapat menggunakan mineral baru yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan *paving block* khususnya semen dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan semen (Riyaldi, 2015).

Di Indonesia, telah banyak yang melakukan penelitian terhadap slag. Adapun slag dapat diperoleh dari proses pembakaran tungku tanur tinggi yaitu berupa limbah dari pabrik baja modern. Dalam hasil pembakaran tersebut terbagi menjadi dua bagian limbah yaitu limbah bahan berbahaya beracun (B3) dan

limbah yang dapat dimanfaatkan (Adibroto, 2014). Slag yang dapat di daur ulang diaplikasikan dalam bidang infrastruktur pembangunan dengan mengembangkan bahan campuran dalam pembuatan beton struktural menggunakan slag dengan tujuan mengurangi biaya pembangunan. Sehingga slag diharapkan dapat memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi serta dapat digunakan sebagai substitusi semen (Kadhafi, 2015). Kemudian berdasarkan pengujian susut pada kedua jenis mutu *paving block*, penggunaan slag dalam campuran *paving block* dapat mengurangi terjadinya penyusutan (Pamuji, 2007). Lalu menurut penelitian Zainul, dkk (2018) diketahui bahwa limbah slag memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> yang tinggi yaitu 26,56%, sehingga dapat digunakan untuk campuran *paving block*, dan juga memiliki unsur kimia CaO SiO<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O (C-S-H) yaitu *calcium silicate hydrat* yang berasal dari reaksi Ca(OH) pada limbah slag dan C-S-H yang berasal dari *paving block* yang bereaksi sehingga menjadi bahan padat yang akan mengurangi jumlah pori pada *paving block*.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *paving block* dengan menggunakan bahan semen jenis PCC, pasir pantai maringgai, agregat kasar (batuan andesit) serta penambahan material slag sebagai substitusi semen. Sebelum dilakukan pembuatan *paving block*, material slag terlebih dahulu dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD. Selanjutnya untuk *paving block* diuji sifat fisis serta karakterisasi menggunakan XRF dan XRD.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik fisik *paving block* dengan variasi konsentrasi mineral slag dilihat dari nilai kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, dan susut bakar?
2. Bagaimana fasa yang terbentuk pada *paving block* dengan variasi konsentrasi mineral slag?
3. Bagaimana klasifikasi jenis produk yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik fisik *paving block* dengan variasi konsentrasi mineral slag dilihat dari nilai kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, dan susut bakar?
2. Mengetahui fasa yang terbentuk pada *paving block* dengan variasi konsentrasi mineral slag?
3. Mengetahui klasifikasi jenis produk yang dihasilkan?

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Perbandingan komposisi sampel yaitu semen : pasir : agregat kasar = 1 : 3 : 3,5 dalam satuan gram.
2. Variasi konsentrasi mineral slag terhadap semen sebesar 0%, 5%, 15%, 25% dan 35% dari berat semen.

3. Lama perendaman di dalam air 14 hari.
4. Pasir berasal dari Maringgai Lampung Timur.
5. Semen jenis PCC Baturaja.
6. Mineral slag jenis Mangan.
7. Batuan andesit dari Lampung Selatan.
8. Bubuk slag dengan ayakan yang tertahan di mesh 60 dan mesh 80.
9. Uji fisis sampel yaitu kuat tekan, berat jenis, absorpsi, porositas, dan susut bakar.
10. Karakterisasi bahan dan sampel menggunakan XRF dan XRD.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan limbah slag agar menjadi material yang lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan bahan tambahan berupa bubuk slag dalam pembuatan *paving block*.
3. Dapat memberikan wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan *paving block*.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
5. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan mineral slag dapat dijadikan sebagai bahan pengganti untuk mengurangi penggunaan semen pada umumnya yang dapat dimanfaatkan secara luas dalam konstruksi dunia industri bangunan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Semen Portland jenis PCC

Semen merupakan bahan yang mempunyai sifat kohesif dan adhesif yang dikenal sebagai bahan pengikat. Adapun senyawa kimia yang terdapat pada semen 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). Adapun pengertian semen portland yaitu semen yang bersifat hidrolis yang diperoleh dengan cara menghaluskan klinker sebagai bahan utamanya yang bersifat hidrolis yang disebut dengan silikat-silikat kalsium sedangkan sebagai bahan pembantunya disebut gipsum (Pradana dkk, 2016).

*Portland Cement Composite* (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain 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).

Keunggulan semen tipe PCC adalah mudah pengerjaannya, suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak. Semen PCC menghasilkan

permukaan plesteran dan beton yang halus, kedap air, tahan terhadap serangan sulfat, mempunyai kuat tekan yang tinggi, menjadikan bangunan atau konstruksi tahan lama (Yusuf dkk, 2013). Adapun kandungan kimia semen PCC ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 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	1,86
6.	SO <sub>3</sub>	2,71
7.	K <sub>2</sub> O	1,03
8.	Na <sub>2</sub> O	0,80
9.	Hilang pijar	4,52
10.	Bagian tak larut	-

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

## 2.2 Slag

Slag merupakan limbah dari industri ketika proses peleburan logam. Slag dapat berupa residu atau limbah yang menyerupai gumpalan logam, kualitas yang dimiliki slag ini biasanya rendah karena telah tercampur dengan bahan-bahan lain yang sulit untuk dipisahkan. Slag dapat terjadi akibat penggumpalan dari mineral silika, potas, dan soda dalam proses peleburan logam dan juga melelehnya mineral-mineral silika dari material wadah pelebur yang disebabkan oleh proses panas yang tinggi (Ramadhan dkk, 2016).

Industri peleburan logam baja menghasilkan limbah slag atau terak. Slag adalah limbah dari besi dan baja yang berbentuk bongkahan-bongkahan kecil yang diperoleh dari hasil samping pembuatan baja dengan tanur tinggi.

Jumlah limbah padat slag ini adalah 335 kg/ton produk pig *iron*. Limbah slag baja, yang merupakan sisa dari pembuatan baja, masuk dalam kategori limbah B3 atau berbahaya. Saat ini produksi slag di Indonesia baru sekitar 800 ribu ton, jika dibandingkan dengan Jepang yang mencapai 20 juta ton. Setiap ton produksi baja menghasilkan 20 persen limbah slag (Mustika dkk, 2016).

Adapun *Copper slag* adalah hasil limbah industri peleburan tembaga, berbentuk pipih dan runcing (tajam) sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir. Oleh karena itu, *copper slag* lebih banyak digunakan sebagai pengganti agregat halus. Namun, *copper slag* juga bisa dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen (*cementitious*) tetapi materialnya harus dihaluskan hampir seperti semen agar didapatkan hasil yang optimum (Mustika dkk, 2016). Kandungan senyawa kimia pada slag ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Komponen pada slag.

Komponen	Persentase (%)
SiO <sub>2</sub>	30-36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-6
CaO	2-7
FeO	45-55

(Sumber: Kadhafi, 2015).

Dalam proses hidrasi semen selain menghasilkan senyawa CSH (Calsium Silikat Hidrat), CAH (Calsium Alumina Hidrat), dan CAF (Calsium Aluminoforit) yang bersifat sebagai bahan perekat juga menghasilkan kapur yang bersifat basa. Dengan adanya FeO dan SiO<sub>2</sub> yang cukup tinggi pada *copper slag* maka kapur yang timbul akan bereaksi membentuk CSH, CAH dan CFH yang mempunyai sifat sebagai bahan perekat, semakin banyak

jumlah perekat maka semakin tinggi kuat tekan beton. Reaksi semen dengan air ( $C_3S + H_2O$ ) menghasilkan CSH +  $Ca(OH)_2$  dan apabila ditambahkan *copper slag* akan bereaksi dengan kapur sisa reaksi antara semen dengan air ( $SiO_2 + Ca(OH)_2$ ) sehingga menghasilkan CSH baru (Kadhafi, 2015). Adapun slag dan *copper slag* ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Slag (kiri) dan *Copper slag* (kanan)

(Sumber: [https://www.alibaba.com/product-detail/ferro-siliconpowder-used-to-get\\_60540175731.html](https://www.alibaba.com/product-detail/ferro-siliconpowder-used-to-get_60540175731.html)).

### 2.3 *Paving Block*

*Paving block* merupakan material bangunan infrastruktur yang dapat dengan mudah dijumpai seperti di halaman rumah, halaman kantor, taman, trotoar, dan parkir kendaraan. Proses pembuatan *paving block* adalah dengan cara mencampurkan semen, air, dan pasir atau yang disebut dengan campuran pengikat hidrolis dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya, seperti bahan kimia dan bahan non-kimia, kemudian dicetak dengan ukuran dan bentuk tertentu (SNI 03-2834-1993). Pengikatan terjadi disebabkan karena masing-masing batu cetak saling mengunci satu dengan yang lainnya (Wilkana dan Gulo, 2012).

*Paving block* sangat diminati oleh kalangan masyarakat karena bahan-bahan pembuatannya mudah di dapatkan. Cara membuatnya juga tidak terlalu rumit.

Selain itu, *paving block* memiliki keunggulan yaitu, harganya yang murah sehingga mudah dijangkau oleh konsumen menjadikan *paving block* banyak diminati dibandingkan bahan bangunan lainnya. Kualitas *paving block* yang mampu menjaga keseimbangan air tanah, menjadi penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil, serta menjadi serapan air yang baik (Wahyu, 2010). Ketika suatu material memiliki keunggulan, maka tidak menutup kemungkinan bahwa material tersebut juga memiliki kelemahan. Adapun kelemahan dari *paving block* ini adalah mudah bergelombang apabila pondasinya tidak kuat dan kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi. Hal ini disebabkan karena kuat tekan saat proses pembuatan *paving block* tidak sesuai (Darwis, 2017).

Persyaratan ketebalan *paving block* yaitu:

- a. 6 cm, *paving block* ukuran ini digunakan untuk beban lalu lintas ringan dengan nilai frekuensi yang terbatas, misalnya seperti sepeda motor dan pejalan kaki.
- b. 8 cm, *paving block* ukuran ini digunakan untuk beban lalu lintas yang sedang atau dengan nilai frekuensi yang berat dan padat, misalnya seperti mobil, truk, bus, dan *pick up*.
- c. 10 cm, *paving block* ukuran ini digunakan untuk beban lalu lintas yang super berat dengan nilai frekuensi tentunya sangat berat dan padat, misalnya tronton dan *loader* (Andriati, 1996).

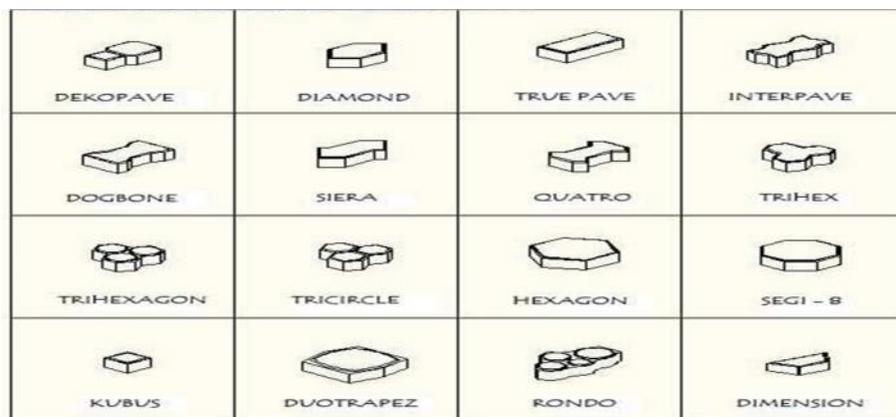
*Paving block* dapat berwarna seperti warna aslinya akan tetapi dapat juga diberi zat warna pada komposisinya sehingga memperoleh warna yang berbeda-beda (warna-warni). Sehingga dapat digunakan untuk halaman, baik

di dalam maupun diluar bangunan (SNI 03-0691-1996).

Adapun klasifikasi *paving block* berdasarkan mutunya yaitu:

1. Bata beton mutu A; ini digunakan khusus untuk jalan.
2. Bata beton mutu B; ini digunakan khusus untuk pelataran parkir.
3. Bata beton mutu C; ini digunakan khusus untuk pejalan kaki.
4. Bata beton mutu D; ini digunakan untuk taman dan penggunaan lain

(Aulia dkk, 2018). Bentuk *paving block* ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Bentuk-bentuk *paving block* (Nurzal dan Putra, 2014).

*Paving block* memiliki sifat-sifat fisis yang ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Sifat fisika *paving block*

Mutu	Kuat tekan (MPa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata
	Rata-rata	Min	Rata-rata	maks	%
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

(Sumber: Rosianda dkk, 2016).

Penyerapan air pada *paving block* atau yang sering disebut dengan porositas merupakan ratio dari pori-pori yang terdapat di dalam material terhadap total volume dari material tersebut. Penyerapan air sering terjadi disebabkan adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk sela proses pembuatan

dan pencetakan *paving block* itu sendiri (Gelembung ini biasanya timbul karena pemakaian air yang berlebihan pada saat proses pembuatan material bangunan tersebut) (Aditya, 2012). Besarnya nilai porositas atau penyerapan air yaitu:

$$\text{penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan: A = Berat *paving block* basah (gram)

B = Berat *paving block* kering (gram)

Selain kemampuan menyerap air *paving block* juga tentunya harus memiliki ketahanan aus. Ketahanan aus merupakan suatu kemampuan material bangunan *paving block* untuk menerima gaya gesek yang dapat mengakibatkan permukaannya semakin lama semakin tipis. Pengujian ketahanan aus ini dapat dilakukan dengan cara menggosok permukaan benda dengan kecepatan dan waktu tertentu secara terus menerus. Selama penggosokan berlangsung, benda uji *paving block* harus dalam keadaan basah dengan cara dialiri air dengan tujuan untuk mencegah terjadinya proses kenaikan suhu. Adapun persamaan untuk menghitung ketahanan aus yaitu:

$$\text{Ketahan aus} = \frac{A \times 10}{B.J \times l \times w} \text{ mm/menit} \quad (2)$$

Dengan: A = Selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus, dalam gram.

B.J = Berat jenis rata-rata lapisan kepala.

L = Luas permukaan bidang aus, dalam  $\text{cm}^2$ .

W = Lamanya pengausan, dalam menit.

Setelah ketahanan aus, *paving block* juga harus memiliki nilai kuat tekan. Kuat tekan merupakan suatu kemampuan material atau benda dalam menahan gaya tekan yang dialaminya, atau besarnya jumlah beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan tekanan tertentu. Adapun persamaanya sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{L} \quad (3)$$

Dengan  $\sigma$  = Kuat hancur *paving block* (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Gaya yang bekerja (kg)

L = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

(Tokede, 2018).

## 2.4 Pasir

Pasir merupakan salah satu jenis bahan bangunan yang sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan suatu bangunan. Material bangunan ini memiliki bentuk dengan besaran butir yang telah ditentukan. Walaupun besarnya butiran dari pasir ini telah ditentukan, jenis butiran pasir yang berbeda menghasilkan fungsi pasir yang berbeda juga. Pasir dengan butiran yang lebih kasar mempunyai fungsi yang berbeda dengan butiran pasir yang lebih halus. Secara pengertian, pasir merupakan agregat dengan dengan ukuran butir mulai dari 0,0625 sampai dengan 2 milimeter. Kandungan yang ada pada pasir yaitu silikon dioksida. Meskipun di Indonesia merupakan daerah ropis akan tetapi, jenis pasir dan bahan pembentuk pasir lebih banyak dan bervariasi. Sehingga menjadikan pasir memiliki fungsi yang sangat penting, khususnya dalam pembangunan (Darwis dkk, 2017). Pasir sebagai agregat

halus ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pasir (Sumber: Laboratorium Non-Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI).

Sifat fisis pasir ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Sifat fisik pasir

No.	Sifat	Persentase
1.	Berat jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	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> ( $\text{kg/m}^3$ )	1695
7.	Kadar lumpur (%)	4
8.	Kadar air (%)	14,483
9.	Nilai abrasi (%)	-

(Khosama, 2012).

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. Adapun indeks kekerasannya berkisar antara  $< 2.2$ .
- b. Jika pasir digunakan bersama Natrium Sulfat maka bagian yang hancur sekitar 12 %.
- c. Jika pasir digunakan bersama Magnesium Sulfat maka bagian yang hancur sekitar 10 %.
- d. Standar dari pasir adalah kandungan lumpur yang dimilikinya tidak lebih dari 5 %.

- e. Pasir terlebih dahulu dicuci apabila kandungan agregat pasir lebih dari 5%.
- f. Kandungan bahan organis di dalam pasir tidak boleh terlalu banyak. Maka, sebelumnya pasir harus melalui tahap percobaan warna Abrans-Harder dengan menggunakan larutan jenuh NaOH sekitar 3%.
- g. Karena pasir terdiri dari butir-butir yang berbeda, maka untuk susunan jenis pasir butir besar harus mempunyai modulus sekitar 1,5 hingga 3,8.
- h. Untuk membuat beton dengan keawetan yang tinggi, pasir harus mempunyai reaksi alkali negatif.
- i. Untuk perbuatan beton bermutu tidak diperbolehkan menggunakan pasir dari laut. Kecuali lembaga pemerintahan bahan bangunan memberikan petunjuk khusus (SK SNI-S-04-1989-F;28).

Setelah mengetahui apa saja syarat pasir agregat untuk bangunan. Berikut jenis-jenis pasir dan karakteristiknya:

a. Pasir Beton

Untuk pasir jenis ini memiliki karakteristik dan sifat pasir yang khusus yaitu warna dari pasir yang berwarna abu-abu kehitaman. Pasir ini memiliki tingkat kehalusan yang tinggi, ketika dipegang akan terasa sangat halus. Kemudian ketika digenggam tidak akan membentuk gumpalan melainkan akan kembali buyar. Pasir beton ini berfungsi sebagai perekat bahan bangunan.

b. Pasir Pasang

Apabila pasir beton akan terasa halus ketika dipegang, maka pasir pasang ini lebih halus lagi. Selain ukuran agregat yang lebih kecil dan halus, elemen dari pasir pasang ini lebih padat. Karena itu, apabila

menggenggam pasir ini kemudian mengealkannya maka pasir akan menggumpal dan tidak buyar. Pasir pasang ini berfungsi untuk campuran pondasi agar lebih kuat dan untuk plesteran dinding yang lebih halus disebabkan karakter butirannya yang lebih kecil dan halus. Pasir ini akan sangat baik hasilnya apabila dipadukan dengan pasir beton.

c. Pasir Jebrod

Pasir jebrod sesuai dengan namanya pasir ini memiliki warna yang kemerah-merahan. Karakter pasir ini adalah kasar dengan butirannya yang besar, sehingga jika digumpalkan pasir tidak akan mengalami perubahan bentuk ataupun ambyar. Pasir ini memiliki karakter yang kasar akan tetapi memiliki partikel yang kecil dan erat, membuat pasir ini cocok untuk digunakan sebagai penambah daya rekat bangunan. Sehingga pasir ini sangat sering digunakan untuk pengecoran bersama dengan pasir beton.

d. Pasir Elod

Pasir elod memiliki warna kehitaman dan juga abu-abu gelap, asal warna yang dimiliki pasir ini berasal dari kandungan tanah yang masih terdapat pada pasir, dan akan terasa ketika digenggam. Karakter pasir ini lebih halus dibandingkan dengan pasir pasang dan pasir beton. Adapun fungsi dari pasir ini adalah untuk material bangunan karena terdapat kandungan tanah didalamnya. Akan tetapi fungsi lain dari pasir ini adalah sebagai bahan utama membuat batako.

e. Pasir Sungai

Pasir sungai, sesuai dengan namanya pasir ini berasal dari sungai dengan

ukuran butir yang tidak terlalu besar maupun kecil. Ukuran butiran agregat satu ini antara 0,063 mm sampai dengan 5 mm. Biasanya jenis pasir ini diambil langsung dari sungai yang merupakan hasil gisan dari batuan yang terdapat disekitaran sungai yang keras dan tajam. Sehingga pasir ini terkenal dengan kekuatannya. Adapun fungsi dari pasir adalah untuk campuran pengecoran dan juga pondasi rumah. Karenanya menggunakan pasir sungai sebagai pondasi dipercaya lebih kuat dan tahan lama (Kadhafi, 2015).

## **2.5 Agregat Kasar (Batuan Andesit)**

Agregat merupakan butiran mineral yang memiliki fungsi sebagai bahan campuran untuk membuat mortar ataupun beton (Sumekto dan Rahmadiyanto, 2001). Agregat juga dapat diartikan berupa salah satu bahan pengisi pada material beton yang dapat mencapai 70 sampai dengan 75 % dari volume beton itu sendiri, sehingga agregat memiliki pengaruh yang sangat tinggi terhadap sifit dan kualitas beton. Apabila agregat baik, maka beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durability*) dan ekonomis (Paul dan Anthoni, 2007). Sifat yang sangat penting dari agregat ini adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan (kekerasan), hal ini dapat berpengaruh terhadap ikatannya dengan pasta semen (Brook dan Murdock, 1994).

Berdasarkan asalnya agregat dklasifikasikan menjadi beberapa bagian yaitu:

### **a. Agregat Alam**

Agregat jenis ini biasanya menggunakan bahan baku berupa batu alam.

Syarat agregat yang baik untuk digunakan adalah keras, kompak, kekal, dan tidak pipih. Adapun contoh dari agregat alam yaitu, kerikil dan pasir alam, agregat yang teknik penghancuran dengan bahan alam ini biasanya dapat dengan mudah ditemukan seperti pada sekitar sungai, dan juga daratan. Agregat beton alami merupakan yang berasal dari pelapukan atau disintegrasi dari batuan besar, baik batuan beku, sedimen maupun metamorf. Agregat ini berbentuk bulat, akan tetapi biasanya banyak tercampur dengan kotoran bahkan tanah liat. Oleh sebab itu, jika akan digunakan untuk pembuatan beton, harus melewati tahap pembersihan terlebih dahulu. Selain kerikil dan pasir alam, ada juga agregat batu pecah. Agregat jenis ini diperoleh dari batu alam yang dipecah dengan ukuran tertentu.

b. Agregat Buatan

Agregat buatan merupakan agregat yang sengaja dibuat dengan tujuan pemakaian khusus karena kekurangan agregat alam. Agregat jenis ini biasanya disebut dengan agregat ringan. Adapun contoh dari agregat buatan adalah *klinker* dan *breeze* yang berasal dari limbah liat yang dibakar (Trianto dan Hutomo, 2011).

Berdasarkan berat jenisnya, agregat digolongkan menjadi:

- a. Agregat berat: agregat yang memiliki berat jenis yaitu lebih dari 2,8.  
Agregat jenis ini biasanya digunakan untuk material beton yang terkena sinar radiasi sinar-X. Contohnya, magnetit dan butiran besi.
- b. Agregat normal: agregat yang memiliki berat jenis yaitu 2,50 sampai dengan 2,70. Biasanya beton dengan jumlah berat agregat normal yaitu

sekitar 2,3 dengan kuat tekan 15 MPa. Contoh agregat normal, kerikil, pasir, batu pecah (berasal dari alam), klinker, terak dapur tinggi (agregat buatan).

- c. Agregat ringan: agregat yang memiliki berat jenis yaitu kurang dari 2,0. Agregat ini sering digunakan dalam pembuatan beton ringan. Contoh dari agregat ringan adalah, batu apung, asbes, berbagai serat alam, terak dapur tinggi dengan gelembung udara, perlit yang dikembangkan dari proses pembakaran, lempung berkah dan lain-lain (Khosama, 2012).

Kandungan mineral yang ada di dalam agregat batuan andesit berupa kalium feldspar dengan jumlah < 10% dari kandungan feldspar total, natrium plagioklas, kuarsa < 10%, feldspatoid < 10%, *hornblende*, biotit, dan piroksen (Stepanus dkk, 2014).

Jenis batuan ini berstruktur porfiritik afanitik, komposisi mineral utama jenis plagioklas, mineral mafik adalah piroksen dan amfibol sedang mineral tambahan adalah apatir dan zirkon. Batuan ini memiliki berat jenis 2,3 gr/cm<sup>3</sup> hingga 2,7 gr/cm<sup>3</sup> dan memiliki kuat tekan 600 hingga 2400 kg/cm<sup>2</sup> (Sukandarrumibi, 1999). Bentuk visual dari batu andesit ditampilkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Batu Andesit (Nishikant *et al.*, 2016).

Sifat fisis agregat kasar ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Sifat fisis agregat kasar

No	Sifat	Persentase
1	Berat jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	min 2,5
2	Kadar lumpur (%)	< 1
3	Kadar air maksimum (%)	5
4	Absorpsi (%)	2-7

(Sumber: SNI 03-1969-1990; SK SNI S-04-1989-F; Rajiman, 2015).

Komposisi kimia batu andesit ditampilkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Komposisi kimia batu andesit

No	Komposisi Kimia	Satuan	Nilai
1.	SiO <sub>2</sub>	(%)	62,30
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	14,70
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	4,04
4.	MgO	(%)	2,78
5.	CaO	(%)	4,26
6.	Na <sub>2</sub> O	(%)	2,95
7.	K <sub>2</sub> O	(%)	6,06
8.	TiO <sub>2</sub>	(%)	0,98
9.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(%)	0,81
10.	MnO	(%)	0,07
11.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	0,014
12.	LOI	(%)	0,6
13.	Total	(%)	99,86

(Sumber: Sariisik *et al.*, 2011).

## 2.6 Ball Milling

*Ball milling* merupakan suatu proses penghancuran serbuk karbon dengan menggunakan mekanisme tumbukan antara sampel dengan bola-bola baja berukuran heterogen. Proses ini diasumsikan dapat memperkecil ukuran pori karena ketika serbuk karbon dicetak maka struktur pori akan lebih mengikuti morfologi partikel karbon yang dihasilkan dari proses *ball milling* tersebut (Sari dkk, 2014).

Metode *ball milling* ini berprinsip pada penghancuran bahan menggunakan

sejumlah bola penumbuk dalam sebuah tabung horizontal yang berputar. Bola-bola akan terangkat pada sisi tabung kemudian jatuh ke bahan yang ditumbuk dan menyebabkan fragmentasi pada struktur bahan menjadi ukuran yang sangat halus. Keunggulan metode *ball milling* adalah waktu penepungan lebih cepat dan tepung yang dihasilkan relatif lebih halus sehingga mampu dalam meningkatkan hidrasi tepung dengan air (Widjanarko dan Suwasito, 2014).



**Gambar 5.** *Ball mill* (Sumber: Laboratorium Non-Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI).

## 2.7 Pozzolan

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina, yang memiliki sedikit atau tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa yang bersifat seperti semen (Malhotra and Metha, 1996). Pozzolan yang biasa digunakan dalam mortar maupun beton diantaranya *fly ash*, *silica fume* dan berbagai pozzolan alami, seperti *clay* dan *shale* yang dikalsinasi serta abu vulkanik (Thomas, 2013). Adapun

dasar reaksi pozzolan adalah sebagai berikut:



(Tokyay, 2016).

Jenis-jenis pozzolan menurut proses pembentukannya dibedakan menjadi dua jenis yaitu pozzolan alami dan pozzolan buatan. Pozzolan alami adalah bahan alam yang merupakan timbunan-timbunan atau sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif. Sedangkan pozzolan buatan merupakan sisa pembakaran dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran (Massazza, 1988).

Standar mutu pozzolan dapat dibedakan menjadi tiga kelas yaitu:

a. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran pozzolan alam, yang dapat digolongkan ke dalam beberapa jenis seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts*, *shales*, *tuff* dan abu terbang vulkanik atau *punicite*. Semuanya bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa pembakaran.

b. Kelas C

*Fly ash* mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub bitumen batu bara.

c. Kelas F

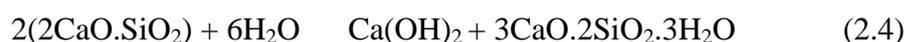
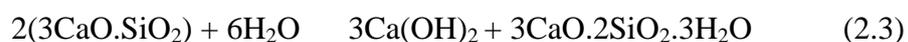
*Fly ash* mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *antharite* atau bitumen batubara (ASTM C 618-86).

## 2.8 Sifat Fisis

Untuk mengetahui sifat fisis suatu material, maka dilakukan pengujian pada material tersebut. Adapun ujinya sebagai berikut:

### 2.8.1 Uji Kuat Tekan

Kekuatan 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 (Widjoko, 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>. Adapun reaksi yang berlangsung yaitu:



(Hambali dkk, 2013).

Ca(OH)<sub>2</sub> yang dihasilkan akan menyebabkan larutan pori beton bersifat basa kuat dan tidak larut dalam air sehingga dapat menurunkan kuat tekan *paving block* tersebut (Widari dkk, 2015). Alat uji kuat tekan ditampilkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Alat uji kuat tekan (Sumber: Laboratorium Non-Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI Lampung).

### 2.8.2 Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan pada suatu temperatur terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut (Laoli dkk, 2013).

### 2.8.3 Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam *paving block* terhadap volume benda (volume total). Porositas berhubungan erat dengan permeabilitas beton. Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal. Porositas menggambarkan besar kecilnya kekuatan beton dalam menopang suatu konstruksi. Semakin padat beton, semakin tinggi tingkat kepadatan maka semakin besar kuat tekan atau mutu beton serta kekuatannya dalam menyangga konstruksi yang lebih berat (Tumingan dkk, 2016).

### 2.8.4 Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu tolak ukur apakah beton nantinya dari

segi keawetan dapat diandalkan atau tidak. Absorpsi pada beton 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).

#### 2.8.5 Susut bakar

Uji susut bakar adalah perubahan dimensi atau volume bahan yang telah dibakar. Salah satu parameter yang menunjukkan terjadinya proses sintering adalah penyusutan akibat adanya perubahan mikrostruktur (butir atau batas butir) (Huda dan Hastuti, 2012).

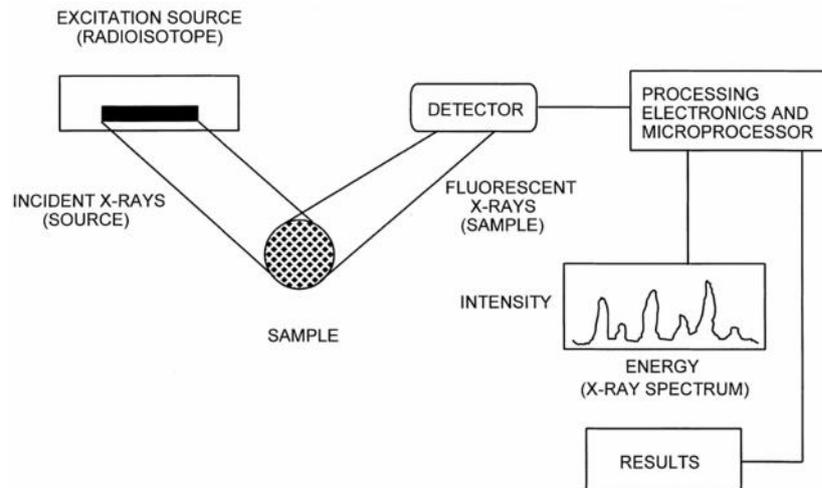
## 2.9 Sinar-X

### 2.9.1 XRF

XRF adalah alat uji yang digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jenkins, 1999).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila

energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X (Jamaludin dan Adiantoro, 2012). Jika elektron kulit yang diganti adalah elektron kulit K, maka emisi sinar-X dikenal sebagai sinar-X deret K. Demikian pula, transisi kulit L menghasilkan sinar-X deret L. Garis-garis spektrum sinar-X dikelompokkan secara seri (K, L, M). Semua garis dalam rangkaian hasil transisi elektron dari berbagai tingkatan ke kulit yang sama. Sebagai contoh, transisi dari kulit L dan M ke kulit K menyediakan garis spektral yang masing-masing disebut  $K\alpha$  dan  $K\beta$ . Spektrum sinar-X dihasilkan oleh semua elemen dalam sampel. Setiap elemen akan memiliki banyak garis karakteristik dalam spektrum, karena sinar-X yang berbeda akan dipancarkan untuk setiap jenis transisi orbital (Bertin, 1975). Adapun prinsip kerja XRF ditunjukkan pada Gambar 7.



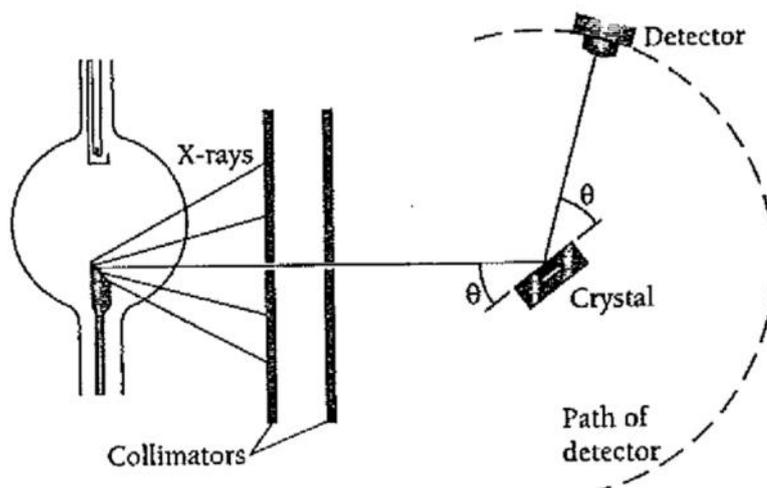
**Gambar 7.** Prinsip kerja XRF (Kalnicky and Singhvi, 2001).

Pada gambar diatas, apabila sumber eksitasi (tabung sinar-X, radioisotop) digunakan untuk menyinari sampel dalam proses pemedaran, kemudian fluoresensi sinar-X karakteristik dideteksi dan dianalisis, seluruh proses dihubungkan dengan komputer yang menyediakan kontrol instrumen umum, pembuatan data, dan pengolahan. Beberapa teknik yang berbeda dapat digunakan untuk menginduksi fluoresensi dalam sampel dan untuk mendeteksi atau menganalisis sinar-X karakteristik yang dilepaskan oleh sampel (Kalnicky dan Singhvi, 2001).

### 2.9.2 XRD

XRD adalah alat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui senyawa kristal yang terbentuk. Teknik XRD dapat digunakan untuk menganalisis struktur kristal karena setiap unsur atau senyawa memiliki pola tertentu. Apabila dalam analisis ini pola difraksi unsur diketahui, maka unsur tersebut dapat ditentukan. Metode difraksi sinar-X merupakan metode analisis kualitatif yang sangat penting karena

kristalinitas dari material pola difraksi serbuk yang karakteristik, oleh karena itu metode ini disebut juga metode sidik jari serbuk (*powder fingerprint method*). Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola difraksi serbuk tersebut, yaitu ukuran dan bentuk dari setiap selnya serta nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel (Smallman and Bishop, 2000). Adapun skema difraksi sinar-X ditampilkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Skema difraksi sinar-X (Beiser, 1963).

Peristiwa pembentukan sinar-X dapat dijelaskan yaitu pada saat menumbuk logam, elektron yang berasal dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada waktu mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X (Beiser, 1963).

Sinar-X tersebut kemudian menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.5)$$

dengan:  $d$  = jarak antar bidang dalam kristal

= sudut difraksi

$n$  = orde difraksi (0,1,2,3,.....)

= panjang gelombang

(Cullity, 1956).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2019 sampai dengan selesai di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Preparasi, Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupaball mill merk Yuema Helical Geat type TR67-A-D112.M4 no. 01307.30166, mixer B10 capacity 10 Liter serta rotation 360/164 rpm, beaker glass Pyrex made in Thailand, 100 mL; 50 mL, cetakan kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm, timbangan analog merk Five Goatcapacity 5 kg serta graduation 20 gr, timbangan digital merk Gold series Ohaus, panel electrical furnace, oven merk Memmert, gelas ukur Pyrex 100 mL, ayakan meshno. 60 dan 80, ember, cawan, tumbukan, spatula, mortar, pastel, mesin uji kuat tekan merk Wykeham Farrance Engineering model capacity 1500 KN, mesin uji XRF Type 7602 EA, dan mesin uji XRD Typenr 9430 030 40602.

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu mineral slag, agregat kasar atau batuan andesit dari Lampung Selatan, semen tipe PCC Baturaja, pasir dari Maringgai Lampung timur, dan air.

## 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dari penelitian ini adalah:

### 3.3.1 Pemeriksaan Bahan

#### a. Pasir dan Batuan Andesit

Pemeriksaan terhadap pasir dan batuan andesit yaitu dengan pengujian fisis seperti di bawah ini.

#### 1) Pengujian berat jenis

Langkah pengujian berat jenis pasir atau batuan andesit sebagai berikut.

- a. Menimbang pasir atau batuan andesit sebanyak 3 kali pengulangan dengan massa yang berbeda-beda.
- b. Memasukkan air ke dalam gelas ukur sebanyak 3 kali pengulangan dengan volume air yang berbeda-beda.
- c. Memasukkan pasir atau batuan andesit ke dalam gelas ukur yang telah berisi air pada masing-masing gelas ukur.
- d. Menghitung berat jenisnya.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.6)$$

$\rho$  = berat jenis pasir dan andesit

$m$  = massa pasir dan andesit

$v = \text{volume}$

## 2) Pemeriksaan kadar lumpur

Langkah-langkah pengujian kadar lumpur pasir dan batuan andesit sesuai dengan SNI 03-2461-2002 sebagai berikut:

- a. Menimbang 10 gr pasir atau batuan andesit dengan timbangan digital ( $w_1$ ).
- b. Memasukkan masing-masing pasir atau batuan andesit yang telah ditimbang ke dalam *beaker glass* 50 mL.
- c. Memasukkan air bersih sedikit demi sedikit sambil mengaduk pasir atau batuan andesit secara perlahan-lahan sampai warna air yang telah tercampur pasir atau batuan andesit benar-benar jernih dan bersih.
- d. Kemudian menaruh masing-masing pasir atau batuan andesit di dalam cawan dan mengeringkan dalam oven selama 4 jam. Selanjutnya menimbang beratnya ( $w_2$ ).
- e. Menghitung kadar lumpur pasir atau batuan andesit.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan:  $w_1$  = berat pasir awal (gr)

$w_2$  = berat pasir setelah dikeringkan dalam oven (gr)

## 3) Pemeriksaan kadar air

Prosedur pemeriksaan kadar air pada pasir dan batuan andesit sesuai dengan ASTM D-2216 sebagai berikut:

- a. Menimbang cawan yang akan digunakan (a) dan Memasukkan masing-masing benda uji yaitu pasir atau

batuan andesit ke dalam cawan dan menimbanginya (b).

- b. Memasukkan cawan yang berisi pasir atau batuan andesit ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 2 jam.
- c. Menimbang masing-masing cawan yang berisi pasir atau batuan andesit yang sudah dioven (c) dan menghitung persentase kadar air.

$$\text{Kadar air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan: a = berat cawan (gr)

b = berat cawan dan pasir atau batuan andesit  
(gr)

c = berat cawan berisi pasir atau batuan  
andesit setelah dioven (gr).

#### 4) Pemeriksaan Absorpsi

Langkah-langkah pengujian absorpsi pasir dan batuan andesit sesuai dengan SNI 1970-2008 sebagai berikut:

- a. Menimbang 10 gr pasir atau batuan andesit menggunakan timbangan digital (A).
- b. Memasukkan pasir atau batuan andesit ke dalam *beaker glass* 100 mL.
- c. Memasukkan air hingga pasir atau batuan andesit terendam seluruhnya dan mendinginkan pasir selama 4 jam.
- d. Membuang air, namun mengusahakan pasir atau batuan andesit jangan sampai ikut terbang.
- e. Menimbang pasir atau batuan andesit kembali (B) dan

menghitung persentase absorpsi pasir atau batuan andesit.

$$\text{Absorpsi} = \frac{B-A}{B} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan: A = berat pasir atau batuan andesit awal (gr),

B = berat pasir atau batuan andesit setelah direndam air selama 4 jam (gr).

b. Semen

Dalam penelitian ini, pemeriksaan semen hanya dilakukan dengan pemeriksaan visual. Semen diamati warna dan kehalusan butirnya, kemudian jika terdapat gumpalan maka gumpalan semen tersebut dihancurkan sehingga butirannya benar-benar halus.

c. Mineral slag

Pemeriksaan terhadap mineral slag yaitu dengan karakterisasi menggunakan XRF dan XRD pada mineral slag.

d. Air

Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual yaitu air harus bersih.

### 3.3.2 Preparasi Bubuk Mineral slag

Langkah-langkah preparasi mineral slag sebagai berikut:

- a. Menghancurkan bongkahan batuan slag menggunakan *jaw crusher*.
- b. Memasukkan mineral slag ke dalam *ball mill*.

- c. Menutup rapat pintu pemasukan *ball mill* dengan menggunakan kunci L.
- d. Menekan tombol *on* pada *ball mill*, lalu menggiling mineral slag selama  $\pm 3$  jam hingga mineral slag benar-benar halus.
- e. Setelah melalui proses *ball milling*, mengayak bubuk mineral slag dengan ayakan mesh 60 dan mesh 80.
- f. Mineral slag yang telah halus siap digunakan.
- g. Karakterisasi bubuk mineral slag dengan XRF dan XRD.

### 3.3.3 Komposisi Benda Uji

Komposisi benda uji ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Komposisi benda uji.

No	Mesh 60 dan 80				Standar
	5%	15%	25%	35%	
Kebutuhan semen (gr)	126,635	113,305	99,975	86,645	133,3
Kebutuhan pasir (gr)	399,9	399,9	399,9	399,9	399,9
Kebutuhan mineral slag (gr)	6,665	19,995	33,325	46,655	0
Kebutuhan batuan andesit (gr)	466,6	466,6	466,6	466,6	466,6
Kebutuhan air (ml)	100	100	100	100	100

### 3.3.4 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji *pavng block* berdasarkan ASTM C311:

- a. Menimbang masing-masing komposisi campuran bahan dengan

variasi bubuk slag 0, 5, 15, 25, dan 35 (%) dari berat semen seperti Tabel 7.

- b. Memasukkan semua bahan pada masing-masing komposisi campuran ke dalam wadah *mixer*.
- c. Menghidupkan *mixer* sambil diberi air dan diaduk hingga homogen selama 10 menit.
- d. Mematikan *mixer*, lalu mengeluarkan adonan.
- e. Memasukkan adonan yang telah dikeluarkan dari *mixer* ke dalam cetakan kubus ukuran  $(5 \times 5 \times 5) \text{ cm}^3$ .
- f. Pengisian dilakukan lapis per lapis dan dipadatkan  $\pm 10$  kali.
- g. Meratakan permukaan kubus dengan menggunakan sendok perata.
- h. Memberi kode sampel pada benda uji dan mendinginkan selama 24 jam serta dikeluarkan dari cetakan.
- i. Perawatan benda uji *paving block (curing)* dilakukan dengan merendam benda uji kedalam ember yang sudah berisi air sampai umur 14 hari.

### 3.3.5 Pengujian Benda Uji

Tahap pelaksanaan pengujian benda uji pada penelitian sebagai berikut:

#### a. Kuat tekan

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

1. Menyiapkan benda uji yang telah diangkat dari air dan telah didiamkan selama semalam.
2. Meletakkan benda uji simetris dengan mesin uji kuat tekan.
3. Melihat benda uji 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 rumus sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (9)$$

dengan : A = luas permukaan benda uji (cm<sup>2</sup>)

P = beban (kg)

f'c = kuat tekan (kg/cm<sup>2</sup>).

b. Porositas dan Absorpsi

Langkah-langkah pengujian porositas dan absorpsi sesuai dengan SNI 1969:2008 sebagai berikut:

1. Menimbang 10 gr sampel menggunakan timbangan digital (A).
2. Memasukkan sampel ke dalam *beaker glass* 100 mL.
3. Memasukkan air hingga sampel terendam seluruhnya dan mendiamkan pasir selama 4 jam.
4. Membuang air, namun mengusahakan sampel jangan sampai ikut terbuang.
5. Menimbang sampel kembali (B) dan menghitung persentase absorpsi dan porositas sampel.

$$\text{Porositas} = \frac{V_2 - W_1}{V} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100 \% \quad (10)$$

$$\text{Absorpsi} = \frac{V_2 - W_1}{V_2} \times 100\% \quad (11)$$

Dengan:  $w_1$  = berat sampel awal (gr),

$w_2$  = berat sampel setelah direndam air selama 4 jam (gr).

$V$  = volume ( $\text{cm}^3$ )

$\rho_{\text{air}}$  = massa jenis air ( $\text{gr}/\text{Cm}^3$ )

c. Susut Bakar

Langkah-langkah pengujian susut bakar sebagai berikut:

- a. Mengukur setiap sisi sampel dan menimbang beratnya dalam keadaan kering oven (A).
- b. Membakar sampel menggunakan *furnace* pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 2 jam.
- c. Mendinginkan sampel yang telah dibakar.
- d. Menimbang kembali sampel (B) dan menghitung dengan rumus sebagai berikut:

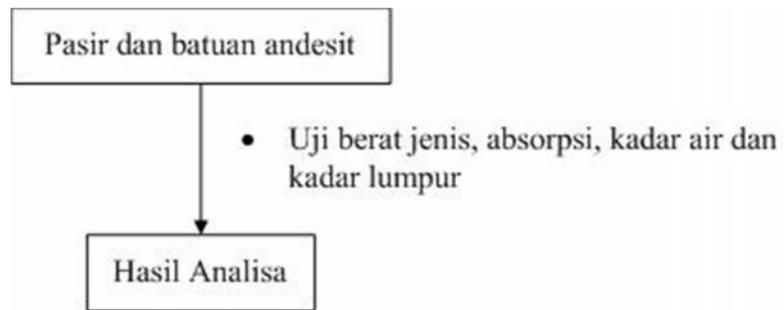
$$\text{Uji susut bakar} = \frac{A-B}{A} \times 100 \% \quad (12)$$

Dengan: A = berat benda uji sebelum dibakar (gr)

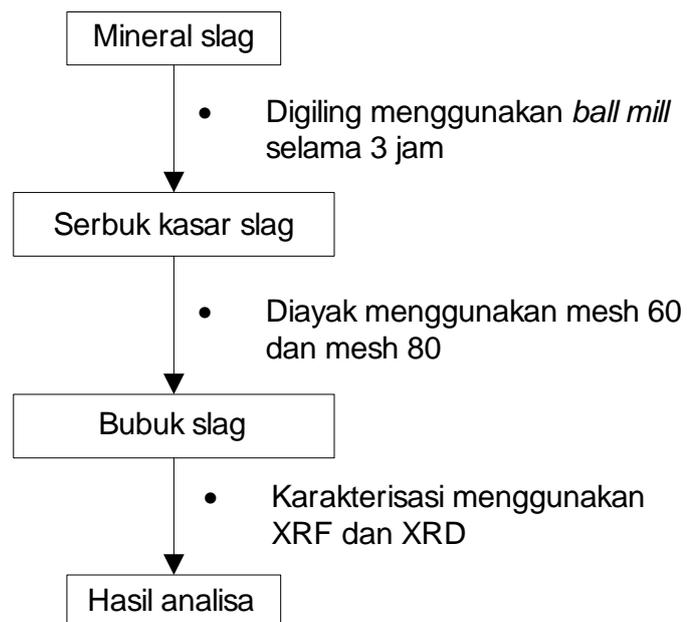
B = berat benda uji setelah dibakar (gr)

### 3.4 Diagram Alir

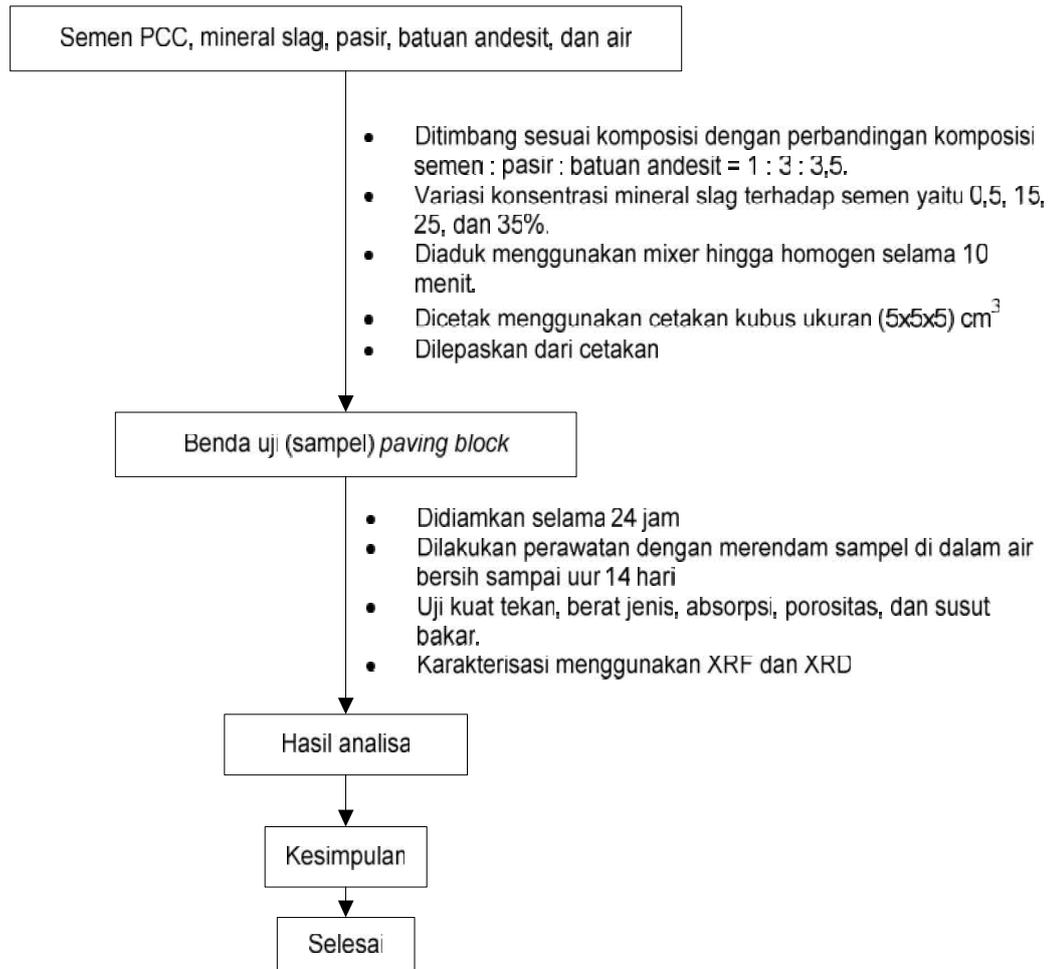
Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir berikut.



**Gambar 9.** Diagram alir pemeriksaan bahan pasir dan batuan andesit



**Gambar 10.** Diagram alir preparasi dan pengujian mineral slag



**Gambar 11.** Diagram alir sampel *paving block*

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji fisis pada semua jenis sampel diperoleh hasil terbaik yaitu mesh 80 pada konsentrasi mineral slag 5% dengan nilai kuat tekan 9,652 MPa, berat jenis 2,70 gr/cm<sup>3</sup>, absorpsi 5,88%, porositas 0,57%, dan susut bakar 6,94%.
2. Hasil karakterisasi menggunakan XRD pada sampel *paving block* diperoleh fasa yang terbentuk yaitu fasa *Gismondine* (Ca Al<sub>2</sub> O<sub>8</sub>4H<sub>2</sub>O), *Quartz* (SiO<sub>2</sub>), *Calcite* (Ca CO<sub>3</sub>), dan C-S-H (1.5CaO SiO<sub>2</sub> x H<sub>2</sub>O).
3. *Paving block* pada penelitian ini termasuk ke dalam *paving block* tipe D. Dilihat dari nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 8,612 MPa, 9,115 MPa, 9,625 MPa. Pada variasi substitusi mineral slag berturut-turut sebesar 0%, 5% mesh 60, dan 5% mesh 80.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penelitian dengan menggunakan konsentrasi mineral slag antara 0% - 5%.
2. Perlu dilakukannya pengujian menggunakan SEM dengan tujuan agar struktur mikro yang terbentuk pada sampel *paving block* dapat diketahui dengan jelas.
3. Untuk penambahan mineral slag terhadap substitusi semen sebaiknya menggunakan mineral slag yang setara tingkat kehalusannya dengan semen, agar diperoleh kuat tekan yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F. 2014. Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan *Paving Block*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 10(1): 1-11. ISSN: 1858-2133.
- Aditya, Hendra dan Mukhlis. 2012. Kajian Kuat Tekan Beton ( *Compressive Strength* ) pada Beton dengan Campuran Abu Serabut Kelapa (Ask). *Rekayasa Sipil*. Volume VII. Nomor 2.
- Ajiriyanto, Maman, K., Aslina, Br. G, Junaedi. 2018. Analisis Metalografi Pelat Elemen Bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al Pasca Iradiasi Densitas 2,96 Gu/Cm<sup>3</sup>. *Jurnal Urania*. Vol. 24 No. 1.
- Alexander, Hendra dan Mukhlis. 2011. Kajian Kuat Tekan Beton ( *Compressive Strength* ) pada Beton dengan Campuran Abu Serabut Kelapa (Ask). *Rekayasa Sipil*. Volume VII. Nomor 2.
- Al-Rawas, A.A., Hago, A.W., Corcoran, T.C., Al-Ghafri, K.M. 1998. Properties of Omani artificial pozzolana sarooj. *Applied Clay Science*. Vol. 13. pp. 275-292.
- Andriati, 1996. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- 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*. 31:4039-4042.
- ASTM C311. 1994. *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 C 618-86. *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. American Society for Testing and materials (ASTM) International.
- ASTM C 618-92a. *Standard Specification of Pozzolan*. American Society for Testing and Materials (ASTM) International.

ASTM D-2216. *Standard Method of Laboratory Determination of Moisture Content of Soil*. American Society for Testing and Materials (ASTM) International.

Aulia, T. B., Muhammad A., Muttaqin., dan Muhammad, Z. 2018. Studi Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Menggunakan *Flyash Geopolymer* dan Abu Cangkang Sawit sebagai Substitusi Semen. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*.

Beiser, A. 1963. *Konsep Fisika Modern*. Erlangga. Jakarta.

Bertin, E.P. 1975. *Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 2nd Edition*. Plenum Press. New York.

Brook, F. A, dan Murdock, A. 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Cullity, B.D. 1956. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. United States of America.

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. 2007. Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cement paste. *Journal Construction and Building Materials*. Vol. 21. pp. 1534–1541.

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*. hal 50-56.

Delvita, H., Djamas, D., dan Ramli. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi terhadap Karakteristik Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$  dalam Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) yang terdapat di Kabupaten Pasaman. *Pillar of Physics*. 6: 17-24.

Fansuri, H. 2010. *Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa. LPPM ITS.

Hambali, M., Lesmania, I., Midkasna, A. 2013. Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia*. 19(4): 14-21.

Huda, M., dan Hastuti, E. 2012. Pengaruh Temperatur Pembakaran dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bara. *Jurnal Neutrino*. Vol. 4. No. 2.

Irawati, N., Putri, N. T., dan Alexie, H. 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*. 14(1):159-172. ISSN 2088-4842.
- Jamaludin, A., dan Adiantoro, D. 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*. No. 09-10 / Tahun V.
- Jenkins, R. 1999. *X-Ray Fluorescence Spectrometry, Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York. Hal. 75-85.
- Kalnicky, D.J., and Singhvi, R. 2001. Field Portable XRF Analysis of Environmental Samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. Hal. 93-122.
- Kadhafi, M. 2015. Pemanfaatan Copper Slag sebagai Substitusi Semen pada Campuran Beton Mutu K-225. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 3. No. 1.
- Khosama, L. K. 2012. Kuat Tekan Beton Beragregat Kasar batuan Tuff Merah, Batuan Tuff Putih, dan Batuan Andesit. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. 2(1): 1-10. Hal 273-278. ISSN 2087-9334.
- Kriswarini, R., Anggraini, D dan Agus, D. 2010. Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence) secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn dan Fe dalam Paduan Aluminium. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. ISSN 1978-0176.
- 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 Aashto T209. *Jurnal Sipil Statik*. 1(2): 128-132.
- Malhotra, V.M., and Metha, P.K. 1996. *Pozzolanic and Cementitious Materials*. Overseas Publishers Association. Amsterdam.
- Massazza, F. 1988. *Pozzolana and Pozzolanic Cements, In: Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Edited by Peter C. Hewlett. Butterworth-Heinemann, Oxford. Hal. 471-602.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Murdock, L. J. and Brook, K. M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Keempat*. Terjemahan oleh Stephanus Hindarko. Jakarta: Erlangga.
- Mustika, W. 2016. Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dalam Campuran Beton. *Jurnal Spektran*. Vol.4. No. 2.
- Nishikant, K., Nachiket, A., Inamdar, A., and Abhisek, S. 2016. Manufacturing of Concrete Paving Block by Using Waste Glass Material. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 6(6): 61-77. ISSN 2250-3153.

- Nurzal dan Putra, W.F. 2014. Pengaruh Waktu Pengeringan dengan Penambahan 5% Berat *Fly Ash* Melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas pada Pembuatan *Paving Block*. *Jurnal Teknik Mesin*. No. 4. Vol. 2. Hal. 59-67.
- Opoczky, L. 1992. Progress of the particle size distribution during the intergrinding of a clinker-limestone mixture. *Zement-Kalk-Gips*. Vol. 45. pp. 648–651.
- Pamuji, A. L. 2007. Pengaruh Penambahan Tras Muria sebagai Bahan Ikatan Tambahan pada Pembuatan *Paving Block* Ditinjau Terhadap Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus dan Serapan Air [*Skripsi*]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Paul, H. L dan Antoni, A. 2007. Pengaruh Kadar Lumpur pada Agregat Halus dalam Mutu Beton. *TEKNIK*. 33(2): 46-52. ISSN 0852-1697.
- Pradana, T., Monita, O., dan Iskandar, R., S. 2016. Kuat Tekan dan Porositas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut. *Jurnal FTEKNIK*. Vol. 3. No. 2.
- Pratapa, S. 2004. *Bahan Kuliah Difraksi Sinar-X*. Surabaya: ITS
- Rajiman. 2015. Pengaruh Material Alam Lampung sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Beton. *Jurnal Kelitbangan*. Vol. 03. No. 03. Hal. 273-287.
- Ramadhan, Randi., Y. 2016. Pengaruh Penambahan *Steel Slag* dan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Sebagian Sifat Beton Segar dan Beton Keras. *Jom FTEKNIK Volume 3 No.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*. 1(1):1-7.
- Riyaldi, A. 2015. Studi Eksperimental *Paving Block* Komposit Concrete Foam Diperkuat Serat TKKS Akibat Beban Tekan Statik [*Skripsi*]. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Rosianda, Yonna. 2016. Sifat Mekanis Beton Dengan Menggunakan *Steel Slag* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen. *Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2*.
- Sari, R. A. I., Wallah, S. E., dan Reky, S.W. 2015. Pengaruh Jumlah Semen dan FAS Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik*. 3(1): 68-76. ISSN: 2337-6732.
- Sariisik, A., Sariisik, G., and Ahmet, S. 2011. Applications of Glaze and Decor on Dimensioned Andesites Used in Construction Sector. *Construction and Building Materials*. No. 25. Hal. 3694-3702.

- Senhadji, Y., Escadeillas, G., Khelafi, H., Mouli, M., and Benosman, A.S. 2012. Evaluation of natural pozzolan for use as supplementary cementitious material. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Vol. 16. No. 1. pp. 77–96.
- Siagian, H., dan Hutabalian, M. 2012. Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi. *Jurnal Saintika*. Vol. 12. No. 1. Hal. 14-23.
- SK SNI S-04-1989-F. *Bata Beton Berlubang (Hollow Brick)*.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Soehardjono, A., Prastumi, Hidayat, T., dan Prawito, G., S. 2013. Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* sebagai Pengganti Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kemampuan Resapan Air Struktur *Paving*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 7(1):74-80. ISSN 1978-5658.
- SK SNI S-04-1989-F. *Bata Beton Berlubang (Hollow Brick)*.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1969:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1989. *Bata Beton untuk Lantai*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2493-1991. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-1993. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996. *Pembuatan Bata Beton*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2461-2002. *Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-0302-2004. *Semen Portland Pozzolan*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Indonesia.

- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Stepanus, R. A., Bintang, dan Jamilah. 2014. Pengaruh Beberapa Kehalusan Tepung Batuan Andesit dan Pengekstrak Terhadap Ketersediaan Hara
- Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sumekto, A dan Rahmadiyanto, R. 2001. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- 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*. 5(2): 68-75. ISSN 1978-5658.
- Thomas, M. 2013. *Supplementary Cementing Materials in Concrete*. Taylor and Francis Group. New York. Hal. 161-165.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Tokede I.G.B.E. dan Sadisun, I. A. 2000. Studi petrografi batuan vulkanik sebagai agregat bahan baku beton. *Buletin Geologi*. Vol. 32. No. 3.
- Tokuy, M. 2016. *Cement and Concrete Mineral Admixtures*. Taylor & Francis Group. New York. Hal. 1-4.
- Trianto dan Hutomo, B. 2011. Pemanfaatan Limbah Sandblasting Sebagai Bahan Campuran Paving Block. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. 1(1):81-86.
- Tugino. 2010. Model Kuat Tekan dan Tarik Proporsi Tras Muria Dengan Kapur untuk Bahan Dasar Mortar. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. Vol. 1. No. 12. Hal. 1-10.
- Tumingan, Tjaronge, M. W., Victor, S., dan Rudy, D. 2016. Penyerapan dan Porositas Pada Beton Menggunakan Bahan Pond Ash Sebagai Pengganti Pasir. *POLITEKNOLOGI*. 15(1).
- Ultisol. *Jurnal Online Agroetnologi*. 2(2): 884-892. ISSN No. 2337-6597.
- Wahyu, I.M.A.K. 2010. Pengaruh jenis semen dan jenis agregat kasar terhadap kuat tekan beton. *Teknologi dan Kejuruan*. Vol. 31. No.1. Hal. 63-70.
- Waseda, Y., Eiichiro, M., Kozo, S. 2011. *X-Ray Diffraction Crystallography Introduction, Examples and Solved Problem*. London New York: Springer Heidelberg Dordrecht.

- Wibowo, A. 2017. Perbandingan Kuat tekan dan Serapan Air *Paving Block Hydraulic* dengan Variasi Campuran Semen [Artikel Ilmiah]. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 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*. 5(1):51-59. ISSN 2008-0561.
- Widjanarko, S. B., dan Suwasito, T. S. 2014. Pengaruh Lama Penggilingan Dengan Metode Ball Mill Terhadap Rendemen Dan Kemampuan Hidrasi Tepung Porang (*Amorphopallus muelleri* Blume). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2(1): 79-85.
- Widjojoko, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. 1(1): 52-59.
- Wilkana, Iwan dan Gulo, D. 2012. Pengaruh Penambahan Tumbukan Batu Bata Merah dan Pengurangan Semen terhadap Kuat Tekan Serta Keausan *Paving Block*. *MAJALAH ILMIAH UKRIM*. Edisi. 2.
- Wirma, Rizki. 2016. Sifat Mekanis Beton Akibat Pengaruh *Steel Slag* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dengan Agregat Lokal Riau. *Jom FTEKNIK*. vol. 2. No. 2.
- 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*.
- Zainul, Djamaluddin dan Habibie Anwar. 2018. Analisis perbandingan Substitusi Slag pada Semen dan Pasir pada Campuran Beton Mutu K-225 pada PT IMIP Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine*. Vol. 6. No. 2.