

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BERAT MINERAL BASALT
LAMPUNG SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI SEMEN
PADA PRODUK MORTAR**

(Skripsi)

Oleh

SEPTA ARIO



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BERAT MINERAL BASALT LAMPUNG SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI SEMEN PADA PRODUK MORTAR

Oleh

SEPTA ARIO

Basalt Lampung yang digunakan berupa bubuk tanpa dan dengan dikalsinasi suhu 900°C. Sampel mortar dibuat dengan metode pengadukan basah yang terdiri dari campuran semen, pasir, air dan bubuk basalt. Hasil uji menunjukkan bahwa basalt tanpa dan dengan dikalsinasi masing-masing memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebesar 82,175% dan 82,19%, berat tertinggal di atas ayakan 45 μm sebesar 0,66% dan 1,0% serta fasa yang terbentuk diantaranya adalah fasa *anorthite*, *augite*, *augite aluminian*, *forsterite*, *quartz* dan *silicon oxide*. Sampel mortar semen OPC substitusi basalt tanpa dan dengan dikalsinasi memiliki kuat tekan tertinggi masing-masing pada konsentrasi 5% dan 20% dengan porositas sebesar 2,4% dan 2,4%, absorpsi sebesar 1,29% dan 1,30% serta kuat tekan masing-masing sebesar 24,97 MPa dan 24,16 MPa. Sampel mortar semen PCC substitusi basalt tanpa dan dengan dikalsinasi memiliki kuat tekan tertinggi pada konsentrasi yang sama yaitu 5% dengan porositas sebesar 4,8% dan 4,8%, absorpsi sebesar 2,52% dan 2,50% serta kuat tekan masing-masing sebesar 22,55 MPa dan 21,11 MPa. Fasa yang terbentuk pada mortar semen OPC dan PCC yaitu CSH, *portlandite*, *calcite* dan *quartz*. Fasa CASH juga muncul pada mortar semen PCC. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi konsentrasi berat basalt pada semen OPC dan PCC mempengaruhi sifat dan karakteristik produk mortar.

Kata kunci: basalt, mortar, semen OPC dan PCC, struktur fasa, kuat tekan.

ABSTRACT

EFFECT OF WEIGHT CONCENTRATION VARIATION OF LAMPUNG BASALT MINERALS AS CEMENT SUBSTITUTION MATERIAL ON MORTAR PRODUCTS

By

SEPTA ARIO

Lampung basalt's used in the form of powder without and with calcined temperature of 900°C. Mortar samples are made by wet stirring method which consists of a mixture of cement, sand, water and basalt powder. The test results showed that basalt without and with calcined each contained SiO₂, Al₂O₃, and Fe₂O₃ amounting to 82,175% and 82,19%, the weight left on the 45µm sieve was 0,66% and 1,0% and the phases formed included are the phases of *anorthite*, *augite*, *augite aluminian*, *forsterite*, *quartz* and *silicon oxide*. OPC cement mortar samples of basalt substitution without and with calcined had the highest compressive strength at concentrations of 5% and 20% with porosity are 2,4% and 2,4%, absorption are 1,29% and 1,30% and compressive strength respectively 24,97 MPa and 24,16 MPa. PCC cement mortar samples of basalt substitution without and with calcined had the highest compressive strength at the same concentration of 5% with porosity are 4,8% and 4,8%, absorption are 2,52% and 2.50% and compressive strength respectively at 22,55 MPa and 21,11 MPa. Phases are formed on OPC and PCC cement mortars are CSH, *portlandite*, *calcite* and *quartz*. CASH phase also appeared on PCC cement mortar. These results indicate that variations in basalt weight concentration on OPC and PCC cement affect the properties and characteristics of mortar products.

Keywords: basalt, mortar, OPC and PCC cement, phase structure, compressive strength.

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BERAT MINERAL BASALT
LAMPUNG SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI SEMEN
PADA PRODUK MORTAR**

Oleh

Septa Ario

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
BERAT MINERAL BASALT LAMPUNG
SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI SEMEN
PADA PRODUK MORTAR**

Nama Mahasiswa

: Septa Ario

Nomor Pokok Mahasiswa : 1417041081

Jurusan

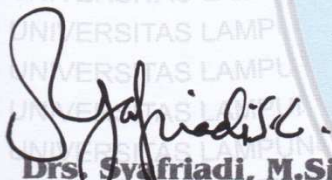
: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Drs. Syafriadi, M.Si.

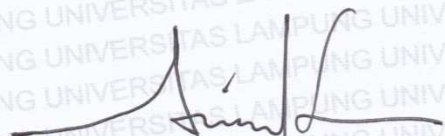
NIP. 19610821 199203 1 002



Slamet Sumardi, S.Si., M.T.

NIP. 19790426 200604 1 005

2. Ketua Jurusan Fisika



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

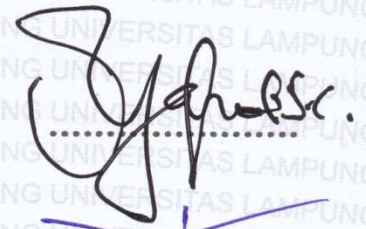
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

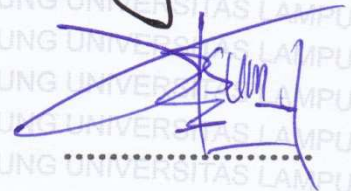
Ketua

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



Sekretaris

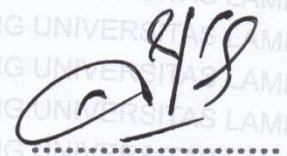
: **Slamet Sumardi, S.Si., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing

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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **11 April 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, 25 April 2019



Septa Ario
NPM. 1417041081

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Trimurjo, Kecamatan Trimurjo, Kabupaten Lampung Tengah pada tanggal 15 September 1996. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Sutarmin dan Ibu Rini Mistiyah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 2 Trimurjo pada tahun

2008, SMPN 2 Trimurjo pada tahun 2011 dan SMAN 2 Metro pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN dan menerima beasiswa bidikmisi.

Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Material dan pernah menjadi asisten praktikum Sains Dasar dan Fisika Dasar. Pada tahun 2017, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan di Bidang Sains Bahan Maju PSTBM BATAN, Puspiptek, Tangerang Selatan dan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata di desa Tanjung Betuah, Cukuh Balak, Tanggamus. Kemudian penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat Mineral Basalt Lampung sebagai Material Substitusi Semen pada Produk Mortar” sebagai skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

Lakukan apa yang seharusnya dilakukan, karena tiap detik yang terlewat takkan pernah terulang.

Kegagalan itu pasti, tapi kesuksesan selalu mengiringinya.

Bersyukur dan bersabar dalam segala keadaan.

Berdo'a dan berusaha maksimal dalam kebaikan.



PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala
kupersembahkan karya ini untuk orang-orang
yang kucintai dan kusayangi

Bapakku Sutarmin dan Ibu Rini Mistiyah

Kedua orang tuaku yang selalu mendo'akanku,
mengasihiku dan menyayangiku

Keluargaku

Untuk kakakku Apri yang selalu mendukung
dan memberikan semangat

Para Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas kebaikan dan kebersamaan
yang telah kita lalui

Dan

Universitas Lampung

Almamater tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat Mineral Basalt Lampung sebagai Material Substitusi Semen pada Produk Mortar”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Bandar Lampung, April 2019

Penulis

Septa Ario

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena atas karunia-Nya penulis masih diberikan kesempatan menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak memberikan do'a, motivasi, bimbingan dan dukungan terutama kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapakku Sutarmin dan Ibuku Rini Mistiyah yang tidak pernah berhenti mendo'akan dan memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Pembimbing I sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama perkuliahan dan dalam menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
3. Bapak Slamet Sumardi, S.Si., M.T., selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., selaku Penguji yang telah memberikan kritik dan saran selama penulisan skripsi.
5. Bapak Muhammad Amin, S.T. selaku Pembimbing Lapangan yang senantiasa membimbing dalam melakukan penelitian sampai menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

8. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak Driszal Fryantoni, M.Eng.Sc., selaku Kepala Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI yang telah memberikan izin penelitian serta memberikan fasilitas selama penulis melakukan penelitian.
10. Kepala Laboratorium Bahan dan Kontruksi Teknik Sipil yang telah memberikan izin untuk melaksanakan uji penelitian dan beserta staf-staf yang telah membantu menyelesaikan uji kuat tekan.
11. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak membekali ilmu bagi penulis selama perkuliahan.
12. Seluruh staf dan karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas segala bantuannya.
13. Seluruh staf dan karyawan di BPTM - LIPI atas segala bantuannya.
14. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung dan membantu satu sama lain: Ipruddin, Eka, Santi, Dhohir, Dani, Ulum, Intan, Riska, Mizna, Fida, Eli, #SahabatHimafi dan lain-lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
15. Teman-teman Fisika angkatan 2014 yang selama ini memberikan semangat. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan nikmat iman dan sehat kepada kita semua, Aamiin.

Bandar Lampung, April 2019

Septa Ario

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batuan Basalt	6
2.1.1 Karakteristik Batuan Basalt.....	6
2.1.2 Komposisi dan Mineralogi Batuan Basalt.....	7
2.2 Semen.....	9
2.2.1 Semen <i>Portland</i>	9
2.2.2 Jenis-Jenis Semen <i>Portland</i>	10
2.3 Pozzolan.....	12
2.3.1 Jenis-Jenis Pozzolan.....	13
2.3.2 Persyaratan Material Pozzolan.....	14
2.4 Mortar	15
2.4.1 Tipe dan Spesifikasi Mortar	16
2.4.2 Bahan Penyusun Mortar	17
2.5 <i>Ball Milling</i>	19
2.6 Kalsinasi.....	19
2.7 Karakterisasi dan Pengujian.....	20
2.7.1 Sinar-X	20
2.7.2 Kuat Tekan	26
2.7.3 Porositas dan Absorpsi	27

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.3 Prosedur Penelitian	30
3.3.1 Preparasi Bubuk Basalt	30
3.3.2 Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	30
3.3.3 Pengujian Tingkat Kehalusan	31
3.3.4 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	32
3.3.5 Pemeriksaan Bahan Baku Mortar	32
3.3.6 Pembuatan Benda Uji Mortar	36
3.3.7 Pengujian Kuat Tekan Mortar.....	37
3.3.8 Pengujian Sifat Fisis Mortar	37
3.4 Diagram Alir	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Basalt	40
4.1.1 Hasil Analisa XRF Basalt	40
4.1.2 Hasil Analisa Tingkat Kehalusan.....	41
4.1.3 Hasil Karakterisasi XRD Basalt.....	42
4.2 Hasil Pengujian Mortar	45
4.2.1 Hasil Pemeriksaan Bahan Baku	45

4.2.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar	47
4.2.3	Hasil Analisa Indeks Keaktifan Kekuatan	52
4.2.4	Hasil Pengujian Sifat Fisis Mortar	53
4.2.5	Hasil Analisa XRF Mortar	58
4.2.6	Hasil Karakterisasi XRD Mortar.....	60

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Batuan basalt <i>fine-grained</i> basalt (kiri) dan <i>vesicular</i> basalt (kanan) (Bonewitz, 2012).....	7
Gambar 2.2. Tabung sinar-X (Beiser, 1963).....	21
Gambar 2.3. Prinsip kerja XRF (Kalnicky and Singhvi, 2001)	23
Gambar 2.4. Skema difraksi sinar-X.....	24
Gambar 2.5. Pembentukan sinar-X sebagai akibat transisi elektron.....	25
Gambar 2.6. Ilustrasi benda uji kubus mortar (a) dan mesin pengujian kuat tekan (b)	27
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan pengujian bubuk basalt	38
Gambar 3.2. Diagram alir pemeriksaan bahan pasir	39
Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan dan pengujian benda uji mortar	39
Gambar 4.1. Difraktogram XRD sampel basalt tanpa kalsinasi (simbol: $\triangle$ = <i>anorthite</i> , $\bigcirc$ = <i>augite</i> , $\square$ = <i>forsterite</i> , $\bullet$ = <i>quartz</i>)	43
Gambar 4.2. Difraktogram XRD sampel basalt dengan dikalsinasi suhu 900°C (simbol: $\triangle$ = <i>anorthite</i> , $\bigcirc$ = <i>augite aluminian</i> , $\square$ = <i>forsterite</i> , $\bullet$ = <i>silicon oxide</i>)	44
Gambar 4.3. Kuat tekan mortar semen OPC variasi konsentrasi berat basalt.....	48
Gambar 4.4. Kuat tekan mortar semen PCC variasi konsentrasi berat basalt.....	50
Gambar 4.5. Indeks keaktifan kekuatan pozzolan dengan umur uji 28 hari	52
Gambar 4.6. Porositas mortar semen OPC variasi konsentrasi berat basalt	53

Gambar 4.7. Absorpsi mortar semen OPC variasi konsentrasi berat basalt.....	54
Gambar 4.8. Porositas mortar semen PCC variasi konsentrasi berat basalt	55
Gambar 4.9. Absorpsi mortar semen PCC variasi konsentrasi berat basalt.....	56
Gambar 4.10. Difraktogram XRD mortar semen OPC variasi basalt tanpa kalsinasi konsentrasi 0%, 5%, 10% dan 20% (simbol: ● = <i>quartz</i> , ❖ = CSH, ◆ = <i>portlandite</i> , ■ = <i>calcite</i>)	60
Gambar 4.11. Difraktogram XRD mortar semen PCC variasi basalt tanpa kalsinasi konsentrasi 0%, 5% dan 20% (simbol: ▲ = CASH, ■ = <i>calcite</i> , ● = <i>quartz</i> , ❖ = CSH, ◆ = <i>portlandite</i>).....	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi kimia batuan basalt	8
Tabel 2.2. Senyawa utama penyusun semen <i>portland</i> (Neville, 1995).....	9
Tabel 2.3. Kandungan kimia dan sifat fisik semen OPC	11
Tabel 2.4. Kandungan kimia dan sifat fisik semen PCC.....	12
Tabel 2.5. Persyaratan kimia pozzolan berdasarkan ASTM C618	15
Tabel 2.6. Persyaratan fisik pozzolan berdasarkan ASTM C618	15
Tabel 3.1. Komposisi benda uji mortar dengan campuran semen OPC.....	36
Tabel 3.2. Komposisi benda uji mortar dengan campuran semen PCC.....	37
Tabel 4.1. Hasil pengujian XRF sampel basalt.....	40
Tabel 4.2. Hasil pengujian tingkat kehalusan bubuk basalt.....	41
Tabel 4.3. Hasil analisa pengujian pasir.....	46
Tabel 4.4. Hasil uji kuat tekan mortar semen OPC variasi konsentrasi basalt....	47
Tabel 4.5. Hasil uji kuat tekan mortar semen PCC variasi konsentrasi basalt....	47
Tabel 4.6. Hasil pengujian XRF mortar semen OPC variasi konsentrasi berat bubuk basalt tanpa kalsinasi.....	58
Tabel 4.7. Hasil pengujian XRF mortar semen PCC variasi konsentrasi berat bubuk basalt tanpa kalsinasi.....	59

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang mempunyai sumber daya mineral logam maupun non-logam yang cukup melimpah di alam. Salah satu sumber daya mineral non-logamnya yaitu batuan basalt. Berdasarkan data yang berasal dari Pusat Sumber Daya Geologi – Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2014, Indonesia memiliki sumber daya mineral non-logam basalt berjumlah 6.282.661.980 ton. Sedangkan menurut Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Lampung cadangan batuan basalt yang tersebar di daerah berjumlah 318.480.000 ton. Di Provinsi Lampung, batuan basalt tersebar di berbagai kabupaten salah satunya di Kabupaten Lampung Timur dengan karakteristik yang umumnya memiliki bentuk berlubang gas atau berongga (Supardan dkk, 2006).

Basalt merupakan salah satu jenis batuan beku yang terbentuk dari pembekuan magma di permukaan bumi, bersifat basa, dan berwarna abu-abu kehitaman. Batuan basalt pada umumnya hanya digunakan sebagai pondasi jalan, jembatan, bangunan, maupun sebagai agregat. Berdasarkan hasil penelitian, basalt memiliki kandungan kimia: 56,15% SiO₂, 17,37% Al₂O₃, 4,62% Fe₂O₃, 8,25% CaO, 6,90% MgO, 2,38% K₂O, 0,99% TiO₂ dan 0,46% MnO (Amin dan Suharto, 2017).

Dengan jumlah kandungan seperti SiO_2 , Al_2O_3 dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ menjadikan basalt sebagai salah satu potensi yang dapat dikembangkan menjadi material substitusi semen tambahan atau pozzolan (Saraya, 2011).

Pozzolan merupakan material yang tidak memiliki sifat seperti semen, tetapi senyawa-senyawa seperti silika atau silika alumina yang terdapat pada material tersebut dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 dan membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (seperti gel C-S-H). Pozzolan terbagi menjadi dua jenis yaitu pozzolan alam dan pozzolan buatan, baik yang telah melewati tahap pemanasan maupun tidak. Pozzolan umumnya banyak digunakan sebagai material substitusi semen pada bahan mortar maupun beton. Mortar pada dasarnya terdiri dari semen, pasir, air dan dapat juga ditambahkan bahan tambahan lainnya. Adapun penggunaan bahan pozzolan sebagai material substitusi semen dapat memperbaiki porositas pasta pada campuran mortar tersebut (Sutan *et al.*, 2011).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan, basalt dapat digunakan sebagai bahan pozzolan dan *filler* pada semen OPC dengan penambahan basalt pada pasta semen sehingga memberikan kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan (El-Didamony *et al.*, 2015). Penelitian tentang penggunaan bubuk basalt dengan variasi konsentrasi berat yang berbeda sebagai substitusi semen pada bahan mortar dengan beberapa tipe semen seperti semen *portland-ordinary*, semen *portland-flyash*, semen *portland-slag* memiliki kuat tekan dan kuat lentur optimum pada konsentrasi berat 8% (Dobiszewska and Beycioğlu, 2017), penelitian tentang pemanfaatan serbuk basalt dan *limestone* pada mortar dengan konsentrasi berat sebesar 4%, 8%, 12% dan 16% dari berat semen *portland* mempunyai nilai kuat tekan terbesar pada

konsentrasi 12% (Abdelaziz *et al.*, 2014), serta penelitian mengenai abu batuan basalt yang digunakan sebagai substitusi semen *portland* dengan konsentrasi berat sebesar 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 40% memiliki nilai kuat tekan terbesar pada konsentrasi 20% (Malkawi *et al.*, 2017).

Bubuk basalt dapat digunakan sebagai material substitusi semen diukur sesuai dengan spesifikasi terkait pozzolan alam berdasarkan persyaratan ASTM C618 seperti komponen kimia dan sifat fisik. Persyaratan penting terkait erat dengan aktivitas pozzolan yaitu jumlah komponen SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 minimal 70%, tingkat kehalusan tertinggal di atas ayakan no.325 ($45\mu\text{m}$) maksimal 34% menggunakan ayakan basah dan indeks keaktifan kekuatan pozzolan minimal 75% dari perbandingan kuat tekan mortar substitusi material pozzolan dengan kuat tekan mortar standar dengan umur uji 7 atau 28 hari.

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi berat bubuk basalt Lampung tanpa dan dengan dikalsinasi suhu 900°C sebagai material substitusi semen pada mortar semen OPC dan PCC. Sampel mortar dibuat dengan campuran semen, pasir, air dan bubuk basalt dengan variasi konsentrasi berat 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Sampel bubuk basalt yang digunakan akan diuji tingkat kehalusan dan sampel mortar ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ akan diuji kuat tekan dan sifat fisis dengan umur uji 28 hari. Selain itu, sampel basalt dan mortar akan dikarakterisasi menggunakan peralatan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan kimia dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah karakteristik kandungan oksida, tingkat kehalusan dan struktur fasa yang terbentuk dari sampel basalt tanpa dan dengan dikalsinasi pada suhu 900°C?
2. Bagaimanakah pengaruh konsentrasi berat bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi pada suhu 900°C terhadap karakteristik benda uji mortar?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Basalt yang digunakan berasal dari Lampung Timur.
2. Basalt yang digunakan adalah bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi ukuran lolos mesh no.325. Kalsinasi dilakukan pada suhu 900°C selama 1 jam.
3. Pengujian sampel bubuk basalt meliputi XRF, tingkat kehalusan dan XRD.
4. Bahan baku benda uji mortar antara lain semen *portland* tipe I (OPC) merk Semen Padang Indonesia, semen *portland* komposit (PCC) merk Holcim Indonesia, pasir pantai dari Maringgai Lampung Timur dan air.
5. Variasi konsentrasi berat bubuk basalt yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen.
6. Pengujian sampel benda uji mortar ukuran 5x5x5 cm³ dengan umur uji 28 hari meliputi pengujian kuat tekan, porositas, absorpsi, XRF dan XRD.
7. Setiap variasi komposisi campuran mortar akan dihasilkan 4 buah mortar.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kandungan oksida, tingkat kehalusan, dan struktur fasa yang terbentuk dari sampel basalt tanpa dan dengan dikalsinasi pada suhu 900°C.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi berat bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi terhadap kuat tekan, porositas, absorpsi dan struktur fasa yang terbentuk pada benda uji mortar semen OPC dan PCC.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh informasi mengenai potensi pemanfaatan basalt Lampung sebagai material substitusi semen.
2. Menambah pengetahuan tentang penggunaan basalt pada produk mortar.
3. Menambah literatur mengenai pengaruh konsentrasi berat basalt sebagai material substitusi semen pada produk mortar sehingga dihasilkan produk mortar yang lebih baik.
4. Mengoptimalkan penggunaan basalt sebagai material industri dan dapat meningkatkan nilai ekonomis batuan basalt.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batuan Basalt

Basalt merupakan salah satu batuan beku yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik). Magma ini dapat berasal dari batuan setengah cair ataupun batuan yang sudah ada, baik di mantel ataupun kerak bumi. Umumnya, proses pelelehan terjadi oleh salah satu dari proses-proses seperti kenaikan temperatur, penurunan tekanan, atau perubahan komposisi. Batuan beku ekstrusif adalah batuan beku yang proses pembekuannya berlangsung dipermukaan bumi dengan lelehan lava yang memiliki berbagai struktur yang memberi petunjuk mengenai proses yang terjadi pada saat pembekuan lava tersebut.

2.1.1 Karakteristik Batuan Basalt

Batuan basalt memiliki karakteristik diantaranya bertekstur afanitik atau porfiritik-afanitik, kadar SiO_2 atau silika berkisar 45%-52% sehingga masuk dalam kelompok batuan beku basa, indeks warna berkisar 40 hingga 70 dan jumlah mineral mafik yang banyak sehingga menyebabkan batuan berwarna abu-abu gelap hingga hitam.

Bentuk visual batuan basalt ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Batuan basalt *fine-grained* basalt (kiri) dan *vesicular* basalt (kanan) (Bonewitz, 2012).

Batuan basalt memiliki beberapa struktur seperti *fine-grained* atau masif dan struktur *vesicular* atau berongga. Struktur masif merupakan struktur yang memperlihatkan suatu masa batuan yang terlihat seragam. Sedangkan struktur *vesicular* merupakan struktur yang memperlihatkan lubang-lubang sejajar yang terbentuk akibat pelepasan gas pada saat pembekuan berlangsung. Dalam bentuk bubuk, basalt memiliki diameter partikel berada dikisaran 1,5 hingga 200 μm . Volume terbesar yaitu sebesar 51%, ditempati oleh partikel dengan diameter sekitar 19,89 μm . Berat jenis bubuk basalt sekitar 2,99 gr/cm^3 dan permukaan spesifik Blaine yaitu 3500 cm^2/gr serta memiliki permukaan dengan bentuk sudut (Dobiszewska and Beycioğlu, 2017).

2.1.2 Komposisi dan Mineralogi Batuan Basalt

Sebagian besar mineral dari batuan beku seperti basalt termasuk ke dalam kelas senyawa kimia yang disebut silikat yang terdiri dari kombinasi antara silikon dan oksigen. Komposisi kimia dari bahan silikat kompleks adalah sebagai campuran oksida: silikon dioksida (SiO_2 atau dikenal sebagai silika) biasanya merupakan

oksida paling banyak di batuan beku dan mineral, dan oksida dari aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), mangan (MnO), magnesium (MgO), kalsium (CaO), natrium (Na_2O), kalium (K_2O), titanium (TiO_2) dan fosfor (P_2O_5) biasanya juga hadir dalam jumlah yang signifikan. Adapun komposisi kimia batuan basalt ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Komposisi kimia batuan basalt

No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	SiO_2	52,8
2.	Al_2O_3	17,5
3.	Fe_2O_3	10,3
4.	MgO	4,63
5.	CaO	8,59
6.	Na_2O	3,34
7.	K_2O	1,46
8.	TiO_2	1,38
9.	P_2O_5	0,28
10.	MnO	0,16

Batuan basalt umumnya memiliki kandungan mineral yaitu feldspar plagioklas, piroksen, olivin dan kadang-kadang kuarsa. Mineral seperti feldspar plagioklas umumnya yaitu Ca-plagioklas dengan nama *anorthite* ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (*calcium aluminum silicate*) dan dapat juga berupa *albite* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) (*sodium aluminum silicate*), mineral piroksen dengan nama *augite* ($(\text{Ca,Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$) (*calcium magnesium iron silicate*) dan dapat pula berupa *augite aluminian* ($(\text{Ca,Mg,Fe,Al})_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$), mineral olivin dengan nama *forsterite* ($\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (*magnesium iron silicate*) serta mineral *quartz* (SiO_2).

2.2 Semen

Semen dapat didefinisikan sebagai zat perekat yang mampu menyatukan *fragmen* atau massa bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Sedangkan secara umum, semen adalah suatu bahan yang mempunyai sifat adhesif dan kohesif yang mampu melekatkan fragmen mineral menjadi suatu kesatuan massa yang padat.

2.2.1 Semen *Portland*

Semen *portland* dibuat dengan memanaskan campuran batu kapur dan tanah liat atau bahan lain dengan komposisi yang sama dan reaktivitas yang cukup pada suhu sekitar 1450°C. Campuran tersebut kemudian menghasilkan nodul klinker. Klinker dicampur dengan beberapa persen gipsum dan dihaluskan bersama-sama untuk membuat semen. Gipsum digunakan untuk mengontrol laju pengerasan dan dapat juga diganti dengan kalsium sulfat yang lainnya. Beberapa spesifikasi memungkinkan penambahan bahan lain pada tahap penggilingan. Klinker biasanya memiliki empat fase utama seperti *alite*, *belite*, *aluminat* dan *ferrite*. Beberapa fase lainnya hadir dalam jumlah kecil seperti alkali sulfat dan kalsium oksida.

Tabel 2.2. Senyawa utama penyusun semen *portland* (Neville, 1995)

No.	Nama oksida	Rumus kimia	Notasi pendek
1.	Trikalsium silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
2.	Dikalsium silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
3.	Trikalsium aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
4.	Tetrakalsium aluminoferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Senyawa C_3S (trikalsium silikat) dan C_2S (dikalsium silikat) merupakan bagian paling dominan dalam memberikan sifat semen, kedua senyawa ini menempati 70-80% dari semen. Senyawa C_3S berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Senyawa C_2S berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah umur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. Senyawa C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia, persentase C_2S yang lebih tinggi menghasilkan proses pengerasan lambat. Senyawa C_3A (trikalsium aluminat) berhidrasi dengan sangat cepat sehingga menyebabkan panas hidrasi yang lebih tinggi. Semen yang mengandung senyawa C_3A yang lebih banyak akan kurang tahan terhadap serangan sulfat. Senyawa C_3AF (tetrakalsium aluminoforit) kurang begitu besar pengaruhnya terhadap perilaku semen.

Pada saat terjadi hidrasi, kalsium silikat bereaksi dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Reaksi tersebut membentuk kalsium silikat hidrat yang keras:



2.2.2 Jenis-Jenis Semen *Portland*

Adapun beberapa tipe semen *portland* yang biasa digunakan sebagai bahan untuk pembuatan mortar ialah:

a. *Ordinary Portland Cement* (OPC)

OPC atau semen *portland* tipe I merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* (klinker) terutama yang terdiri atas

kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen *portland* ini digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Adapun kandungan kimia dan sifat fisik semen OPC ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan kimia dan sifat fisik semen OPC

No.	Jenis komposisi kimia	Persentase (%)
1.	Silikon dioksida (SiO_2)	20,92
2.	Aluminium oksida (Al_2O_3)	5,49
3.	Ferri oksida (Fe_2O_3)	3,78
4.	Kalsium oksida (CaO)	65,21
5.	Kehalusan (%)	4,00
6.	Berat isi (kg/l)	1,29

b. *Portland Composite Cement (PCC)*

PCC atau semen *portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan gips 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%-35% dari massa semen *portland* komposit. Semen *portland* komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya.

Bahan campuran untuk PCC di Indonesia pada saat ini sebagian besar menggunakan abu terbang dan bahan-bahan *cementitious* lainnya, dengan porsi semen *portland* berkisar 80%-85%. Keunggulan semen PCC diantaranya mudah pengerjaannya, suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak, menghasilkan permukaan plesteran yang halus, tahan terhadap serangan sulfat dan bangunan menjadi tahan lama. Kandungan kimia dan sifat fisik semen PCC ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Kandungan kimia dan sifat fisik semen PCC

No.	Jenis komposisi kimia	Persentase (%)
1.	Silikon dioksida (SiO_2)	23,04
2.	Aluminium oksida (Al_2O_3)	7,40
3.	Ferri oksida (Fe_2O_3)	3,36
4.	Kalsium oksida (CaO)	57,38
5.	Kehalusan (%)	2,00
6.	Berat isi (kg/l)	1,15

2.3 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.

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.

Adapun dasar reaksi pozzolan adalah sebagai berikut:



2.3.1 Jenis-Jenis Pozzolan

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.

Adapun jenis pozzolan menurut ASTM C618 dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Ketiga kelas pozzolan tersebut adalah :

1. Kelas N : pozzolan alam atau hasil pembakaran pozzolan alam, yang dapat digolongkan di dalam jenis ini seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts*, *shales*, *tuff* dan abu terbang vulkanik atau *pumicite*, di mana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak.
2. Kelas F : *fly ash* yang mempunyai sifat pozzolan dan *cementitious* yang dihasilkan dari pembakaran *antharite* atau bitumen batubara.
3. Kelas C : *fly ash* yang mempunyai sifat pozzolan dan *cementitious* yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara dan mengandung CaO di atas 10%.

2.3.2 Persyaratan Material Pozzolan

Persyaratan utama material pozzolan menurut ASTM C618 diantaranya :

a. Kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3

Pozzolan alami yang digunakan sebagai tambahan mineral pada semen *portland* harus memenuhi persyaratan kimia tertentu. Misalnya, menurut ASTM C618 Kelas N tambahan harus memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 minimum 70% dan *lost on ignition* dibatasi hingga 10%.

b. Kehalusan menggunakan ayakan no.325

Metode pengayakan secara basah umumnya digunakan dalam pengukuran kehalusan bahan abu terbang dan pozzolan alam untuk menentukan jumlah sampel yang tertinggal ketika mengayak secara basah pada saringan no.325 ($45\mu\text{m}$). Berdasarkan persyaratan ASTM C618 jumlah bubuk yang tertinggal diatas ayakan no.325 ($45\mu\text{m}$) maksimal 34%.

c. *Strength Activity Index* (SAI) atau Indeks keaktifan kekuatan

Indeks keaktifan kekuatan pozzolan merupakan perbandingan kuat tekan benda uji mortar kubus yang disiapkan dari campuran pozzolan dan semen *portland* dengan spesimen kontrol yang disiapkan dengan 100% semen *portland* sesuai dengan ASTM C311. Tes pada kubus mortar dapat dilakukan pada 7 hari atau 28 hari atau keduanya. Adapun persamaan untuk menghitung SAI:

$$\text{Strength activity index} = \frac{A}{B} \times 100 \quad (2.4)$$

dengan : A = kekuatan tekan rata-rata dari campuran benda kubus uji.

B = kekuatan tekan rata-rata dari campuran benda kubus kontrol.

ASTM C618 menetapkan bahwa spesimen uji harus memiliki minimum dari 75% kekuatan kontrol ($\text{SAI} > 75$).

Berdasarkan ASTM C618 persyaratan kimia dan fisik pozzolan dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.5. Persyaratan kimia pozzolan berdasarkan ASTM C618

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min, %)	70,0	70,0	50,0
SO ₃ (max, %)	4,0	5,0	5,0
Kadar kelembaban (max, %)	3,0	3,0	3,0
Hilang pijar (max, %)	10,0	6,0	6,0

Tabel 2.6. Persyaratan fisik pozzolan berdasarkan ASTM C618

Uraian	Kelas		
	N	F	C
Jumlah yang tertahan di atas ayakan 45µm (max, %)	34	34	34
Keaktifan kuat tekan pada umur 7 hari (min, %)	75	75	75
Keaktifan kuat tekan pada umur 28 hari (min, %)	75	75	75
Kebutuhan air (max, %)	115	105	105
Pengembangan atau penyusutan dengan autoclave (max, %)	0,8	0,8	0,8

2.4 Mortar

Mortar adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lain, agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan. Secara umum mortar adalah campuran yang tersusun atas semen, pasir, air, dalam waktu tertentu akan mengeras seperti batuan. Mortar berfungsi perekat diantara bata merah dalam pembuatan dinding di dalam rumah atau di luar rumah, perekat batu kali pada

konstruksi pondasi, atau sebagai lapisan plasteran pada permukaan dinding bata, atau yang lain. Bahan mortar dapat juga ditambahkan bahan tambah untuk mempercepat pengerasan atau tujuan yang lain.

Mortar berfungsi sebagai matriks pengikat bagian penyusun suatu konstruksi baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Penggunaan mortar untuk konstruksi yang bersifat struktural misalnya mortar pasangan batu belah untuk struktur fondasi, sedangkan yang bersifat non-struktural misalnya mortar pasangan batu bata untuk dinding pengisi.

Ciri mortar atau spesi yang baik yaitu murah, kuat atau tahan lama, mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang, dan diratakan), merekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya, cepat kering atau keras, tahan terhadap rembesan air dan tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Adapun macam-macam mortar ialah:

1. Mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
2. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
3. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

2.4.1 Tipe dan Spesifikasi Mortar

Adapun tipe dan spesifikasi mortar terbagi menjadi empat yaitu:

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan minimum 17,25 MPa. Mortar tipe ini merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi dan direkomendasikan untuk pasangan yang dikenai beban lateral serta digunakan di bawah tanah.

2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan minimum 12,40 MPa. Mortar tipe ini merupakan campuran dengan kuat tekan tinggi sedang dan direkomendasikan untuk pasangan yang membutuhkan kekuatan ikat lentur yang tinggi tetapi hanya dikenai beban tekan normal.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan minimum 5,17 MPa. Mortar tipe ini merupakan campuran dengan kuat tekan yang sedang dan direkomendasikan untuk penggunaan umum di atas tanah.
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan minimum 2,40 MPa. Mortar tipe ini merupakan campuran dengan kuat tekan rendah sedang dan direkomendasikan untuk dinding dan sekat bagian dalam non-pendukung beban.

2.4.2 Bahan Penyusun Mortar

Selain semen, bahan utama dalam mortar adalah pasir dan air.

a. Pasir

Pasir atau agregat halus merupakan bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air untuk membentuk campuran yang padat dan keras. Pasir yang dimaksud adalah butiran mineral yang keras dengan butiran antara 0,15mm sampai dengan 5mm. Pasir yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis pasir pantai yang berasal dari Maringgai Lampung Timur. Pasir pantai berasal dari gerusan atau gesekan batuan di laut. Butiran lebih halus daripada pasir sungai, bentuk bulat karena gesekan, mengandung garam. Garam mengikat air dari udara sehingga butiran pasir agak basah, dan mengembang bila sudah menjadi mortar bangunan. Persyaratan pasir sesuai standar yakni berbutir tajam dan memiliki

kekerasan yang baik, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% yang ditentukan terhadap berat keringnya, apabila kadar lumpur melampaui 5% maka harus dicuci, tidak boleh mengandung bahan-bahan organis, terdiri dari butiran-butiran beraneka ragam besarnya, pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

b. Air

Air diperlukan pada pembuatan mortar dan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat digunakan untuk campuran mortar dan beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat merubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi kualitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan.

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyak gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya campuran yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

2.5 *Ball Milling*

Mesin *ball mill* adalah salah satu jenis mesin penggiling yang digunakan untuk menggiling suatu bahan material menjadi bubuk yang sangat halus. Secara umum, prinsip kerjanya adalah mengurangi ukuran material dengan memanfaatkan gerakan bola ke bawah pada bagian atas *shell*. Mesin *ball mill* terdiri dari silinder berongga yang berputar pada porosnya. Sumbu porosnya biasa disebut *shell* yang berdiri secara horizontal. Media penggilingnya bisa terbuat dari baja, *stainless steel*, atau karet. Permukaan bagian dalam dari *shell* silinder biasanya dilapisi dengan material yang tidak mudah terkikis seperti bijih mangan dan karet.

2.6 Kalsinasi

Kalsinasi adalah proses pembakaran tahap awal yang merupakan reaksi dekomposisi secara endotermik (memerlukan panas) dan berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida, sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi.

Peristiwa yang terjadi selama kalsinasi antara lain:

- a. Pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH), berlangsung sekitar suhu $100^{\circ}C$ hingga $300^{\circ}C$.
- b. Pelepasan gas-gas, seperti: CO_2 berlangsung sekitar suhu $600^{\circ}C$ dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.
- c. Pada suhu lebih tinggi, sekitar $800^{\circ}C$ struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan antara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas.

Pada umumnya, kalsinasi dilakukan untuk mengaktifkan sifat pozzolan dari material alam seperti batu lempung, serpih, dan batu sabak. Suhu kalsinasi yang diperlukan dapat berbeda tergantung pada komposisi mineral dari material itu sendiri. Beberapa penelitian tentang pozzolan alam seperti batuan vulkanik menunjukkan bahwa suhu optimal untuk pemanasan atau kalsinasi adalah sekitar 700-800°C. Sedangkan pozzolan alam seperti metakaolin memerlukan suhu kalsinasi berkisar 600-900°C untuk menghasilkan aktivitas pozzolanic. Namun, semakin tinggi suhu kalsinasi yang digunakan akan mengakibatkan peningkatan volume pori-pori pada beberapa bahan pozzolan alam.

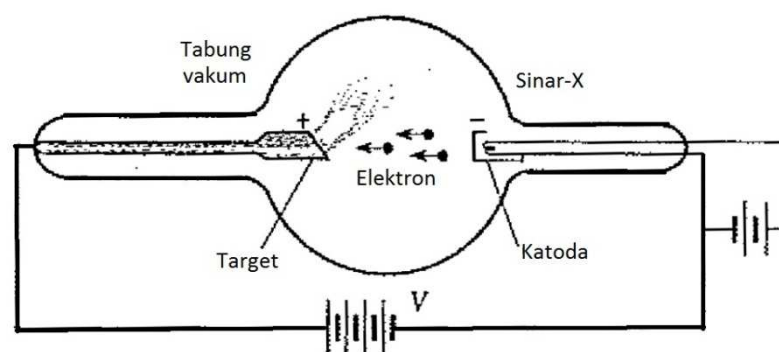
2.7 Karakterisasi dan Pengujian

Adapun karakterisasi dan pengujian pada penelitian ini meliputi:

2.7.1 Sinar-X

Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik transversal seperti cahaya tetapi memiliki panjang gelombang yang jauh lebih pendek. Tabung sinar-X dapat memancarkan radiasi yang identik dengan sinar ultra-violet dan pada ujung lain dari spektrum sinar mirip dengan sinar γ yang dipancarkan oleh benda radioaktif. Sinar-X yang digunakan dalam kristalografi memiliki panjang gelombang yang termasuk dalam interval 0,5 hingga 2Å (1 Ångstrom = 10^{-8} cm). Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh Wilhelm Roentgen, yang menemukan bahwa radiasi dengan daya tembus yang tinggi dari sifat yang belum diketahui dihasilkan ketika elektron berkecepatan tinggi menumbuk sebuah materi. Sinar-X ini ditemukan dengan kecepatan dalam garis lurus, tidak terpengaruh oleh medan listrik dan magnet,

melewati bahan buram dengan mudah, menyebabkan zat berpendar, dan mengekspos pelat foto. Semakin cepat elektron sumber, sinar-X yang dihasilkan semakin menembus, dan semakin besar jumlah elektron maka semakin besar intensitas sinar-X. Adapun skema tabung sinar-X ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tabung sinar-X (Beiser, 1963).

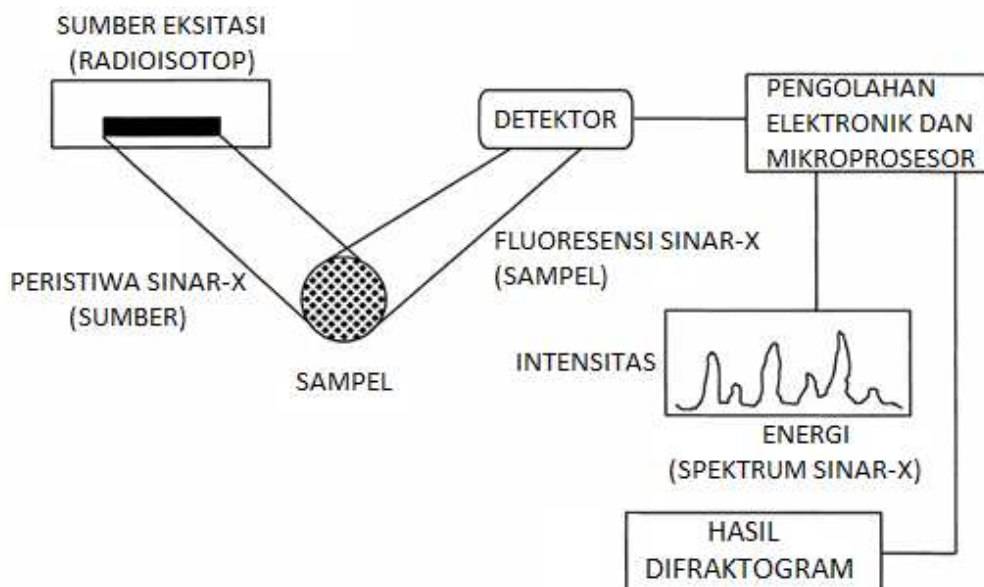
Gambar 2.2 merupakan diagram tabung sinar-X. Sebuah katoda, dipanaskan oleh sebuah filamen yang dialiri arus listrik, lalu memasok elektron dengan emisi termionik. Beda potensial tinggi (V) yang dipertahankan antara katoda dan target logam mempercepat elektron menuju anoda. Target berada pada sudut relatif terhadap berkas elektron, dan sinar-X yang meninggalkan target melewati sisi tabung. Tabung divakumkan untuk memungkinkan elektron mencapai target tanpa hambatan. Beberapa teknik analisa yang menggunakan prinsip sinar-X, diantaranya adalah difraksi sinar-X atau XRD dan flouresensi sinar-X atau XRF. Teknik XRD menganalisa sinar-X yang dihamburkan oleh material sampel sebagai hasil dari tumbukan antara sinar-X dengan material sampel tanpa mengalami kehilangan energi. Sedangkan, teknik XRF menganalisa sinar-X (yang dipancarkan dari material sampel) sebagai hasil dari tumbukan antara sinar-X yang berasal dari tabung sinar-X dengan material sampel yang disertai dengan penyerapan energi dari sinar-X oleh material sampel.

a. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Ray Fluorescence 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.

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. 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. Adapun prinsip kerja XRF ditunjukkan pada Gambar 2.3.



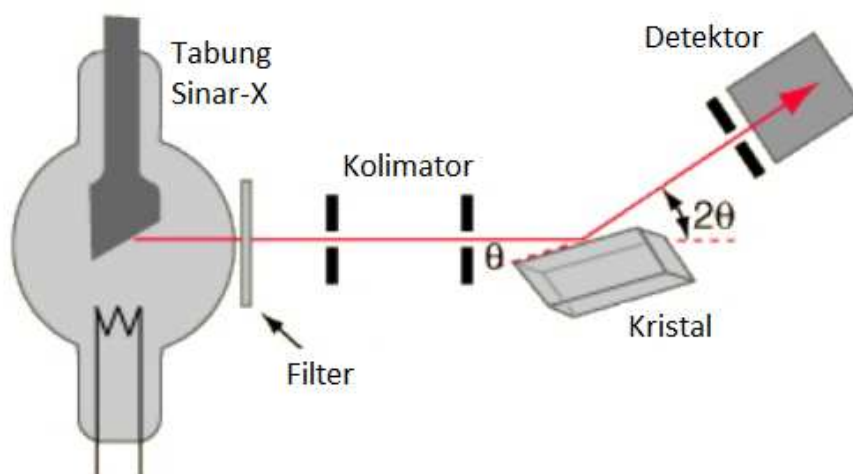
Gambar 2.3. Prinsip kerja XRF (Kalnicky and Singhvi, 2001).

Apabila sumber eksitasi 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.

b. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction 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-pola difraksi serbuk tersebut, yaitu ukuran dan bentuk dari setiap selnya serta nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel. Adapun skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema difraksi sinar-X.

Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) kedap udara dengan cara memanaskan filamen sehingga mengeksitasi elektronnya yang kemudian diakselerasi (dipercepat) dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakan pada bagian anoda yang bermuatan positif. Pada waktu mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat.

Radiasi sinar-X dapat terjadi karena transisi elektron dari orbital yang memiliki tingkat energi lebih tinggi menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah dengan melalui tahapan yaitu ketika sebuah elektron yang terletak di kulit bagian dalam terpental ke luar atom karena adanya berkas cahaya atau berkas elektron dari luar. Kekosongan elektron ini selanjutnya digantikan oleh elektron dari kulit yang lebih luar. Sebagai contoh pengisian elektron kulit K oleh kulit L akan menghasilkan selisih energi yang akan memancarkan $K\alpha$ sinar-X dengan persamaan :

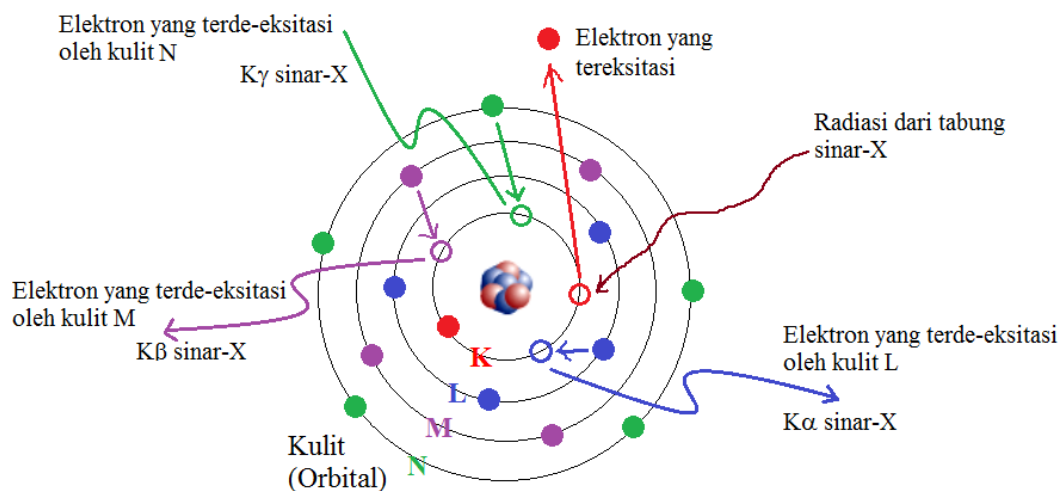
$$E_{X-ray} = E_K - E_L \quad (2.5)$$

dengan: E_{X-ray} = Energi kinetik sinar-X

E_K = Energi kinetik elektron kulit K

E_L = Energi ikat elektron kulit L

Peristiwa pembentukan sinar-X diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pembentukan sinar-X sebagai akibat transisi elektron.

Sinar-X tersebut kemudian menembak sampel padatan kristalin dan mendifraksikan sinar-X ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor

bergerak 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:

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$

dengan: λ = panjang gelombang

d = jarak antar bidang dalam kristal

θ = sudut difraksi

2.7.2 Kuat Tekan

Kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pada umumnya kekuatan tekan diukur pada *normal curing* (perawatan) sampai umur 28 hari. Nilai kuat tekan mortar diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum. Metode ini menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran sisi 50 mm (SNI 03-6825-2002). Nilai kuat tekan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

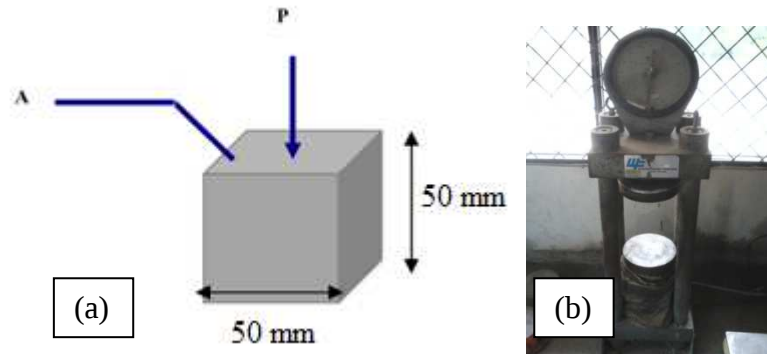
$$P = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

dengan : P = tekanan mortar (MPa)

F = gaya maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Ilustrasi benda uji kubus mortar dan mesin pengujian kuat tekan ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Ilustrasi benda uji kubus mortar (a) dan mesin pengujian kuat tekan (b).

2.7.3 Porositas dan Absorpsi

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume lubang-lubang kosong (berpori) yang dimiliki oleh zat padat dengan jumlah dari volume total yang ditempati oleh zat padat. Pada pengujian porositas benda uji mortar, porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada benda uji dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan benda uji mortar tersebut. Pori-pori benda uji biasanya berisi udara atau air yang saling berhubungan dan dinamakan kapiler. Besarnya porositas dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$Porositas (\%) = \frac{m_b - m_k}{V} \times \frac{1}{\rho_{air}} \times 100\% \quad (2.8)$$

dengan: m_b = massa basah dari benda uji (gram)

m_k = massa kering dari benda uji (gram)

V = volume benda uji (cm^3)

ρ_{air} = massa jenis air (1 gr/cm^3)

Pengujian absorpsi dilakukan untuk mengetahui besarnya penyerapan air yang terdapat pada benda uji mortar. Besar kecilnya nilai absorpsi ini akan mempengaruhi nilai kuat tekan benda uji mortar. Penyerapan air yang terdapat pada mortar menyatakan besarnya pori atau rongga yang dimiliki oleh benda uji tersebut. Semakin banyak atau besar pori dalam benda uji mortar akan membuat benda uji menyerap air semakin banyak sehingga akan mengakibatkan berkurangnya ketahanan atau kekuatan pada benda uji tersebut. Salah satu penyebab dari banyaknya pori adalah pemadatan yang kurang baik atau jenis material pencampur yang digunakan. Selain itu, tidak tepatnya komposisi material penyusun dapat membuat benda uji memiliki rongga udara. Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori antara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat. Penyebab semakin meningkatnya daya serap air adalah semakin meningkatnya porositas mortar semen akibat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Air ini akan menguap atau tinggal dalam mortar semen yang akan menyebabkan terjadinya pori-pori pada pasta semen sehingga akan menghasilkan pasta yang berpori, hal ini akan menyebabkan semakin berkurangnya kedapatan air mortar semen. Besarnya absorpsi dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

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

dengan: m_b = massa basah dari benda uji (gram)

m_k = massa kering dari benda uji (gram)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2018 sampai November 2018 di Laboratorium Analisis Kimia dan Laboratorium Non-Logam, Balai Penelitian Teknologi Mineral – *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)* yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang Lampung Selatan, serta di Laboratorium Bahan dan Kontruksi, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ball Mill merk Yuema Helical Great type TR67-AD112.M4*, cawan, *panel electrical furnace*, ayakan mesh no. 10, 20, 45, 60, 80, 100 dan 325 ASTM:E11 Nakatama Scientific Type:A6-342A, *Analytical balance*, oven merk memmert, *pycnometer* Pyrex 50 mL, *beaker glass* 50 dan 100 mL pyrex, gelas ukur Pyrex 100 mL, *mixer B10 capacity* 10 Liter serta *rotation* 360/164 rpm, cetakan kubus ukuran 5x5x5 cm³, tumbukan, ember, spatula, wadah nampan, sarung tangan, mesin uji kuat tekan merk *Wykeham Farrance Engineering made in England* model 55104 *capacity* 1500 kN. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batuan basalt yang berasal dari Lampung Timur, semen *portland* tipe I (OPC) merk Semen Padang

Indonesia, semen *portland* komposit (PCC) merk Holcim Indonesia, pasir pantai dari Maringgai Lampung Timur dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur kerja pada penelitian ini adalah:

3.3.1 Preparasi Bubuk Basalt

Langkah-langkah preparasi bubuk batu basalt adalah:

- a. Menghancurkan bongkahan batuan basalt menggunakan *jaw crusher*.
- b. Memasukkan batu basalt ke dalam *ball mill*.
- c. Menggiling batu basalt dalam *ball mill* selama ± 4 jam.
- d. Mengayak bubuk batu basalt hasil *ball mill* dengan ayakan mesh no. 325.
- e. Bubuk basalt sebagian dikalsinasi menggunakan *panel electrical furnace* pada suhu 900°C dengan waktu penahanan selama 1 jam.
- f. Hasil bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi siap untuk digunakan.

3.3.2 Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Langkah-langkah pengujian sampel basalt dengan *X-Ray Fluorescence* adalah:

- a. Menyiapkan sampel bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi lolos mesh no.325.
- b. Memasukkan sampel kedalam *tube* sampel sebanyak $\pm 1/3$ ketinggian *tube* sampel. Sampel dipress hingga permukaan rata.
- c. Menyalakan XRF dan UPS kemudian tekan *power*. Tunggu hingga beberapa saat baru kemudian kunci diputar kearah on.

- d. Memutar kunci alat XRF searah jarum jam sebesar 90°C.
- e. Memasukkan *tube* sampel ke dalam tempat sampel pada alat.
- f. Menutup penutup XRF.
- g. Menjalankan program Epsilon^{3XLE} dalam komputer.
- h. Memilih dan klik menu “*measure*” → “*measure omnian*” → “*omnian*” → “*open*”.
- i. Klik “*enter your sample identification*” kemudian isi nama sampel.
- j. Pengukuran sampel dimulai.
- k. Setelah pengukuran sampel selesai spektrogram yang didapat di analisa.
- l. Menekan tombol “*power*” pada XRF dan UPS.

3.3.3 Pengujian Tingkat Kehalusan

Langkah-langkah pengujian tingkat kehalusan adalah:

- a. Menimbang bubuk basalt sebanyak 20 gram.
- b. Meletakkan bubuk basalt tersebut di atas ayakan mesh no. 325.
- c. Mengayak bubuk basalt tersebut di bawah air yang mengalir hingga menyisakan bubuk yang tidak dapat lolos ayakan.
- d. Mengoven ayakan beserta bubuk basalt yang tertahan di atas ayakan hingga kering.
- e. Menimbang kembali berat bubuk basalt kering yang tertahan di atas ayakan.
- f. Melakukan pengulangan sebanyak 5 kali pada sampel bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi.

3.3.4 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Langkah-langkah karakterisasi sampel basalt dengan *X-Ray Diffraction* adalah:

- a. Menyiapkan sampel bubuk basalt tanpa dan dengan dikalsinasi lolos mesh no.325.
- b. Meletakkan sampel pada tempat sampel (*sample holder*) kemudian diratakan menggunakan kaca.
- c. Memasukkan sampel ke dalam difraktometer untuk kemudian dilakukan penembakan dengan sinar-X.
- d. Memulai pengujian difraksi (menekan tombol “*start*” pada menu di komputer) di mana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
- e. Setelah pengukuran selesai maka akan diperoleh data hasil difraksi dalam bentuk *soft data* yang dapat disimpan dalam bentuk *xrdml*.
- f. Selanjutnya data yang diperoleh akan diolah menggunakan *software High Score Plus v.3.0.5* untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari sampel.

3.3.5 Pemeriksaan Bahan Baku Mortar

Pemeriksaan bahan baku meliputi pemeriksaan bahan baku semen, air dan pasir.

3.3.5.1 Pemeriksaan Bahan Semen dan Air

Dalam penelitian ini, pemeriksaan semen hanya dilakukan dengan pemeriksaan visual serta menganalisa secara fisik semen. Semen diamati kehalusan butirnya, kemudian jika terdapat gumpalan maka gumpalan semen tersebut dihancurkan sehingga butirannya benar-benar halus. Sedangkan pemeriksaan terhadap air

dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan garam sesuai dengan persyaratan air untuk minum.

3.3.5.2 Pemeriksaan Bahan Pasir

- Pengujian kadar air

Langkah-langkah pengujian kadar air berdasarkan ASTM D-2216 adalah:

- Menimbang cawan yang akan digunakan (a) dan memasukkan pasir ke dalam cawan dan menimbang (b).
- Memasukkan cawan yang berisi pasir ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 2 jam.
- Menimbang cawan berisi pasir yang sudah dioven (c) dan menghitung persentase kadar air.

$$Kadar\ air = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan : a = berat cawan (gr)

b = berat cawan dan pasir (gr)

c = berat cawan berisi pasir setelah dioven (gr)

- Pengujian gradasi

Langkah-langkah pengujian gradasi berdasarkan ASTM C33 adalah:

- Menimbang 400 gr pasir menggunakan timbangan digital.
- Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan di atas yaitu mesh no. 10, 20, 45, 60, 80, dan 100.
- Memasukkan pasir ke dalam ayakan paling atas, lalu mengaduk-aduk pasir menggunakan kuas hingga tidak ada pasir yang lolos ayakan lagi.
- Menimbang pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan.

- e. Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif persentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan.
- f. Modulus kehalusan pasir (MHB) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MHB = \frac{\text{total berat kumulatif}}{100} \quad (3.2)$$

- Pengujian berat jenis

Langkah-langkah pengujian berat jenis berdasarkan ASTM D-854 adalah:

- a. Menyiapkan *pycnometer* 50 mL.
- b. Menimbang pasir sebanyak 30 gr menggunakan timbangan digital.
- c. Menimbang *pycnometer* kosong (beserta tutup) menggunakan timbangan digital (w_1).
- d. Menimbang *pycnometer* yang sudah diisi dengan pasir (w_2).
- e. Menimbang *pycnometer* yang sudah diisi air hingga penuh (w_4).
- f. Menambahkan air ke dalam *pycnometer* yang sudah berisi pasir hingga penuh.
Lalu menutup *pycnometer* dan diamkan selama 24 jam.
- g. Setelah 24 jam, menimbang *pycnometer* kembali (w_3).
- h. Menghitung berat jenis dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat jenis} = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)} \quad (3.3)$$

dengan : w_1 = berat *pycnometer* kosong (gr)

w_2 = berat *pycnometer* yang sudah diisi dengan pasir (gr)

w_3 = berat *pycnometer* yang berisi pasir dan air setelah
didiamkan 24 jam (gr)

w_4 = berat *pycnometer* yang sudah diisi air hingga penuh (gr)

- Pengujian kadar lumpur

Langkah-langkah pengujian kadar lumpur berdasarkan SNI 03-2461-2002 adalah:

- Menimbang 10 gr pasir dengan timbangan digital (w_1).
- Memasukkan pasir yang telah ditimbang ke dalam *beaker glass* 50 mL.
- Memasukkan air bersih sedikit demi sedikit sambil mengaduk pasir secara perlahan-lahan dan membuang air secara perlahan sampai warna air yang telah tercampur pasir benar-benar jernih dan bersih.
- Menaruh pasir di dalam cawan dan mengeringkan dalam oven selama 4 jam.
- Menimbang beratnya (w_2) dan menghitung kadar lumpur pasir.

$$Kadar\ lumpur = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan : w_1 = berat pasir awal (gr)

w_2 = berat pasir setelah dikeringkan dalam oven (gr)

- Pengujian absorpsi

Langkah-langkah pengujian absorpsi pasir berdasarkan SNI 1970-2008 adalah:

- Menimbang 10 gr pasir dengan menggunakan timbangan digital.
- Memasukkan pasir ke dalam *beaker glass* 100 mL dan menimbanginya (A).
- Memasukkan air hingga pasir terendam seluruhnya dan mendinginkan pasir selama 4 jam.
- Membuang air dan mengusahakan pasir tidak ikut terbang.
- Menimbang *beaker glass* 100 mL yang berisi pasir kembali (B) dan menghitung persentase absorpsi pasir.

$$Absorpsi = \frac{B-A}{B} \times 100\% \quad (3.5)$$

dengan : A = berat awal pasir dan *beaker glass* (gr)

B = berat akhir pasir setelah direndam dan *beaker glass* (gr)

3.3.6 Pembuatan Benda Uji Mortar

Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji mortar berdasarkan ASTM C311:

- a. Menimbang masing-masing komposisi campuran bahan dengan variasi bubuk basalt 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat semen.
- b. Memasukkan semua bahan pada masing-masing komposisi campuran ke dalam wadah *mixer*.
- c. Menghidupkan *mixer* sambil diberi air dan diaduk hingga homogen.
- d. Mematikan *mixer*, lalu mengeluarkan adonan.
- e. Memasukkan adonan yang telah dikeluarkan dari *mixer* ke dalam cetakan kubus ukuran 5x5x5 cm³.
- f. Pengisian dilakukan lapis per lapis dan dipadatkan ± 10 kali.
- g. Meratakan permukaan kubus dengan menggunakan sendok perata.
- h. Memberi kode sampel pada benda uji dan mendiamkan selama 24 jam serta dikeluarkan dari cetakan.
- i. Perawatan benda uji mortar (*curing*) dilakukan dengan merendam benda uji ke dalam ember yang sudah berisi air sampai umur 28 hari.

Tabel 3.1 Komposisi benda uji mortar dengan campuran semen OPC

No.	Pasir (gr)	Air (mL)	Semen OPC (gr)	Bubuk basalt (gr)	
				Tanpa kalsinasi	Dengan kalsinasi
1.	688	121	250	-	-
2.	688	121	237,5	12,5	-
3.	688	121	225	25	-
4.	688	121	212,5	37,5	-
5.	688	121	200	50	-
6.	688	121	237,5	-	12,5
7.	688	121	225	-	25
8.	688	121	212,5	-	37,5
9.	688	121	200	-	50

Tabel 3.2 Komposisi benda uji mortar dengan campuran semen PCC

No.	Pasir (gr)	Air (mL)	Semen PCC (gr)	Bubuk basalt (gr)	
				Tanpa kalsinasi	Dengan kalsinasi
1.	688	121	250	-	-
2.	688	121	237,5	12,5	-
3.	688	121	225	25	-
4.	688	121	212,5	37,5	-
5.	688	121	200	50	-
6.	688	121	237,5	-	12,5
7.	688	121	225	-	25
8.	688	121	212,5	-	37,5
9.	688	121	200	-	50

3.3.7 Pengujian Kuat Tekan Mortar

Langkah-langkah pengujian kuat tekan mortar sesuai SNI 03-6825-2002:

- Menyiapkan benda uji yang telah di angkat dari air.
- Meletakkan benda uji simetris dengan mesin uji kuat tekan.
- Menghidupkan mesin pengujian kuat tekan.
- 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 mortar.
- Menghitung tekanan mortar menggunakan persamaan 2.7.
- Menghitung indeks keaktifan kekuatan pozzolan menggunakan persamaan 2.4.
- Setelah itu sampel mortar yang telah diuji kuat tekan diuji menggunakan peralatan XRF dan XRD.

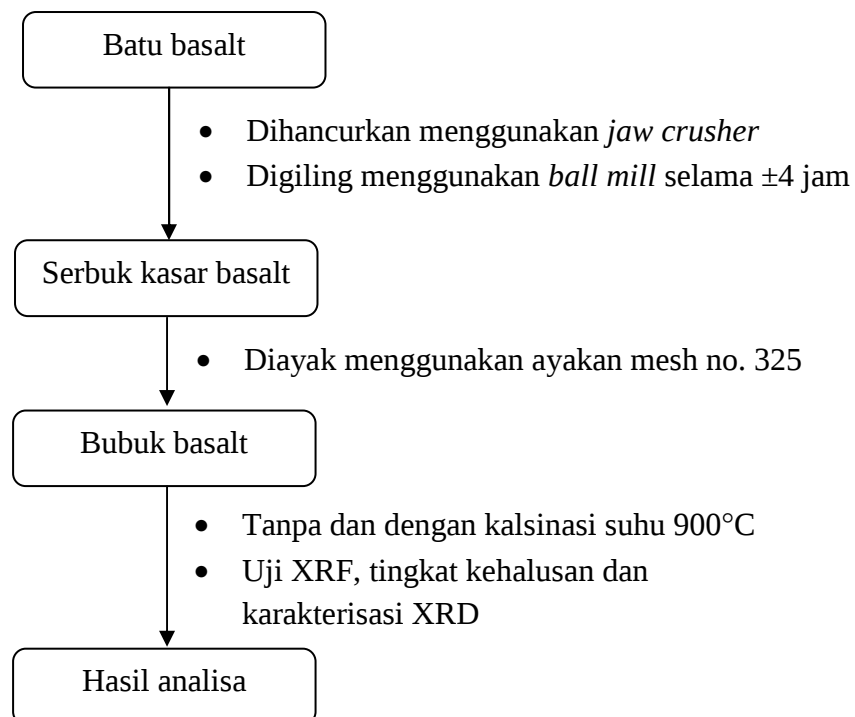
3.3.8 Pengujian Sifat Fisis Mortar

Langkah-langkah pengujian sifat fisis benda uji mortar adalah:

- a. Mengeringkan sampel mortar yang telah diangkat dari perendaman hingga benar-benar tidak mengandung air.
- b. Menimbang masing-masing sampel kering dengan timbangan digital dan mencatat hasilnya (m_k).
- c. Merendam seluruh sampel di dalam ember yang berisi air bersih dan mendiamkan selama 24 jam.
- d. Setelah 24 jam, menimbang kembali berat sampel dengan timbangan digital dan mencatat hasilnya (m_b).
- e. Menghitung porositas dan absorpsi menggunakan persamaan 2.8 dan 2.9.

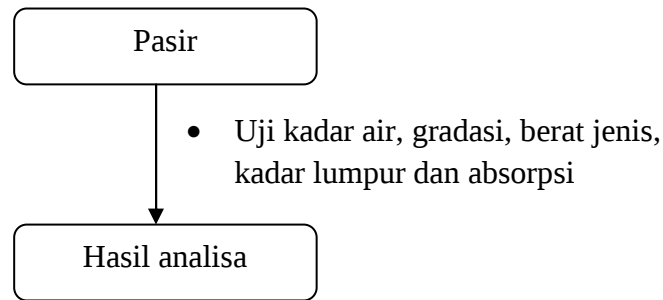
3.4 Diagram Alir

Diagram alir preparasi dan pengujian bubuk basalt ditunjukkan pada Gambar 3.1.



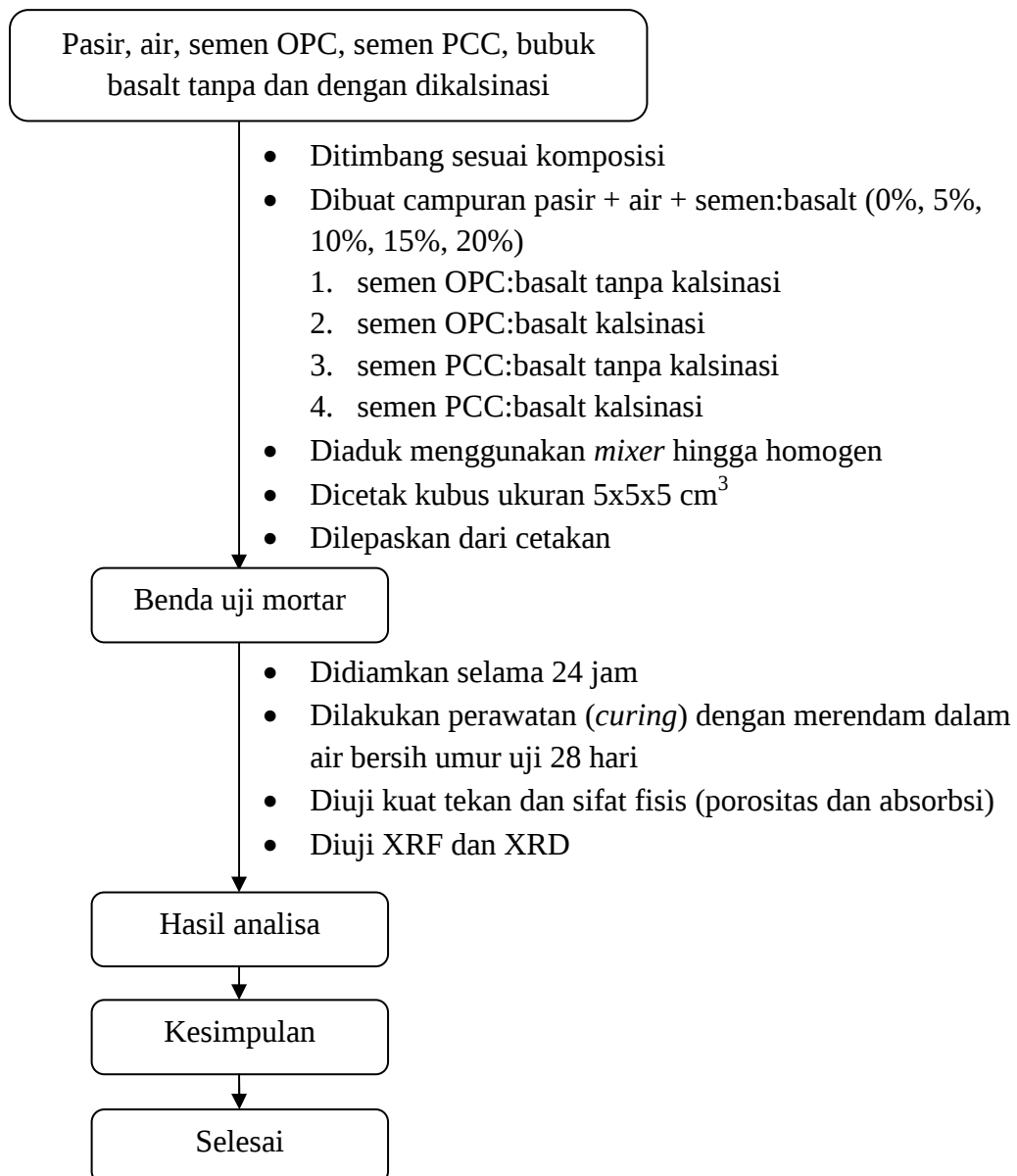
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan pengujian bubuk basalt.

Diagram alir pemeriksaan bahan pasir ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir pemeriksaan bahan pasir.

Diagram alir pembuatan benda uji mortar ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan dan pengujian benda uji mortar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Basalt tanpa dan dengan dikalsinasi pada suhu 900°C masing-masing memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebesar 82,175% dan 82,19%, berat tertinggal di atas ayakan 45 μm sebesar 0,66% dan 1,0% serta fasa yang terbentuk diantaranya adalah fasa *anorthite*, *augite*, *augite aluminian*, *forsterite*, *quartz* dan *silicon oxide*.
2. Sampel mortar semen OPC substitusi basalt tanpa dan dengan dikalsinasi memiliki kuat tekan tertinggi masing-masing pada konsentrasi 5% dan 20% dengan porositas sebesar 2,4% dan 2,4%, absorpsi sebesar 1,29% dan 1,30% serta kuat tekan masing-masing sebesar 24,97 MPa dan 24,16 MPa. Sampel mortar semen PCC substitusi basalt tanpa dan dengan dikalsinasi memiliki kuat tekan tertinggi pada konsentrasi yang sama yaitu 5% dengan porositas sebesar 4,8% dan 4,8%, absorpsi sebesar 2,52% dan 2,50% serta kuat tekan masing-masing sebesar 22,55 MPa dan 21,11 MPa. Fasa yang terbentuk pada mortar semen OPC dan PCC yaitu CSH, *portlandite*, *calcite*, *quartz*. Fasa CASH juga muncul pada mortar semen PCC.

5.2 Saran

Perlu dilakukannya analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologis sampel basalt dan mortar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelaziz, M.A., El-Aleem, S.A., and Menshawy, W.M. 2014. Effect of fine materials in local quarry dusts of limestone and basalt on the properties of portland cement pastes and mortars. *International Journal of Engineering Research and Technology*. Vol. 3. Issue 6. pp. 1038-1056.
- ACI Committee 232. 2012. *Report on the Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete*. American Concrete Institute. U.S.A. pp. 1-29.
- Allen, E. 2005. *Dasar-dasar Kontruksi Bangunan*. Erlangga. Jakarta. Hal. 250.
- 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.
- Amin, M. dan Suharto. 2017. Pembuatan semen geopolimer ramah lingkungan berbahan baku mineral basal guna menuju Lampung sejahtera. *Jurnal Kelitbangan*. Vol. 05. No. 01. Hal. 30-45.
- 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*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- ASTM C127. 2004. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- ASTM C33. 2008. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.

- ASTM C618. 2003. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- ASTM D-854. 2002. *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- ASTM D-2216. 1999. *Standard Method of Laboratory Determination of Moisture Content of Soil*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- Bapat, J.D. 2013. *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*. Taylor and Francis Group. New York. pp. 4 and 87-88.
- Beiser, A. 1963. *Concepts of Modern Physics, Sixth Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc. USA. pp. 68-75.
- Bertin, E.P. 1975. *Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 2nd Edition*. Plenum Press. New York. p. 93.
- Bleazard, R.G. 1988. *The History of Calcareous Cements*. In: *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Edited by Peter C. Hewlett. Butterworth-Heinemann, Oxford. p. 1.
- Bonewitz, R.L. 2012. *Nature Guide Rocks and Minerals*. Dorling Kindersley Publishing. United States, New York. p. 273.
- Celik, K., Jackson, M.D., Mancio, M., Meral, C., Emwas, A.H., Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. 2014. High-volume natural volcanic pozzolan and limestone powder as partial replacements for portland cement in self-compacting and sustainable concrete. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 45. pp. 136–147.
- Concrete Society. 2005. *Mortars for masonry: Guidance on specification, types, production and use*. The Concrete Society. Brighton, United Kingdom.
- Cullity, B.D. 1956. *Element of X-ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. United States of America. p. 84.
- Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Lampung. 2011. *Potensi Bahan Galian Lampung*.

- Dobiszewska, M and Beycioğlu, A. 2017. Investigating the influence of waste basalt powder on selected properties of cement paste and mortar. *Materials Science and Engineering*. Vol. 245. pp. 1-10.
- Dobiszewska, M., Schindler, A.K., Pichór, W. 2018. Mechanical properties and interfacial transition zone microstructure of concrete with waste basalt powder addition. *Construction and Building Materials*. Vol. 177. pp. 222–229.
- Duggal, S.K. 2008. *Building Material*. New Age International (P) Limited, Publishers. Ansari Road, Daryaganj, New Delhi.
- El-Didamony, H., Helmy, I.M., Osman, R.M., and Habboud, A.M. 2015. Basalt as pozzolana and filler in ordinary portland cement. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 8. No. 2. pp. 263-274.
- Gill, R. 2010. *Igneous Rocks and Processes*. A John Wiley and Sons, Ltd. United Kingdom. pp. 4 and 20.
- Gingos, G.S. and Sutan, N.M. 2011. Effect of PFA on strength and water absorption of mortar. *UNIMAS e-Journal of Civil Engineering*. Vol. 2. No. 1. pp. 7-11.
- Guinier, A. 1952. *X-Ray Crystallographic Technology*. Hilger and Watts Ltd. London. p. 1.
- James, S. R. 1988. *Introduction to The Principles of Ceramic Processing*. John Wiley and Sons. Singapore.
- Jenkins, R. 1999. *X-Ray Fluorescence Spectrometry. Second Edition*. John wiley and Sons, Inc. New York. pp. 75-77.
- Jerram, D. and Petford, N. 2011. *The Field Description of Igneous Rocks*. John Wiley and Sons, Ltd. pp. 52-53.
- Kallo, E. 2016. *Kamus Properti Indonesia*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta. Hal. 211.
- Kalnicky, D.J. and Singhvi, R. 2001. Field portable XRF analysis of enviromental samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. pp. 93-122.

- Labbaci, Y., Abdelaziz, Y., Mekkaoui, A., Alouani, A., Labbaci, B. 2017. The use of the volcanic powders as supplementary cementitious materials for environmental-friendly durable concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 133. pp. 468–481.
- Laibao, L., Yunsheng, Z., Wenhua, Z., Zhiyong, L., and Lihua, Z. 2013. Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement. *Construction Building Material*. Vol. 48. pp. 434-440.
- Lynch, A.J. and Rowland, C.A. 2005. *The History of Grinding*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME). Littleton, Colorado, USA. p. 133.
- Malhotra, V.M. and Metha, P.K. 1996. *Pozzolanic and Cementitious Materials*. Overseas Publishers Association. Amsterdam. p. 2.
- Malkawi, A.I.H., Shatnawi, E., and Dima, A.H.M. 2017. A comparative study of physical and chemical properties of different pozzolanic materials used for roller compacted concrete RCC dams. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 120. pp. 1-12.
- Massazza, F. 1988. *Pozzolana and pozzolanic cements*. In: *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Edited by Peter C. Hewlett. Butterworth-Heinemann, Oxford. pp. 471-602.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. 2006. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials 3rd Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc. USA. p. 2.
- Morse, S.A. 1931. *Basalts and Phase Diagrams*. Springer-Verlag New York Inc. Heidelberg Berlin. p. 11.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta. Hal. 27.
- Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. PT Refika Aditama. Bandung. Hal. 13.
- Neville, A.M. 1995. *Properties of Concrete*. Pearson Education Limited. England. pp. 1-8.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J. 1987. *Concrete Technology, 2nd Edition*. Pearson Education Limited. England. pp. 33-34.

- Noor, D. 2012. *Pengantar Geologi*. Pakuan University Press. Bogor. Hal. 66-69.
- PBI. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung. Hal. 23.
- Pusat Sumber Daya Geologi. 2014. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Sumber Daya dan Cadangan Mineral Bukan Logam dan Batuan.
- Ramezaniapour, A.A. 2014. *Cement Replacement Materials: Properties, Durability, Sustainability*. Springer. Verlag Berlin Heidelberg. pp. 24 and 48.
- Saraya, M.ES. 2011. Study the pozzolanic activity of fresh basalt. *Journal of Materials Science and Engineering*. Vol. A1. pp. 790-800.
- Siddiqui, R., Naseer, S., and Uddin, B. 2015. Basalt: unconventional uses of a conventional rock. *International Journal of Science and Engineering*. Vol. 3. pp. 116-123.
- Smallman, R.E. and Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Reed Educational and Professional Publishing Ltd. p. 135.
- SNI 03-2461-2002. 2002. *Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6825-2002. 2002. *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6882-2002. 2002. *Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-7064-2004. 2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970-2008. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soetoto, S.U. 2013. *Geologi Dasar*. Penerbit Ombak. Yogyakarta. Hal. 37.

- Soroka, I. 1979. *Portland Cement Paste and Concrete*. The Macmillan Press Ltd. London. pp. 31 and 211.
- Sugiyanto dan Sebayang, S. 2005. *Bahan Bangunan*. Penerbit Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal. 13-19.
- Supardan, M.S., Sukmawan, dan Andi, S.S. 2006. Inventarisasi dan evaluasi bahan galian non logam di kabupaten Lampung Tengah dan Lampung Timur. Provinsi Lampung. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Sutan, N.M., Hamdan, S., Sobuz, H.R., Laja, V.L., and Islam, Md.S. 2011. Porosity and strength of pozzolan modified cement systems. *Concrete Research Letters*. Vol. 2. No. 4. pp. 326-335.
- Tang, S.W., Cai, X.H., He, Z., Shao, H.Y., Li, Z.J., Chen, E. 2016. Hydration process of fly ash blended cement pastes by impedance measurement. *Construction and Building Materials*. Vol. 113. pp. 939–950.
- Taylor, H.F.W. 1990. *Cement Chemistry*. Academic Press. London. p. 1.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta. Hal. 124-126.
- Thomas, M. 2013. *Supplementary Cementing Materials in Concrete*. Taylor and Francis Group. New York. pp. 161-162.
- Tokuyay, M. 2016. *Cement and Concrete Mineral Admixtures*. Taylor and Francis Group. New York. p. 2.
- Veronika, K. and Zuzana, S. 2014. Effect of basalt powder on workability and initial strength of cement mortar. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*. Vol. 1. No. 4. pp. 260-267.
- Zhang, H. 2011. *Building Materials in Civil Engineering*. Woodhead Publishing Limited and Science Press. Cambridge. pp. 13-15.