

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI BUBUK ANDESIT
TERHADAP KARAKTERISTIK KUAT TEKAN MORTAR**

(Skripsi)

Oleh

Herullah



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI BUBUK ANDESIT TERHADAP KARAKTERISTIK KUAT TEKAN MORTAR

Oleh
HERULLAH

Telah dilakukan penelitian mengenai analisa pengaruh penambahan variasi bubuk andesit terhadap karakteristik kuat tekan mortar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bubuk andesit terhadap sifat dan kekuatan mortar yang ditambahkan dalam campuran mortar dengan membandingkan mortar tanpa penambahan bubuk andesit. Komposisi variasi bubuk andesit yang ditambahkan yaitu berturut-turut 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat semen. Lama perendaman 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar pada masing-masing umur benda uji dengan penambahan bubuk andesit lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar tanpa penambahan bubuk andesit. Kuat tekan tertinggi pada penambahan bubuk andesit waktu perendaman 7, 14 dan 28 hari berturut-turut yaitu sebesar 11,8 MPa, 14,3 MPa dan 17,4 MPa. Nilai kuat tekan mortar tanpa penambahan bubuk andesit dengan waktu perendaman yang sama sebesar 5,6 MPa, 7,56 MPa dan 11,0 MPa. Kadar optimum penambahan bubuk andesit sebesar 30% dari berat semen. Hasil menunjukkan semakin berkurangnya porositas yang terbentuk pada mortar, maka densitas mortar akan semakin tinggi dan semakin padat, dimana semakin padatnya mortar yang dibuat, maka tingkat absorpsi yang dihasilkan semakin kecil. Hasil pengujian karakterisasi *X-Ray Fluorescence* menunjukkan, kadar unsur kimia Si, Al, Fe meningkat seiring dengan bertambahnya persentase bubuk andesit yang ditambahkan pada campuran mortar, sedangkan kadar unsur Ca semakin menurun seiring bertambahnya persentase bubuk andesit yang ditambahkan pada campuran mortar. Hasil *X-Ray Diffraction* memperlihatkan fasa *coestite* dan *hematite* setelah kalsinasi suhu 900 °C.

Kata Kunci : Kuat tekan, bubuk andesit, porositas dan umur uji.

ABSTRACT

ANALYSIS THE EFFECT OF ANDESIT POWDER VARIETY ADDITION ON THE PROPERTIES OF THE MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH

By
HERULLAH

The effect of andesite powder variety addition on the properties of the mortar compressive strength was carried out. This study aims to investigate the effect of andesite powder variety addition on the properties of mortar compressive strength which is added on mortar blend by comparing mortar without the addition of andesite powder. Mortar with various andesite powder contents (10, 20, 30, 40 and 50 % by weight respectively) as partial replacement of portland cement at the age of 7, 14 and 28 days curing. The results show that the compressive strength of each ages with andesite powder addition is higher than mortar without the addition of andesite powder. The highest compressive strength is 11.8, 14.3 and 17.4 MPa respectively 5.6, 7.56 and 11.00 MPa regarding to the mortar without andesite powder. Therefore 30% seems to be the optimal as partial replacement cement level. The results show with decreasing porosity on the mortar, the density will be greater and solid, it will decrease the absorption. The results of X-Ray Fluorescence indicate that the chemical element of Si, Al and Fe increase with increasing the dosage of andesite powder which is added on mortar blend. Consequently the Ca element may decrease by addition of andesite powder on mortar endlessly. The X-Ray Diffraction shows the coestite and hematite phase after temperature 900 °C calcination.

Key words: compressive strength, andesite powder, porosity and curing time.

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI BUBUK ANDESIT
TERHADAP KARAKTERISTIK KUAT TEKAN MORTAR**

Oleh

Herullah

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
2017**

Judul Skripsi

**: ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN
VARIASI BUBUK ANDESI TERHADAP
KARAKTERISTIK KUAT TEKAN
MORTAR**

Nama Mahasiswa

: Herullah

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1317041017

Jurusan

: Fisika

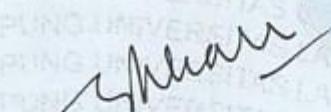
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

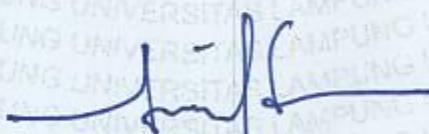
Pembimbing I


Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP 19616723 198603 1 003

Pembimbing II


Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.
NIP 19850427 200912 1 003

2. Ketua Jurusan Fisika

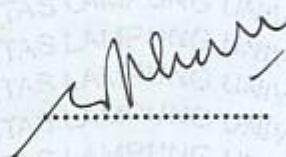

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

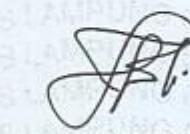
Ketua

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



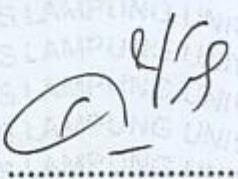
Sekretaris

: **Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.**

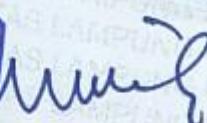


Pengaji

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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



PROF. DR. WARSITO, S.SI., D.E.A.

NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Desember 2017

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, Desember 2017



Herullah
NPM. 1317041017

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di desa Tanjung Rusia, Kecamatan Pardasuka Kabupaten Pringsewu pada tanggal 23 September 1995. Penulis merupakan anak ke enam dari enam bersaudara pasangan Bapak Sohani dan Ibu Sarah. Penulis menyelesaikan pendidikan bangku sekolah dasar SDN 3 Tanjung Rusia pada tahun 2001, SMPN 1 Pardasuka pada tahun 2007 dan SMAN 2 Pringsewu pada tahun 2010.

Selanjutnya pada tahun 2013 penulis diterima sebagai mahasiswa jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur tulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif diberbagi kegiatan kampus yaitu menjadi AMAR ROIS FMIPA UNILA pada tahun 2014, ketua aziz fakultas FMIPA tahun 2013-2014, kepala departemen Pengembangan Sains dan Lingkungan Hidup (PSLH) Badan Eksekutif Mahasiswa periode 2015-2016, Dewan Perwakilan Mahasiswa tingkat Fakultas sebagai sekertaris Komisi I pada tahun 2016, English Society Unila sebagai staff of Homebase pada tahun 2015-2016. Beberapa prestasi yang berhasil ditorehkannya yaitu juara 2 nasyd se-Lampung pada tahun 2014, Top Ten Best Speaker on debate championship se-Lampung pada tahun 2016, Quarter Finalist of English Debate Championship se-Sumbagsel pada tahun 2016, 1st runner up of English debate Championship pada tahun 2017 tingkat mahasiswa se Universitas, semifinalist of National University Debating Championship yang diadakan

KEMENRISTEKDIKTI di Universitas Brawijaya dan Universitas Negeri Malang pada tahun 2017. Penulis juga pernah melakukan magang di Balai Penelitian Teknologi Mineral- LIPI Lampung sebagai young *researcher*. Kemudian penulis melakukan penelitian “ Analisa Pengaruh Penambahan Variasi Bubuk Andesit Terhadap Karakteristik Kuat Tekan Mortar” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“All achievement, all earned riches, have their beginning in an idea.”

-Napoleon Hill-

Confidence comes not from always being right but not fearing to be wrong.” - -Peter T. McIntyre-

“Indeed, the Patience will be given their reward without account.” - Holy Quran , Az-Zumar :10

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

KEDUA ORANGTUAKU, YANG SELALU
MENDOAKANKU, MENGASIHIKU, MENDUKUNGKU,
MENYEMANGATIKU DAN SEBAGAI MOTIVATOR
TERBESAR DALAM HIDUPKU

MY BROTHER AND SISTER WHO ALWAYS STAND
BY AND SUPPORTING ME UNTIL THE END OF THE
DAY, THANK YOU SO MUCH FOR YOUR KINDESS
AND YOUR SINCERE HEART

MY FELLOWSHIP OF PHYSICS DEPARTEMENT' 13

AND MY COLLEGE

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI BUBUK ANDESIT TERHADAP KARAKTERISTIK KUAT TEKAN MORTAR”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 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 yarabbal alaamiin.

Bandar Lampung, Desember 2017

Penulis,

Herullah

SANCAWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
2. Bapak Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Muhammad Amin, S.T selaku Pembimbing Lapangan yang sabar dan ikhlas dalam membimbing selama penelitian.
5. Kedua orangtuaku bapak Sohani dan ibu Sarah, kakaku tercinta Nurhasan yang luar biasa selalu menyemangati dan mendukungku selama aku menempuh di bangku kuliah. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikan dukungan do'a dan semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi.

6. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si, sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
7. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si.,M.Eng selaku Ketua Jurusan dan para dosen yang telah berjasa memberikan ilmunya kepada penulis selama menempuh pendidikan serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) – Lampung Selatan yang telah memfasilitasi penulis selama proses penelitian berlangsung.
9. Teman Seperjuangan: Tim ledom Squad Reza Andika, Neta Oktavia, Windy Mustika Sari, Risca Adriana, Kesatria Baja Hitam, English Society Unila, keluarga DPM FMIPA Unila, Keluarga Dinamis dan Kreatif BEM FMIPA Unila, Keluarga Sobat Hijrah dan lain lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terimakasih untuk semangat, bantuan dan Do'anya.
10. Teman-teman fisika angkatan 2013 yang selama ini memberikan semangat. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan nikmat sehat kepada kita semua, Aamiin.

Bandar Lampung, 4 Desember 2017

Penulis,

Herullah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANCAWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian dan Fungsi Mortar	8
B. Jenis dan Sifat Mortar.....	9
C. Semen <i>Portland</i>	12
D. Pozzolan.....	15
E. Agregat Halus	16
F. Karakteristik Batuan Andesit.....	20
G. Air	22
H. Umur Mortar.....	25
I. Kuat tekan.....	25
J. Kalsinasi	28
K. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	29
L. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	31
M. Porositas.....	32
N. Absorbsi.....	33
O. Densitas	33

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B. Alat dan Bahan	35
C. Prosedur Percobaan	36
D. Pengujian Porositas.....	37
E. Pengujian Absorbsi	39
F. Pengujian Densitas	39
G. Pengujian Absorbsi Pasir.....	40
H. Penghitung Kadar lumpur.....	41
I. Pemeriksaan Kadar Air.....	41
J. Pengujian Berat Jenis Pasir.....	42
K. Pembuatan Benda Uji	43
L. Perawatan Mortar Dalam Air (<i>curing</i>)	43
M. Prosedur Pengujian Kuat Tekan Mortar	44
N. Uji <i>X-Ray Flourescence (XRF)</i>	45
O. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i>	45
P. Diagram Alir Penelitian.....	46

IV. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pendahuluan	48
B. Hasil Pengujian Kuat Tekan	50
C. Hasil Pengujian porositas.....	57
D. Hasil Pengujian Densitas	59
E. Hasil Pengujian Absorbsi.....	61
F. Hasil Pengujian <i>X-Ray Flourescence</i>	62
G. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	65

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	69
B. Saran	70

C. DAFTAR PUSTAKA	71
--------------------------------	----

D. LAMPIRAN	
--------------------	--

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Semen Portland Tipe I PT. Semen Padang Indonesia	12
Gambar 2. Hubungan makro dan mikrotekstur terhadap kekasaran permukaan agregat (modifikasi dari Bell. F.G, 1980)	19
Gambar 3. Batuan andesit berdasarkan klasifikasinya (Eddy Sucipto dan Imam, 2000)	22
Gambar 4. Ilustrasi pengujian kuat tekan beton (Wight <i>et al.</i> , 2009).....	26
Gambar 5. Prinsip kerja alat <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	30
Gambar 6. Proses difraksi Sinar-X	31
Gambar 7. Diagram alir proses preparasi bubuk andesit	46
Gambar 8. Diagram alir proses pembuatan mortar dengan penambahan komposisi bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen	47
Gambar 9. Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan penambahan bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 7 hari	52
Gambar 10. Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan penambahan bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 14 hari	53
Gambar 11. Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan penambahan bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 28 hari	54

Gambar 12. Grafik perbandingan kuat tekan mortar untuk masing-masing umur uji	55
Gambar 13. Graik hasil pengujian porositas dengan penambahan persentase bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 28 hari	57
Gambar 14. Graik hasil pengujian densitas dengan penambahan persentase bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 28 hari	59
Gambar 15. Graik hasil pengujian absorbsi dengan penambahan persentase bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 28 hari	61
Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) pada mortar umur 28 hari dengan penambahan bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen.....	63
Gambar 17. Difaktogram hasil analisis XRD sampel bubuk andesit sebelum dikalsinasi. Legend :▲ = SiO_2 , ● = Fe_2O_3 , ■ = Al_2O_3 , * = CaO panjang gelombang $\text{CuK}\alpha = 1,541874 \text{ \AA}$	66
Gambar 18. Difaktogram hasil analisis XRD sampel bubuk andesit setelah dikalsinasi suhu 900°C . Legend ▲ = SiO_2 , ● = Fe_2O_3 , ■ = Al_2O_3 , * = CaO . Panjang gelombang $\text{CuK}\alpha = 1,541874 \text{ \AA}$..	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Komposisi oksida semen <i>portland</i>	14
Tabel 2. Komposisi kimia andesit	21
Tabel 3. Batas dan izin air untuk campuran beton	23
Tabel 4. Komposisi persentase variasi bubuk andesit.....	37
Tabel 5. Hasil pengujian berat jenis dan kadar air agregat halus	49
Tabel 6. Hasil pengujian kadar lumpur dan penyerapan air agregat halus	49
Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 7 hari.....	51
Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 14 hari.....	51
Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 28 hari.....	51
Tabel 10. Hasil pengujian <i>X-Ray Flourescene</i> (XRF)	62

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi semakin maju dan semakin pesat terutama dalam hal perkembangan dunia material. Kualitas dan mutu material sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu dan kualitas beton. Setiap perkerjaan beton ada prosedur yang harus dilaksanakan baik dari segi kekuatan maupun untuk penggerjaannya yang akan dipakai dalam suatu proyek pembangunan. Konstruksi bangunan yang berkualitas memerlukan material yang ringan dan mudah untuk dikerjakan sehingga sangat efektif untuk diterapkan dalam industri bangunan salah satunya adalah pembuatan beton ringan atau mortar (Mulyono, 2003). Beton ringan banyak dipilih dalam pekerjaan konstruksi karena mudah dibentuk serta beratnya yang ringan sehingga memudahkan dalam instalasinya (Nurzal dkk, 2013).

Menurut Maryoto, (2010) mortar merupakan suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air, baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan yang berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Dalam pembuatan mortar biasanya banyak sekali bahan yang digunakan salah satunya adalah material yang kuat dan tahan terhadap suhu tinggi, seperti batuan

andesit karena memiliki unsur dan komposisi kimia yang melimpah.

Potensi andesit di Indonesia sangat besar dan tersebar di setiap provinsi. Penelitian yang telah dilakukan Priyono, (2005) mengatakan, kandungan mineral yang ada di dalam batuan andesit berupa kalium feldspar dan piroksen. Berdasarkan data ESDM, (2014), Provinsi Lampung menghasilkan galian industri sebesar 1.980.000.000 m³ andesit, 389.000.000 m³ felspar dan 590.000.000 m³ granit yang merupakan potensi untuk dapat diolah secara maksimal.

Batuan Andesit memiliki kandungan silikat (SiO₂) yang cukup tinggi sehingga dapat digolongkan sebagai bahan tambahan mineral (*mineral admixture*) yang mampu meningkatkan mutu campuran (Purnomo, 2000). Pemilihan batuan mineral andesit sebagai bahan pengisi yang memiliki kandungan SiO₂ yang tinggi merupakan pengikat agregat yang tinggi (Basyuni, 2009). Batuan andesit tergolong jenis batuan beku luar (hasil pembekuan magma di permukaan bumi) yang bersifat masif, keras, dan tahan terhadap hujan (Rinawan, 2000). Saat ini batuan andesit dijadikan sebagai bahan agregat untuk sektor konstruksi terutama infrastruktur seperti sarana jalan raya, jembatan, gedung-gedung, irigasi, maupun perumahan dan fasilitas umum lainnya (Nandi, 2010).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Burhan dkk, (1993) andesit merupakan batuan mineral alam hasil proses vulkanisme, dimana batuan mineral andesit merupakan *amorf* dan bersifat Pozzolan, di mana bubuk andesit tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Dengan adanya sifat pozzolan tersebut, suatu material mempunyai prospek untuk digunakan dalam berbagai keperluan bangunan (Lakum, 2008).

Pozzolan merupakan material yang mampu bereaksi dengan kapur dalam suhu ruang untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat seperti semen yaitu $3\text{CaSiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Ashraf *et al.*, (2009). Beberapa bahan mineral yang memiliki sifat pozzolan diantaranya adalah *silica fume*, *fly ash*, basalt, andesit, feldspar dan bahan-bahan yang terbentuk dari aktifitas gunung berapi hasil proses vulkanisme alam sebagai bahan pengisi (*filler* atau *replacement*) Siddique and Klaus, (2009) dan Reyes *et al.*, (2010). Bahan mineral tambahan secara luas digunakan dalam aplikasi beton untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik yang mampu memberikan kuat tekan yang lebih terhadap mortar ataupun beton itu sendiri serta mengurangi terjadinya porositas yang terjadi dalam beton dan mortar (Weerdt *et al.*, 2011).

Literatur ilmiah telah mencatat sejumlah penelitian tentang pengaruh penggunaan bahan mineral alam sebagai pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar ataupun beton. Telah dilaporkan pengaruh bubuk basalt (Laiboa *et al.*, 2013; Saraya, 2011), bubuk batu kapur Deschner *et al.*, (2012) dan Lothenbach *et al.*, (2011) dan bahan mineral *fly ash* terhadap kuat tekan mortar. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan mineral yang baik untuk meningkatkan kekuatan beton itu sendiri dibandingkan mortar tanpa penambahan bahan mineral (Weerdt *et al.*, 2011).

Penelitian yang sama dilakukan oleh Assie *et al.*, (2007) dan Bekir *et al.*, (2009) mengenai kuat tekan mortar menggunakan bubuk basal dari aspek komposisi kimia utama pembentuk semen diantaranya adalah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO yang ditinjau sebagai bahan pozzolan untuk melihat pengaruh penggantian sebagian semen menggunakan *fly ash* terhadap kuat tekan mortar pada umur 7 hari, dan 28 hari ternyata hasil yang diperoleh semakin besar waktu perendaman, maka kuat

tekan yang dihasilkanpun semakin besar pula. Binici (2007) dan Binici *et al.*, (2007) melakukan penelitian untuk mengetahui perbedaan kuat tekan yang dihasilkan pada umur uji 7 dan 28 hari antara mortar atau beton tanpa penambahan bubuk basalt dengan mortar dengan penambahan bubuk basalt dengan variasi yang berbeda, hasil yang diperoleh kuat tekan yang dihasilkan mortar dengan penambahan bubuk basalt memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mortar normal atau tanpa penambahan bubuk basalt.

Pada penelitian ini diteliti pengaruh persentase penggunaan bahan mineral bubuk andesit terhadap kuat tekan mortar dengan membandingkan kuat tekan mortar tanpa bahan tambahan dan mortar dengan penambahan bubuk andesit. Benda uji yang digunakan adalah kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, dimana pengujian dilakukan pada variasi penambahan bubuk andesit 10%; 20 %; 30 %; 40 %; 50 % dari berat semen dengan umur uji yaitu 7, 14, dan 28 hari, selain itu akan dilakukan pula uji fisis meliputi porositas, densitas dan absorpsi, pada mortar yang diuji. Sampel mortar yang telah dilakukan uji kuat tekan akan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk menganalisis unsur yang terkandung pada mortar dan *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada bubuk andesit.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas timbul permasalahan yang menarik untuk diteliti yaitu :

1. Adakah pengaruh persentase penambahan bubuk andesit dapat memperbaiki kualitas kuat tekan mortar itu sendiri dengan variasi komposisi campuran yang berbeda pada masing- masing umur uji?
2. Bagaimana pengaruh uji porositas, densitas dan absorpsi terhadap ketahanan mortar tersebut?
3. Bagaimana pengaruh komposisi kimia Si, Fe, Al dan Ca terhadap sifat kuat tekan mortar yang terdapat dalam bubuk andesit?
4. Bagaimana fasa yang terbentuk pada bubuk andesit setelah dikalsinasi?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan persentase bubuk andesit yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50 % dari berat semen.
2. Karakterisasi pengujian pada campuran mortar tersebut meliputi pengujian penyerapan air (*Absorption*), pengujian berat jenis (*Density*) dan pengujian porositas (*Porosity*)
3. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari.
4. Air tawar yang digunakan untuk perawatan adalah air tawar atau air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan kebutuhan sehari-hari. Seluruh benda uji dirawat di dalam air dengan suhu 20 ± 30 °C hingga waktu pengetesan.
5. Benda uji pembuatan mortar yang digunakan yaitu berukuran 5cm x 5cm.
6. Setiap pengujian satu variasi dibuat 3 sampel uji.

7. Jenis semen yang digunakan adalah semen *portland* PT Semen padang Indonesia tipe I.
8. Pengujian bubuk andesit menggunakan XRF dan XRD.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh penambahan persentase bubuk andesit 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat semen terhadap karakteristik kuat tekan mortar dan membandingkan kuat tekan mortar tanpa penambahan bubuk andesit
2. Mengetahui pengaruh porositas, densitas dan absorpsi yang dihasilkan pada mortar dengan variasi bubuk andesit.
3. Mengetahui kekuatan mortar berdasarkan umur uji yaitu 7, 14 dan 28 hari.
4. Mengetahui pengaruh komposisi kimia Si, Al, Fe dan Ca yang terdapat pada bubuk andesit terhadap kuat tekan mortar menggunakan XRF.
5. Mengetahui struktur fasa yang terbentuk menggunakan XRD.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat di antaranya adalah :

1. Dapat diketahui pengaruh penggunaan bahan tambahan berupa bubuk andesit dalam pembuatan mortar.
2. Secara akademis dapat memberikan wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan mortar.

3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
4. Dengan adanya penelitian ini diharapkan bubuk andesit mampu dijadikan sebagai bahan pengganti untuk mengurangi penggunaan semen pada umumnya yang dapat dimanfaatkan secara luas dalam kontruksi dunia industri bangunan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian dan Fungsi Mortar

Mortar adalah campuran semen, pasir dan air yang memiliki persentase yang berbeda. Sebagai bahan pengikat, mortar harus mempunyai kekentalan standar. Kekentalan standart mortar ini nantinya akan berguna dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi plasteran dinding, sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya tidak hancur (Mulyono, 2003).

Mortar dan beton dibuat dari semen dan agregatnya yang dicampur dengan air. Hal yang perlu diketahui dari bahan bangunan adalah sifat kerapatan (densitas), porositas dan kekuatan tekan. Dalam hubungan dengan panas maka mortar juga perlu diketahui sifat-sifatnya, misalnya sebuah dinding yang terbuat dari beton mempunyai konduktifitas yang berbeda dengan bahan bangunan. Hal tersebut erat sekali hubungannya dengan penggunaan bahan bangunan (Daryanto, 1994).

Mortar dapat digunakan dalam bentuk pasta kubus beton (struktur) maupun non struktural misalnya pada pekerjaan pasangan dinding bata atau batako, pekerjaan plesteran dinding, pekerjaan pemasangan keramik dinding, pekerjaan perataan

peralatan dasar lantai sampai pada pekerjaan pasangan keramik lantai (Prasetya, 2013).

Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Mordock and Brook, 1991).

Mortar digolongkan menurut penggunaannya, misalnya untuk sambungan, tembok, tahan air, tahan api dan seterusnya. Morar untuk sambungan digunakan untuk menyambung bata, batu dan blok beton. Mortar tembok yang dipergunakan dalam berbagai perbandingan campuran untuk memenuhi keperluan pekerjaan. Pekerjaan dengan mortar tembok berlangsung menurut ukuran berikut ini : pelapisan dasar, penghalusan, pelapisan kedua dan penyelesaian (Surdia, 1996).

B. Jenis dan Sifat Mortar

Berdasarkan jenis bahan ikatnya mortar dapat dibagi menjadi beberapa jenis membagi mortar menjadi empat jenis yaitu :

1. Mortar Lumpur
2. Mortar Khusus
3. Mortar Semen
4. Mortar Kapur

Mortar dapat digunakan pada pekerjaan pekerjaan tertentu karena memiliki beberapa sifat yang menguntungkan (Adimulyono, 2007) antara lain:

- a) Murah
- b) Tahan lama (*durable*)
- c) Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan).
- d) Melekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya.
- e) Cepat kering dan mengeras.
- f) Tahan terhadap rembesan air.
- g) Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

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

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Adapun macam mortar adalah :

- a. Mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
- b. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
- c. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnya. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut.

Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (SNI, 2002).

Berdasarkan ASTM C270, *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, 2003*) mortar untuk adukan pasangan dapat dibedakan atas 5 tipe, yaitu :

1) Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar.

2) Mortar Tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkasan, saluran pembuangan dan *mainhole*.

3) Mortar Tipe N

Tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

4) Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur.

C. Semen *Portland*

Semen portland didefinisikan sebagai semen hidraulik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidraulik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya dimana semen jenis ini paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. (ASTM C-579-01, 2001).



Gambar 1. Semen Portland Tipe I PT. Semen Padang Indonesia.

Semen merupakan bahan pengikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air dan semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar dan jika digabung dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*) (Ferguson, 1991).

Faktor semen sangatlah mempengaruhi karakteristik campuran mortar. Kandungan semen hidraulik yang tinggi akan memberikan banyak keuntungan, antara lain dapat membuat campuran mortar menjadi lebih kuat, lebih padat, lebih tahan air, lebih cepat mengeras dan juga memberikan rekat yang lebih baik. Kerugiannya adalah cepatnya campuran mengeras, maka dapat menyebabkan susut kering yang lebih tinggi pula. Mortar dengan kandungan hidraulik rendah akan lebih lemah dan mudah dalam pergerakan (Gunawan, 2000).

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Perbandingan bahan-bahan utama penyusunnya adalah kapur (CaO) sekitar 60 % - 65 %, silika (SiO₂) sekitar 20% - 25% dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7% - 12 %. Material ini digiling, diaduk dan dilebur hingga menjadi butiran dalam sebuah tanur, didinginkan dan kemudian digiling hingga mencapai kehalusan sesuai dengan yang dibutuhkan. Material tersebut diangkut dalam satuan volume yang besar atau dalam kantong-kantong semen. Beton yang dibuat dari semen Portland biasanya memerlukan waktu kurang lebih dua minggu untuk mencapai kekuatan yang cukup pada saat cetakan-cetakan dari gelagar dan plat dapat dibuka dan dapat memikul beban yang sesuai struktur beton tersebut akan mencapai kekuatan rencana setelah

28 hari dan setelah massa tersebut kekuatannya akan terus bertambah sedikit demi sedikit (Igbal, 2012).

Tabel 1. Komposisi oksida semen *portland*

Oksida	Komposisi (%)
CaO	60-65
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0,5-6
MgO	0,5-4
SO ₃	1-2
K ₂ O, Na ₂ O	0,5-1

Menurut Nawi, (1990) penambahan air pada mineral ini akan menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

Menurut ASTM C 270-03 B (*American Society for Testing Materials, 2003*) semen dibagi atas : (1) jenis I, digunakan untuk bangunan umum dimana tidak diperlukannya syarat-syarat khusus. (2) jenis III, digunakan bila diperlukan beton dengan kekuatan mula yang besar. Jenis IV digunakan bila digunakan panas hidrasi yang rendah. Selain itu masih ada dua jenis lainnya (II dan V) untuk pemakain khusus dilingkungan yang mengandung sulfat (Vlack, 1994).

D. *Pozzolan*

Pozzolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton dan mortar (sampai pada batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk memperbaiki kelecekan, membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan yang bersifat agresif.

Pozzolan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. *Pozzolan* alam : yaitu bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau larva gunung yang mengandung silika aktif yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi .
2. *Pozzolan* buatan : jenis ini banyak macamnya baik merupakan sisa pembakaran dari tungku, maupun pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan proses pembakaran, seperti abu terbarg (*fly ash*), *silika fume*, dll (Gunawan, 2000).

Menurut Binichi *et al.*, (2007) *Pozzolan* dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti semen Portland. Bila di pakai sebagai pengganti sebagian semen *Portland* umumnya berkisar antara 5% sampai 35% berat semen Bila *pozzolan* dipakai sebagai bahan tambah akan menjadikan beton sernakin mudah di aduk, lebih kedap air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia. *Pozzolan* dapat mengurangi pemuaian beton yang terjadi akibat proses reaksi alkali agregat dengan demikian mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut. Pemakaian pozzolan sangat menguntungkan karena menghemat semen, dan mengurangi panas hidrasi yang mengakibatkan retakan serius (Saraya, 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Afif, (2013) menunjukkan bahwa penambahan bahan yang bersifat pozzolan

sebagai pengganti semen pada campuran mortar mampu menambah kekuatan maupun durabilitasnya.

Penambahan bahan yang bersifat pozzolan ini sebenarnya telah banyak diteliti baik pada campuran beton ataupun mortar untuk menambah kekuatannya. Pemakaian, bahan pozzolan dalam beton akan menghasilkan beton yang lebih kedap air. Silika dalam jumlah tertentu dapat menggantikan semen dan juga berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel semen, sehingga adanya sisa maka porositas beton akan menjadi lebih kecil dan selanjutnya kedap air beton akan menjadi bertambah sehingga permeabilitas semakin kecil. Bahan ini mereduksi kecepatan pengerasan beton dan ini adalah salah satu keberatan dari penggunaanya. Bukti-bukti yang ada menunjukkan bahwa kekuatan batas dengan mengganti sekurang-kurangnya 20 % dari semen dengan pozzolan hampir tak berbeda dengan bilamana semen saja yang digunakan (Mordock and Brook, 1991).

E. Agregat Halus

Dalam struktur beton biasanya agregat menempati kurang lebih 70 sampai 75 % dari volume massa yang telah mengeras. Sisanya terdiri dari adukan semen yang telah mengeras, air yang belum bereaksi (yaitu, air yang tidak ikut dalam proses hidrasi dari semen) dan rongga-rongga udara. Air yang belum bereaksi dan rongga-rongga udara kenyataannya tidak memberikan sumbangannya kekuatan terhadap beton. Pada umumnya, semakin padat agregat-agregat tersebut tersusun, semakin kuat pula beton yang dihasilkannya, daya tahaninya terhadap cuaca dan nilai ekonomis dari beton tersebut (Winter dkk, 1993).

Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*, daya tahan terhadap kumunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Oleh karena agregat lebih murah dari semen, maka adalah logis untuk menggunakannya dengan persentase yang setinggi mungkin. Umumnya untuk kekuatan yang maksimum, ketahanan dan ekonomis, agregat harus disemen sepadat mungkin (Chu-Kia *et al.*, 1994).

Agregat harus kuat, tahan lama dan bersih. Jika terdapat debu dan partikel-partikel lain, debu dan partikel tersebut akan mengurangi ikatan antara pasta semen dengan agregatnya. Kekuatan agregat memberikan pengaruh penting pada kekuatan beton dan sifat-sifat agregat sangat mempengaruhi daya tahan beton (McCormac dan Jack, 2003).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan kasar berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lain. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agragat kasar yaitu 4.80 mm (*British Standard*) atau 4.75 mm (Standar ASTM C 1403-00, 2000). Aggregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Aggregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 mm dibagi lagi menjadi dua : yang berdiameter antara 4.80-40 mm disebut kenikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar (Kusumantara dan Basoenondo, 2009).

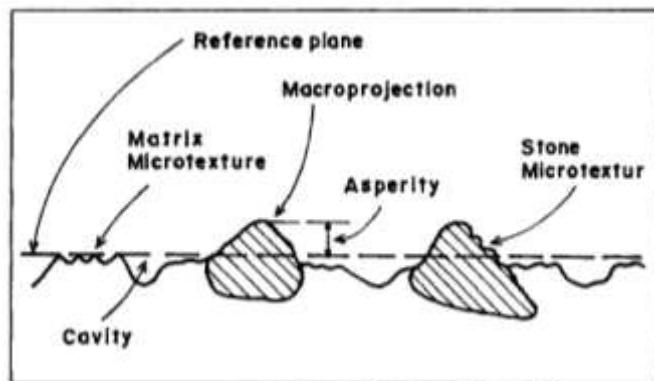
Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik (Nawi, 1990).

Kekuatan mortar akan bertambah jika kandungan pori dalam mortar semakin kecil. Terjadi hubungan langsung antara kukuatan dengan kandungan pori dalam agregat. Semakin tinggi angka pori dalam agregat berarti semakin tinggi angka pori dalam beton yang pada akhirnya akan menyebabkan turunnya kekuatan beton (Mulyono, 2003). Sedangkan menurut Habboud, (2011) agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat menempati sebanyak kurang lebih 70 % dari volume beton atau mortar. Oleh karena itu sifat-sifat agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan. Menurut peraturan yang dipakai saat ini kekasaran agregat halus dibagi menjadi empat zona yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar (SNI, 2008).

Penelitian yang dilakukan oleh Adi Prasetya pada tahun 2013 menyimpulkan bahwa semakin baik jenis agregat (nilai keausan rendah) maka akan menghasilkan kuat tekan beton porous yang lebih besar. Ikatan semen yang baik mampu mengikat agregat sehingga tidak terlepas saat dilakukan uji kuat tekan. Faktor air semen yang kecil (0,4) menghasilkan kuat tekan beton porous yang lebih besar pula (Prasetya, 2013).

Beberapa agregat memiliki potensi reaksi alkali, baik dari jenis batuan beku, sedimen maupun metamorf. Reaksi alkali-agregat akan lebih mudah terjadi pada batuan yang kaya akan material silikaan (*siliceous materials*), yang antara lain hadir

sebagai mineral-mineral silikat (*silicate minerals*). Secara umum, jenis batuan yang cukup banyak digunakan sebagai agregat dan memiliki potensi reaksi alkali cukup tinggi antara lain yaitu batuan beku yang berkomposisi asam hingga intermedier Clutterbuck *et al.*, (1982) seperti granit, riolit, syenit, diorit, dasit, dan andesit. Mineral-mineral silikat hadir cukup dominan pada batuan ini. Adanya reaksi alkali antara agregat dengan semen menyebabkan terjadinya proses pengembangan (*expansion*) yang ditandai oleh hadirnya gel silika dan umumnya diikuti oleh adanya retakan (*cracking*) pada penggunaannya sebagai agregat beton. Hampir 75% dari volume beton atau mortar terdiri atas agregat. Dengan demikian maka sifat-sifat dan perilaku agregat akan sangat berpengaruh terhadap kondisi alami dan perilaku beton atau mortar (Wigun, 1995).



Gambar 2. Hubungan makro dan mikrotekstur terhadap kekasaran permukaan agregat (modifikasi dari Bell. F.G, 1980).

Dalam penelitian ini digunakan agregat halus yang bersal dari pasir tanjung bintang, Lampung Selatan. Pasir merupakan bahan yang fundamental dalam proses pengecoran karena pasir adalah bahan yang paling banyak tersedia di alam. Pasir cetak yang umum digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika yang disediakan alam. Pasir cetak yang baik memiliki persyaratan

seperti mempunyai sifat mampu bentuk, permeabilitas yang cocok, distribusi besar butir pasir yang baik, tahan terhadap temperatur logam yang tinggi, komposisi baik, pasir harus murah (Astrid dkk, 2007). Dalam prakteknya, sering dijumpai cacat pada pengecoran. Cacat-cacat pengecoran yang umum terjadi adalah kekasaran permukaan, cacat porositas didalam coran dan cacat-cacat yang disebabkan oleh runtuhnya cetakan. Sifat-sifat cetakan itu sendiri sangat tergantung pada distribusi besar butir pasir cetak, persentase zat pengikat dan persentase kadar air. Timbulnya cacat-cacat tersebut dipengaruhi oleh kemampuan alir gas (permeabilitas) dan kekuatan cetakan yang kurang baik, hal itu bisa disebabkan karena campuran kadar air pada pasir cetak basah dengan bahan pengikat yang kurang ataupun kadarnya yang berlebihan. Bahan pengikat dalam hal ini adalah bentonit telah melakukan penelitian hubungan ukuran butir terhadap permeabilitas dan porositas, diperoleh bahwa ukuran butir dengan porositas dan permeabilitas mempunyai hubungan linear yang kuat dan berkorelasi (Nurwidjanto dkk, 2006).

F. Karakteristik Batuan Andesit

Andesit merupakan salah satu batuan vulkanik yang yang memiliki unsur mineral yang kaya akan kandungan mineralnya setelah basalt Fisher dan Schmincke, (1984). Andesit merupakan batuan yang menunjukkan tekstur kasar yang memiliki kandungan mineral terdiri dari *olivin*, *piroksen*, *hornblend* dan *plagioklas*. Kandungan utama andesit ialah kandungan silikat yang tinggi atau SiO_2 , alkali feldspar hadir dalam jumlah yang kecil, sedangkan kuarsa hadir sebagai pembentuk mineral gelas. Batuan andesit yang merupakan jenis aliran lava berbutir kasar dan merupakan batuan yang tertua di kawasan pegunungan. Batuan andesit memiliki

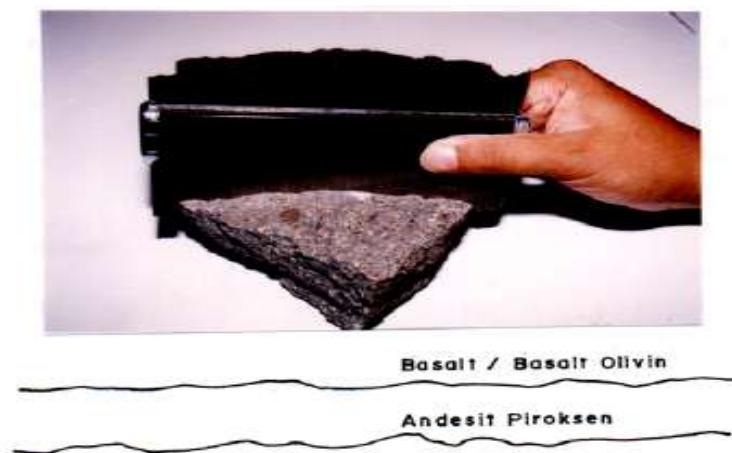
kandungan mineral silika yang tinggi (SiO_2), sehingga mampu dijadikan sebagai tambahan dalam infrastuktur material bangunan (Richardson, 1939).

Saat ini batuan andesit banyak digunakan untuk sektor konstruksi terutama infrastruktur seperti sarana jalan raya, jembatan, gedung-gedung, irigasi, maupun perumahan dan fasilitas umum lainnya. Potensi andesit di Indonesia sangat besar dan tersebar di setiap provinsi. Kandungan mineral yang ada di dalam batuan andesit berupa kalium feldspar dengan jumlah <10% dari kandungan feldspar total, natrium plagioklas, kuarsa <10%, feldspatoid <10%, *hornblende*, biotit, dan piroksen (Achmadin, 2010). Kandungan batuan andesit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia andesit

Senyawa	Komposisi (%)
SiO_2	47,55
Al_2O_3	18,37
Fe_2O_3	8,19
CaO	7,11
MgO	2,25
Na_2O	1,70
K_2O	2,16
TiO_2	0,59
MnO	0,22
P_2O_5	0,30
H_2O	0,52

Penelitian yang dilakukan oleh Sucipto dan Sadisun, (2000) analisis *X-Ray Florence* (XRF) dilakukan terhadap lima sampel batuan andesit dan satu sampel tanah. Tujuan analisis ini ialah untuk mendapatkan satu perbandingan diantara kandungan dan unsur-unsur dominan yang terdapat di dalam batuan andesit. Hasil didapatkan dari analisis menunjukkan bahwa peresentase SiO_2 yang diperoleh pada batuan andesit diantaranya 48.03%-50.24%, Fe_2O_3 berkisar diantara 11.48%-12.69%; Al_2O_3 diantara 13.66-17%, CaO diantara 5.96-11.64%, MgO berkisar 5.3-7.53%, K_2O diantara 1-1.46%, dan TiO_2 diantara 0.85- 1.25%. Sedangkan MnO , PO_2P_3 masing-masing mempunyai persentase yang sangat rendah yaitu kurang dari 1 % (Sucipto dan Sadisun, 2000).



Gambar 3. Batuan andesit berdasarkan klasifikasinya (Sucipto dan Sadisun, 2000).

G. Air

Air diperhatikan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang

mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2003).

Pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang sering disebut sebagai faktor air semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Nawi, 1990).

Tabel 3. Batas dan izin air untuk campuran beton

Kondisi	Batas yang diizinkan
pH	4,5-8,5
Bahan Padat	2000 ppm
Bahan Terlarut	2000 ppm
Bahan Organik	2000 ppm
Minyak	2% berat semen
Sulfur (SO ₃)	10000 ppm
Chlor (Cl)	10000 ppm

Air memenuhi beberapa pengaruh terhadap kekuatan beton antara lain :

1. Air merupakan media pencampur pada pembuatan pasta.
2. Kekuatan dan pasta pengerasan semen ditentukan oleh perbandingan berat antara air dan faktor semen.
3. Kandungan air yang tinggi menghalangi proses pengikatan dan kandungan air yang rendah sehingga reaksi tidak selesai (Mordock and Brook 1991).

Sedangkan menurut Nugraha dkk, (2007) bahwa Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor di bawah ini :

1. Ukuran agregat maksimum : diameter membesar, maka kebutuhan air menurun.
2. Bentuk butir : bentuk bulat, maka kebutuhan air menurun (batu pecah perlu banyak air).
3. Gradasi agregat : gradasi baik, maka kebutuhan air menurun untuk kelecahan yang sama.
4. Kotoran dalam agregat : makin banyak silt, tanah liat dan lumpur, maka kebutuhan air meningkat.
5. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar) : agregat halus lebih sedikit, maka kebutuhan air menurun.

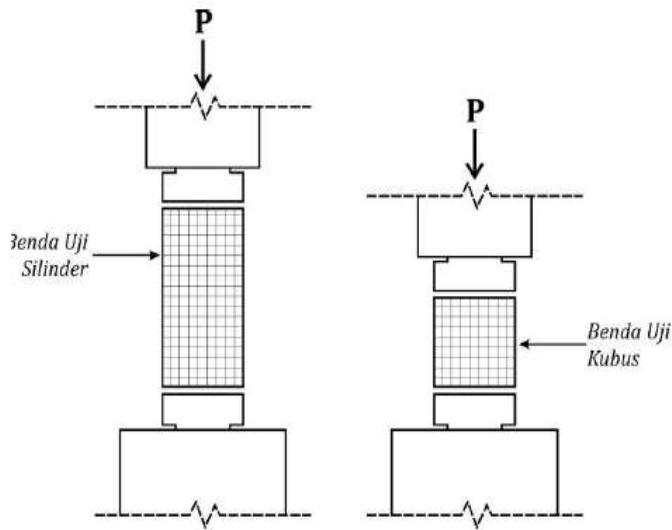
Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, faktor air semen dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen dan *additive cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998).

H. Umur Mortar

Umur ternyata mempengaruhi kekuatan dari mortar. Kecepatan penambahan kekuatan dari semen dan beton atau morar tergantung pada senyawa – senyawa yang ada. Kekuatan naik dengan pesat selama awal dari pengerasan dan makin lama makin berkurang. Pada awal hidrasi hanya berlangsung reaksi kimia pada sebelah luar partikel semen. Bilamana sepotong beton/mortar diperiksa dibawah mikroskop, tampak masih adanya partikel yang belum mengalami hidrasi dalam pasta yang mengeras. Partikel yang belum mengalami hidrasi ini terus menyerap air dari udara meskipun air pencampur telah kering. Proses kimia yang berlangsung terus menerus ini meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton sampai beberapa tahun tetapi peningkatannya kecil dibandingkan pada umur muda (Munaf dkk, 2003).

I. Kuat Tekan

Kuat tekan beban beton didefinisikan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Benda uji berupa kubus (15 cm x 15 cm x 15 cm). sedangkan untuk mortar berupa kubus (5 cm x 5 cm x 5 cm). Ilustrasi pengujian benda uji beton pada mesin kuat tekan beton dengan pembebanan yang konstan.



Gambar 4. Ilustrasi pengujian kuat tekan beton (Wight *et al.*, 2009).

Kekuatan adalah parameter yang paling penting dalam pemilihan bahan baku agregat. Mineralogi dan tekstur agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatannya (Kazi and Al-Mansour, 1980). Mineral silikat secara tipikal lebih resistan terhadap gaya tekan daripada jenis mineral lainnya. Kekerasan relatif dari mineral pembentuk batuan juga berpengaruh terhadap kekuatannya. Adapun unsur-unsur tekstur yang berpengaruh terhadap kekuatan agregat diantaranya adalah: ukuran kristal atau butiran, orientasi relatif kristal atau butiran, kebundaran, dan porositas. Ukuran kristal atau butiran relatif lebih konsisten berpengaruh terhadap kekuatannya (Kazi and Al-Mansour, 1980). Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rachman dkk, (2008) mendefinisikan sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan mortar biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton/mortar tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. Kekuatan tekan beton dapat mencapai sampai 100 kg/cm^2 atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton/mortar yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm². Nilai kuat tekan mortar didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa kubus dengan ukuran diameter 5 cm x 5 cm Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton atau mortar yang dinyatakan dalam satuan MPa atau kg/cm². Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar (ASTM C 579-01, 2001). Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan mortar (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (cm)

Menurut Gambhir, (1986) menyebutkan bahwa Kuat tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton/mortar yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam pencapaian kuat tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan dalam *mix design*. Adapun hal-hal yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu :

1. FAS atau Faktor Air Semen, hubungan FAS dengan kuat tekan beton adalah semakin rendah nilai fas maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton. Tetapi pada kenyataannya pada suatu nilai FAS tertentu semakin rendah nilai FAS maka kuat tekan beton/mortar akan rendah. Hal ini terjadi karena jika FAS rendah menyebabkan adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai optimal yang menghasilkan kuat tekan beton.
2. Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh FAS dan suhu perawatan. Semakin tinggi FAS, maka semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.
3. Jenis semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda. Efisiensi dari perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton atau mortar.

K. Kalsinasi

Kalsinasi merupakan pengkomposisian senyawa yang berbentuk serbuk atau padatan pada suhu dibawah titik leleh. Kalsinasi merupakan salah satu jenis perlakuan panas yang biasanya digunakan untuk memanaskan bahan yang berbentuk serbuk atau pellet. Kalsinasi juga berfungsi untuk melepaskan gas-gas

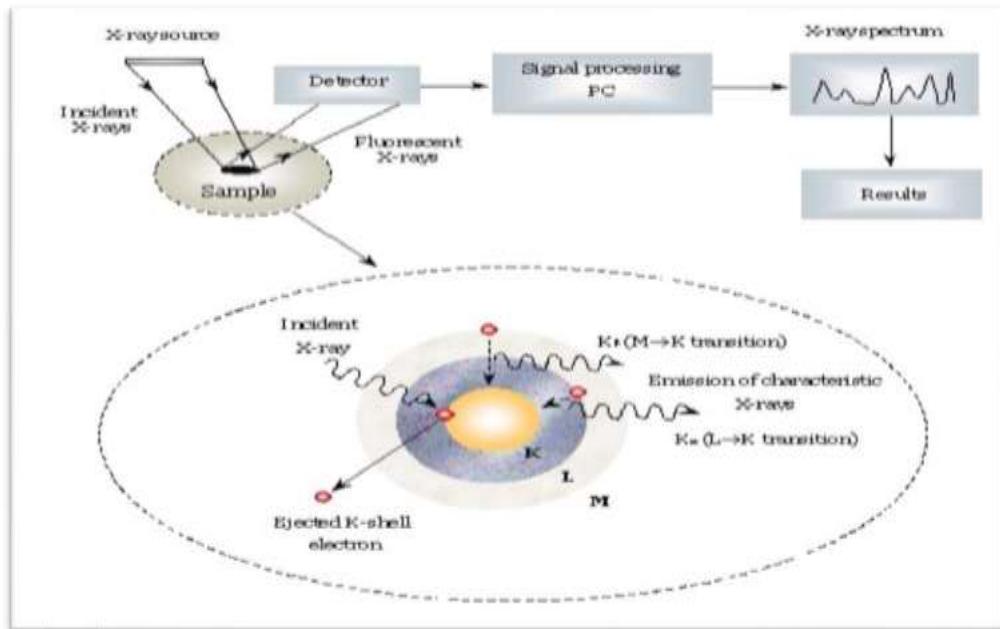
dalam berbentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan serbuk dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu tinggi yang suhunya tergantung pada jenis bahannya. Kalsinasi diperlukan sebagai penyiapan serbuk untuk diperoses lebih lanjut dan juga untuk mendapatkan ukuran partikel yang optimum serta menguraikan senyawa-senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida membentuk fase kristal (Rahman, 1995).

L. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Teknik analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan teknik analisis suatu bahan dengan menggunakan peralatan spektrometer yang dipancarkan oleh sampel dari penyinaran sinar-X. sampel yang dianalisis dapat berupa sampel padat pejal dan serbuk. Dasar analisis alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah pencacahan sinar-X yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti atom (kulit K) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Kekosongan elektron ini terjadi karena eksitasi elektron. Pengisian elektron pada orbital K akan menghasilkan spektrum sinar-X deret K, pengisian elektron pada orbital berikutnya menghasilkan spektrum sinar-X deret L, deret M, deret N dan seterusnya (Brouwer, 2003).

Spektrum sinar-X yang dihasilkan selama proses diatas menunjukkan puncak (*peak*) karakteristik yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada pada sampel. Sinar-X karakteristik diberi tanda sebagai K, L, M, N dan seterusnya untuk menunjukkan dari kulit mana unsur itu berasal. Penunjukkan alpha (α), beta (β) dan gamma (γ) dibuat untuk memberi tanda sinar- X itu berasal

dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu $K\alpha$ adalah sinar-X yang dihasilkan dari transisi elektron kulit L ke kulit K.



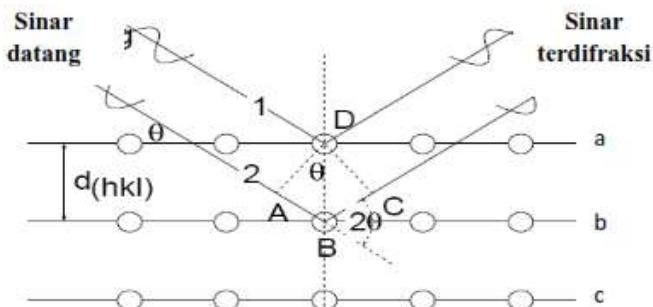
Gambar 5. Prinsip kerja alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Grieken and Markowicz, 2002).

Analisis Fluoresensi *X-Ray* (XRF) adalah metode fisik nondestruktif yang digunakan untuk analisis bahan unsur kimia dalam keadaan padat atau cair. Spesimen ini disinari oleh foton atau dibebankan. Partikel energi yang cukup untuk menyebabkan unsur-unsurnya memancarkan (berfluoresen) spektrum garis *x-ray* karakteristik dari bahan yang disinari. Sistem deteksi memungkinkan menentukan energi dari garis emisi dan intensitasnya. Elemen di spesimen diidentifikasi oleh energi garis spektrum atau panjang gelombang untuk analisis kualitatif, dan Intensitas berhubungan dengan konsentrasi unsur yang memberikan kesempatan untuk analisis kuantitatif. Komputer banyak digunakan di bidang ini, baik untuk pengumpulan data otomatis maupun untuk mengurangi data sinar-X ke persen berat

dan komposisi kimia atom atau daerah yang berhubungan dengan massa (Grieken and Markowicz, 2002).

M. X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sebagai sasarannya. Oleh karena itu, suatu tabung sinar-X harus mempunyai sumber elektron, voltase tinggi dan logam sasaran. XRD dilengkapi dengan beberapa komponen seperti tabung sinar-X, monokromator, detektor dan lain-lain. Peristiwa difraksi sinar-X dapat dilukiskan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Proses difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Cara penelitian dengan menggunakan sinar-x yang paling banyak diterapkan adalah dengan analisis bahan dalam bentuk serbuk halus. Berkas sinar-x yang sejajar diarahkan pada serbuk. Berkas yang terdifraksi akan membentuk kerucut difraksi dengan sudut 2θ . Kerucut difraksi mengenai pita film pada dua tempat, masing-masing membentuk sudut dengan garis berkas keluar-masuk. Diperoleh kerucut

terpisah untuk setiap nilai tertentu. Jadi, letak garis difraksi dapat ditentukan dan jarak d dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $n\lambda = 2d \sin \theta$ (Vlack, 1994).

Metode analisis difraksi sinar-X dikenal dengan sebutan X-Ray Diffraction struktur fasa, ukuran partikel bahan seperti keramik, komposit, polimer dan lain-lain (Cullity, 1978). Difraksi sinar-X dalam analisis padatan kristalin memegang peranan penting untuk meneliti parameter kisi dan tipe struktur selain itu dimanfaatkan untuk mempelajari cacat pada kristal individu dengan mendeteksi perbedaan intensitas difraksi di daerah kristal dekat dislokasi dan daerah kristal yang mendekati kesempurnaan (Smallman dan Bishop, 2000).

N. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total mortar (volume benda uji). Range pori pada mortar umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti faktor air semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai *slump*, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemasakan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada mortar maka semakin besar kuat tekan atau mutu mortar, sebaliknya semakin besar porositas mortar, maka kekuatan mortar akan semakin kecil (Nurwidhyanto dkk, 2006).

Dimana :

w_3 = berat yang direndam dalam air (gram)

w_1 = berat awal/ kering (gram)

w_2 = berat setelah dilap dengan kain (gram)

O. Absorbsi

Absorpsi merupakan banyaknya air yang diserap benda uji beton. Besar kecilnya penyerapan air oleh beton sangat dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Rongga (pori) yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya (Nurwidjanto dkk, 2006). Nilai absorpsi dapat dihitung dengan rumus

Dimana

w_1 = Berat awal/ kering (gram)

w_2 = Berat setelah dilap dengan kain (gram)

P. Densitas

Kerapatan (*density*) adalah turunan besaran karena menyangkut satuan massa dan volume. Batasannya adalah massa persatuan volume pada temperatur pada tekanan

tertentu. Kerapatan benda padat dibedakan menjadi 2 yaitu kerapatan padat (*solid/particle density*) dan kerapatan curah (*bulk density*) Pada penelitian ini Mortar harus diteliti densitasnya karena nantinya mortar ini akan, digolongkan dalam jemnya sendiri yaitu mortar ringan, sedang atau berat (Nurwidjanto dkk, 2006).

dapat diukur sebagai berikut.

Dimana

w_1 = Berat awal/ kering (gram)

w_3 = Berat setelah dilap dengan kain (gram)

w_2 = Berat direndam dalam air (gram)

ρ_{air} = Massa jenis (g/cm³)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 1 Januari 2017 sampai dengan tanggal 1 Juni 2017. Penelitian ini dilakukan 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 Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa timbangan digital merk *Gold series ohaus*, panel *electrical furnace*, oven merk memmert, XRF *PAN Analytical*, XRD *PAN Analytical*, gelas ukur pyrex 25 mL, picnometer Pyrex 50 mL, ayakan mesh no 200, mesin uji kuat tekan merk *Wykeham Farrance Engineering* made in *England* model 55104 capacity 1500 kN, pH indikator, ember, spatula, sarung tangan, *Ball Mill* merk *Yuema Helical Great type* TR67-A-D112.M4 no. 01307.30166, mixer type B10 made in *China* capacity 10 liter serta

rotation 360/164 rpm, beaker glass Pyrex *made in Thailand*, 500 mL; 100 mL; 50 mL, cetakan kubus ukuran 5cm x 5cm, timbangan analog *merk five Goat made in China capacity 5 kg* serta graduation 20 gr. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya semen *portland* tipe I PT. Semen Padang Indonesia, air berasal dari laboratorium analisis kimia dan Non Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) - Lampung Selatan. Bubuk andesit berasal dari Tanjung Bintang dan pasir Maringgai asal Tanjung Bintang.

C. Prosedur Percobaan

Adapun prosedur pembuatan mortar adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan bahan baku mortar. Bahan yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah pasir, air semen *portland* tipe I PT. Semen Padang Indonesia dan bubuk andesit.
- b. Bubuk andesit kemudian diayak menggunakan Mesh ukuran 100 untuk mendapatkan bahan yang lebih halus.
- c. Selanjutnya menimbang masing- masing komposisi dengan perbandingan 4:1 (pasir:semen) berdasarkan SNI. 03-6825, 2002 dengan takaran masing-masing komposisi yaitu, 3 kg. berat semen di variasikan dengan persentase komposisi bubuk andesit yaitu 10 %, 20%, 30%, 40% dan 50% (masing-masing komposisi dibuat 3 benda uji). Kemudian memasukannya kedalam wadah pengaduk.
- d. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah mengaduk campuran mortardari masing- masing komposisi menggunakan *mixer*. Pengadukan dilakukan hingga merata \pm 2 menit.

- e. Memberi air kedalam campuran bahan mortar. Hal ini bertujuan agar komposisi yang dibuat menjadi lunak sehingga mengurangi terjadinya *cracking* atau keretakan.
- f. Setelah campuran bahan teraduk secara merata, bahan dimasukan didalam alat pencetak mortar berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm
- g. Selanjutnya benda uji didiamkan selama 24 jam dari waktu pencetakan untuk kemudian dimasukan kedalam air rendaman (*Curing*) dengan variabel umur mortar perendaman 7, 14 dan 28 hari.
- h. Selanjutnya adalah pengujian mortar.

Tabel 4. Komposisi persentase variasi bubuk andesit

No	Perbandingan Campuran (Semen:Pasir)	Semen : pasir (gr) 600: 2400 1:4	Percentase penambahan bubuk andesit berat semen (%wt gr)				
			10%	20%	30%	40%	50%
1			60	120	180	240	300

D. Pengujian Porositas

Adapun pengujian porositas berdasarkan **SNI 1969-2008** adalah sebagai berikut :

- a. Mencatat nilai mortar refraktori sebelum direndam kedalam air.
- b. Merendamkan mortar kedalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan bata benar benar basah.
- c. Selanjutnya menimbang mortar dari masing-masing komposisi kedalam timbangan digital untuk kemudian dicatat berat mortar setelah direndam dalam air dan dicatat hasilnya.

- d. Mengusap sisi permukaan yang berisi air dari masing-masing komposisi dengan menggunkann kain lap, kemudian menimbangnya kembali pada penimbang digital, dan dicatat hasilnya.
 - e. Terakhir adalah menghitung porositas dari masing-masing komposisi dengan menggunakan persamaan :

Dimana :

w_3 = berat yang direndam dalam air (gram)

w_1 = berat awal/ kering (gram)

w_2 = berat setelah dilap dengan kain (gram)

E. Prosedur Uji Absorbsi

Adapun prosedur uji absorbsi berdasarkan **SNI 1969-2008** sebagai berikut :

- a. Mencatat nilai mortar sebelum dimasukan kedalam air.
 - b. Merendamkan mortar kedalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan bata benar benar basah.
 - c. Selanjutnya menimbang mortar dari masing-masing komposisi kedalam timbangan digital untuk kemudian dicatatkan berat mortar setelah direndam dalam air dan dicatat hasilnya.

- d. Mengusap sisi permukaan yang berisi air dari masing-masing komposisi dengan menggunakan kain lap, kemudian menimbangnya kembali pada penimbang digital, dan dicatat hasilnya.
 - e. Terakhir adalah menghitung absorpsi dari masing-masing komposisi dengan menggunakan persamaan :

Dimana

w_1 = Berat awal/ kering (gram)

w_2 = Berat setelah dilap dengan kain (gram)

F. Prosedur Uji Densitas

Adapun prosedur uji densitas berdasarkan **SNI 1969-2008** sebagai berikut :

- a. Mencatat nilai mortar sebelum dimasukan kedalam air.
 - b. Merendamkan mortar kedalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan bata benar benar basah.
 - c. Selanjutnya menimbang mortar dari masing-masing komposisi kedalam timbangan digital untuk kemudian dicatat berat mortar setelah direndam dalam air dan dicatat hasilnya.
 - d. Mengusap sisi permukaan yang berisi air dari masing-masing komposisi dengan menggunakan kain lap, kemudian menimbangnya kembali pada penimbang digital, dan dicatat hasilnya.

- e. Terakhir adalah menghitung densitas dari masing-masing komposisi dengan menggunakan persamaan :

Dimana

w_1 = Berat awal/ kering (gram)

w_3 = Berat setelah dilap dengan kain (gram)

w_2 = Berat direndam dalam air (gram)

ρ_{air} = massa jenis air (g/cm^3)

G. Pengujian Absorbsi pasir

Langkah-langkah pengujian absorpsi air berdasarkan **ASTM C187** adalah sebagai berikut :

- a. Menimbang 10 gram pasir dengan menggunakan timbangan digital (A).
 - b. Memasukan pasir kedalam beaker glass 100 ml.
 - c. Memasukan air hingga pasir terendam seluruhnya dan didiamkan selama 4 jam.
 - d. Membuang air, namun usahakan agar pasir tidak ikut terbuang.
 - e. Menimbang pasir kembali (B) dan menghitung absorpsi pasir.

H. Pengujian Kadar Lumpur

Langkah-langkah pengujian lumpur berdasarkan **ASTM C187** sebagai berikut :

- a. Menimbang 10 gram pasir dengan timbangan digital (w_1).
 - b. Memasukan pasir yang telah ditimbang kedalam beaker glass 50 mL.
 - c. Memasukan air sedikit demi sedikit sambil mengaduk pasir secara perlahan-lahan sampai warna air yang telah tercampur benar-benar jernih dan bersih.
 - d. Kemudian pasir ditaruh dicawan dan dikeringkan didalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam. Selanjutnya menimbang beratnya (w_2).
 - e. Menghitung kadar lumpur pasir.

I. Pemeriksaan Kadar Air

Langkah-langkah pengujian kadar air berdasarkan **ASTM C187** sebagai berikut:

- a. Menimbang cawan yang akan digunakan (a) dan memasukan benda uji yaitu cawan dan menimbangnya (b).
 - b. Memasukan cawan yang berisi pasir kedalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
 - c. Menimbang cawan berisi pasir yang sudah dioven (c) dan menghitung presentase kadar air.

J. Pengujian Berat Jenis Pasir

Langkah-langkah pengujian berat jenis pasir berdasarkan **ASTM C187** adalah sebagai berikut :

- a. Menimbang agregat dalam keadaan kering muka sebanyak 10 gram dan masukkan kedalam piknometer/gelas ukur.
 - b. Mengisi picnometer dengan air 90% isi picnometer dan putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
 - c. Menimbang picnometer yang sudah diisi air tersebut (w_2).
 - d. Menimbang berat picnometer sehingga bisa diketahui beratnya (w_1).
 - e. Menimbang picnometer yang sudah berisi pasir (w_3).
 - f. Kemudian menambahkan aquades kedalam picnometer yang sudah berisi pasir hingga penuh. Lalu menutup picnometer dandidamkan selama 24 jam.
 - g. Selanjutnya menimbang picnometer (w_4) kembali serta mencatat suhunya (T_2).
 - h. Menghitung berat jenis dengan menggunakan pesamaan :

$$Berat\ Jenis = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)}. \quad \dots \dots \dots (7)$$

K. Pembuatan Benda Uji

Prosedur pelaksanaan pembuatan benda uji :

- a. Siapkan cetakan silinder ukuran 5 cm x 5 cm. Cetakan terlebih dahulu dibasahi dengan air agar mudah dilepas dari betonnya, kemudian diletakkan diatas bidang yang rata dan tidak menyerap air.
- b. Memasukkan semen, pasir dan air sesuai pada perhitungan mix desain kedalam *mixer* yang diputar dengan mesin hingga campuran tersebut homogen.
- c. Adukan mortar untuk benda uji harus diambil langsung dari mesin pengaduk dengan menggunakan cetok. Adukan mortar diisikan ke dalam cetakan yang kira–kira sama tebalnya, dimana masing–masing lapis ditusuk–tusuk 10 kali dengan tongkat baja berdiameter 16 mm dengan ujung dibulatkan. Setelah cetakan penuh, bagian tepi cetakan disosok dengan cetok agar sisi tepi mortar benar–benar padat. Apabila mortar sudah padat, permukaan mortar diratakan.
- d. Benda uji yang baru dicetak harus disimpan di tempat yang bebas dari getaran dan dibiarkan selama 24 jam, bila mortar sudah mengeras kemudian cetakan dilepas secara hati–hati.
- e. Masing–masing benda uji diberi tanda dan disimpan.

L. Perawatan Mortar Dalam Air (*Curing*)

Proses perawatan mortar dimulai dengan menyimpan benda uji dalam ruangan yang terhindar dari gangguan dan getaran selama satu hari, hal ini dimaksudkan agar mortar dapat terbentuk dengan baik. Setelah satu hari didiamkan, maka benda uji dapat dibongkar dari cetakannya untuk selanjutnya dilakukan perawatan terhadap mortar tersebut. Perawatan benda uji adalah suatu pekerjaan menjaga agar

permukaan mortar selalu lembab, sejak adukan mortar dipadatkan hingga mortar menjadi keras. Cara perawatan yang dilakukan terhadap benda uji kubus pada penelitian TA ini adalah dengan merendam benda uji dalam air. Perawatan mortar dilakukan hingga mortar tersebut siap untuk dilakukan uji kuat tekan pada masing-masing umur yang telah ditentukan.

M. Prosedur Pengujian kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji tersebut. Benda uji yang dipakai adalah kubus dengan ukuran sisinya (5 x 5 x 5) cm³. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan saat mortar berumur 7, 14 dan 28 hari. Sedangkan umur uji yang digunakan untuk pembanding hanya umur 28 hari yaitu sampel yang tidak ada tambahan bubuk andesit dan sampel dengan andesit tanpa di furnace. Jumlah mortar yang di uji pada umur 28 hari yaitu terdiri dari 3 buah sampel untuk masing-masing campuran. Prosedur kerja untuk pengujian kuat tekan pada benda uji mortar, antara lain :

- a. Dikeluarkan benda uji setelah berumur 28 hari dari bak perendaman lalu dikeringkan dengan lap dan dibiarkan selama 24 jam.
- b. Benda uji diletakkan pada mesin penekan.
- c. Diberikan beban tekan secara perlahan-lahan pada benda uji dengan cara mengoperasikan tuas pompa sehingga benda uji runtuh dan hancur.
- d. Pada saat jarum penunjuk skala beban tidak lagi bergerak atau bertambah maka skala yang ditunjuk oleh jarum tersebut dicatat sebagai beban maksimum yang dapat dipikul oleh benda uji tersebut.
- e. Prosedur ini diulangi untuk sampel benda uji kuat tekan yang lain.

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan mortar (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (cm)

N. Uji XRF

Pada tahap ini, data yang diperoleh hasil analisis dari pengujian menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) berupa hasil analisis kualitatif dan hasil analisis kuantitatif. Hasil analisis kualitatif bubuk andesit yaitu mengidentifikasi jenis unsur yang terkandung dalam sampel bubuk andesit yang ditunjukkan berupa adanya jenis unsur yang terdeteksi oleh alat XRF sedangkan analisis kuantitatif yaitu mengidentifikasi jumlah unsur yang terkandung dalam sampel berupa konsentrasi unsur dalam bilangan perseratus (%) dari sampel yang diuji.

O. Karakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)*

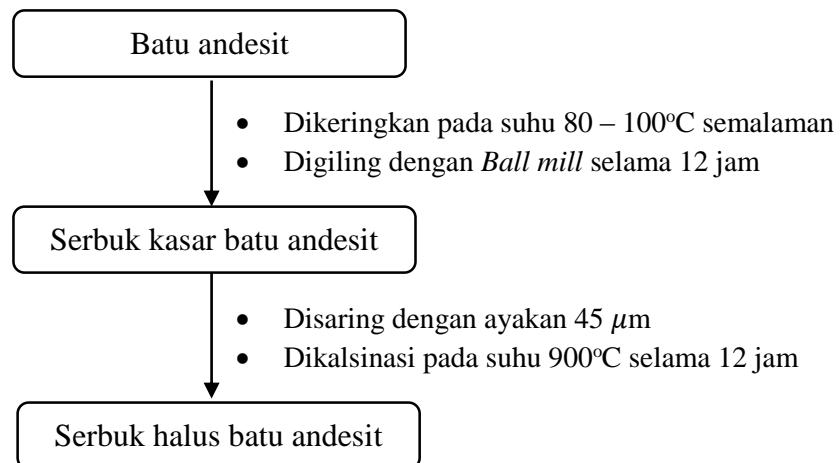
Pada tahap ini bubuk andesit yang diperoleh dari hasil preparasi akan dilakukan uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk sebelum dan sesudah kalsinasi pada suhu 900 °C.

P. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir untuk penelitian ini terdiri dari proses preparasi bubuk andesit yang dihasilkan dari batu andesit dan pembuatan mortar dengan penambahan bubuk andesit.

1. Preparasi bubuk andesit

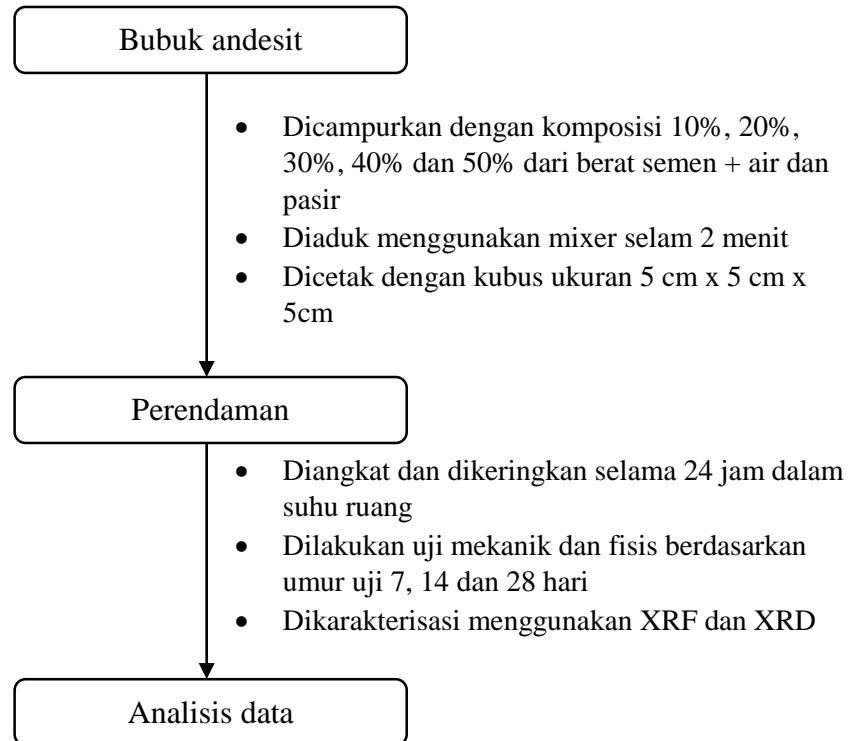
Diagram alir ini merupakan skema dari proses preparasi batu andesit untuk mendapatkan bubuk andesit sebagai bahan dalam pembuatan mortar. Diagram alir proses preparasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir proses preparasi bubuk batu andesit.

2. Pembuatan mortar dengan penambahan komposisi bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen

Diagram alir ini dibuat untuk melihat skema proses pembuatan mortar dengan penambahan komposisi bubuk andesit (wt%) yang diperoleh melalui proses preparasi yang telah dilakukan sebelumnya terhadap berat semen. Diagram alir dari proses pembuatan mortar dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir proses pembuatan mortar dengan penambahan komposisi bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mortar dengan penambahan bubuk andesit memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan mortar normal dengan penambahan bubuk andesit tidak lebih dari 30% dari berat semen.
2. Semakin berkurangnya porositas dan absorpsi yang terbentuk pada mortar, maka densitas yang dihasilkan akan semakin tinggi dan mortar semakin padat, dimana semakin padatnya mortar akan meningkatkan kuat tekan mortar itu sendiri.
3. Nilai kuat tekan tertinggi mortar dengan campuran bubuk andesit umur 7, 14 dan 28 hari yaitu berturut-turut adalah 11,8MPa, 14,3MPa dan 11,0MPa. Sedangkan kuat tekan normal (0 wt%) berurut-turut adalah 5,6 MPa, 7,56 MPa dan 12,6 MPa.
4. Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada umur uji 28 hari menunjukan bahwa semakin meningkatnya kandungan Si, Fe dan Al yang terdapat pada variasi campuran mortar, maka akan menurunkan kuat tekan mortar, sedangkan kandungan Ca menurun seiring dengan bertambahnya variasi

bubuk andesit. Penurunan unsur Ca disebabkan oleh hidrasi secara terus menerus selama masa *curing*.

5. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan fasa yang berbeda setelah kalsinasi dimana, fasa *quartz* (SiO_2) dan *maghemite* (Fe_2O_3) berubah menjadi *coesite* pada puncak tertinggi $2\theta = 29,41^\circ$, $33,82^\circ$ dan $51,84^\circ$, *hematite* pada puncak tertinggi $2\theta = 30,09^\circ$, $33,20^\circ$ dan $63,72^\circ$. Sedangkan fasa Al_2O_3 , dan CaO tidak mengalami perubahan fasa selama kalsinasi berlangsung.

B. Saran

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan pada penelitian ini baik pada pelaksanaan penelitian maupun pada hasil yang diperoleh, maka diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologis bubuk andesit sebelum dan sesudah kalsinasi.
2. Penelitian lebih lanjut diperlukan pada pembuatan mortar dengan persentase bubuk andesit yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Adimulyono, Tjokro. 2007. *Teknologi beton*. Erlangga: Jakarta.
- Afif, M. 2013. Pengaruh Penambahan Silika Fume Dan Superplasticizer Dengan Pemakaian Semen Tipe PPC dan Tipe PCC Terhadap Peningkatan Mutu Beton. *Skripsi* Universitas Negeri Malang : Semarang.
- Ahmadin. 2010. Pemanfaatan Batuan Andesit Sebagai Agregat Pembuatan Beton Mutu Tinggi. *Skripsi* Universitas Sumatera Utara :Medan.
- Ashraf, M., Naeem, A. K., Qasair Ali., J. Mirza., A. Goyal. and Anwar, A.M. 2009. Physico-Chemical Morphological and Thermal Analysis for the Combined Pozzolanic Activities of Minerals Additives. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol 23. Pp. 2207-2213.
- Assie, S., Escadeillas, G. and Waller, V. 2007. Estimates of Self-Compacting Concrete ‘Potential’ Durability. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol.21. Pp. 1909–1917.
- Asokan, P., Osmani, M. and Price, A.D.P. 2009. Assessing the Recycling Potential of Glass Fibre Reinforced Plastic Waste in Concrete and Cement Composites. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 17. Pp. 821-829.
- ASTM C 1403-00. 2000. *Rate of Water Absorption of Masonry Mortars*. ASTM International. West Conshohocken: United States.
- ASTM C187-11e1. 1994. *Standard test method for amount of water required for normal consistency of hydraulic cement paste*. West Conshohocken. USA: ASTM International.

ASTM C 270-03B. 2003. *Mortar for Unit Masonry*. ASTM International 100 Barr Harbor Drive PO Box C700. West Conshohocken PA 19428-2959 : United States.

ASTM C-305-82. 2001. *Portland and Blended Cements for Mortar Testing*. Standards Australia. Queensland : Australia.

ASTM Standard C 289 – 87. 1987. *Standart Test Method for Potential Reactivity of Aggregate (Chemical Method)*. in Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, pp. 161-167.

Astrid P.N., Bona M., Irma S., Nadia F.R., Prila S.L.R. dan Ira W. 2007. *Pengujian Pasir Cetak, Laporan Praktikum Proses Manufaktur Modul Teknik Mesin*. Institut Teknologi Bandung : Bandung. Hal 12-14.

Basyuni, Z. 2009. *Mineral dan Batuan Sumber Unsur Hara P dan K. Program Studi Geologi, Fakultas Sains dan Teknik*. Universitas Jenderal Soedirman : Purbalingga. Hal. 20-22.

Bekir, Topçu, I., Turhan, B. and T. Uygunog. 2009. Effect of Waste Marble Dust Content as Filler on Properties of Self-Compacting Concrete. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 23. Pp. 1947–1953.

Bell, F. G., 1980. *Engineering Geology and Geotechnics*, Newnes - Butterworths : London – Boston pp. 447.

Binici H. 2007. Effect of Crushed Ceramic and Basaltic Pumice as Fine Aggregates on Concrete Mortars Properties. *Journal of Construction and Building Material*. Vol 21. Pp.1191–1197.

Binici H., Aksogan O., Cagatay I. H., Tokyay M. and Emsen E. 2007. The Effect of Particle Size Distribution on the Properties of Blended Cements Incorporating GGBFS and Natural Pozzolan (NP). *Journal of Powder Technology*. Vol 177. Pp.140–147.

Brouwer, Peter. 2003. *Theory of X-Ray Flourescene (XRF)*. PANanalytical BV : Netherlands.

British Standard Institution (BS EN) 197e1. 2011. *Cement, Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements*. BSI United Kingdom : London.

Burhan, G., Gunawan W. dan Noya Y. 1993. *Peta Geologi Lembar Menggala Sumatra*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi : Bandung.

Clutterbuck, P. J., Ingles, O.G. and Talbot, C. J. 1982. *Rock as Construction Materials*, Course Note. Training Program for Geoscientists in Development, AGID, 235 p. Company Limited : New Delhi.

- Chu Kia Wang., Charles G. and Salmon. 1994. *Desain Beton Bertulang Jilid I Edisi Keempat*. Terjemahan Binsar Hariandja. Jakarta : Erlangga.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical Engeenering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company, Inc: USA. Pp: 277-281.
- Daryanto,1994. *Pengetahuan Teknik Bangunan*. Rineka Cipta : Jakarta.
- De Weerdt, D., Ben Haha, M., Saout, G.L., Kjellsen, K. O., Justnes, H. and Lothenbach, B. 2011. Hydration Mechanisms of Ternary Portland Cements Containing Limestone Powder and Fly Ash. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol 41. Pp. 279–291.
- Deschner, F., Winnefeld, F., Lothenbach, B., Seufert, S., Schwesig, P., Dittrich, S., Neunhoeffer, F. G.. And J. Neubauer. 2012. Hydration of Portland Cement with High Replacement by Siliceous Fly Ash. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 42. Pp. 1389-1400.
- Dias, D.P., Thaumaturgo, C. 2005. Fracture Toughness of Geopolymeric Concretes Reinforced with Basalt Fibers. *Journal of Cement and Concrete Composite*. Vol. 27. Pp. 49-54.
- Diederich, P., Mouret, M., Alain, D.R., Phoncon, F. and Gilles, E. 2012. The Nature of Limestone Filler and Self-Consolidating Feasibility-Relationships Between Physical, Chemical and Mineralogical Properties of Fillers and The Flow at Different States, From Powder to Cement-Based Suspension. *Journal of Powder Technology*. Vol. 218. Pp. 90-101.
- Dong, J.F., Wang, Q.Y. and Guan, Z. W. 2017. Material Properties of Basalt Fibre Reinforced Concrete Made with Recycled Earthquake Waste. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 130. Pp. 241-251.
- Duan, P., Zhonghe, S., Chen, W and Chunhua, S. 2012. Effects of Metakaolin, Silica Fume and Slag on Pore Structure, Interfacial Transition Zone and Compressive Strength of Concrete. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol 44. Pp. 1-6
- ESDM. 2014. Peta Sebaran Batuan Mineral Logam dan Non Logam di Provinsi Lampung. Diakses tanggal 12 Januari 2016 pukul 16.00 wib dari <https://www.psdg.bgl.esdm.go.id/sebaran-batu-mineral-lampung/>.
- Ferguson P.M.1991. *Dasar-dasar Beton Bertulang* Versi S1: Erlangga.
- Fisher, RV. and Schiminck, H.U. 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer :Verlag. Pp.472.

- Gambhir. M.,L. 1986. *Concrete Technology*. McGraw-Hill Companies, Inc : New York.
- Gunawan, Margaraet. 2000. *Kontruksi Beton I*. Jakarta : Delta Teknik Group.
- Habboud. 2011. *Effect of Mineral Admixtures on Properties of Self-Compacting*. Cambridge Press : United States.
- Hossain, M. M., Karim, M.R., Hasan, M., Hossain, M.K. and Zain, M.F.M. 2016. Durability of Mortar and Concrete Made up of Pozzolans as a Partial Replacement of Cement: A review. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 116. Pp. 128-140.
- Iqbal, Muhamad. 2012. Pengujian Geser Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Sengkang Konvensional. *Skripsi S1 Teknik Sipil*. Universitas Sam Ratulangi : Manado.
- Sliwinski, J. and Tracz, T. 2013. Cement Paste Content as the Factor Influencing on Compressive and Splitting Tensile Strength of Concrete. *Journal of Cement and Lime Concrete*. Vol. 6. Pp. 353–361.
- Kazi, A. and Al-Mansour, Z., R., 1980. Empirical Relationship Between Los Angeles Abrasion and Schmidt Hammer Strength Test with Application to Aggregates Aruond Jeddah. *Journal of Engineering Geology*. Vol.13. Pp. 45-52.
- Khan, M.I. 2003. Isoresponses for Strength, Permeability and Porosity of High Performance Mortar. *Journal of Building and Environment*. Vol. 38. Pp. 1051-1056.
- Kolias, S. and Georiou, C. 2005. The Effect of Paste Volume and of Water Contenton the Strength and Water Absorption of Concrete. *Journal of Cement and Concrete Composite*. Vol. 27. Pp. 211-216.
- Kusumantara, Diah dan Basoenondo, A. 2009. utilization of Waste from Concrete Mixes Truck to Create Low Grade Quality Concrete for Building Materials. *Skripsi Departemen Teknik Sipil* . Universitas Indonesia : Depok. Hal. 30-33.
- Laiboa, L., Yunsheng, Z., Wenhua, Z., Zhiyong, L. and Z. Lihua. 2013. Investigating the Influence of Basalt as Mineral Admixture on Hydration and Microstructure Formation Mechanism of Cement. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 48. Pp. 434-440.
- Lakum, C. dan Khairul. 2008. Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Campuran untuk Peningkatan Kekuatan Beton. Medan. *Skripsi*. Jurusan Fisika FMIPA USU : Medan.

- Latief, abdul. 2011. *Kuat Tarik Langsung, Kuat Tarik Lentur, Susut dan Density Mortar Campuran Semen, Abu Sekam Padi, dan Precious Slag Ball dengan presentase 20%, 30% dan 40%*. Departemen Teknik Sipil. Universitas Indonesia : Depok.
- Lees, G. dan Kennedy, C., K., 1975. Quality, Shape and Degradation of Aggregates. *Journal of Geology Engineering* Vol 8. Pp. 193-209.
- Lima, C., Caggiano, A., Faella, C., Martinelli, E., Pepe, M., and Realfonzo, R. 2013. Physical Properties and Mechanical Behavior of Concrete Made with Recycled Aggregates and Fy Ash. *Journal of Construction and Buildinf Materials*. Vol 47. Pp. 547–559.
- Lothenbach, B., Scrivener K. And Hooton R.D. 2011. Supplementary Cementitious Materials. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 41. Pp. 1244-1256.
- Martin, L.H.J., Winnefeld, F., Tschopp, E., Müller, C.J. and Lothenbach, B. 2017. Influence of Fly Ash on the Hydration of Calcium Sulfoaluminate Cement. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 95. Pp. 152-163.
- Maryoto, A. 2003. *Mix Design Mortar*. PT. Jaya Readymix: Semarang.
- Maryoto, A. 2010. *Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar*. PT. Jaya Readymix : Semarang.
- McComarc dan Jack, C. 2003. *Desain Beton Bertulang Jilid 1 Edisi Kelima*. Erlangga :Jakarta. Hal 23-25.
- Mordock, L.J., and K.M. Brook. 1991. *Bahan dan Praktek beton Terjemahan Stephany Hindarko*, Erlangga : Jakarta.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi Offset : Yogjakarta.
- Munaf., Dicky R Dan Yulianto S. 2003. *Concrete Repair & Maintenance*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Najimi M., Sobhani J., Ahmadi B. and Shekarchi M. 2012. An Experimental Study on Durability Properties of Concrete Containing Zeolite as a Highly Reactive Natural Pozzolan. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 35. Pp. 23–33.
- Nandi, Muharry. 2010. Pemanfaatan Batuan Vulkanik Andesit Sebagai Perancangan Bahan Bangunan Beton Mix Design. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 10. Hal 22-26.

- Nath, P. and Sarker, P. 2011. Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete. *Journal of Procedia Engineering*. Vol. 14. Pp. 1149–1156.
- Nawi, E.G., 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung : PT. Refika Aditma.
- Nugraha, Paul, T dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Nurwidyanto M.I., Meida Y., Sugeng W.2006. Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas dan Permeabilitas pada batu Pasir. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. 9, No.4 Hlm 191-195.
- Nurzal, Mahmud, P dan Joni, A. 2013. Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap daya Serap Air Pada Pembuatan mortar. *Jurnal Teknik Mesin* Vol.3. No.2. Hal. 41-48.
- Prasetya, Adi. 2013. Kajian Jenis Agregat dan Proporsi Campuran Terhadap Kuat Tekan dan Daya Tembus Beton Porus. *Jurnal Teknik*. Vol.3 No.2 Oktober 2013. Hal.100-106.
- Priyono, J. 2005. *Penggunaan Batuan Silikat sebagai Pupuk Ramah Lingkungan*. Jurusan Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian, Universitas Mataram.
- Purnomo, Hasyim. 2000. *Investigasi Batuan Mineral Silikat Sebagai Penguat beton*. Press Indo : Bandung.
- Rachman., Murdiyanto M. Dan Sugeng Y. 2008. Pembuatan Bata Beton Ringan untuk Diterapkan di IKM Bahan Bangunan. *Jurnal Bahan Galian Industri*. Vol. 12 No.33. Hal.10 – 16.
- Rahman, M.N. 1995. *Ceramic Processing and Sintering*. Department of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla-Rolla. Isouri.
- Reyes J, Martinez., Alavez, Ramírez R., Montes, García P. and Jiménez, Quero V. 2010. Mineralogical Effect on the Pozzolanic Reactivity of a Mexican Lacustrine Soil. *Journal of Construction and Building Material*. Vol.24. Pp. 2650–2657.
- Richardson, J .A. 1939. *The Geology and Mineral Resources of the Neighborhood of Raub, Pahang, Federation Malay States*. Merrwir Geological Survey Department. Vol. 13. Pp. 166.
- Rinawan, S. 2000. Studi Kasus Pemanfaatan Batuan Vulkanik Andesit Sebagai Bahan Agregat Perancangan Beton Mutu Tinggi. *Skripsi*. Universitas Negeri Malang : Malang. Hal. 20-23.

- Saraya, M.E.S. 2011. Study the Pozzolanic Activity of Fresh Basalt. *Journal of Material and Science Engineering*. Vol. 1. Pp. 40-50.
- Siddique, R. and Klaus, J. 2009. Influence of Metakaolin on the Properties of Mortar and Concrete. *Journal of Applied Clay Science*. Vol. 43. Pp. 392-400.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. 2000. Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material, terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- SNI. 03-6825. 2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standar Nasional : Jakarta.
- SNI. 03 – 1970. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standar Nasional : Jakarta.
- SNI. 1969. 2008. *Pengujian Fisik Pada Pembuatan Mortar dan Beton*. Badan Standar Nasional : Jakarta.
- SNI. 03-6882. 2002. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Badan Standar Nasional : Jakarta.
- Sucipto, Edi. dan Sadisun, Imam. 2000. Studi Petrografi Batuan Volkanik sebagai Agregat Bahan Baku Beton. *Buletin Geologi*. Vol. 32. No. 3. Hal. 145-157.
- Supartono, F. X. 1998. *Beton Berkinerja Tinggi, Keunggulan dan Permasalahannya*. Seminar HAKI : Jakarta.
- Surdia, Tata. 1996. *Pengetahuan Bahan Teknik Edisi Keenam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramitha.
- Thimosenko, S. 2000. *Dasar-dasar Perhitungan Kekuatan Bangunan. Bagian Satu*. Jakarta : Restu Agung.
- Van Vlack, Lawrence H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan Edisi Kelima*. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga.
- Van Grieken, R. E. and Markowicz, A. A. 2002. *Handbook of X-Ray Spectrometry Second Edition*. Marcel Dekker Inc: New York. ISBN 0-8247-0600-5.
- Wigun, B. J., 1995. Feature of Norwegian cataclastic rocks and their use for predicting alkali-reactivity in concrete, *Engineering Geology Journal* Vol 4. pp.169-194.
- Wight, James, K and MacGregor. 2009. *Mechanics and Design for Concrete Fifth Edition*. Pearson Education, Inc.:New Jersey.
- Winter, George dan Nelson, Arthur H. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Terjemahan M. sahari Bashari. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Zega, C.J. and Di Maio, A.A.2011. Use of Recycled Fine Aggregate in Concretes with Durable Requirements. *Journal of Waste Management*. Vol 31. Pp. 2336-2340.