

**PENGARUH PENAMBAHAN BATU ANDESIT SEBAGAI SUBSTITUSI
SEMEN TIPE PCC PADA *PAVING BLOCK***

(Skripsi)

Oleh

Reni Septiana



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

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN BATU ANDESIT SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TIPE PCC PADA *PAVING BLOCK*

Oleh

RENI SEPTIANA

Substitusi batu andesit mempengaruhi kuat tekan, porositas serta absorpsi *paving block*. Bahan baku yang digunakan untuk membuat *paving block* yaitu semen, batu andesit, pasir serta air. Persentase substitusi batu andesit sebesar 10, 20, 30, 40 dan 50% dari berat semen. Sebelum digunakan, batu andesit sebelum dan setelah kalsinasi dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Hasil analisis XRD batu andesit sebelum kalsinasi terbentuk fase *Muscovite*, *Albite*, *Hedenbergite* dan *Microcline*. Hasil analisis XRD setelah kalsinasi pada 900 C terbentuk fase *Muscovite*, *Hedenbergite* dan *Microcline*. Setelah itu *paving block* melalui proses pembuatan benda uji, pencetakan, perendaman serta pengujian fisik yang meliputi kuat tekan, porositas dan absorpsi. Hasil uji kuat tekan *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 10% umur 28 hari sebesar 10,92 MPa dan kuat tekan terendah terdapat pada substitusi batu andesit 50% umur 7 hari sebesar 3,08 MPa. Porositas terendah terjadi pada substitusi batu andesit 10% umur 28 hari sebesar 16% dan porositas *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 50% umur 7 dan 14 hari dengan nilai sebesar 17,5%. Absorpsi *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 50% umur 7 hari sebesar 9,9% dan absorpsi terendah terdapat pada substitusi batu andesit 10% umur 14 dan 28 hari serta 20% umur 28 hari dengan nilai sebesar 9,1%.

Kata kunci: *Paving block*, batu andesit, kalsinasi, kuat tekan, porositas dan absorpsi.

ABSTRACT

EFFECT OF ADDITION OF ANDESIT STONE AS SUBSTITUTION OF PCC TYPE CEMENT ON PAVING BLOCK

By

RENI SEPTIANA

Andesite stone substitution affects the compressive strength, porosity and paving block absorption. The raw materials used for making paving blocks are cement, andesite, sand and water. The percentage of andesite substitution of rocks is 10, 20, 30, 40 and 50% by weight of cement. Prior to use, andesite stones before and after calcination were characterized using XRF (X-Ray Fluorescence) and XRD (X-Ray Diffraction). The result of XRD analysis of andesite rock prior to calcination formed Muscovite, Albite, Hedenbergite and Microcline phases. The results of XRD analysis after calcination at the calcination temperature of 900°C have formed Muscovite, Hedenbergite and Microcline phases. After that paving block through the process of making specimens, printing, immersion and physical testing which includes compressive strength, porosity and absorption. The result of compressive strength test is the highest compressive strength of paving block found in substitution of andesite stone 10% age 28 day equal to 10,92 MPa and the lowest compressive strength is found in 50% andesite stone substitution 50 days 7 days at 3,08 MPa. The lowest porosity occurred in the substitution of andesite rock of 10% age 28 days by 16% and the highest porosity of paving block was found in 50 andesite stone substitution of 50% age 7 and 14 days with value of 17,5%. The highest absorption of paving block was found in the substitution of 50% andesitic stone at 7 days by 9,9% and the lowest absorption was in the 10% andesite substitution of stone aged 14 and 28 days and 20% age 28 days with the value of 9,1%.

Keywords: Paving block, andesite stone, calcination, compressive strength, porosity and absorption

**PENGARUH PENAMBAHAN BATU ANDESIT SEBAGAI SUBSTITUSI
SEMEN TIPE PCC PADA *PAVING BLOCK***

Oleh

Reni Septiana

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 : **PENGARUH PENAMBAHAN BATU ANDESIT
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TIPE PCC
PADA PAVING BLOCK**

Nama Mahasiswa : **Reni Septiana**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1317041036**

Jurusan : **Fisika**


Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 19610821 199203 1 002


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

2. Ketua Jurusan Fisika

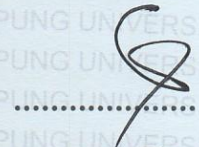

Arif Surtano, M.Si., M.Eng.
NIP.19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

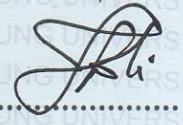
Ketua

: Drs. Syafriadi, M.Si.

.....


Sekretaris

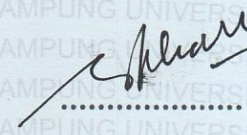
: Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.

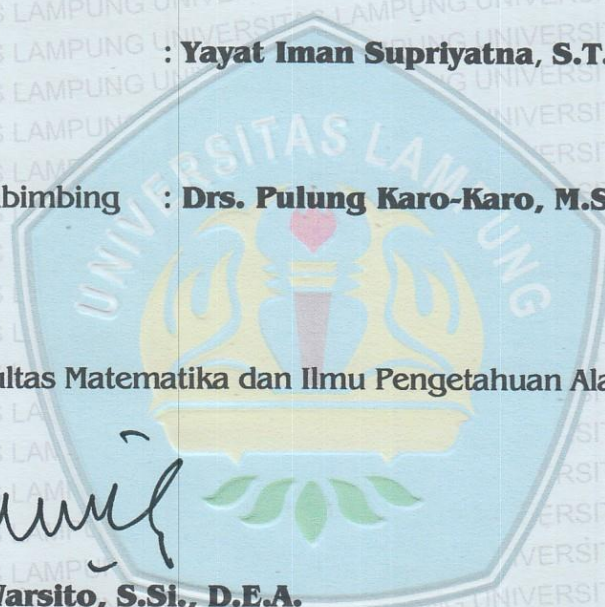
.....


Penguji

Bukan Pembimbing

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

.....




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 : 18 Desember 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan 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, 27 Desember 2017



Reni Septiana
NPM. 1317041036

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Reni Septiana dilahirkan di Adijaya, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada 24 September 1995. Penulis merupakan putri tunggal yang lahir dari pasangan Bapak Wakidi dan Ibu Sri Rahayu. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat Sekolah Dasar di SDN 1 Simpang Agung pada tahun 2001-2007, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Seputih Agung pada tahun 2007-2010, serta Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Seputih Agung pada tahun 2010-2013. Pada tahun 2013, penulis mendaftar sebagai calon Mahasiswa S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (UNILA), diterima melalui ujian tertulis jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan menerima beasiswa bidik misi angkatan ke-empat.

Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Material dan pernah menjadi asisten Sains Dasar. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai Anggota Bidang Sosial dan Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila periode 2013-2014. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI, dan mengikuti program KKN di Desa Karanganyar, Kecamatan Selagai Lingga, Kabupaten Lampung Tengah. Di tahun

2017 penulis melakukan penelitian terkait tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Batu Andesit sebagai Substitusi Semen tipe PCC pada *Paving Block*” yang bertempat di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Preparasi, Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI, dan Laboratorium Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

MOTTO

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

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat (Q.S. Mujadalah: 11)

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

BAPAK WAKIDI DAN IBU SRI RAHAYU

*Kedua orang tuaku yang telah banyak memberikan motivasi,
berkorban tanpa mengenal rasa lelah, dan senantiasa
mendoakanku hingga dapat menyelesaikan pendidikan
ditingkat universitas.*

BAPAK-IBU DOSEN

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

PARA SAHABAT DAN TEMAN-TEMAN SEPERJUANGANKU

Terima kasih atas kebaikan dan kebersamaan yang kita lalui.

dan

**ALMAMATER TERCINTA
UNIVERSITAS LAMPUNG**

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala kekuatan dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi S1 di jurusan Fisika FMIPA Unila ini. Serta dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul, **“Pengaruh Penambahan Batu Andesit Sebagai Substitusi Semen Tipe PCC pada *Paving Block*”**. Penelitian ini merupakan studi awal terkait pengaruh penambahan batu andesit sebagai substitusi semen terhadap mutu *paving block*, dengan indikator kuat tekan, porositas dan absorpsi.

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

Bandar Lampung, Desember 2017

Reni Septiana

SANWACANA

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

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat untuk menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si selaku Pembahas yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Muhammad Amin, S.T selaku Pembimbing Lapangan yang telah memberi bimbingan lapangan dalam melakukan penelitian tugas akhir.
5. Bapak Dr. Junaidi, S. Si., M. Sc selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
6. Bapak Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

8. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA 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. Ibu Nurbaiti Marsas Prilitasari, S.T., selaku koordinator Laborarium Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI yang telah memberikan bantuan selama penulis melakukan penelitian.
11. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak membekali ilmu bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas segala bantuannya.
13. Kedua Orang Tuaku yang telah mendoakan serta memberikan semangat.
14. Teman seperjuanganku Sri Harjanti, Dewi Nurul F.F.E., Eka Riza Umami, Umi Nurkhasanah, Tim LIPI: Sinta Novita, Mba Wulanda Yurista P., Via Apri Setiani, Ratna Noviyana, Aisiyah Putri Sandi, Reza Andika, Herullah, Tim Hore: Neta Oktavia, Windy Mustika S., Risca Adriana, Letia Oktri D., Nurlita Novitri, Siti Isma, Prima Aprilliana, Maulida Elviyana D., Latifah Desti L., Gusti Ayu Made S. W., dan teman-teman Fisika angkatan 2013 yang selalu mendoakan dan memotivasi penulis dalam perjuangan penyelesaian skripsi.

Bandar Lampung, 27 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Semen.....	7
B. Pasir	12
C. Batuan Andesit.....	15
D. <i>Paving Block</i>	16
E. <i>Ball Milling</i>	19
F. Pozzolan.....	20
G. Kalsinasi.....	21
H. Pengujian dan Karakterisasi.....	22

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	28
B. Alat dan Bahan Penelitian	28
C. Prosedur Kerja	29
D. Diagram Alir.....	37

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bahan <i>Paving Block</i>	38
B. <i>Paving Block</i>	45

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	58
B. Saran	59

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Komposisi Kimia <i>Semen Portland</i>	9
2.2. Kandungan Kimia Semen tipe PCC.....	10
2.3. Kandungan Kimia Semen tipe PPC	10
2.4. Sifat Fisik Pasir	13
2.5. Komposisi Kimia Batu Andesit	16
3.1. Komposisi Benda Uji	34
4.1. Hasil XRF Pasir Pantai Maringgai.....	39
4.2. Hasil Pengujian Fisik Pasir	39
4.3. Hasil Pengujian Gradasi Pasir.....	40
4.4. Hasil XRF Batu Andesit Halus Sebelum dan Setelah Kalsinasi.....	41
4.5. Puncak Utama Fase yang Terbentuk dari Hasil Analisis XRD	43
4.6. Hasil XRF Benda Uji <i>Paving Block</i>	45
4.7. Hasil Uji Kuat Tekan	46
4.8. Perbandingan Kuat Tekan OPC, PCC dan PPC.....	50
4.9. Hasil Uji Porositas	53
4.10. Hasil Uji Absorpsi.....	54
4.11. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji dan Pembanding Umur 28 Hari.....	56
4.12. Hasil Uji Porositas dan Absorpsi Benda Uji dan Pembanding Umur 28 Hari.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Batu Andesit.....	16
2.2. Bentuk-bentuk <i>Paving Block</i>	17
2.3. <i>Ball Mill</i>	20
2.4. Mesin Pengujian Kuat Tekan.....	23
2.5. Prinsip XRF	26
3.1. Diagram Alir Penelitian	37
4.1. Pola Difraktogram XRD Batu Andesit Halus Sebelum Kalsinasi	42
4.2. Pola Difraktogram XRD Batu Andesit Halus Sebelum Kalsinasi Setelah Kalsinasi Suhu 900°C	43
4.3. Hubungan Persentase Substitusi Batu Andesit terhadap Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Umur 7, 14 dan 28 Hari	47
4.6. Hubungan Persentase Substitusi Batu Andesit terhadap Porositas <i>Paving Block</i> Pada Umur 7, 14 dan 28 Hari	53
4.7. Hubungan Persentase Substitusi Batu Andesit terhadap Absorpsi <i>Paving Block</i> Pada Umur 7, 14 dan 28 Hari	55

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam menghadapi era globalisasi dunia, Indonesia yang dikenal sebagai salah satu negara berkembang di Asia dituntut untuk lebih kreatif serta memiliki keterampilan dalam melakukan penelitian dan pengembangan bidang konstruksi, terutama pada teknologi pembuatan beton (Putra dan Sutikno, 2016). Semakin banyak inovasi-inovasi baru dalam bidang ini, mulai dari alternatif bahan pembuatan beton hingga bahan perkerasan jalan. Pengerasan jalan umumnya menggunakan media aspal. Namun, saat ini sering terlihat pengerasan jalan dengan media selain aspal yaitu *paving block* (Soehardjono dkk, 2013).

Paving block atau bata beton untuk lantai merupakan batu cetak buatan yang sudah dikenal di masyarakat serta banyak dipergunakan untuk keperluan bangunan. *Paving block* terbuat dari bahan campuran semen *portland*, agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang dicetak pada suatu tekanan tertentu, sehingga menjadi batu cetak buatan yang cukup keras (Pamuji, 2007). Kemudahan dalam pemasangan, perawatan relatif murah serta memenuhi aspek keindahan membuat *paving block* lebih banyak diminati. Keunggulan dari *paving block* yaitu memiliki daya serap air yang baik melalui pemasangan *paving block* dapat menjaga keseimbangan air tanah (Mulyati dan Maliar, 2015). Keberadaan *paving block* dapat dijumpai di trotoar, area bermain atau taman, jalan lingkungan

perumahan dan tidak menutup kemungkinan digunakan pada daerah pelabuhan. Hal ini terbukti, hampir di berbagai tempat seperti daerah parkir dan trotoar di Universitas Lampung menggunakan *paving block*.

Akan tetapi, tingginya permintaan konsumen terhadap *paving block* tidak diimbangi dengan ketersediaan kualitas yang memadai baik dari segi kekuatan, umur pakai, dan *durability* (ketahanan terhadap segala kondisi) *paving block*. Banyak *paving block* yang dijumpai pada permukaan jalan mengalami retak-retak, mudah patah, banyak ditumbuhi oleh lumut karena *paving block* bersifat getas. Hal ini disebabkan oleh mutu bahan yang tidak sesuai, gerusan air hujan, komposisi bahan yang tidak sesuai dengan standar, perbedaan tingkat pemadatan (*pressing*) *paving block*, bahkan beban kejut (*impact resistance*) yang sangat besar dari lintasan roda kendaraan (Riyaldi, 2015). Seiring semakin berkembangnya zaman dikhawatirkan akan berkurangnya bahan baku pembuatan *paving block*, khususnya semen (Soehardjono dkk, 2013). Berdasarkan hal tersebut, maka dianggap perlu untuk melakukan pengembangan teknologi bahan untuk mendapatkan bahan baru yang dapat dijadikan alternatif atau substitusi bahan untuk mengurangi penggunaan semen.

Berdasarkan data yang dimiliki Badan Geologi (2010), Indonesia memiliki sumber daya batuan andesit sebesar 75.244,10 juta ton. Menurut Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Lampung (2014), produksi pertambangan batu andesit di Provinsi Lampung mencapai 140.000 ton setiap tahun. Jumlah cadangan batu andesit yang begitu banyak, akan tetapi sampai saat ini baru dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi (bangunan dan jalan), alas jalan, agregat

kasar, pondasi, batu hias atau sebagai bahan baku industri seperti tegel dan ornamen.

Banyak penelitian yang dikembangkan untuk mendapatkan bahan baru yang dapat dijadikan alternatif atau substitusi bahan untuk mengurangi penggunaan semen. Triyono (2010) melakukan penelitian mengenai limbah tempurung kelapa sawit sebagai substitusi semen untuk pembuatan *paving block* dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Hasil menunjukkan *paving block* mengalami penurunan kuat tekan dengan bertambahnya limbah tempurung kelapa sawit. Kuat tekan tertinggi dan serapan air terendah campuran tempurung kelapa sawit pada persentase 0% sedangkan kuat tekan terendah dan serapan air tertinggi campuran tempurung kelapa sawit 25%.

Sementara itu Nurzal dan Mahmud (2013) memanfaatkan *fly ash* (abu layang) yang merupakan limbah hasil pembakaran dari batu bara yang terbawa gas buang, untuk campuran *paving block*. Komposisi *fly ash* pada pembuatan *paving block* yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15% berat *fly ash* ditambah dengan material *paving block* (semen dan pasir). Hasil menunjukkan daya serap tertinggi pada komposisi 0% berat *fly ash*, yaitu sebesar 2,701%, diikuti oleh komposisi 5%, 10%, 15% berat *fly ash* (daya serap air sebesar 2,678%, 2,651%, 2,614%). Hal ini disebabkan karena ukuran partikel *fly ash* lebih kecil dari material lainnya sehingga *fly ash* menutupi rongga antar partikel atau porositas dari *paving block*.

Selain itu, Soehardjono dkk (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan *bottom ash* (abu dasar) yang merupakan limbah hasil pembakaran dari batu bara yang tertinggal di dalam tungku (ukuran lebih besar dari *fly ash*)

sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan dan kemampuan resapan air *paving block*. Benda uji dibuat 9 variasi yaitu 0%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% dan 60% dari berat semen. Hasil pengujian penyerapan air dan kuat tekan *paving block*, diketahui bahwa penggunaan 25%, 30%, 35%, dan 40% termasuk antara mutu A dan mutu B, penggunaan 45% termasuk antara mutu B dan mutu C dan 50%, 55% dan 60% termasuk antara mutu C dan mutu D.

Batu andesit mengandung 52 hingga 66% senyawa silika (SiO_2). Mineral-mineral penyusun batu andesit terdiri dari *plagioclase* feldspar dan juga terdapat mineral *pyroxene* (*clinopyroxene* dan *orthopyroxene*) dan *hornblende* dalam jumlah yang kecil (Suparno, 2009). Sedangkan menurut Sariisik *et al* (2011) batu andesit mengandung komposisi kimia SiO_2 sebesar 62,30%, Al_2O_3 sebesar 14,70%, Fe_2O_3 sebesar 4,04%, MgO sebesar 2,78%, CaO sebesar 4,26%, Na_2O sebesar 2,95%, K_2O sebesar 6,06%, TiO_2 sebesar 0,98, P_2O_5 sebesar 0,81%, MnO sebesar 0,07%, dan Cr_2O_3 sebesar 0,014%. Dengan komposisi kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$, maka batu andesit dapat digunakan sebagai pozzolan dalam substitusi semen sesuai dengan ASTM C 618-92a.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan *paving block* dengan menggunakan bahan semen tipe PCC, pasir pantai serta batu andesit halus yang telah melalui proses kalsinasi sebagai substitusi semen. Sebelum digunakan dalam pembuatan *paving block*, bahan batu andesit dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui kandungan unsur serta fase struktur kristal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat diteliti adalah:

1. Bagaimana karakteristik fisik *paving block* dengan penambahan batu andesit sebagai substitusi semen dilihat dari nilai kuat tekan, porositas, dan absorpsi ?
2. Apakah fase yang terbentuk pada batu andesit halus sebelum dan setelah kalsinasi ?

C. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibatasi pada penelitian ini adalah:

1. Perbandingan komposisi bahan antara semen : pasir yaitu 1 : 4.
2. Pada pembuatan benda uji variasi substitusi batu andesit terhadap semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat semen.
3. Perawatan benda uji (*curing*) dengan perendaman di dalam air selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.
4. Karakterisasi pada batu andesit halus meliputi XRF dan XRD, sedangkan karakterisasi pada benda uji *paving block* hanya meliputi XRF.
5. Suhu kalsinasi pada batu andesit hanya sampai pada suhu 900°C.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik fisik *paving block* dengan penambahan batu andesit sebagai substitusi semen apabila dilihat dari nilai kuat tekan, porositas, dan absorpsi.

2. Untuk mengetahui fase yang terbentuk pada batu andesit halus sebelum dan setelah kalsinasi

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan terkait proses pembuatan *paving block* dengan penambahan batu andesit sebagai substitusi semen.
2. Memperoleh pengetahuan mengenai potensi batu andesit yang dapat dijadikan sebagai substitusi semen.
3. Meningkatkan nilai tambah batu andesit sebagai substitusi semen, sehingga menjadikan nilai jual batu andesit lebih tinggi.
4. Memperoleh informasi mengenai persentase komposisi penambahan batu andesit sebagai substitusi semen yang optimal dalam pembuatan *paving block* sehingga dihasilkan produk *paving block* dengan mutu yang lebih baik.
5. Meningkatkan pendapatan asli daerah (PAD) daerah setempat serta menciptakan lapangan pekerjaan baru.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Semen

Semen merupakan senyawa atau zat pengikat hidrolis yang terdiri dari senyawa C-S-H (kalsium silikat hidrat) yang apabila bereaksi dengan air akan dapat mengikat bahan-bahan padat lainnya membentuk satu kesatuan yang kompak, padat dan keras (Refnita dkk, 2012). Reaksi pembentukan CSH (Hambali dkk, 2013) sebagai berikut:



Fungsi semen adalah untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat (Pangaribuan dan Narlis, 2015). Kandungan terbesar dalam semen adalah kandungan CaO yang memiliki fungsi dalam proses perekatan, sedangkan SiO₂ berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), Al₂O₃ memiliki fungsi dalam mempercepat proses pengerasan. Sedangkan Fe₂O₃ memiliki suhu leleh yang rendah yang menyebabkannya sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran klinker (Wiryasa dkk, 2008).

1. Jenis Semen

Adapun jenis semen yang ada di Indonesia dibedakan menjadi tiga golongan yaitu:

a. OPC (*Ordinary Portland Cement*)

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis. Lalu digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (Craig, 1991). Bahan utama dari semen *portland* adalah batu kapur yang mengandung komponen CaO (kapur/*lime*), lempung yang mengandung komponen SiO₂ (silikat), Al₂O₃ (oksida alumina), FeO₃ (oksida besi) dengan bahan tambahan biasanya digunakan gipsum (Subakti, 1994).

Semen *portland* dibagi menjadi lima jenis (Standar Nasional Indonesia/SNI 15-2049-2004) yaitu:

- Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- Jenis III yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Sifat fisik, kimia dan mekanik dari semen tipe OPC ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Semen *Portland* (Aydin *et al.*, 2008).

No.	Komposisi kimia (%)	Persentase
1.	SiO ₂	18,69
2.	Al ₂ O ₃	5,00
3.	Fe ₂ O ₃	3,49
4.	CaO	63,12
5.	MgO	1,09
6.	Na ₂ O	0,29
7.	K ₂ O	0,76
8.	SO ₃	2,95
9.	Cl-	0,01
10.	Hilang pijar	3,56
11.	Bagian tak larut	0,38
12.	CaO bebas	1,27

b. PCC (*Portland Cement Composite*)

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

Keunggulan semen tipe PCC adalah mudah pengerjaannya, suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak. Semen PCC menghasilkan permukaan plesteran dan beton yang halus, kedap air, tahan terhadap serangan sulfat, mempunyai kuat tekan yang tinggi, menjadikan bangunan atau konstruksi tahan lama (Yusuf dkk, 2013). Adapun kandungan kimia semen PCC dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kandungan Kimia Semen tipe PCC (Aruntas *et al.*, 2010).

No.	Oksida (%)	Persentase
1.	CaO	47,64
2.	SiO ₂	30,53
3.	Al ₂ O ₃	7,63
4.	Fe ₂ O ₃	3,63
5.	MgO	1,86
6.	SO ₃	2,71
7.	K ₂ O	1,03
8.	Na ₂ O	0,80
9.	Hilang pijar	4,52
10.	Bagian tak larut	-

c. PPC (*Portland Pozzoland Cement*)

PPC adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen *portland* dengan pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen *portland* dan pozzolan bersama-sama. Dimana kadar pozzolan 6% sampai 40% dari massa semen *portland* pozzolan. Keunggulan semen PPC adalah semakin lama semakin kuat, tahan terhadap retak, tahan terhadap sulfat dan asam (SNI 15-0302-2004). Kandungan kimia semen tipe PPC dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan Kimia Semen tipe PPC (Astuti, 2006).

No.	Jenis Komposisi Kimia	Persentase (%)
1.	Silikon Dioksida (SiO ₂)	23,13
2.	Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	8,76
3.	Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃)	4,62
4.	Kalsium Oksida (CaO)	58,66
5.	Magnesium Oksida (MgO)	0,90
6.	Sulfur Trioksida (SO ₃)	2,18
7.	Hilang Pijar (LOI)	1,69
8.	Kapur Bebas	0,69
9.	Bagian Tidak Larut	8,82

2. Faktor Air Semen (FAS)

Pada beton mutu tinggi, pengertian FAS bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif

cementitious yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Afif, 2013). Jadi dapat dituliskan sebagai:

$$FAS = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Jumlah Semen}} \quad (2.2)$$

Fungsi FAS yaitu untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan serta memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (Sari dkk, 2015). FAS yang rendah merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu semakin besar FAS, maka semakin rendah kuat tekan betonnya (Afif, 2013).

Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2003). FAS optimum akan memberikan kekuatan dan kepadatan maksimum. Penggunaan FAS yang terlalu tinggi mengakibatkan pasta semen menjadi terlalu cair dan akan mengalir meninggalkan agregat serta menyebabkan pengendapan pasta semen di dasar sehingga mengakibatkan penurunan porositas. FAS yang terlalu rendah mengakibatkan pasta tidak cukup untuk melapisi agregat (Ginting, 2015).

Air pada campuran pembuatan *paving block* mempunyai peranan yang penting yaitu menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsung pengerasan. Selain itu, air juga berfungsi sebagai

pelembab campuran sehingga campuran menjadi mudah dicetak dan tidak pecah (Wiryasa dkk, 2008). Berdasarkan spesifikasi bahan bangunan bagian A, air sebagai bahan bangunan (SK SNI S-04-1989-F) memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

B. Pasir

Pasir merupakan agregat halus yang terdiri dari butiran-butiran sebesar 0,15 sampai 4,8 mm. Pasir didapat dari disintegrasi batuan alam ataupun dengan memecahnya sendiri (Putra dan Sutikno, 2016). Pasir termasuk dalam kelompok *bulk material* dan karakteristik *bulk* ditentukan oleh sifat mekanik dan sifat spesifik, kelembaban, mobilitas partikel, *angle of repose* (sudut tumpukan) dan abrasivitas (Hamsi, 2011). Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar serta menempati kira-kira sebanyak 70% volume mortar. Pasir sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar sehingga pemilihan pasir merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Pasir

harus mempunyai bentuk yang baik (bulat mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan bergradasi baik (Kardiyono, 2000).

Pasir sebagai bahan pengisi dalam adukan berfungsi untuk mengurangi penyusutan. Butiran yang cukup keras dan gradasi yang bervariasi, menghasilkan spesi (campuran antara semen, agregat serta air) yang tahan pengaruh cuaca serta tahan juga pengaruh lain (Supribadi, 1996). Distribusi ukuran butiran pasir berpengaruh terhadap kekuatan mortar. Bila butir mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori pasir akan besar. Sebaliknya bila ukuran butiran pasir bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini disebabkan butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit (dengan kata lain kemampatannya tinggi) (Tugino, 2010). Sifat fisik pasir dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Sifat Fisik Pasir (Khosama, 2012).

No.	Sifat	Persentase
1.	Berat jenis (kg/m^3)	2,65
2.	Modulus kehalusan	2,68
3.	Absorpsi maksimum (%)	13,27
4.	Pori (%)	46,20
5.	Ukuran maksimum	4
6.	<i>Bulk density</i> (kg/m^3)	1695
7.	Kadar lumpur (%)	4
8.	Kadar air (%)	14,483
9.	Nilai abrasi (%)	-

Pasir alam dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu pasir galian, pasir sungai dan pasir pantai.

1. Pasir galian diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam (Tjokrodimuljo, 1992).

2. Pasir sungai adalah pasir yang bersumber dari penggalian atau penambangan di sungai. Sungai-sungai yang terjal memiliki aliran yang deras, sehingga deposit dari partikel batu-batuannya akan bervariasi cukup besar pada suatu jarak tertentu. Pada sungai-sungai yang landai, variasi perbedaan ukuran partikel tidak berubah dari tempat yang satu ke tempat yang lain (Mulyono, 2003).
3. Pasir pantai adalah pasir yang diambil dari tepian pantai, bentuk butirannya halus dan bulat akibat gesekan dengan sesamanya. Pasir ini banyak mengandung garam. Garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu tampak agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila dipakai pada bangunan. Pasir pantai dapat digunakan pada campuran beton dengan perlakuan khusus, yaitu dengan cara dicuci sehingga kandungan garamnya berkurang atau hilang (Dumyati dan Manalu, 2015).

Persyaratan pasir agar dapat digunakan menjadi bahan bangunan (Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia/PUBI, 1982) adalah sebagai berikut:

1. Pasir harus bersih dalam pengujian dengan larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang kelihatan dibanding tinggi seluruhnya tidak kurang dari 70%.
2. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
3. Angka modulus halus butir (MHB) terletak antara 2,2 sampai 3,2 bila diuji dengan rangkaian ayakan dengan rangkaian ayakan berukuran 0,16 mm,

0,315 mm, 0,63 mm, 1,25 mm, 2,5 mm, dan 10 mm dengan fraksi yang lewat ayakan 0,3 mm minimal 15% dari berat.

4. Pasir tidak boleh mengandung zat-zat organik yang dapat mengurangi mutu beton, untuk itu bila direndam dengan larutan NaOH 3% cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan perbandingan.
5. Kekekalan, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan) jika diuji dengan larutan MgSO₄ tidak lebih dari 10% berat.

C. Batuan Andesit

Batuan andesit merupakan batuan *intermediate* yang terjadi hasil pendinginan magma pada permukaan bumi ataupun aktivitas gunung api. Akibat perbedaan suhu pada saat pendinginan batuan andesit secara umum terdiri dari batuan padat, pori dan antara (Khosama, 2012). Andesit diklasifikasikan ke dalam kelompok batuan vulkanik, yang merupakan sub kelompok dari batuan magmatik (Sariisik *et al.*, 2011). 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. 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 (Stepanus dkk, 2014).

Jenis batuan ini berstruktur porfiritik afanitik, komposisi mineral utama jenis plagioklas, mineral mafik adalah piroksen dan amfibol sedang mineral tambahan adalah apatir dan zirkon. Batuan ini memiliki berat jenis 2,3 gr/cm³

hingga $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dan memiliki kuat tekan 600 hingga 2400 kg/cm^2 (Sukandarrumibi, 1999). Bentuk visual dari batu andesit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Batu Andesit (Nishikant *et al.*, 2016).

Komposisi kimia batu andesit dapat ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Komposisi Kimia Batu Andesit (Sariisik *et al.*, 2011).

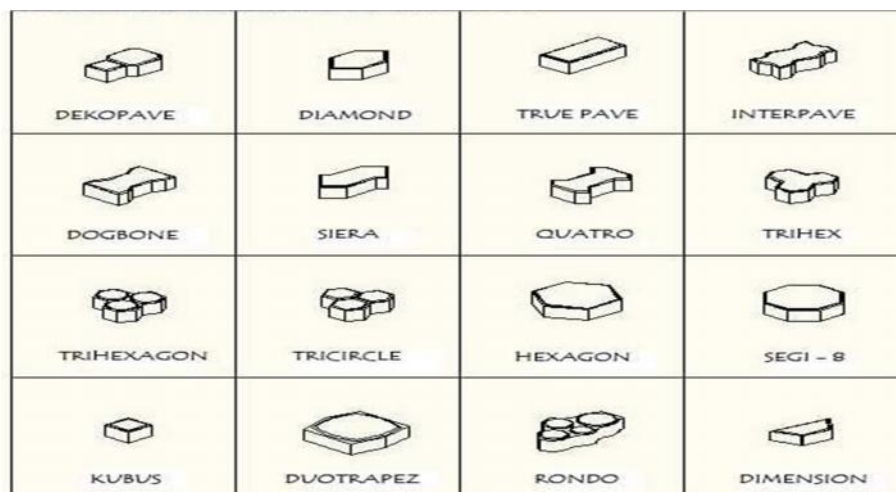
No.	Komposisi Kimia	Satuan	Nilai
1.	SiO ₂	(%)	62,30
2.	Al ₂ O ₃	(%)	14,70
3.	Fe ₂ O ₃	(%)	4,04
4.	MgO	(%)	2,78
5.	CaO	(%)	4,26
6.	Na ₂ O	(%)	2,95
7.	K ₂ O	(%)	6,06
8.	TiO ₂	(%)	0,98
9.	P ₂ O ₅	(%)	0,81
10.	MnO	(%)	0,07
11.	Cr ₂ O ₃	(%)	0,014
12.	LOI	(%)	0,6
13.	Total	(%)	99,86

D. Paving Block

Paving block atau bata beton untuk lantai adalah suatu komponen bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen hidrolis atau sejenisnya, agregat (betu pecah dan pasir) dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* tersebut. Seperti pada pembuatan beton

lainnya, persyaratan yang diperlukan agregat, semen dan air yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti tercantum pada spesifikasi bahan-bahan beton (Adibroto, 2014). Perbandingan campuran semen dengan pasir untuk *paving block* yang umum digunakan berkisar antara 1 : 4 sampai 1 : 6 dengan perbandingan air semen antara 0,3 sampai 0,4 (Pamuji, 2007).

Keunggulan *paving block* adalah menjaga keseimbangan air tanah, menjadi penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil, serta menjadi serapan air yang baik. Sedangkan kelemahan *paving block* adalah mudah bergelombang apabila pondasinya tidak kuat dan kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi (Wintoko, 2012). Jika *paving block* dipasang hanya satu buah, maka akan bersifat seperti perkerasan kaku dan bila dipasang dengan *interlocking* atau saling mengisi akan bersifat seperti perkerasan lentur (Istiwarni, 2009). Macam-macam bentuk dari *paving block* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk-bentuk *Paving Block* (Nurzal dan Putra, 2014).

Berdasarkan cara pembuatannya, *paving block* dapat digolongkan dalam beberapa jenis yaitu:

1. *Paving block* Press Manual/Tangan

Paving block jenis ini termasuk jenis beton kelas D (K50-100). Sesuai dengan mutunya yang rendah, *paving* jenis ini memiliki nilai jual rendah dan umumnya digunakan untuk perkerasan non struktur seperti halaman rumah, trotoar jalan, dan perkerasan lingkungan dengan daya beban rendah.

2. *Paving block* Press Mesin Vibrasi/Getar

Paving block jenis ini diproduksi dengan mesin press sistem getar dan umumnya mutu beton kelas C-B (K150-250). Dalam pemakaiannya banyak digunakan sebagai alternatif perkerasan di pelataran garasi rumah dan lahan parkir.

3. *Paving block* Press Mesin Hidrolik

Paving jenis ini diproduksi dengan mesin press hidrolik dengan kuat tekan diatas 300 kg/cm^2 serta dikategorikan sebagai *paving block* dengan mutu beton kelas B-A (K 300-450). Pemakaian *paving* jenis ini dapat digunakan untuk keperluan non struktural maupun struktural yang berfungsi untuk menahan beban yang berat yang dilalui diatasnya. Seperti areal jalan lingkungan hingga sebagai perkerasan lahan pelataran terminal peti kemas (Putra dan Sutikno, 2016).

Syarat mutu bata beton (*paving block*) (SNI 03-0691-1989) sebagai berikut:

1. Sifat tampak

Paving block harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran

Paving block harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

3. Sifat Fisis

Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisis sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

E. *Ball Milling*

Ball milling merupakan suatu proses penghancuran serbuk karbon dengan menggunakan mekanisme tumbukan antara sampel dengan bola-bola baja berukuran heterogen. Proses ini diasumsikan dapat memperkecil ukuran pori karena ketika serbuk karbon dicetak maka struktur pori akan lebih mengikuti morfologi partikel karbon yang dihasilkan dari proses *ball milling* tersebut (Sari dkk, 2014). Metode *ball milling* ini berprinsip pada penghancuran bahan menggunakan sejumlah bola penumbuk dalam sebuah tabung horizontal yang berputar. Bola-bola akan terangkat pada sisi tabung kemudian jatuh ke bahan yang ditumbuk dan menyebabkan fragmentasi pada struktur bahan menjadi ukuran yang sangat halus. Keunggulan metode *ball milling* adalah waktu penepungan lebih cepat dan tepung yang dihasilkan relatif lebih halus sehingga mampu meningkatkan hidrasi tepung dengan air (Widjanarko dan Suwasito, 2014).



Gambar 2.3. *Ball Mill* (Sumber: Laboratorium Non-Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI).

F. Pozzolan

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air. Senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidrat yang bersifat hidrolis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah (Subakti, 1994). Standar mutu pozzolan dapat dibedakan menjadi tiga kelas (ASTM C 618-86):

1. Kelas N

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

2. Kelas C

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

3. Kelas F

Fly ash mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran

antharite atau bitumen batubara.

Dilihat dari proses pembentukannya, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu pozzolan alam dan pozzolan buatan. Pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif. Sedangkan untuk pozzolan buatan sebenarnya banyak macamnya seperti sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran. Seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*), *silica fume* dan lain-lain (ASTM C 593-82). Persyaratan kimia pozzolan diatur dalam ASTM C 618-92a.

G. Kalsinasi

Proses kalsinasi didefinisikan sebagai pengerjaan sampel pada temperatur tinggi tetapi masih dibawah titik leleh tanpa disertai penambahan *reagen* dengan maksud untuk mengubah bentuk senyawa konsentrat. Temperatur kalsinasi berpengaruh terhadap fasa suatu zat, dimana fasa adalah bagaian dalam suatu material yang berbeda dengan bagian-bagian lainnya dalam hal struktur atau komposisi (Delvita dkk, 2015). Kalsinasi berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida. Kalsinasi juga menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan seperti H₂O, air kristal (dalam bentuk OH) dan gas (CO₂) (Rohmah dan Zainuri, 2016).

Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain:

1. Pelepasan air bebas (H₂O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar suhu 100°C hingga 300°C.

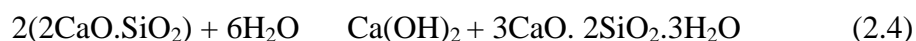
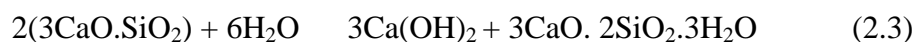
2. Pelepasan gas-gas seperti CO₂ berlangsung sekitar suhu 600°C dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.
3. Pada suhu lebih tinggi sekitar 800°C struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas (Patimah dan Saraswati, 2016).

H. Pengujian dan Karakterisasi

Pengujian fisik pada *paving block* meliputi :

1. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan (Irawati dkk, 2015). Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral utama. C₃S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan C₂S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama. C₃A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil (Widjojoko, 2010). Apabila C₃S dan C₂S bereaksi dengan air kembali membentuk senyawa CSH dan Ca(OH)₂. Adapun reaksi yang berlangsung (Hambali dkk, 2013) yaitu:



Ca(OH)₂ yang dihasilkan akan menyebabkan larutan pori beton bersifat basa kuat dan tidak larut dalam air sehingga dapat menurunkan kuat tekan beton tersebut (Widari dkk, 2015).

Mesin pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Mesin Pengujian Kuat Tekan (Sumber : Laboratorium Beton Teknik Sipil UNILA).

Pada hakekatnya faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan *paving block* sama halnya dengan kuat tekan beton, yaitu sebagai berikut:

a. Faktor air semen (FAS).

Nilai FAS yang tinggi menyebabkan adukan beton menjadi banyak pori-pori yang berisi air, setelah beton keras akan menimbulkan rongga-rongga sehingga kekuatannya akan rendah. Sedangkan nilai FAS yang rendah menyebabkan adukan akan sulit dipadatkan sehingga menimbulkan banyak rongga udara. Hal ini mengakibatkan beton yang dihasilkan berkualitas rendah dan adukan beton sulit dikerjakan.

b. Kepadatan

Kepadatan adukan beton akan mempengaruhi kekuatan beton setelah mengeras (Tjokrodimuljo, 1996). Tujuan pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal (Murdock *and* Brook, 1999).

c. Umur beton

Umur beton dihitung sejak beton dibuat, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur. Kecepatan kenaikan kekuatan beton dipengaruhi oleh FAS dan suhu perawatan. Semakin tinggi FAS maka

akan semakin lambat kenaikan kekuatannya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka kenaikan kekuatan beton semakin cepat.

d. Jenis semen

Setiap jenis semen mempunyai laju kenaikan yang berbeda-beda.

e. Jumlah semen

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada jumlah semen yang sedikit dan jumlah air sedikit adukan beton akan sulit dipadatkan sehingga kekuatan tekan beton rendah. Jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan, sehingga beton akan menjadi berpori dan berakibat kekuatan tekan beton rendah (Tjokrodimuljo, 1996).

f. Sifat agregat

Agregat terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

2. Porositas

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

3. Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu tolak ukur apakah beton nantinya dari segi keawetan dapat diandalkan atau tidak. Absorpsi pada beton dapat diukur setelah umur 28 hari. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya absorpsi antara lain yaitu faktor air semen dan susunan butir (gradasi) agregat (Syamsuddin dkk, 2011).

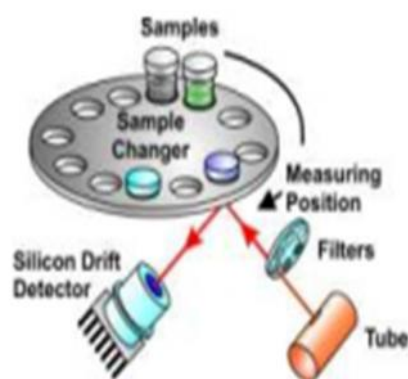
4. Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan pada suatu temperatur terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut (Laoli dkk, 2013). Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, yaitu agregat normal, agregat berat, dan agregat ringan.

- a. Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara $2,5 \text{ gr/cm}^3$ sampai $2,7 \text{ gr/cm}^3$. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar $2,3 \text{ gr/cm}^3$ dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 MPa. Betonnya disebut beton normal.
- b. Agregat berat mempunyai berat jenis lebih dari $2,7 \text{ gr/cm}^3$ misalnya magnetik (Fe_3O_4), *barytes* (BaSO_4), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan juga berat jenisnya tinggi (sampai 5 gr/cm^3), yang efektif sebagai dinding pelindung sinar radiasi sinar X.
- c. Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari $2,5 \text{ gr/cm}^3$ yang biasanya dibuat untuk non struktural. Akan tetapi dapat pula untuk beton struktural atau blok dinding tembok (Tjokrodinuljo, 1996).

5. XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF merupakan salah satu metode analisis tidak merusak digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif (Kriswarini dkk, 2010). Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada 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 berupa sinar-X. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan (Munasir dkk, 2012). Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Prinsip XRF (Fansuri, 2010).

6. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Sebagai contoh identifikasi struktur kristal dan fase dalam bahan, memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik

sinar-X dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar-X memiliki rentang energi 10-100 MeV dengan panjang gelombang 10 sampai 10^{-3} nm dan diklasifikasikan sebagai gelombang elektromagnetik yang berbeda dari gelombang radio, cahaya, dan sinar gamma (Waseda *et al.*, 2011).

Jika sinar-X ditembakkan pada suatu bahan, maka beberapa sinar akan dipantulkan oleh bidang kristal yang terdapat dalam suatu bahan dengan sudut pantulan yang sama dengan sudut datang. Sedangkan sisanya akan ditransmisikan menembus bidang. Arah difraksi sinar-X hanya akan terdeteksi pada saat kondisi Bragg atau “hukum Bragg” yang memenuhi persamaan:

$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

Dimana: λ = Panjang gelombang sinar-X,

d = Jarak antar bidang,

n = Orde difraksi (1, 2, 3, dan seterusnya)

= Sudut datang sinar (Waseda *et al.*, 2011).

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal suatu padatan dengan membandingkan nilai jarak d (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data standar (Delvita dkk, 2015). Fase struktur kristal merupakan susunan dari deretan atom yang letaknya teratur pada suatu bahan, masing-masing atom pada kristal dapat menghamburkan gelombang elektromagnetik yang datang padanya. Peristiwa hamburan sinar-X oleh atom-atom pada kristal disebut difraksi sinar-X. Pengukuran data difraksi menghasilkan keluaran penting yaitu sudut 2θ dan intensitas pada sudut yang bersesuaian (Pratapa, 2004).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2017 sampai Agustus 2017 di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Preparasi, Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI, dan Laboratorium Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa *ball mill* merk Yuema Helical Geat type TR67-A-D112.M4 no. 01307.30166, *mixer* B10 capacity 10 Liter serta *rotation* 360/164 rpm, *beaker glass* Pyrex made in Thailand, 500 mL; 100 mL; 50 mL, cetakan kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm, timbangan analog merk *Five Goat* capacity 5 kg serta *graduation* 20 gr, timbangan digital merk *Gold series* Ohaus, *panel electrical furnace*, oven merk Memmert, gelas ukur Pyrex 25 mL, *pycnometer* Pyrex 50 mL, ayakan berukuran 2 mm; 0,5 mm; 0,42 mm; 0,354 mm; 0,250 mm dan 0,149 mm, mesin uji kuat tekan merk Wykeham *Farrance Engineering* model capacity 1500 KN, mesin uji XRF Type 7602 EA, mesin uji XRD Typenr 9430 030 40602, ember, cawan, tumbukan, spatula, sarung tangan dan masker.

2. Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa batu andesit yang berasal dari Lampung Selatan Provinsi Lampung, semen tipe PCC merk Tiga Roda kemasan 50 kg produksi PT Indocemet Tunggal Prakarsa Tbk, pasir pantai dari Maringgai Lampung Timur, air dan aquades.

C. Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja dari penelitian ini adalah:

1. Pemeriksaan Bahan

a. Pasir

1) Pemeriksaan berat jenis pasir menggunakan metode *pycnometer*

Langkah-langkah pengujian berat jenis pasir menggunakan metode *pycnometer* sesuai dengan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D-854 sebagai berikut:

1. Menyiapkan *pycnometer* 50 mL.
2. Menimbang pasir sebanyak 30 gr, kurang lebih 1/3 bagian dari *pycnometer*.
3. Menimbang *pycnometer* kosong (beserta tutup) menggunakan timbangan digital (w_1).
4. Menimbang *pycnometer* yang sudah diisi dengan pasir (w_2).
5. Menimbang *pycnometer* yang sudah diisi aquades hingga penuh (w_4).
6. Menambahkan air ke dalam *pycnometer* yang sudah berisi pasir (1/3 bagian) hingga penuh. Lalu menutup *pycnometer* dan diamkan selama 24 jam.
7. Setelah 24 jam, menimbang *pycnometer* kembali (w_3).

8. Menghitung berat jenis dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat jenis} = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)} \quad (3.1)$$

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

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

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

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

2) Pemeriksaan kadar lumpur

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

1. Menimbang 10 gr pasir dengan timbangan digital (w_1).
2. Memasukkan pasir yang telah ditimbang ke dalam *beaker glass* 50 mL.
3. Masukkan air bersih sedikit demi sedikit sambil mengaduk pasir secara perlahan-lahan sampai warna air yang telah tercampur pasir benar-benar jernih dan bersih.
4. Kemudian menaruh pasir di dalam cawan dan mengeringkan dalam oven selama 24 jam. Selanjutnya menimbang beratnya (w_2).
5. Menghitung kadar lumpur pasir.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dengan : w_1 = berat pasir awal (gr)

w_2 = berat pasir setelah dikeringkan dalam oven (gr)

3) Pemeriksaan kadar air

Prosedur pemeriksaan kadar air pada pasir sesuai ASTM D-2216 yaitu:

1. Menimbang cawan yang akan digunakan (a) dan memasukkan benda uji yaitu pasir ke dalam cawan dan menimbanginya (b).
2. Memasukkan cawan yang berisi cawan ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
3. Menimbang cawan berisi pasir yang sudah dioven (c) dan menghitung persentase kadar air.

$$\text{Kadar air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan : a = berat cawan (gr)

b = berat cawan dan pasir (gr)

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

4) Pemeriksaan Absorpsi

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

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

$$\text{Absorpsi} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan : A = berat pasir awal (gr),

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

5) Pengujian Gradasi

Langkah-langkah pengujian gradasi pasir sesuai dengan ASTM C-33 sebagai berikut:

1. Menimbang 400 gr pasir menggunakan timbangan digital.
2. Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan di atas yaitu 2 mm 0,5 mm, 0,42 mm, 0,354 mm, 0,250 mm, dan 0,149 mm.
3. Memasukkan pasir ke dalam ayakan paling atas, lalu mengaduk-aduk pasir menggunakan kuas hingga tidak ada pasir yang lolos ayakan lagi.
4. Menimbang pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan beserta wadahnya.
5. Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif persentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan. Modulus kehalusan pasir (MHB) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MHB = \frac{\text{total berat komulatif}}{100} \quad (3.5)$$

Pada umumnya pasir dapat dikelompokkan menjadi tiga macam tingkat kehalusan yaitu pasir halus dengan MHB 2,20 sampai 2,60, pasir sedang dengan MHB 2,60 sampai 2,90 dan pasir kasar dengan MHB 2,90 sampai 3,20.

b. Semen

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

c. Batu Andesit

Pemeriksaan terhadap batu andesit yaitu dengan karakterisasi menggunakan XRF dan XRD pada batu andesit halus sebelum dan sesudah kalsinasi.

d. Air

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

2. Preparasi Bubuk Batu Andesit

Langkah-langkah preparasi batu andesit sebagai berikut:

- a. Memasukkan batu andesit ke dalam *ball mill*.
- b. Menutup rapat *ball mill* dengan menggunakan kunci L.
- c. Menekan tombol *on* pada *ball mill*, lalu menggiling batu andesit selama ± 10 jam hingga batu andesit hingga benar-benar halus.
- d. Setelah melalui proses *ball milling*, mengayak bubuk batu andesit dengan ayakan berukuran 0,074 mm (*mesh 200*).
- e. Batu andesit yang telah halus lalu dikalsinasi menggunakan *panel electrical furnace* sampai suhu 900°C dengan waktu penahanan selama 2 jam.
- f. Setelah dingin, hasil kalsinasi batu andesit siap digunakan.

3. Komposisi Benda Uji

Komposisi benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi Benda Uji.

No	Perbandingan Semen : Pasir	Substitusi Batu Andesit (% dari berat semen)	FAS	Kebutuhan pasir (gr)	Kebutuhan semen (gr)	Kebutuhan batu andesit (gr)
1.	1 : 4	10	0,8	2000	450	50
2.	1 : 4	20	0,8	2000	400	100
3.	1 : 4	30	0,8	2000	350	150
4.	1 : 4	40	0,8	2000	300	200
5.	1 : 4	50	0,8	2000	250	250

4. Pembuatan Benda Uji

a. Pembuatan adukan

Pada tahap ini, semua bahan ditimbang sesuai kebutuhan dari masing-masing komposisi campuran yaitu semen tipe PCC, pasir, batu andesit dan air seperti Tabel 3.1. Langkah-langkah dalam pembuatan adukan sebagai berikut:

1. Setelah menimbang masing-masing bahan, kemudian memasukkan semua bahan ke dalam *mixer*.
2. Menghidupkan *mixer* sambil di beri air sedikit hingga homogen.
3. Mematikan *mixer*, lalu mengeluarkan adonan.

b. Pembuatan benda uji

Mencetak benda uji dengan langkah-langkah kerja sebagai berikut:

1. Memasukkan adonan yang telah dikeluarkan dari *mixer* ke dalam cetakan kubus.
2. Pengisian dilakukan lapis per lapis dan setiap lapis dipadatkan ± 25 kali. Setelah selesai, meratakan permukaan kubus dengan menggunakan sendok

perata. Lalu mendiamkan selama 24 jam.

3. Setelah 24 jam, membuka cetakan dan memberi kode sampel pada benda uji.
4. Perawatan benda uji (*curing*) dilakukan dengan merendam benda uji ke dalam ember yang sudah berisi air sampai umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

5. Pengujian Benda Uji

Tahap pelaksanaan pengujian benda uji pada penelitian sebagai berikut:

a. Kuat tekan

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

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

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.6)$$

dengan : A = luas penampang benda uji (cm²)

P = beban (kg)

f'c = kuat tekan (kg/cm²).

b. Porositas dan Absorpsi

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

1. Memasukkan sampel yang sudah diangkat dari air ke dalam oven. Sampel dikeringkan dengan oven hingga benar-benar tidak mengandung air.
2. Menimbang masing-masing sampel dengan timbangan digital dan mencatat hasilnya (w_1).
3. Merendam seluruh sampel di dalam wadah seperti ember yang berisi air dan mendinginkan selama 24 jam.
4. Setelah 24 jam, menimbang sampel di dalam sebuah wadah (keranjang kecil) yang di gantung tepat di bawah timbangan dengan posisi mengapung di tengah air.
5. Mendinginkan hingga angka pada timbangan mulai stabil dan mencatat hasilnya (w_2).
6. Setelah selesai, sampel di lap secara perlahan-lahan, selanjutnya menimbang kembali dan mencatat hasilnya (w_3). Menghitung porositas dan absorpsi dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{w_3 - w_1}{w_3 - w_2} \times 100 \% \quad (3.6)$$

$$\text{Absorpsi} = \frac{w_3 - w_1}{w_1} \times 100 \% \quad (3.7)$$

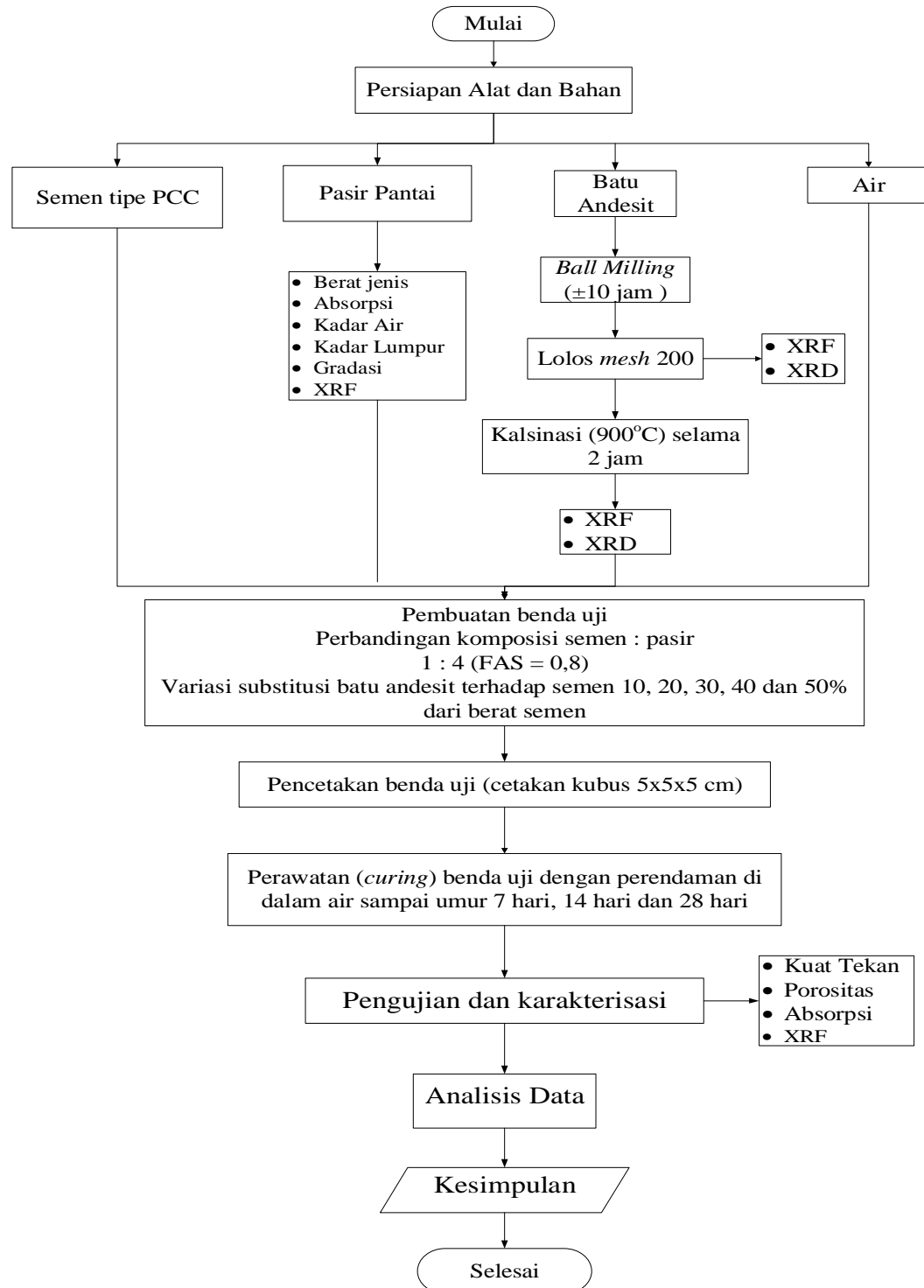
dengan w_1 = berat benda uji setelah di oven (gr)

w_2 = berat benda uji saat di gantung (gr)

w_3 = berat benda uji setelah di lap (gr) (SNI 1969:2008).

D. Diagram Alir

Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan dari penelitian ini adalah:

1. Kuat tekan *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 10% dengan umur perendaman 28 hari dan kuat tekan terendah terdapat pada substitusi batu andesit 50% dengan umur perendaman 7 hari. Porositas terendah terjadi pada substitusi batu andesit 10% dengan umur perendaman 28 hari dan porositas *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 50% dengan umur perendaman 7 hari dan 14 hari. Absorpsi *paving block* tertinggi terdapat pada substitusi batu andesit 50% dengan umur perendaman 7 hari dan absorpsi terendah terdapat pada substitusi batu andesit 10% dengan umur perendaman 14 hari dan 28 hari serta 20% dengan umur perendaman 28 hari.
2. Pada suhu kalsinasi 0 C (sebelum kalsinasi) dan pada suhu kalsinasi 900°C, fase yang terbentuk didominasi oleh *Muscovite*. Namun, terlihat beberapa puncak menghilang dan terdapat sebagian puncak yang intensitasnya melemah setelah proses kalsinasi. Seperti, fase *Albite* (Na Feldspar) serta fase *Hedenbergite* (*Pyroxene*) seiring dengan menurunnya persentase Ca dan Na akibat menguap selama proses kalsinasi.

B. Saran

Dalam upaya meningkatkan dan mengembangkan penelitian tentang pembuatan *paving block* maka terdapat beberapa saran antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh ukuran partikel dari bahan baku terhadap karakteristik fisik dari *paving block*.
2. Perlu dilakukan uji karakterisasi SEM dan FTIR pada dalam batu andesit sebelum dan setelah kalsinasi agar data penelitian lebih lengkap.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh suhu kalsinasi pada bahan baku lebih dari 900°C terhadap terhadap karakteristik fisik dari *paving block*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F. 2014. Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan Paving Block. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 10(1): 1-11. ISSN: 1858-2133.
- Afif, M. 2013. Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Superplasticizer Dengan Pemakaian Semen Tipe PPC Dan Tipe PCC Terhadap Peningkatan Mutu Beton [*Skripsi*]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Aruntas, H. Y., Guru, M., Mustafa, D., and Ilker, T. 2010. Utilization Of Waste Marble Dust As An Additive In Cement Production. *Materials and Design*. 31:4039-4042.
- ASTM C 618-86. *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C 618-92a. *Standard Specification of Pozzolan*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C 593-82. *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D-854. *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D-2216. *Standard Method of Laboratory Determination of Moisture Content of Soil*. American Society for Testing and Materials.
- Astuti, A. W., 2006. Perancangan Kegiatan Perawatan Yang Optimal Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) [*Tugas Akhir*]. Surabaya: ITS.
- Aydin, S., Yazici, H., and Bulent, B. 2008. High Temperature Resistance of Normal Strength and Autoclaved High Strength Mortars Incorporated Polypropylene and Steel Fibers. *Construction and Building Materials*. 22: 504-512.

- Badan Geologi Indonesia. 2011. *Data Dasar Gunung Api Indonesia, Edisi ke-2*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung.
- Craig, R. F. 1991. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Delvita, H., Djamas, D., dan Ramli. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi terhadap Karakteristik Kalsium Karbonat (CaCO_3 dalam Cangkang Keong Sawah (Pila ampullacea) yang terdapat di Kabupaten Pasaman. *Pillar of Physics*. 6: 17-24.
- Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Lampung. 2014. *Potensi Bahan Galian Lampung*.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangun Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*. Jakarta: Depdikbud.
- Dumyanti, A., and Manalu, D. F. 2015. Analisis Penggunaan Pasir Pantai Sampur Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Fropil*. 3(1): 1-13.
- Fansuri, H. 2010. *Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa. LPPM ITS.
- Ginting, A. 2015. Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*. 11(2): 76-168.
- Hambali, M., Lesmania, I., Midkasna, A. 2013. Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia*. 19(4): 14-21.
- Hamsi, A. 2011. Analisa Pengaruh Ukuran Butir dan Tingkat Kelembaban Pasir Terhadap Performansi Belt Conveyor Pada Pabrik Pembuatan Tiang Beton. *Jurnal Dinamis*. 11(8): 14-20. ISSN 0216-7492.
- Irawati, N., Putri, N. T., dan Alexie, H. 2015. Strategi Perencanaan Jumlah Material Tambahan Dalam Memproduksi Semen Dengan Pendekatan Taguchi Untuk Meminimalkan Biaya Produksi (Study Kasus PT Semen Padang). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 14(1):159-172. ISSN 2088-4842.
- Istiwarni. 2009. Analisa Paving Block dan Limbah Karbit [*Skripsi*]. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kardiyono, T. J. 2000. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Navitri.
- Khosama, L. K. 2012. Kuat Tekan Beton Beragregat Kasar batuan Tuff Merah, Batuan Tuff Putih, dan Batuan Andesit. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. 2(1): 1-10. Hal 273-278. ISSN 2087-9334.
- Kriswarini, R., Angraini, D dan Agus, D. 2010. Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence) secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn

dan Fe dalam Paduan Aluminium. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. ISSN 1978-0176.

- Laoli, M. E., Kaseke, O. H., Manopo, M. R. E., and Jansen, F. 2013. Kajian Penyebab Perbedaan Nilai Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Panas yang Dihitung Berdasarkan Metode Marshall dengan yang Dicari Langsung Berdasarkan Aashto T209. *Jurnal Sipil Statik*. 1(2): 128-132.
- Lea, F. M. 1970. *The Chemistry of Cement and Concrete (3rd edition)*. New York: Chemical Publishing Co. Inc. Hal 727.
- Mulyati dan Maliar, S. 2015. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Agregat Terhadap Kuat Tekan Paving Block. *Jurnal Momentum*. 17(1). ISSN : 1693-752x.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuhan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 2(1): 20-29. ISSN 2087-9946.
- Murdock, L. J. and Brook, K. M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Keempat*. Terjemahan oleh Stephanus Hindarko. Jakarta: Erlangga.
- Nishikant, K., Nachiket, A., Inamdar, A., and Abhisek, S. 2016. Manufacturing of Concrete Paving Block by Using Waste Glass Material. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 6(6): 61-77. ISSN 2250-3153.
- Nurzal dan Mahmud, J. 2013. Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Daya Serap Air pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal teknik Mesin*. 3(2): 41-48.
- Nurzal dan Putra, W. F. 2014. Pengaruh Waktu Pengeringan Dengan Penambahan 5% Berat Fly Ash Melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Mesin*. 4(2): 59-67.
- Pamuji, A. L. 2007. Pengaruh Penambahan Tras Muria sebagai Bahan Ikat Tambahan pada Pembuatan Paving Block Ditinjau Terhadap Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus dan Serapan Air [*Skripsi*]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Pangaribuan, M. R dan Narlis. 2015. Penggunaan Batu Karang, Tanah Sebagai Pengganti Agregat Dalam Pembuatan Beton K-175 Untuk Bangunan Sederhana. *Prosiding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur dan Teknik Sipil)*. Volume 6. ISSN 1858-2559.
- Pasaribu, L. 2011. Studi Analisis Pengaruh Jenis Tanah, Kelembaban, Temperatur dan Kadar Air Garam terhadap Tahnan Pertanahan Tanah [*Tesis*]. Depok: Universitas Indonesia.

- Patimah dan Saraswati, T. E. 2016. Pengaruh Suhu Kalsinasi pada Sifat Kemagnetan Material Besi Oksida Hasil Elektrolisis. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia (JKPK)*. 1(3): 149-156. ISSN 2503-4146.
- Pratapa, S. 2004. *Bahan Kuliah Difraksi Sinar-X*. Surabaya: ITS
- Purwanto dan Priastiwi, Y. A. 2012. Pengaruh Kadar Lumpur pada Agregat Halus dalam Mutu Beton. *TEKNIK*. 33(2): 46-52. ISSN 0852-1697.
- Putra, Y. E dan Sutikno. 2016. Pemanfaatan Limbah Sandblasting Sebagai Bahan Campuran Paving Block. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. 1(1):81-86.
- Refnita, G., Zuki, Z., dan Yulizar, Y. 2012. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Tipe PCC Serta Analisis Air Laut Yang Digunakan Untuk Perendaman. *Jurnal Kimia Unand*. 1(1):1-7.
- Riyaldi, A. 2015. Studi Eksperimental Paving Block Komposit Concrete Foam Diperkuat Serat TKKS Akibat Beban Tekan Statik [*Skripsi*]. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Rohmah, R., dan Zainuri, M. 2016. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi SiO₂ terhadap Sifat Kebasahan pada Permukaan Hidrofobik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5(2): 2337-3520.
- Sari, F. P., Taer E., dan Sugianto. 2014. Efek Variasi Ball Milling Terhadap Karakteristik Elektrokimia Sel Superkapasitor Berbasis Karbon. *JOM FMIPA*. 1(2): 217-227.
- Sari, R. A. I., Wallah, S. E., dan Reky, S.W. 2015. Pengaruh Jumlah Semen dan FAS Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik*. 3(1): 68-76. ISSN: 2337-6732.
- Sariisik, A., Sariisik, G., and Ahmet Senturk. 2011. Applications of Glaze and Decor on Dimensioned Andesites Used in Construction Sector. *Construction and Building Materials*. 25: 3694-3702.
- Sebayang, S., Diana, I. W., dan Purba, A. 2011. Perbandingan Mutu Paving Block Produksi Manual dengan Prosuksi Masinal. *Jurnal Rekayasa*. 15(2): 139-150.
- SK SNI S-04-1989-F. *Bata Beton Berlubang Bata Beton Berlubang (Hollow Brick)*.
- Soehardjono, A., Prastumi, Hidayat, T., dan Prawito, G. S. 2013. Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Pengganti Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kemampuan Resapan Air Struktur Paving. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 7(1):74-80. ISSN 1978-5658.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1969:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.

- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1970:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1989. *Bata Beton untuk Lantai*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2493-1991. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2461-2002. *Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-0302-2004. *Semen Portland Pozzolan*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Stepanus, R. A., Bintang, dan Jamilah. 2014. Pengaruh Beberapa Kehalusan Tepung Batuan Andesit dan Pengekstrak Terhadap Ketersediaan Hara Ultisol. *Jurnal Online Agroetnologi*. 2(2): 884-892. ISSN No. 2337-6597.
- Subakti, A. 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Suparno, S. 2009. *Energi Panas Bumi Edisi I*. Depok: Universitas Indonesia.
- Supribadi, I. K. 1996. *Ilmu Bangunan Gedung*. Bandung: ARMICO.
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., dan Fauzan, F. M. 2011. Pengaruh Air Laut Pada Perawatan (*Curing*) Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton Dengan Variasi Faktor Air Semen Dan Durasi Perawatan. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5(2): 68-75. ISSN 1978-5658.
- Tjokrodijuljo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Tjokrodijuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Tjokrodijuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Triyono, D. D. 2010. Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sawit untuk Pembuatan Paving Block [*Skripsi*]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Tugino. 2010. Model Kuat Tekan dan Tarik Proporsi Tras Muria Dengan Kapur Untuk Kapur Untuk Bahan Dasar Mortar. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. 12(1): 1-10.
- Tumingan, Tjaronge, M. W., Victor, S., dan Rudy, D. 2016. Penyerapan dan Porositas Pada Beton Menggunakan Bahan Pond Ash Sebagai Pengganti Pasir. *POLITEKNOLOGI*. 15(1).
- Waseda, Y., Eiichiro, M., Kozo, S. 2011. *X-Ray Diffraction Crystallography Introduction, Examples and Solved Problem*. London New York: Springer Heidelberg Dordrecht.
- Widari, L. A., Fasdarsyah., dan Iva, D. 2015. Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Pada Paving Block. *Teras Jurnal*. 5(1):51-59. ISSN 2008-0561.
- Widjanarko, S. B., dan Suwasito, T. S. 2014. Pengaruh Lama Penggilingan Dengan Metode Ball Mill Terhadap Rendemen Dan Kemampuan Hidrasi Tepung Porang (*Amorphopallus muelleri* Blume). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2(1): 79-85.
- Widojoko, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. 1(1): 52-59.
- Wintoko, B. 2012. *Sukses Wirausaha Batako dan Paving Block*. Pekanbaru: Pustaka Baru Press.
- Wiryasa, N. M. A., I Nyoman, S., Agus, S. W. 2008. Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 12(1): 29-36.
- Yusuf, Y., Zuki, Z, dan Gifyul, R. 2013. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan Mortar Semen tipe PCC serta analisis Air Laut yang digunakan untuk Perendaman. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*.