



**PENGARUH SUHU DAN SUBSTITUSI SERBUK LUMPUR LAPINDO
(SIDOARJO) SEBAGAI MATERIAL *POZZOLAN* AKTIF TERHADAP
KARAKTERISTIK KUAT TEKAN *PAVING BLOCK***

SKRIPSI

Oleh :

Aidiyansah Faishal Fakhri

151910301112

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH SUHU DAN SUBSTITUSI SERBUK LUMPUR LAPINDO
(SIDOARJO) SEBAGAI MATERIAL *POZZOLAN* AKTIF TERHADAP
KARAKTERISTIK KUAT TEKAN *PAVING BLOCK***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Aidiyansah Faishal Fakhri

151910301112

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Skripsi saya persembahkan dan didedikasikan kepada :

1. Keluarga saya, Bapak Ruswandi dan Ibu Nurul Ainny serta adikku Andini Fairuz Salma yang tidak ada henti-hentinya memberikan semangat, dukungan dan do'a finansial pada skripsi ini.
2. Bapak Dwi Nurtanto dan Ibu Nanin Meyfa Utami selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan
3. Tim penelitian Struktur beton, Tri Susanto, Ahmad Ulul dan Nur Cahyani yang mau bersusah payah saling bersama membantu demi mewujudkan gelar S.T.
4. Vianda Febryan, Putri Windi L, M Zulvi Alhamda, Fahrin Saftya, Amalia Tulus, Intan Kamila A dan Raodatul Hasanah yang banyak membantu selama proses perkuliahan dari mulai menyelesaikan tugas kecil, tugas besar, uts, uas hingga tugas akhir.
5. Teman – teman seperjuangan mahasiswa Teknik Sipil 2015
6. Keluarga Besar UKMS Kolang Kaling Fakultas Teknik Universitas Jember
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu

MOTTO

“Bukan kampus yang membesarkan nama mahasiswa, tetapi mahasiswa yang membesarkan nama kampus”

(AFaishalF)

“Fabiayyi ‘aalaa’i Rabbikumaa Tukadzdzibaan”

(QS. Ar – Rahman 55)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

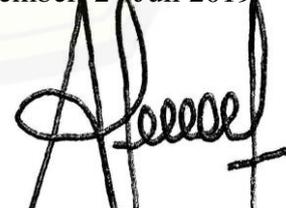
Nama : Aidiyansah Faishal Fakhri

NIM : 151910301112

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Suhu dan Substitusi Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo) Sebagai Material *Pozzolan* Aktif Terhadap Karakteristik Kuat Tekan *Paving Block*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan diri manapun serta bersedia mendapat saksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember 24 Juli 2019



Aidiyansah Faishal Fakhri

NIM. 151910301112

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUHU DAN SUBSTITUSI SERBUK LUMPUR LAPINDO
(SIDOARJO) SEBAGAI MATERIAL *POZZOLAN* AKTIF TERHADAP
KARAKTERISTIK KUAT TEKAN *PAVING BLOCK***

Oleh :

Aidiyansah Faishal Fakhri

151910301112

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu dan Substitusi Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo) Sebagai Material *Pozzolan* Aktif Terhadap Karakteristik Kuat Tekan *Paving Block*” telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 24 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing :

Pembimbing Utama



Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP. 19731015 199802 1 001

Pembimbing Anggota



Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NIP. 760014641

Tim Penguji :

Penguji 1



Akhmad Hassanuddin, S.T., M.T.
NIP. 19710327 199803 1 003

Penguji 2



Winda Triwahyuningtyas, S.T., M.T.
NIP. 760016772

Mengesahkan,

Dekan :

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Suhu dan Substitusi Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo) Sebagai Material *Pozzolan* Aktif Terhadap Karakteristik Kuat Tekan *Paving Block*;
Aidiyansah Faishal Fakhri, 151910301112; 2019: 88 halaman; Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Lusi merupakan bahan material yang dikeluarkan dari dalam bumi akibat kegagalan teknik dalam pengeboran (eksplorasi) migas di Porong Sidoarjo. Lusi memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan *pozzolan* dengan jumlah total SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 lebih dari 82% memenuhi persyaratan *pozzolan* SNI 2460:2014. Karena bersifat pozolanik maka akan dikembangkan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis pada *paving block* dengan pemanfaatan serbuk lusi sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan pembakaran lusi dengan variasi suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C selama 5 jam dengan variasi komposisi campuran serbuk lusi sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Benda uji *paving block* dibuat dengan ukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm dengan perbandingan 1 : 4 dan fas 0,5. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tekan *paving block* maksimum pada kode benda uji B1 (1000°C, 10%) sebesar 22,89 Mpa (mutu B), dan kuat tekan minimum pada kode benda uji C4 (1100°C, 40%) sebesar 11,73 Mpa (mutu D). Seiring dengan banyaknya penambahan prosentase serbuk lusi pada campuran mengalami penurunan. Pada penyerapan *paving block* cenderung naik pada setiap kenaikan penambahan prosentase substitusi serbuk lusi.

Kata kunci : serbuk lusi, *pozzolan*, substitusi semen, *paving block*

SUMMARY

The Effect of Temperature and Substitution of Lapindo Mud Powder (Sidoarjo) As an Active Pozzolan Material to The Compressive Strength Characteristic of Paving Block; Aidiyansah Faishal Fakhri, 151910301112; 2019: 88 page; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Lusi is a material released from the earth due to technical failure in oil and gas exploration (exploration) in Porong Sidoarjo. Lusi has the potential to be used as pozzolanic material with a total amount of SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 more than 82% fulfilling the requirements of the pozzolan SNI 2460: 2014. Because it is pozzolanic, it will be developed as a partial substitute for cement in making paving blocks. This study aims to determine the physical and mechanical properties of paving blocks with the use of lusi powder so that it can be used as a substitute for cement. The research method used was experimental by combusting the lusi with a temperature variation of 900°C , 1000°C and 1100°C for 5 hours with variations in the composition of the powder mixture by 0%, 10%, 20%, 30% and 40%. Paving block specimens were made with a size of 21 cm x 10.5 cm x 6 cm with a ratio of 1: 4 and fas 0.5. Based on the results of the study, it was found that the maximum compressive strength of paving blocks in the test specimen B1 (1000°C , 10%) was 22.89 Mpa (quality B), and the minimum compressive strength in C4 specimen code (1100°C , 40%) was 11.73 Mpa (quality D). Along with the increase in the percentage of the powder in the mixture has decreased. The absorption of block paving tends to increase in each increase in the addition of percentage of substitution of powder.

Keywords: lusi powder, pozzolan, cement substitution, paving block

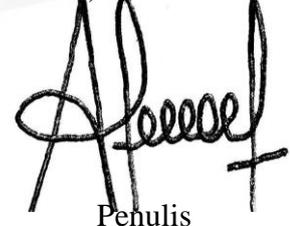
PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu dan Substitusi Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo) Sebagai Material *Pozzolan* Aktif Terhadap Karakteristik Kuat Tekan *Paving Block*”. Tak lupa juga sholawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Bismillahirrahmanirrahim skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik
2. Ir. Hernu Suyoso, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil
3. Dwi Nurtanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama
4. Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota
5. Akhmad Hassanuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama
6. Winda Triwahyuningtyas, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota
7. Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik
8. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
9. Staf Fakultas dan jajarannya.

Jember, 24 Juli 2019



Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Halaman Persembahan	iii
Halaman Motto	iv
Halaman Pernyataan	v
Halaman Pembimbing	vi
Halaman Pengesahan	vii
Ringkasan	viii
Summary	ix
Prakata	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Lampiran	xix
Bab 1. Pendahuluan...	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
Bab 2. Tinjauan Pustaka	5
2.1 Lumpur Lapindo	5

2.2 Standar Mutu <i>Pozzolan</i>	8
2.3 <i>Paving Block</i>	12
2.3.1 Klasifikasi <i>Paving Block</i>	12
2.3.2 Syarat Mutu <i>Paving Block</i>	14
2.3.3 <i>Paving Block</i> Sebagai Lapisan Perkerasan Permeabel	15
2.4 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	17
2.5 Pengujian <i>Paving Block</i>	22
2.5.1 Kuat Tekan	22
2.5.2 Penyerapan Air	23
2.6 Uji Koefisien Korelasi (R^2)	23
2.7 Kontrol Kualitas Pekerjaan	24
2.8 Penelitian Sebelumnya Mengenai Limbah Serbuk Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen	25
Bab 3. Metodologi Penelitian	27
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	27
3.2.1 Alat	27
3.2.2 Bahan	28
3.3 Pengujian Material	28
3.3.1 Bahan Ikat (Semen dan Serbuk Lusi)	29
3.3.2 Agregat Halus (Pasir)	30
3.3.3 <i>Treatment</i> Limbah Serbuk Lumpur Sidoarjo	32
3.4 Model Benda Uji	35

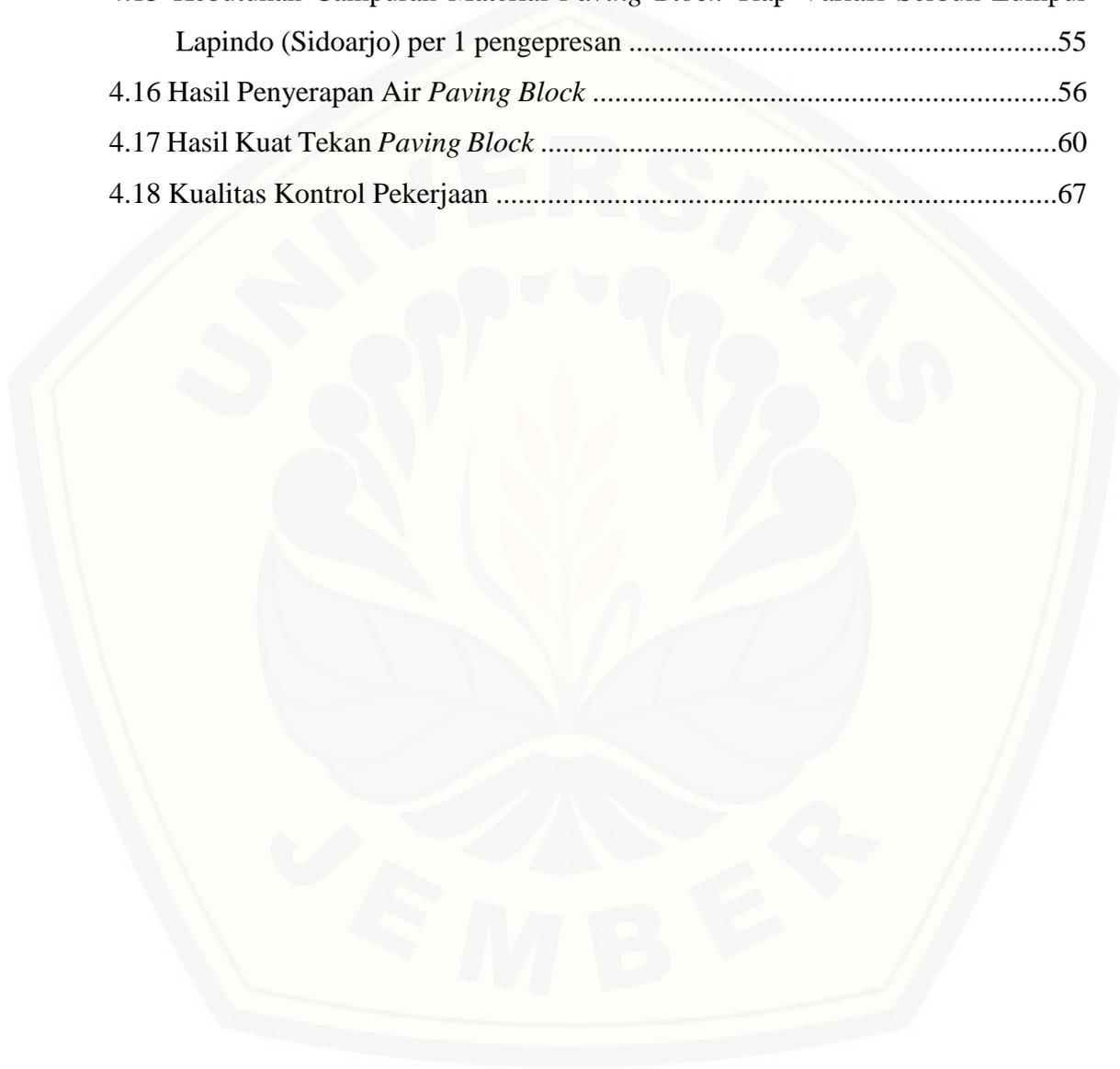
3.5 Rancangan Penelitian	36
3.6 Tahapan Pelaksanaan	36
3.7 Pengumpulan Data	41
3.7.1 Data Primer	41
3.7.2 Data Sekunder	42
3.8 Analisa Hasil Pengujian dan Menarik Kesimpulan	42
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	43
4.1 Hasil Uji Serbuk Lumpur Sidoarjo	43
4.1.1 Berat Jenis	43
4.1.2 Berat Volume	43
4.2 Hasil Uji Semen	45
4.2.1 Berat Jenis	45
4.2.2 Berat Volume	45
4.3 Hasil Uji Agregat Halus	46
4.3.1 Berat Volume	46
4.3.2 Analisa Saringan	47
4.3.3 Kelembaban	51
4.3.4 Air Resapan	51
4.3.5 Berat Jenis	52
4.3.6 Kadar Lumpur	53
4.4 Rancangan Campuran dan Proporsi Bahan <i>Paving Block</i>	53
4.4.1 Perbandingan Proporsi Campuran <i>Paving Block</i>	53

4.4.2 Kebutuhan Bahan <i>Paving Block</i>	55
4.5 Pengujian <i>Paving Block</i>	56
4.5.1 Penyerapan Air	56
4.5.2 Kuat Tekan	60
4.5.3 Korelasi Penyerapan Air dan Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	68
4.6 Kualitas Kontrol Pekerjaan	69
Bab 5. Penutup	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN – LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

2.1 Hasil Pengujian Analisis Kimia Mikro Lusi	5
2.2 Perbandingan Intensitas Pada Suhu 1050°C Selama 4 Jam dan 6 Jam	7
2.3 Persyaratan Kimia <i>Pozzolan</i>	8
2.4 Persyaratan Fisik <i>Pozzolan</i>	9
2.5 Syarat Kimia (Jenis IP-U dan IP-K)	10
2.6 Syarat Fisika (Jenis IP-U dan IP-K)	10
2.7 Syarat Kimia (Jenis P-U dan P-K)	11
2.8 Syarat Kimia Fisika (Jenis P-U dan P-K)	11
2.9 Kekuatan Fisik <i>Paving Block</i>	15
2.10 Kandungan Senyawa Kimia Utama Semen <i>Portland</i>	17
2.11 Batas Gradasi Agregat Halus	20
2.12 Koreksi Ketebalan dan Faktor Talang Untuk Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	23
2.13 Interval Koefisien Korelasi	24
2.14 Klasifikasi <i>Standart Deviasi</i> yang Disarankan	25
3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	27
3.2 Perencanaan Variasi Benda Uji	36
4.1 Data Pengujian Berat Jenis Lusi	43
4.2 Data Pengujian Berat Volume Lusi Sebelum di Oven	44
4.3 Data Pengujian Berat Volume Lusi Setelah di Oven	44
4.4 Data Pengujian Berat Jenis Semen	45
4.5 Data Pengujian Berat Volume Semen	45
4.6 Data Pengujian Berat Volume Agregat Halus	46
4.7 Batas Gradasi Agregat Halus	47
4.8 Data Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	47
4.9 Data Pengujian Kelembaban Agregat Halus	51
4.10 Data Pengujian Air Resapan Agregat Halus	52

4.11 Data Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	52
4.12 Data Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	53
4.13 Kebutuhan Campuran Material <i>Paving Block</i> per 1 m ³	55
4.14 Kebutuhan Campuran Material <i>Paving Block</i> per 1 Benda Uji	55
4.15 Kebutuhan Campuran Material <i>Paving Block</i> Tiap Variasi Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo) per 1 pengepresan	55
4.16 Hasil Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	56
4.17 Hasil Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	60
4.18 Kualitas Kontrol Pekerjaan	67



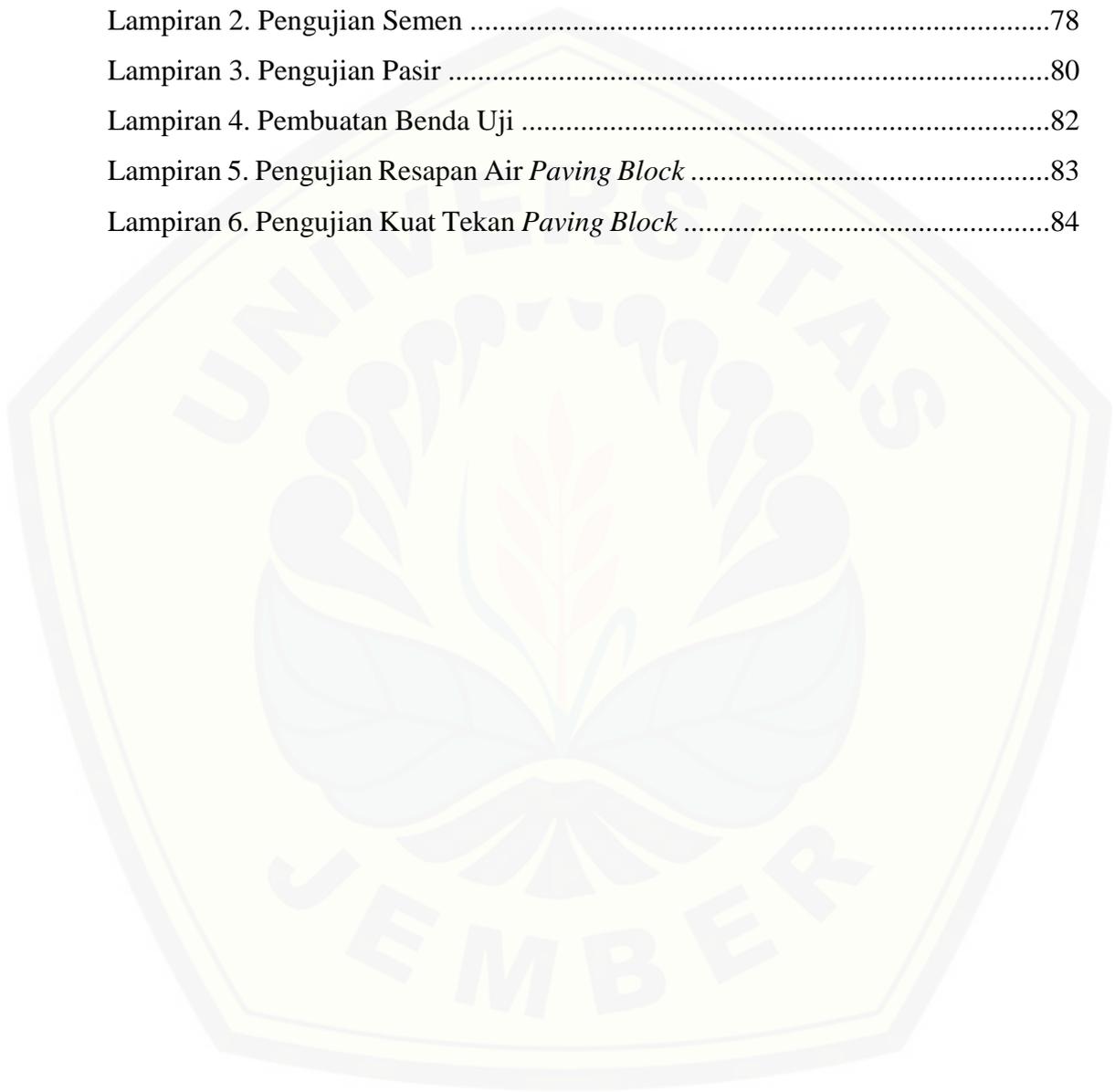
DAFTAR GAMBAR

2.1 (a) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 1000x, (b) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 1600x dan (c) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 5600x	6
2.2 Grafik Analisa XRD Lusi 1050°C dengan Penambahan Durasi Pembakaran	7
2.3 Macam-Macam Bentuk <i>Paving Block</i>	13
2.4 Macam-Macam Pola Pemasangan <i>Paving Block</i>	13
2.5 Sistem Total <i>Infiltrasi</i>	15
2.6 Sistem Parsial <i>Infiltrasi</i>	16
2.7 Sistem Non <i>Infiltrasi</i>	16
2.8 Agregat Halus (Pasir Lumajang	21
2.9 Sketsa Benda Uji Balok 6 cm x 10,5 cm x 21 cm	22
3.1 <i>Layout</i> Lokasi Pengambilan Lumpur	33
3.2 Lumpur Dalam Tahap Pengeringan Matahari	33
3.3 Mesin <i>Furnace</i>	34
3.4 Grafik Kenaikan Suhu <i>Furnace</i>	34
3.5 Mesin Pemecah Batu Mini	35
3.6 Pernyaringan Lusi Lolos Ukuran No. 200	35
3.7 Sketsa Benda Uji Balok 6 cm x 10,5 cm x 21 cm	36
3.8 Alat <i>Mixer</i> dan Mesin <i>Press Paving Block</i>	38
3.9 Alat Uji Kuat Tekan Manual dan Digital	39
3.10 Bagan Alir Tahap Penelitiannya (<i>Flow Chart</i>)	40
4.1 Batas Gradasi Zona 1 Agregat Halus	48
4.2 Batas Gradasi Zona 2 Agregat Halus	49
4.3 Batas Gradasi Zona 3 Agregat Halus	49

4.4 Batas Gradasi Zona 4 Agregat Halus	50
4.5 Batas Gradasi ASTM C-13 Agregat Halus	50
4.6 Grafik Hubungan Prosentase Penambahan Serbuk Lusi dengan Suhu 900°C dan Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	59
4.7 Grafik Hubungan Prosentase Penambahan Serbuk Lusi dengan Suhu 1000°C dan Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	59
4.8 Grafik Hubungan Prosentase Penambahan Serbuk Lusi dengan Suhu 1100°C dan Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	60
4.9 Hasil Uji Kuat Tekan dengan Suhu 900°C	62
4.10 Hasil Uji Kuat Tekan dengan Suhu 1000°C	63
4.11 Hasil Uji Kuat Tekan dengan Suhu 1100°C	63
4.12 Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Prosentase Substitusi Lusi.....	64
4.13 Hubungan Kuat Tekan dengan Prosentase Substitusi Lusi 10%	64
4.14 Hubungan Kuat Tekan dengan Prosentase Substitusi Lusi 20%	65
4.15 Hubungan Kuat Tekan dengan Prosentase Substitusi Lusi 30%	65
4.16 Hubungan Kuat Tekan dengan Prosentase Substitusi Lusi 40%	66
4.17 Rata – rata Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Variasi Suhu	66
4.18 Hubungan Penyerapan dan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Suhu 900°C.....	68
4.19 Hubungan Penyerapan dan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Suhu 1000°C.....	68
4.20 Hubungan Penyerapan dan Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Pada Suhu 1100°C.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan dan Proses <i>Treatment</i> Serbuk Lusi	76
Lampiran 2. Pengujian Semen	78
Lampiran 3. Pengujian Pasir	80
Lampiran 4. Pembuatan Benda Uji	82
Lampiran 5. Pengujian Resapan Air <i>Paving Block</i>	83
Lampiran 6. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	84



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lumpur Sidoarjo (lusi) mulai meletus pada 29 Mei 2006 di Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Lumpur memasuki ke kawasan perumahan, sekolah, kantor pemerintah, tempat ibadah dan lahan pertanian. Hal ini menyebabkan lebih dari 640 hektar lahan dan 60.000 orang terkena dampak dari luapan lumpur (Richard J.D, 2017). Beberapa upaya telah dilakukan untuk mengakhiri letusan, namun sampai saat ini tidak ada yang berhasil. Saat ini, ketinggian bendungan penutup sekitar 12 meter, meskipun beberapa dari lumpur telah disalurkan ke sungai terdekat.

Upaya untuk memanfaatkan lumpur sebagai bahan konstruksi bangunan terus dikembangkan, umumnya dilakukan untuk menggantikan sebagian penggunaan semen dalam pembuatan beton sebagai bahan *pozzolan*. Lumpur menjadi lebih reaktif setelah dikalsinasi sebagai mikro yang berubah dari bentuk kristal menjadi lebih *amorf*. Kalsinasi atau *sintering* adalah praktek umum untuk meningkatkan aktivasi *pozzolanic* dari bahan *pozzolan*. Lusi memiliki potensi menjanjikan untuk digunakan sebagai bahan *pozzolan* (Hardjito dkk., 2012). Pemanfaatan lusi tidak hanya dapat mengurangi masalah sosial dan lingkungan tetapi juga meningkatkan sifat kekuatan beton (Nuruddin dkk., 2010).

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). *Paving block* sekarang ini semakin banyak diminati oleh masyarakat dikarenakan pelaksanaannya yang cepat, mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan serta memiliki nilai estetika yang baik dan harganya yang mudah dijangkau. Selain itu, *paving block* merupakan konstruksi yang ramah lingkungan karena sela-selanya akan memperlancar rembesan air sehingga sangat baik dalam konservasi tanah dan meminimalisasi terjadinya banjir.

Peningkatan permintaan *paving block* ini tidak diimbangi oleh kualitas baik dari segi kekuatan, daya tahan, dan umur pakainya. Hal ini disebabkan mutu,

komposisi bahan dan kualitas bahan yang tidak sesuai dengan standar. Dengan penambahan bahan tambahan (*admixture*) yang dapat meningkatkan kualitas *paving block* terus berkembang. Mengingat pentingnya penggunaan *pozzolan* pada *paving block*, jenis-jenis *biopozzolan* aktif dengan harga yang lebih murah serta ramah lingkungan seperti pemanfaatan limbah perlu dikembangkan. Salah satu yang dapat dimanfaatkan sebagai *biopozzolan* adalah lumpur lapindo (lusi).

Antoni, et al. (2013) menyebutkan bahwa kalsinasi suhu 900°C selama durasi 5 jam memiliki jumlah total SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ lebih dari 82%, dengan demikian memenuhi persyaratan untuk bahan *pozzolan*. Berdasarkan kandungan tersebut, maka lumpur lapindo diharapkan bisa dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen dalam konteks volume pada pembuatan *paving block*.

Lasino dkk. (2018) yang mencoba menggunakan limbah lumpur Sidoarjo yang difungsikan sebagai material substitusi semen pada pembuatan beton. Kesimpulan dari penelitiannya bahwa lumpur Sidoarjo dapat dikembangkan menjadi bahan *pozzolan* melalui proses pembakaran dan penyaringan yang selanjutnya disebut mikro lusi. Suhu bakar optimum yang diperlukan untuk pembuatan mikro lusi adalah 1000°C dengan waktu bakar selama 10 menit. Berdasarkan hasil analisis kimia, mikro lusi memenuhi persyaratan SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan *pozzolan* alam mentah atau yang telah dikalsinasi dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar dan beton. Kadar optimum penggunaan mikro lusi sebagai bahan substitusi semen dalam mortar sebesar 20% dengan kuat tekan mortar yang diperoleh adalah 317,8 kg/cm². Demikian pula penggunaan mikro lusi sebagai substitusi semen dalam campuran beton diperoleh kadar optimum sebesar 20% dengan kuat tekan rata-rata adalah 296,2 kg/cm². Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengembangan lumpur Sidoarjo menjadi bahan *pozzolan* sangat prospektif dan dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton. Sehingga dalam pemanfaatannya perlu dilakukan kajian lebih jauh kemungkinan penggunaan mikro lusi sebagai bahan campuran dalam produksi semen.

Berdasarkan uraian di atas, maka diadakan penelitian tentang pemanfaatan lumpur lapindo (lusi) sebagai bahan material substitusi semen (*pozzolan*) pada

pembuatan *paving block*. Pada percobaan ini lusi dibakar pada variasi suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C selama 5 jam sehingga diharapkan kadungan yang keluar dengan metode *furnace* tersebut adalah Silika (SiO₂), Kwarsa, Flint, dan Kristal yang merupakan bahan penyusun utama dari semen. Dan dengan menentukan komposisi campuran dari lumpur Sidoarjo dari prosentase penambahan 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen.

Inovasi ini diharapkan mampu menekan biaya produksi *paving block*, diantaranya mengurangi penggunaan semen. Hal ini dikarenakan adanya pengurangan kadar semen yang digantikan dengan serbuk lumpur Sidoarjo. Dengan adanya penelitian ini nantinya dapat mengurangi volume lumpur dan masyarakat mendapatkan pengetahuan baru dalam pemanfaatan lumpur menjadi produksi *paving block*. Selain itu penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menyusun inovasi-inovasi di masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan di atas maka perumusan masalah dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat fisik *paving block* dengan pemanfaatan serbuk lumpur lapindo (Sidoarjo) setelah melalui proses pembakaran pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C ?
2. Bagaimana sifat mekanis *paving block* dengan menggunakan substitusi serbuk lumpur lapindo (0%, 10%, 20%, 30% dan 40%) setelah dibakar pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C, sehingga dapat mengurangi penggunaan semen ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui sifat fisik *paving block* dengan pemanfaatan serbuk lumpur lapindo (Sidoarjo) setelah melalui proses pembakaran pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C.
2. Untuk mengetahui sifat mekanis *paving block* dengan menggunakan substitusi serbuk lumpur lapindo (0%, 10%, 20%, 30% dan 40%) setelah dibakar pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C.

1.4 Batasan Masalah

Agar penyusunan proposal ini tidak menyimpang dari tujuan yang hendak dicapai, maka ditetapkan batasan-batasan masalah meliputi :

1. Suhu pembakaran limbah serbuk lumpur lapindo yang digunakan adalah 900°C, 1000°C dan 1100°C.
2. Pengujian kuat tekan dan resapan air *paving block* dilakukan pada hari ke 28
3. Lokasi pengambilan material limbah lumpur lapindo di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo
4. Pasir yang digunakan berasal dari Lumajang
5. Perbandingan antara semen : pasir = 1: 4
6. Fas = 0,5
7. Prosentase campuran serbuk lumpur lapindo = 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%.
8. Jenis semen yang digunakan yaitu jenis OPC (tipe 1) merk Gresik.
9. Tidak membahas reaksi kimia pada lumpur lapindo (Sidoarjo)
10. Tidak mempertimbangkan faktor biaya (skala laboratorium)

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Lapindo

Lumpur lapindo (Sidoarjo) merupakan bahan material yang dikeluarkan dari dalam bumi akibat kegagalan teknis dalam pengeboran (eksplorasi) migas di Porong Sidoarjo. Material tersebut dapat dikategorikan sebagai produk erupsi *mud volcano* yang bisa terjadi di suatu kegiatan pengeboran khususnya di wilayah tatanan geologi yang kompleks. Bahan ini berbentuk butiran halus, berwarna abu-abu kehitaman, sangat plastis, dan memiliki nilai susut kering yang tinggi. Antoni et al. (2015) pada hasil pengujian XRF dengan suhu 945°C selama 5 jam didapat unsur kimia yang terkandung dalam lumpur Sidoarjo dapat disajikan dalam tabel 2.1 sebagai berikut :

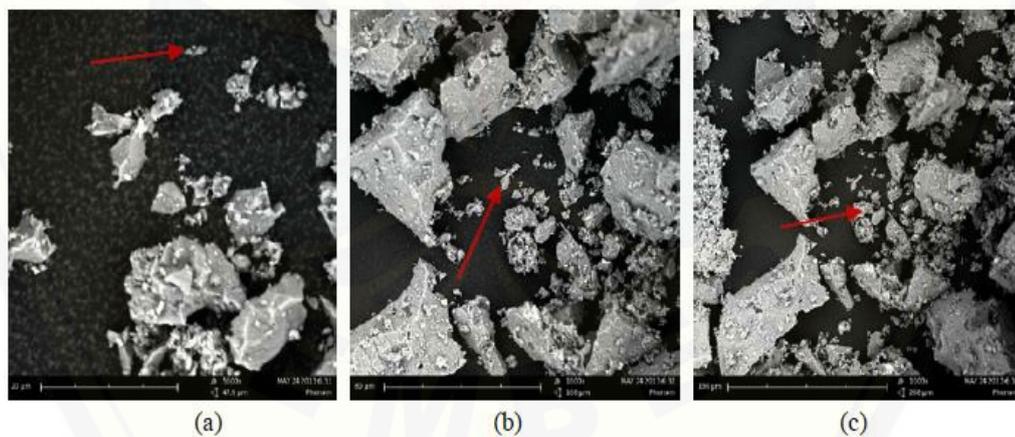
Tabel 2.1 Hasil Pengujian Analisis Kimia Mikro Lusi

No	Unsur	Hasil Uji (%)
1	SiO ₂	56,75
2	Al ₂ O ₃	23,31
3	Fe ₂ O ₃	7,37
4	CaO	2,13
5	MgO	2,95
6	K ₂ O	1,04
7	MnO	0,14
8	Cr ₂ O ₃	0,01
9	Na ₂ O	2,7
10	TiO ₂	0,38
11	SO ₃	0,96
12	LOI	1,2

(sumber : Antoni et al., 2015)

Berdasarkan komposisi kimia dari hasil pengujian pada tabel 2.1 diatas dengan unsur $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70%, dengan kandungan unsur tersebut, maka bahan ini sangat baik untuk digunakan sebagai bahan *pozzolan* buatan. Hal penting lainnya adalah bagian hilang pijar (LOI) sangat kecil yang mengindikasikan bahwa bahan organik sangat rendah termasuk unsur sulfur yang dapat mengganggu pengikatan semen dan keawetan beton atau mortar dan mikro lusi memenuhi syarat sesuai SNI 2460:2014 (Antoni et al., 2015).

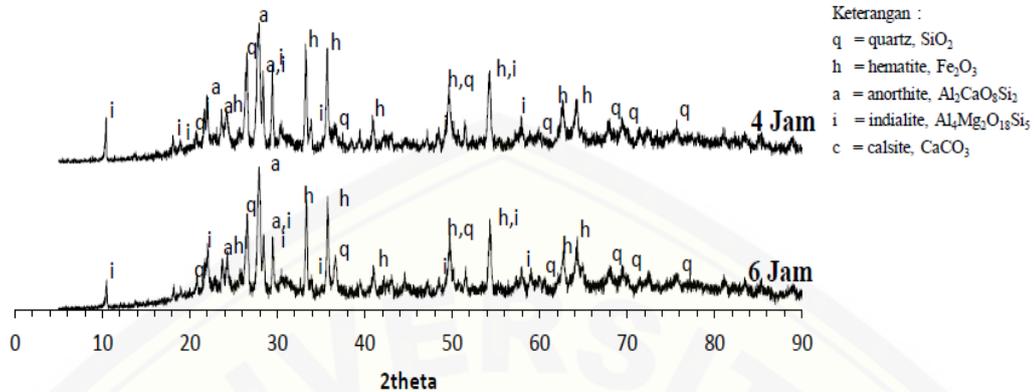
Menurut Nanin (2013), tanda panah pada gambar 2.1 menunjukkan butiran yang ukurannya $5\mu\text{m}$. Banyaknya butiran dengan ukuran tersebut menjadikan banyaknya butiran yang lolos ayakan No. 200 mesh (0,074 mm) yaitu sejumlah 67,5 gram. Berat butiran yang lolos ayakan No. 200 pada *fine ALWA* variasi ini, lebihh besar daripada *fine ALWA* dengan penambahan *fly ash* 50% yaitu sebesar 40%. Tetapi kepadatan butiran pada *fine ALWA* penambahan *fly ash* sebesar 50% ini menjadikan *fine ALWA* lebih sulit untuk dihancurkan daripada *fine ALWA* tanpa penambahan *fly ash*. Dengan demikian dapat disimpulkan, dengan penambahan *pozzolan*, maka dapat menambah kepadatan dan kekerasan pada butirannya.



Gambar 2.1 (a) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 1000x, (b) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 1600x dan (c) Mikrograf SEM suhu 1050°C durasi 6 jam perbesaran 5600x (Sumber : Nanin, 2013).

Berdasarkan dengan hasil XRD pada gambar 2.2 dan tabel 2.2 pada lusi yang dibakar pada suhu 1050°C dengan durasi pembakaran 4 jam dan 6 jam. Penambahan durasi pembakaran berpengaruh terhadap intensitas. Dengan bertambahnya durasi bakar, terjadi penurunan intensitas pada mineral *Hematite*

(Fe_2O_3) dan *Anorthite* ($\text{Al}_2\text{CaO}_8\text{Si}_2$), dan kenaikan intensitas pada mineral *Quartz* (SiO_2), *Calsite* (CaCO_3) dan *Indialite* ($\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$) (Nanin, 2013).



Gambar 2.2 Grafik Analisa XRD Lusi 1050°C dengan Penambahan Durasi Pembakaran (Sumber : Nanin, 2013)

Tabel 2.2 Perbandingan Intensitas Pada Suhu 1050°C Selama 4 Jam dan 6 Jam

Mineral yang Terkandung	Intensitas Tertinggi	
	1050°C selama 4 jam	1050°C selama 6 jam
<i>Quartz</i> (SiO_2)	196	225
<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)	225	234
<i>Anorthite</i> ($\text{Al}_2\text{CaO}_8\text{Si}_2$)	292	286
<i>Calsite</i> (CaCO_3)	63	69
<i>Indialite</i> ($\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$)	146	202

(sumber : Nanin, 2013)

Menurut Prof. Mukono (2006), Ahli kesehatan masyarakat Universitas Airlangga di seminar nasional mengatakan bahwa lumpur Sidoarjo meski mengandung senyawa *phenol*, seng, tembaga, dan *krom*, aman bagi kesehatan jika dimanfaatkan sebagai bahan bangunan karena tidak langsung kontak fisik dengan manusia. Berdasarkan hasil penelitian PP No.85 tahun 1999, lumpur lapindo tidak termasuk limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) sehingga aman digunakan sebagai bahan bangunan. Pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai bahan bangunan diharapkan mampu mengatasi permasalahan yang timbul di Porong Sidoarjo.

2.2 Standar Mutu *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau *silica alumina* dan *alumina*, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan *kalsium hidroksida* pada suhu normal membentuk senyawa *kalsium hidrat* yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah. Standar mutu *pozzolan* menurut SNI 2460:2014 dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. *Pozzolan* mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas *pozzolan* tersebut adalah :

- Kelas N : *Pozzolan* alam atau hasil pembakaran, *pozzolan* alam yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah *diatomoic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik atau *pumicite*, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.
- Kelas C : *Fly Ash* yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara.
- Kelas F : *Fly Ash* mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara.

Menurut persyaratan kimia berdasarkan SNI 2460:2014, kandungan *pozzolan* dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Persyaratan Kimia *Pozzolan*

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
Jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (min %)	70,0	70,0	70,0
SO_3 (max %)	4,0	5,0	5,0
Na_2O (max %)	1,5	1,5	1,5
Kadar Kelembaban (max %)	3,0	3,0	3,0
Hilang Pijar (max %)	10,0	6 [^]	12

(Sumber : SNI 2460:2014)

Penggunaan *pozzolan* kelas F dengan hilang pijar sampai 12% harus dengan persetujuan dan didukung oleh hasil pengujian laboratorium.

Tabel 2.4 Persyaratan Fisik *Pozzolan*

Uraian	Kelas		
	N	C	F
Kehalusan :			
Jumlah yang tertahan diatas ayakan 45 μ m (No. 325) (max %)	34	34	34
Indeks keaktifan <i>pozzolan portland</i>			
Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 7 hari (min %)	75	75	75
Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 28 hari (min %)	75	75	75
Persyaratn air (max %)	115	115	105
Pengembangan atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> (max %)	0,8	0,8	0,8
Persyaratn keseragaman :			
Berat jenis dan kehalusan dari contoh benda uji, masing-masing tidak boleh berbeda dari rata-rata yang ditetapkan dengan 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk,			
Berat jenis, perbedaan maximum dari rata-rata (%)	5	5	5
Prosentase partikel yang tertahan pada ayakan 45 μ m (No. 325) perbedaan maximum dari rata-rata (%)	5	5	5
Faktor pengali, dihitung sebagai perkalian hilang pijar dan kehalusan yang tertahan pada ayakan 45 μ m (No. 325) (max %)	-	255	-
Pertambahan penyusutan dari mortar pada umur 28 hari, perbedaan max (in %)	0,03	0,03	0,03
Persyaratan keseragaman :			

Sebagai tambahan pada beton air-*entraining* jumlah air *entraining agent* yang diisyaratkan untuk menghasilkan kadar udara sebesar 18%, volume mortar tidak boleh berbeda dari rata-rata yang ditetapkan atau dari seluruh pengujian jika kurang dari 10, maka untuk :

Reaktifitas dengan *alkali* semen :

Pengurangan pengembangan mortar pada umur 14 hari (min %)	75	-	-
Pengembangan mortar pada umur 14 hari (max %)	0,020	0,020	0,020

(Sumber : SNI 2460:2014)

Persyaratan kimia dan fisika semen *portland pozzolan* IP-U, IP-K, P-U dan P-K harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (SNI 15-0302-2004).

Tabel 2.5 Syarat Kimia (Jenis IP-U dan IP-K)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	MgO	%	Maks. 6,00	Maks. 6,00
2.	SO ₃	%	Maks. 4,00	Maks. 4,00
3.	Hilang Pijar	%	Maks. 5,00	Maks. 5,00

(Sumber : SK SNI 15-0302-2004)

Tabel 2.6 Syarat Fisika (Jenis IP-U dan IP-K)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	Kehalusan dengan alat <i>blaine</i>	m ²	Min. 280	Min. 280
2.	Waktu pengikatan dengan jarum vikat			
	• Pengikat awal	Menit	Min. 45	Min. 45
	• Pengikat akhir	Jam	Maks. 7	Maks. 7
3.	Kekekalan dengan auto level			
	• Penuain	%	Maks. 0,80	Maks. 0,80
	• penyusutan	%	Maks. 0,20	Maks. 0,20

Kuat tekan				
4.	• umur 3 hari	Kg/cm ²	Min. 125	Min. 110
	• umur 7 hari	Kg/cm ²	Min. 200	Min. 165
	• umur 28 hari	Kg/cm ²	Min. 250	Min. 205
Panas hidrasi				
5.	• umur 7 hari	Kal/g	-	Maks. 70
	• umur 28 hari	Kal/g	-	Maks. 80
6.	Kandungan udara dari mortar	% volume	Maks. 12	Maks. 12

(Sumber : SK SNI 15-0302-2004)

Tabel 2.7 Syarat Kimia (Jenis P-U dan P-K)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	MgO	%	Maks. 6,00	Maks. 6,00
2.	SO ₃	%	Maks. 4,00	Maks. 4,00
3.	Hilang Pijar	%	Maks. 5,00	Maks. 5,00

(Sumber : SK SNI 15-0302-2004)

Tabel 2.8 Syarat Kimia Fisika (Jenis P-U dan P-K)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	Kehalusan dengan alat <i>blaine</i>	m ²	Min. 280	Min. 280
Waktu pengikatan dengan jarum vikat				
2.	• Pengikat awal	Menit	Min. 45	Min. 45
	• Pengikat akhir	Jam	Maks. 7	Maks. 7
Kekekalan dengan auto level				
3.	• Penuain	%	Maks. 0,80	Maks. 0,80
	• penyusutan	%	Maks. 0,20	Maks. 0,20
Kuat tekan				
4.	• umur 3 hari	Kg/cm ²	-	-

	• umur 7 hari	Kg/cm ²	Min. 115	Min. 90
	• umur 28 hari	Kg/cm ²	Min. 215	Min. 175
Panas hidrasi				
5.	• umur 7 hari	Kal/g	-	Maks. 60
	• umur 28 hari	Kal/g	-	Maks. 70
6.	Kandungan udara dari mortar	% volume	Maks. 12	Maks. 22

(Sumber : SK SNI 15-0302-2004)

2.3 Paving Block

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). Beton memberikan banyak keuntungan bagi industri konstruksi dan terutama dalam penerapan *paving block*. Keuntungan-keuntungan ini termasuk peningkatan daya tahan, persyaratan perawatan yang rendah dan secara estetika menyenangkan bagi konsumen. Dengan mengurangi kandungan semen, pekerjaan ini bertujuan untuk mempertahankan keunggulan tersebut sekaligus mengurangi biaya ekonomi dan lingkungan yang tinggi. *Paving block* tersusun dari campuran agregat halus yakni pasir dengan semen dan air, campuran tersebut disebut juga sebagai mortar (non plesteran) (Vireen L et al., 2016).

2.3.1 Klasifikasi Paving Block

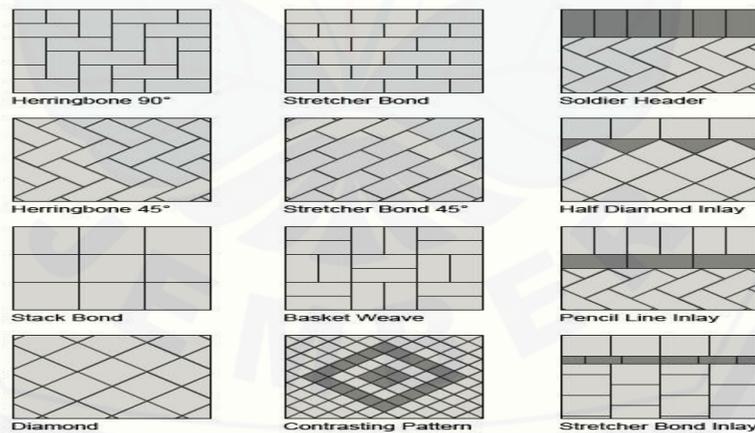
Berdasarkan SK SNI 03-2403-1991, klasifikasi *paving block* didasarkan atas bentuk tebal kekuatan dan warna. Klasifikasi tersebut antara lain :

1. Klasifikasi berdasarkan bentuk
 - a. *Paving block* bentuk segi tiga
 - b. *Paving block* bentuk segi empat
 - c. *Paving block* bentuk segi enam
 - d. *Paving block* bentuk segi banyak



Gambar 2.3 Macam-Macam Bentuk *Paving Block* (Sumber: sanpaving.wordpress.com)

Bentuk *paving block* yang paling banyak dipakai di Indonesia adalah *paving block* berbentuk segi empat. Hal ini karena keterkaitan dengan bentuk yang sederhana, menarik, dan kekuatan desaknya. Pola pemasangan yang umum dipergunakan ialah susun bata (*strecher*), anyaman tikar (*basket weave*), dan tulangan ikan (*herring bone*). Untuk perkerasan jalan diutamakan pola tulangan ikan karena mempunyai kunci yang baik. Dalam proses pemasangannya, *paving block* harus berpinggul pada tepi dan susunannya biasanya ditutup dengan pasak yang berbentuk topi uskup.



Gambar 2.4 Macam-Macam Pola Pemasangan *Paving Block* (Sumber : greenspace garden design)

2. Klasifikasi berdasarkan ketebalan

Menurut SNI 03-2403-1991, persyaratan ketebalan *paving block* pada umumnya adalah sebagai berikut :

- a. 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan dengan frekuensi terbatas, misalnya : sepeda motor, pejalan kaki.
 - b. 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas sedang atau berat dan padat frekuensinya, misalnya : mobil, *pick up*, truk dan bus
 - c. 10 cm, digunakan untuk beban lalu lintas super berat, misalnya : tronton, *loader*, dan alat berat lainnya.
3. Klasifikasi berdasarkan kekuatan
 - a. *Paving block* dengan mutu beton $f_c' 37,35$ MPa
 - b. *Paving block* dengan mutu beton $f_c' 27,00$ MPa
 4. Klasifikasi berdasarkan warna

Warna yang tersedia di pasaran antara lain abu-abu, hitam, dan merah. *Paving block* yang berwarna kecuali untuk menambah keindahan juga dapat digunakan untuk memberi batas pada perkerasan seperti tempat parkir, tali air, dan lainnya.

2.3.2 Syarat Mutu *Paving Block*

Paving block untuk lantai harus memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

- Sifat tampak *paving block* untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.
- Bentuk dan ukuran *paving block* untuk lantai tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Setiap produsen memberikan penjelasan tertulis dalam *leaflet* mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi pemasangan *paving block* untuk lantai.
- Penyimpangan tebal *paving block* untuk lantai diperkenankan kurang lebih 3 mm
- *Paving block* untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik sesuai pada tabel 2.9 sebagai berikut :

Tabel 2.9 Kekuatan Fisik *Paving Block*

Mutu	Kegunaan	Kuat tekan (Kg/cm ²)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks (%)
		Rata-rata	min	Rata-rata	Min	
A	Perkerasan Jalan	400	350	0,0090	0,103	3
B	Tempat Parkir Mobil	200	170	0,1300	1,149	6
C	Pejalan Kaki	150	125	0,1600	1,184	8
D	Taman Kota	100	85	0,2190	0,251	10

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

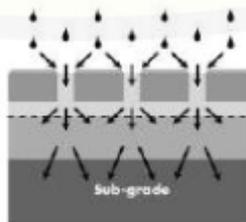
- *Paving block* untuk lantai apabila diuji dengan *natrium sulfat* tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperbolehkan maksimum 1%.

2.3.3 *Paving Block* Sebagai Lapisan Perkerasan Permeabel

Pada prinsipnya ada 3 jenis sistem pada penggunaan *paving block* sebagai lapisan perkerasan permeabel, yaitu :

1. Sistem *Infiltrasi* Total

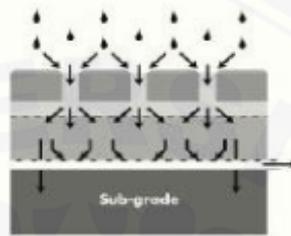
Pada sistem ini, air yang jatuh ke perkerasan akan merembes melalui celah diantara *paving block*, melewati lapisan *sub base* kemudian masuk ke dalam tanah *sub grade*.



Gambar 2.5 Sistem Total *Infiltrasi*

2. Sistem Parsial *Infiltrasi*

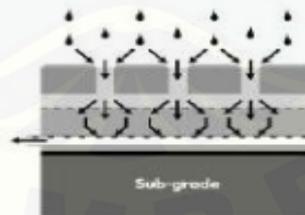
Pada sistem ini, air yang jatuh ke perkerasan akan merembes melalui celah diantara *paving block*, melalui lapisan *sub base* kemudian sebagian akan mengalir melalui pipa berlubang dan dilepaskan pada saluran drainase, sebagian lagi masuk ke dalam tanah *sub grade*.



Gambar 2.6 Sistem Parsial *Infiltrasi*

3. Sistem Non *Infiltrasi*

Pada sistem ini, air yang jatuh ke perkerasan akan merembes melalui celah diantara *paving block*, melewati lapisan *sub base* kemudian seluruh air akan mengalir melalui pipa berlubang dan dilepaskan pada saluran drainase tanpa ada yang masuk ke dalam tanah *sub grade*.



Gambar 2.7 Sistem Non *Infiltrasi*

Pada penggunaan *paving block* sebagai lapisan permeabel, diharapkan air dapat masuk ke dalam tanah. Meskipun demikian hal ini harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- Kedalaman antara permukaan perkerasan dengan muka air tanah harus lebih dari 1 meter. Kedalaman yang lebih besar dibutuhkan untuk menghasilkan tambahan saringan untuk polutan yang melewati tanah.
- Lapisan perkerasan permeabel bisa saja berdekatan dengan sungai, hal ini dapat menjadi perlemahan struktur pada daerah sekitar sungai.
- Pada daerah terlindungi seperti di daerah sumber mata air, penggunaan lapisan perkerasan yang seluruh airnya meresap ke dalam air mungkin tidak cocok karena dapat mempengaruhi kualitas air.

2.4 Bahan Penyusun *Paving Block*

1. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004). Persyaratan kimia semen *portland* harus memenuhi persyaratan pada tabel 2.10 sebagai berikut :

Tabel 2.10 Kandungan Senyawa Kimia Utama Semen *Portland*

Uraian	Jenis semen <i>portland</i> (%)				
	I	II	III	IV	V
SiO ₂ , min	-	20,0 ^{b,c}	-	-	-
Al ₂ O ₃ , max	-	6,0	-	-	-
Fe ₂ O ₃ , max	-	6,0 ^{b,c}	-	-	-
NgO, max	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
SO ₃ , max	-	-	-	-	-
Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
Jika C ₃ A > 8,0	3,5	^d	4,5	^d	^d
Hilang pijar, max	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Bagian tak larut, max	-	1,5	1,5	1,5	1,5
C ₃ S, max	-	-	-	35 ^b	-
C ₂ S, max	-	-	-	40 ^b	-

C_3A , max	-	8,0	1,5	7^b	5^b
$C_4AF + 2C_3A$ atau $C_4AF + C_2F$, max	-	-	-	-	25

(Sumber : SNI 15-2049-2004)

Prosentase oksida-oksida yang terkandung di dalam semen *portland* adalah sebagai berikut :

- a. Kapur (CaO) : 60 – 66 %
- b. Silika (SiO₂) : 16 – 25 %
- c. Alumina (Al₂O₃) : 3 – 8 %
- d. Besi (Fe₂O₃) : 1 – 5 %

Beberapa jenis semen *portland* dibuat dengan mengadakan variasi baik dalam perbandingan unsur-unsur utamanya maupun dalam derajat kehalusannya. Senyawa-senyawa tersebut di atas saling bereaksi di dalam tungku dan membentuk senyawa-senyawa kompleks dan biasanya masih terdapat kapur sisa karena tidak cukup bereaksi sampai keseimbangan reaksi tercapai. Pada waktu pendinginan terjadi proses pengkristalan.

Silica dan *alumina* yang terkandung dalam semen *portland* jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk masa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut dengan hidrasi (Tjokrodimulyo, 1996). Reaksi kimia semen bersifat *exothermic* dengan panas yang dihasilkan mencapai 110 kalori/gram. Akibat dari reaksi *exothermic* terjadi perbedaan temperatur yang sangat tajam sehingga mengakibatkan retak-retak kecil (*micricrack*) pada beton.

Proses reaksi kimia semen dengan air membentuk masa padat yang masih belum bisa diketahui secara rinci karena sifatnya yang sangat kompleks. Rumus kimia yang dipergunakan juga masih bersifat perkiraan untuk reaksi kimia dari unsur C₂S dan C₃S dapat ditulis sebagai berikut :



2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2847-2002).

Untuk didapat data yang dibutuhkan dalam perencanaan *mix design*, maka diperlukan 6 pengujian untuk agregat halus. Adapun pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

a) Berat volume dan rongga udara (SNI 03-4804-1998)

$$BV = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

W1 = berat silinder (g)

W2 = berat + pasir (g)

V = volume silinder (cm³)

BV = berat volume (g/cm³)

b) Berat Jenis (SNI 03-1970-1990)

$$BJ \text{ pasir} = \frac{W_1}{W_3 + W_1 - W_2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

W1 = berat pasir SSD (g)

W2 = berat *picnometer* + air + pasir (g)

W3 = berat *picnometer* + air (g)

c) Kelembaban (SNI 03-2834-2000)

$$KP = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

KP = kelembaban pasir (%)

W1 = berat pasir asli (g)

W2 = berat pasir oven (g)

d) Kadar Air Resapan (SNI 03-1970-1990)

$$KAR = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

KAR = kadar air resapan (%)

W1 = berat pasir SSD (g)

W2 = berat pasir oven (g)

e) Kadar Lumpur

$$KL = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

KL = kadar lumpur (%)

V1 = tinggi pasir (ml)

V2 = tinggi lumpur (ml)

f) Analisa Saringan Agregat Halus (SNI 03-2834-2000)

Kekasaran pasir dibagi menjadi 4 zona berdasarkan gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar.

Tabel 2.11 Batas Gradasi Agregat Halus

Nomor	Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat yang Lewat Ayakan			
		1 (kasar)	2 (agak kasar)	3 (agak halus)	4 (halus)
4	4,76	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2,38	60-95	75-100	85-100	95-100
16	1,19	30-70	55-90	75-100	90-100
20	0,59	15-34	34-59	60-79	80-100
50	0,297	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0,149	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Persyaratan pasir menurut SNI 03-2834-2000 agar dapat digunakan menjadi bahan bangunan adalah sebagai berikut :

- a. Pasir beton harus bersih, dalam pengujian dengan larutan pencuci khusus tinggi endapan pasir yang kelihatan dibanding tinggi seluruhnya tidak kurang dari 70%.
- b. Pasir yang lewat ayakan 0,063 mm (lumpur) tidak lebih dari 5% dari beratnya.
- c. Angka modulus halus butir terletak antara 2,2 samapi 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.

- d. Kekekalan terhadap larutan $MgSO_4$ harus tidak lebih dari 10% berat.
- e. 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 pembanding.

Penelitian ini menggunakan pasir Lumajang, dikarenakan kualitas pasir Lumajang yang baik untuk bahan bangunan contohnya untuk pembuatan *paving block*.



Gambar 2.8 Agregat Halus (Pasir Lumajang)

3. Air

Air berfungsi sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak dan bebas dari material organik (Dany, 2017). Persyaratan air sebagai bahan bangunan sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat antara lain :

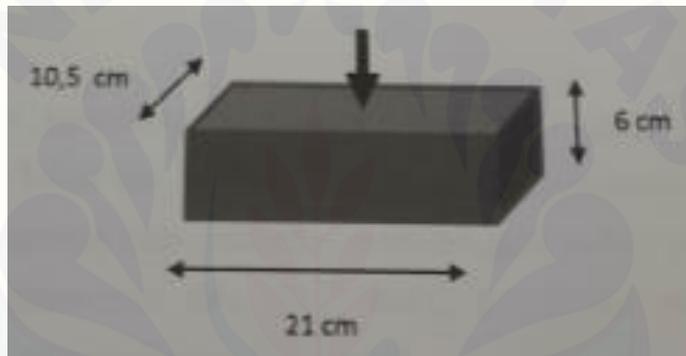
- a. Air harus bersih
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual
- c. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter
- d. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO_3 .

- e. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

2.5 Pengujian Paving Block

2.5.1 Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dimaksudkan dengan kuat tekan *paving block* adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur karena mengalami regangan bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum pada saat benda uji menjadi hancur dengan luas penampang. Dalam SNI 03-0691-1996 persamaannya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Sketsa Benda Uji Balok 6 cm x 10,5 cm x 21 cm

$$\text{Rumus kuat tekan} = \frac{P}{L \times SF} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P = beban tekan (N)

L = luas penampang (mm²)

SF = faktor koreksi tebal

Untuk mengolah data hasil kuat tekan, perlu memasukkan angka koreksi jika dalam pembuatan benda uji menggunakan ukuran tebal *paving block* yang berbeda. Adapun angka koreksi disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.12 Koreksi Ketebalan dan Faktor Talang Untuk Kuat Tekan *Paving Block*

Ketebalan (mm)	Faktor Koreksi	
	<i>Plain Block</i>	<i>Chamfered Block</i>
60	1,00	1,06
80	1,12	1,18
100	1,18	1,24

(Sumber : *Baskaran and Gopinath, 2013*)

2.5.2 Penyerapan Air

Penyerapan air didefinisikan sebagai perbandingan jumlah volume rongga-rongga kosong yang dimiliki oleh zat padat dengan jumlah dari volume zat padat yang ditempati oleh zat padat (Rossy, 2018). Daya serap pada suatu material dinyatakan dalam persen (%) rongga fraksi volume dari suatu rongga yang ada dalam material tersebut. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Menurut SNI 03-0691-1996 pengujian daya serap dilakukan dengan cara :

- Lima buah benda uji dalam keadaan utuh direndam dalam air hingga jenuh (24 jam)
- Kemudian dikeringkan dalam dapur pengering selama sekurang-kurangnya lebih 24 jam, pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya dua kali penimbangan berselisih $< 0,2\%$ penimbangan yang terdahulu

Menurut SNI 03-0691-1996 penyerapan air dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

A = berat *paving block* basah

B = berat *paving block* kering oven

2.6 Uji Koefisien Korelasi (R^2)

Koefisien korelasi adalah sebagai hubungan yang ada antara fenomena atau hal-hal anatar variabel statistik yang cenderung bervariasi atau terjadi bersamaan dengan cara yang tidak diharapkan secara kebetulan. Jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka model semakin kuat (Haldun A, 2018).

Tabel 2.13 Interval Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,0 – 0,199	Sangat Rendah
0,2 – 0,399	Rendah
0,4 – 0,599	Sedang
0,6 – 0,799	Kuat
0,8 – 1	Sangat Kuat

Sumber : Haldun A (2018)

2.7 Kontrol Kualitas Pekerjaan

Menurut Nugraha dan Anton (2007), kontrol kualitas pekerjaan adalah bagian dari proses jaminan kualitas guna memastikan kualitas produk yang dihasilkan dengan menguji untuk mengecek terhadap nilai target tertentu. Kontrol kualitas pekerjaan pada beton biasanya menggunakan aplikasi statistika sebagai berikut :

1. Rata-rata

Rata-rata Adalah jumlah nilai suatu data dalam kelompok dibagi dengan banyaknya data. Nilai rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kuat tekan rata-rata (fc'r)} = \frac{\sum fc'}{n} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

Fc' = kuat tekan (kg/cm²)

n = jumlah benda uji

2. Standart Deviasi (Sd)

Beton apabila diuji kekuatannya dengan beberapa benda uji, maka hasilnya akan menyebar sekitar suatu nilai tertentu. Penyebaran tersebut tergantung pada tingkat kesempurnaan dan ketelitian dalam pelaksanaannya. Ukuran dari besar kecil penyebaran itulah yang disebut *standart deviasi*. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus :

$$\text{Standart Deviasi (Sd)} : \sqrt{\frac{\sum(fc' - fc'm)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Fc' = kuat tekan (kg/cm²)

$F_c'm$ = kuat tekan rata-rata (kg/cm^2)

n = jumlah benda uji

Tabel 2.14 Klasifikasi *Standart Deviasi* yang Disarankan

Standar Pengawasan	Standar Deviasi yang Disarankan	
	Pelaksanaan Pada Proyek	Percobaan di Laboratorium
Sempurna	< 3	< 1,5
Sangat Baik	3 – 3,5	1,5
Baik	3,5 – 4	1,5 – 2
Cukup	4 – 5	2 – 2,5
Buruk	> 5	> 2,5

(Sumber : Yogi dan priyanto, 2012)

3. Variasi (V)

Bahan beton merupakan bahan yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang bervariasi. Variasi menunjukkan mutu pelaksanaan dilihat dari pengujian (Nanang, 2017). Dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Variasi (V)} : \frac{sd}{f_c'm} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Sd = *standart deviasi* (kg/cm^2)

$F_c'm$ = kuat tekan rata-rata (kg/cm^2)

Nilai $V < 10\%$ menunjukkan mutu amat baik, jika $10\% < V < 15\%$ menunjukkan mutu baik, jika $15\% < V < 20\%$ menunjukkan mutu cukup baik, dan mutu kurang baik jika $V > 20\%$.

2.8 Penelitian Sebelumnya Mengenai Limbah Serbuk Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen

Pada penelitian ini yang dilakukan oleh Lasino, N. Retno setiati dan Dany Cahyadi merupakan Dosen S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas yang dilakukan pada tahun 2018. Tentang “Pengembangan Mikro Lumpur Sidoarjo Sebagai Bahan Substitusi Semen Dalam Pembuatan Beton”. Pada penelitiannya bahwa lusi dapat dikembangkan menjadi bahan *pozzolan* melalui proses pembakaran dan penyaringan lolos ayakan ASTM No. 200 yang selanjutnya

disebut mikro lusi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan pembakaran lusi dan membuat benda uji. Benda uji mortar kubus (5cm x 5cm x 5cm) dan beton silinder (10cm x 20cm) dengan komposisi mikro lusi sebagai bahan substitusi semen yang digunakan terdiri dari empat variasi yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh Suhu bakar optimum 1000°C dengan waktu bakar selama 10 menit. Mutu lusi dapat digunakan sebagai bahan *pozzolan* alam untuk menggantikan semen karena memenuhi syarat SNI 2460:2014 yaitu mempunyai kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 85,36% dan indeks kuat tekan sebesar 82%. Kadar optimum penggunaan lusi sebagai bahan substitusi semen dalam mortar sebesar 20% dengan kuat tekan mortar yang diperoleh adalah 317,8 kg/cm². Demikian pula penggunaan lusi sebagai substitusi semen dalam campuran beton diperoleh kadar optimum sebesar 20% dengan kuat tekan rata-rata adalah 296,2 kg/cm². Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengembangan lusi menjadi bahan *pozzolan* sangat prospektif dan dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton.

9. Gerobak dorong
10. *Universal testing machine*
11. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau kedap air dengan ujung dan dasar yang benar-benar rata
12. *Picnometer*
13. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan
14. *Mounting table*
15. Bak
16. Sekop
17. Loyang/talam
18. Palu
19. Jangka sorong
20. Penggaris
21. Mesin *furnace*

3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen jenis OPC (tipe 1) merk Gresik.

2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang.

3. Limbah Serbuk Lumpur Lapindo (Sidoarjo)

Limbah serbuk lumpur lapindo yang digunakan berasal dari Kecamatan Porong, Sidoarjo.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari saluran air bersih Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Pengujian Material

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material yang berupa sifat fisis dari campuran *paving block* yang menggunakan limbah serbuk lumpur lapindo sebagai substitusi semen, pengujian material yang dilakukan meliputi :

3.3.1 Bahan Ikat (Semen dan Serbuk Lusi)

Pengujian semen yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Berat jenis

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian berat jenis :

- a. Botol *Le Chatelier*
- b. Timbangan analitis
- c. Bak
- d. *Thermometer*
- e. Semen Tipe I (semen Gresik)
- f. Serbuk Lusi
- g. Minyak tanah
- h. Air

Prosedur pengujian :

- Isi botol *Le Chatelier* dengan minyak tanah sampai permukaan dalam botol terletak pada skala antara 0 – 1, keringkan bagian dalam botol diatas permukaan cairan.
- Rendam botol *Le Chatelier* yang dimaksud pada butir 1) ke dalam bak berisi air, biarkan botol itu terendam selama ± 60 menit agar suhu botol tetap dan suhu cairan dalam botol sama dengan suhu air
- Setelah suhu cairan dalam botol dan air sama. Baca tinggi permukaan cairan terhadap skala botol, misalnya (V1)
- Timbang berat semen sebanyak 64 gram (W)
- Masukkan benda uji sedikit demi sedikit ke dalam botol, harus diusahakan seluruh benda uji masuk ke dalam cairan dan hindarkan adanya massa semen yang menempel di dinding dalam botol di atas permukaan
- Setelah seluruh benda uji dimasukkan, goyangkan perlahan-lahan botol itu selama ± 30 menit, sehingga seluruh gelembung udara dalam botol ke luar
- Rendam botol yang berisi benda uji dan cairan itu selama ± 60 menit, sehingga suhu larutan dalam botol sama dengan suhu air, lalu baca tinggi permukaan larutan pada skala botol, misalnya (V2)
- Hitunglah berat jenis semen dan serbuk lusi

2. Berat Volume

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian berat volume :

- a. Timbangan analitis
- b. Takaran berbentuk silinder
- c. Alat perojok besi
- d. Semen *portland* jenis I

Prosedur pengujian :

- Tanpa Rojokan
 - Silinder ditimbang dalam keadaan kering
 - Diisi semen lalu diratakan permukaannya
 - Menimbang silinder beserta semen
- Dengan Rojokan
 - Silinder ditimbang dalam keadaan kering
 - Silinder diisi 1/3 bagian kemudian dirojok 25 kali hingga penuh lalu diratakan permukaannya
 - Timbang beratnya

3.3.2 Agregat Halus (Pasir)

Dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat karakteristik dari agregat halus yang nantinya akan dibutuhkan dalam pembuatan *paving block*. Pengujian agregat halus yang digunakan dalam campuran *paving block* meliputi :

1. Berat Volume

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian berat volume :

- a. Timbangan analitis
- b. Takaran berbentuk silinder
- c. Alat perojok besi
- d. Pasir kering

Prosedur pengujian :

- Tanpa rojokan
 - Menimbang silinder dalam keadaan kering
 - Mengisi silinder dengan pasir dan ratakan permukaannya
 - Timbang beratnya

- Dengan rojokan
 - Menimbang silinder dalam keadaan kering
 - Mengisi silinder 1/3 bagian dengan pasir kemudian dirojok 25 kali hingga penuh lalu diratakan permukaannya
 - Timbang beratnya

2. Berat Jenis

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian berat jenis :

- a. Timbangan analitis
- b. *Picnometer* 100 cc
- c. Oven
- d. Pasir kondisi SSD (pasir yang sudah direndam selama 24 jam)

Prosedur pengujian :

- Menimbang *picnometer*
- Menimbang pasir ke dalam *picnometer* kemudian ditimbang
- *Picnometer* yang berisi pasir diisi air sampai penuh dan dipegang miring (diputar-putar) hingga gelembung udara keluar
- *Picnometer* diisi air hingga batas kapasitas dan ditimbang beratnya
- *Picnometer* kosong diisi air hingga batas kapasitas dan ditimbang beratnya

3. Kelembaban Pasir

Alat dan bahan yang dilakukan dalam pengujian kelembaban :

- a. Timbangan analitis
- b. Oven
- c. Loyang
- d. Pasir dalam keadaan asli

Prosedur pengujian :

- Pasir dalam keadaan asli ditimbang beratnya 250 gram
- Pasir dimasukkan oven selama 24 jam dengan temperatur $\pm 110^{\circ}\text{C}$
- Mengeluarkan pasir dari oven, setelah dingin ditimbang beratnya

4. Air Resapan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian air resapan :

- a. Timbangan analitis

- b. Oven
- c. Loyang
- d. Pasir kondisi SSD

Prosedur pengujian :

- Menimbang pasir kondisi SSD sebanyak 100 gram
- Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam
- Pasir dikeluarkan hingga dingin dan ditimbang beratnya

5. Analisa Saringan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian analisa saringan :

- a. Satu set ayakan ASTM
- b. Timbangan analitis
- c. *Shieve Shaker*
- d. Pasir dalam kondisi kering oven

Prosedur pengujian :

- Menimbang pasir sebanyak 1000 gram
- Memasukkan pasir dalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan diatas ukuran ayakan 4", 8", 16", 30", 50", 100", pan dan digetarkan dengan alat *shieve shaker* selama 10 menit
- Pasir yang tertinggal dalam ayakan ditimbang
- Mengontrol berat pasir = 1000 gram

3.3.3 *Treatment* Limbah Serbuk Lumpur lapindo (Sidoarjo)

1) Pengambilan Lumpur Lapindo

Lumpur diambil dari jarak ± 2 km dengan pusat semburan. Lokasi ini dipilih karena pada area tersebut lumpur masih dalam kondisi asli, belum tercampur sirtu yang berada di sekitar tanggul. Lokasi ditandai dengan lingkaran merah pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Layout* Lokasi Pengambilan Lumpur

2) Proses Pengeringan Lusi Dengan Sinar Matahari

Lusi yang diambil dari kolam masih dalam keadaan basah setelah itu lusi dipipihkan hingga ketebalan ± 1 cm agar mempercepat pengeringan dibawah sinar matahari selama $\pm 2-3$ hari. Seperti pada gambar 3.2 sebagai berikut :



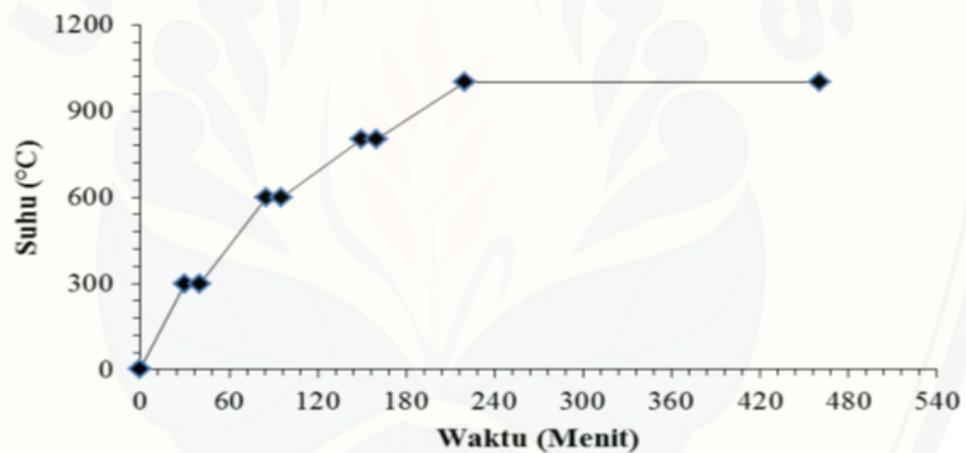
Gambar 3.2 Lumpur Dalam Tahap Pengeringan Matahari

3) Pembakaran Lusi

Lusi yang telah dikeringkan selanjutnya dibakar dengan mesin *furnace* dengan variasi suhu 900°C , 1000°C dan 1100°C selama 5 jam yang sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Antoni, et.all. (2014). Variasi suhu dan durasi pembakaran pada mesin *furnace* berdasarkan gambar. 3.3 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Mesin *Furnace*
Kenaikan Suhu *Furnace*



Gambar 3.4 Grafik Kenaikan Suhu *Furnace*

4) Penyaringan Lusi

Lusi yang telah dibakar selanjutnya dihancurkan dengan mesin pemecah batu mini (gambar 3.5) dan dilanjutkan dengan penyaringan lusi dengan ukuran lolos ayakan ASTM No. 200 sebanyak 10%, 20%, 30%, dan 40% (gambar 3.6).



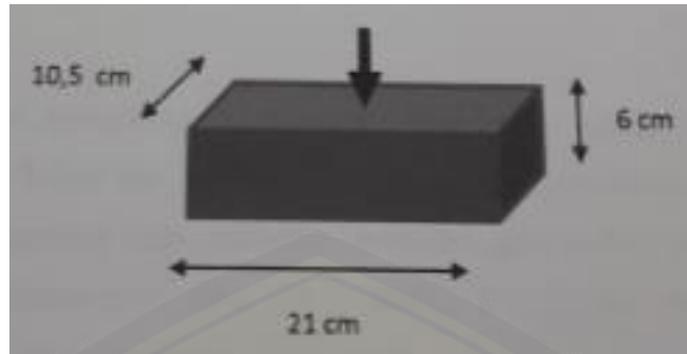
Gambar 3.5 Mesin Pemecah Batu Mini



Gambar 3.6 Penyaringan Lusi Lolos Ukuran No. 200

3.4 Model Benda Uji

Pengujian *paving block* terdiri dari kuat tekan dan penyerapan air. Untuk pengujian *paving block* diperlukan bentuk benda uji sebagai berikut :



Gambar 3.7 Sketsa Benda Uji Balok 6 cm x 10,5 cm x 21 cm

3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dibuat dengan memproporsikan beberapa campuran bahan *paving block* (semen, pasir dan air) dengan penggunaan limbah serbuk lumpur lapindo (Sidoarjo) sebagai bahan *pozzoland* pada substitusi penggunaan semen. Adapun rancangan penelitian yang akan dilaksanakan sebagaimana pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Perencanaan Variasi Benda Uji

Variasi Suhu (°C)	Prosentase campuran serbuk lusi (%)					Jumlah benda uji
	0	10	20	30	40	
900	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	25 buah
1000	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	25 buah
1100	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	5 buah	25 buah
Total						75 Buah benda uji

(Sumber : hasil perhitungan, 2019)

3.6 Tahapan Pelaksanaan

Tahapan – tahapan dalam penelitian ini adalah :

1. Tahap I

Tahapan ini adalah permulaan dalam menentukan suatu bahan tambah yang digunakan sebagai campuran *paving block* yaitu limbah serbuk lusi. Studi literatur yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari penelitian terdahulu tentang penggunaan limbah serbuk lumpur lapindo Sidoarjo dalam fungsinya menjadi substitusi semen sehingga diperoleh kandungan yang terdapat di dalam bahan serta

sebagai pedoman dalam menentukan proporsi bahan sebagai campuran *paving block*.

2. Tahap II

Tahap ini merupakan tahap pendahuluan, pada tahap ini dilakukan pengujian sifat bahan dan karakteristiknya seperti agregat halus, semen, dan limbah serbuk lumpur lapindo serta pemberian *treatment* pada limbah serbuk lumpur lapindo dengan pembakaran pada suhu 900°C, 1000°C, dan 1100°C sebelum digunakan untuk bahan campuran *paving block*.

3. Tahap III

Tahap ini merupakan tahapan pelaksanaan. Pada tahapan ini dilakukan pembuatan benda uji *paving block* dengan perbandingan semen dan pasir 1:4 dengan fas 0,5 dan nilai slump 0. Dimensi 6 cm x 10,5 cm x 21 cm dan bahan campur serbuk lumpur lapindo yang telah dibakar menggunakan alat *furnace* masing-masing pada suhu 900°C, 1000°C, dan 1100°C pada variasi komposisi campuran yang telah ditentukan, yakni 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Kemudian menyesuaikan dengan hasil pencetakan *paving block* sampai dihasilkan bentuk *paving block* yang sempurna. Langkah-langkah yang dilakukan diantaranya:

- a. Melakukan penimbangan pada setiap bahan yang akan digunakan untuk adukan *paving block*
- b. Menyiapkan serbuk lumpur lapindo yang telah dibakar pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C dengan prosentase 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari total kebutuhan semen.
- c. Persiapan alat *press paving block*
- d. Pembuatan *paving block* dengan alat pres hidrolik

Setelah *paving block* sudah benar-benar padat cetakan selanjutnya dibuka, kemudian *paving block* diletakkan pada tempat datar. Perawatan *paving block* (*curing*) dilakukan dengan menjaga permukaan *paving block* tetap lembab sampai mencapai umur 28 hari dilakukan dengan cara direndam dalam kolam.



Gambar 3.8 alat *mixer* dan mesin *press paving block*

4. Tahap IV

Tahap ini merupakan tahapan peninjauan benda uji yakni *paving block*. Pada tahap ini benda uji diangkat dari tempat perawatan kemudian dilakukan pengukuran dimensi serta ditimbang beratnya. Pengujian dilakukan pada hari ke 28 setelah proses pencetakan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L \times SF} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

- P = beban tekan (Kn)
- L = luas bidang tekan (mm²)
- SF = Faktor koreksi tebal



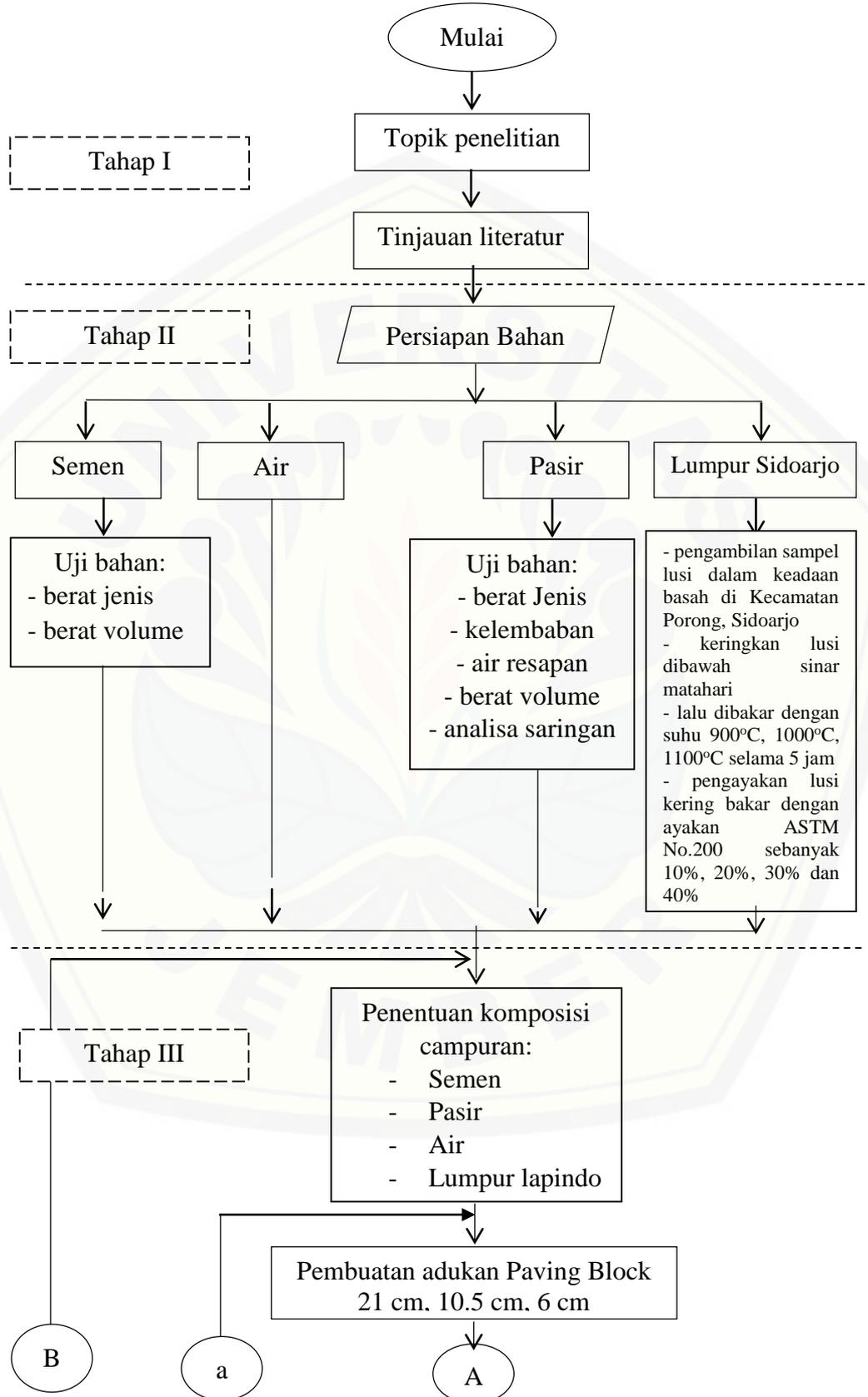
Gambar 3.9 Alat Uji Kuat Tekan Manual dan Digital

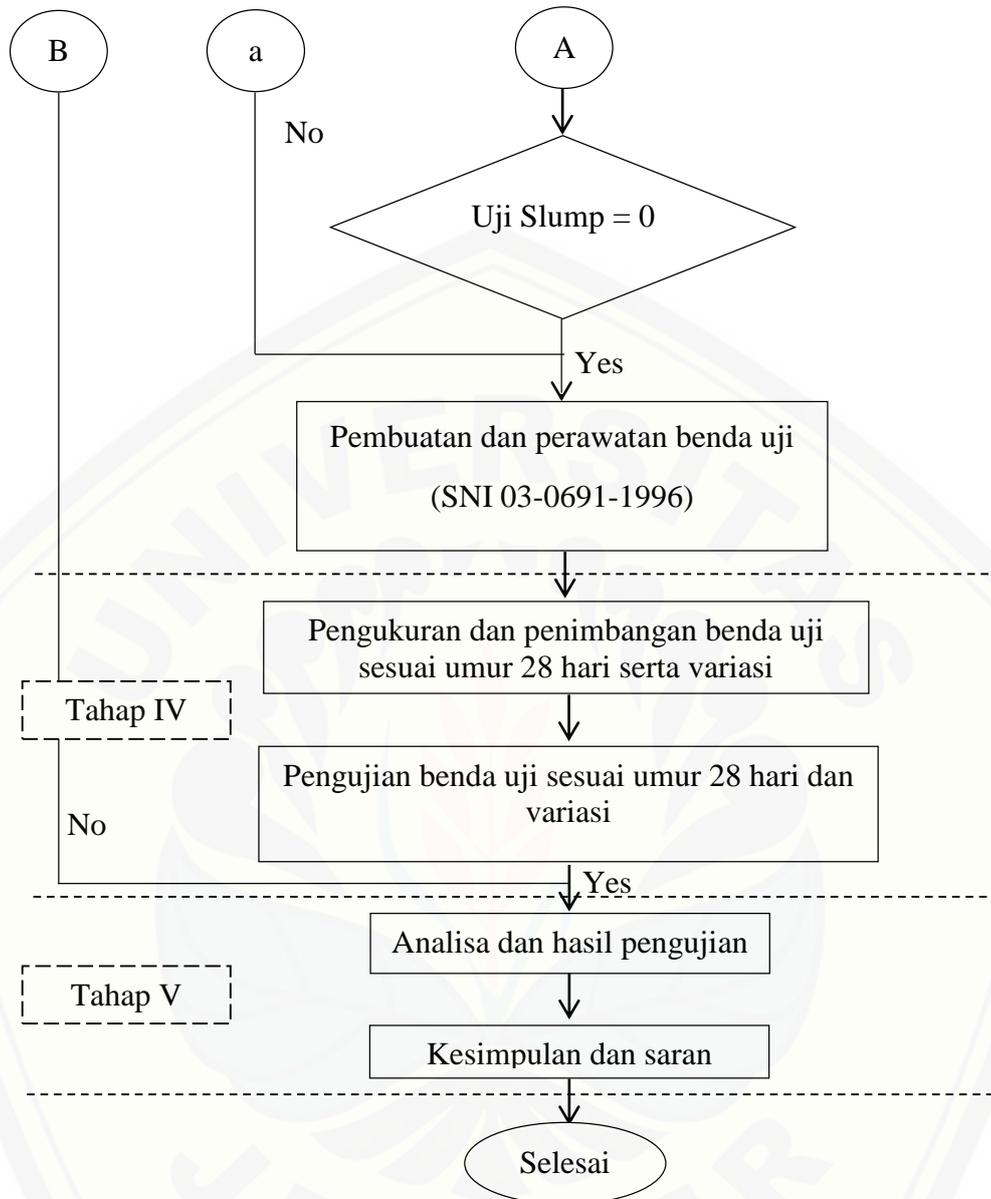
Pada tahapan ini juga dilakukan pengujian kuat tekan dan penyerapan air dari *paving block*.

5. Tahap V

Tahap ini disebut juga tahap final, data yang diperoleh dari pengujian selanjutnya dilakukan analisis sehingga di dapat suatu kesimpulan. Kuat tekan dari proporsi campuran dan serbuk lumpur lapindo yang ditentukan dilakukan analisa hasil terbaik kemudian data tersebut ditinjau berdasar kelas kuat *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996.

Tahapan tersebut dapat dilihat dalam diagram alir (*flow chart*) berikut :





Gambar 3.10 bagan alir tahap penelitian (*flow Chart*)

3.7 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengumpulan data yang dilakukan ada dua macam yaitu data primer dan data sekunder.

3.7.1 Data Primer

Dalam penelitian ini data primer diperoleh dari hasil pengamatan dan pengujian benda uji. Beberapa hal yang diamati dan diuji dalam penelitian ini adalah berat, kuat tekan, dan penyerapan air *paving block*. Pengujian dilakukan setelah *paving block* mencapai 28 hari, sampel benda uji untuk masing-masing

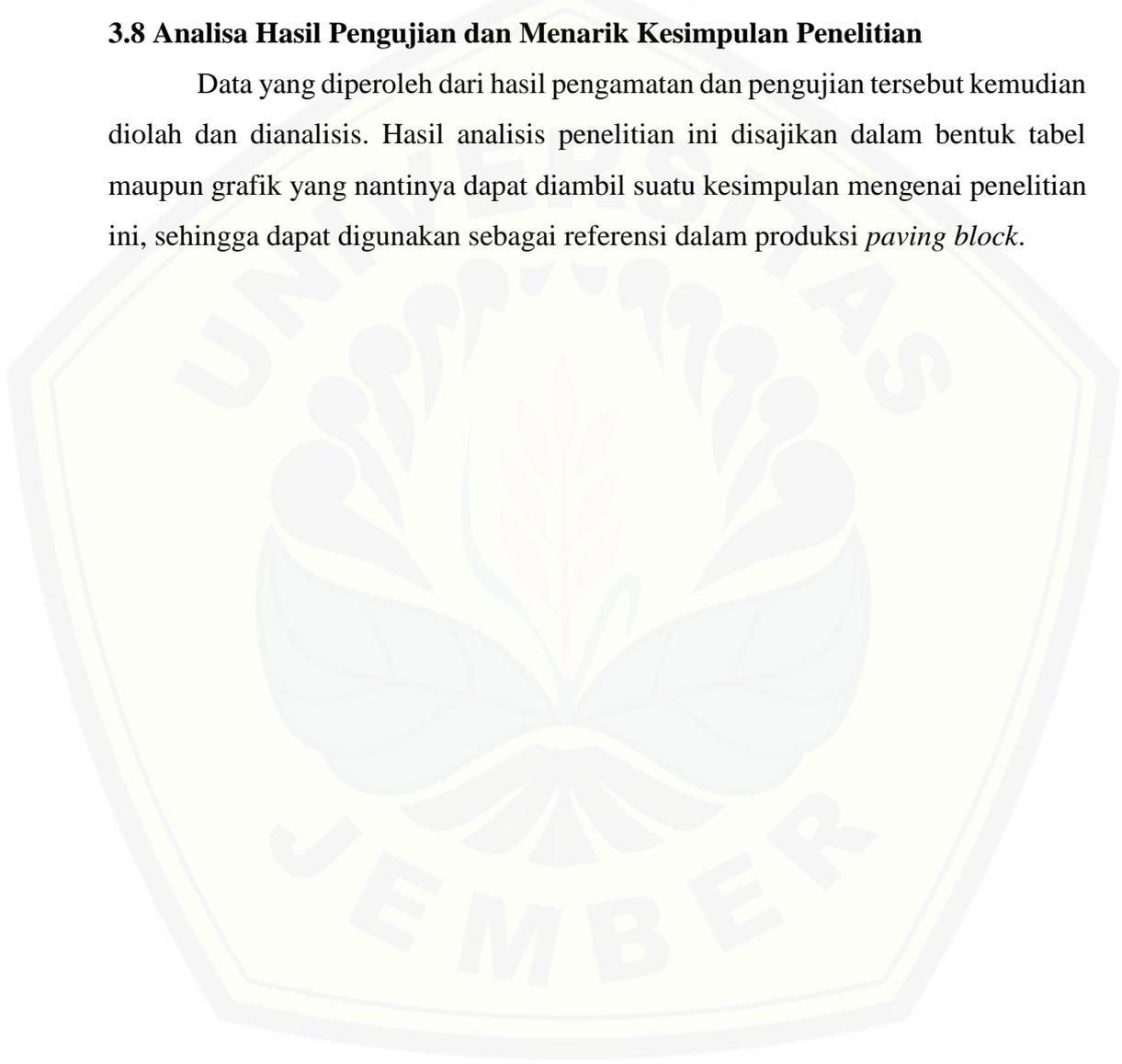
pengujian berjumlah 5 buah untuk setiap variasi campuran dan proporsi serbuk lumpur lapindo.

3.7.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari referensi pustaka dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.8 Analisa Hasil Pengujian dan Menarik Kesimpulan Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengujian tersebut kemudian diolah dan dianalisis. Hasil analisis penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik yang nantinya dapat diambil suatu kesimpulan mengenai penelitian ini, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam produksi *paving block*.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa mengenai karakteristik kuat tekan *paving block* dengan substitusi serbuk lumpur lapindo (Sidoarjo) sebagai material *pozzolan* aktif dengan parameter variasi suhu dan variasi prosentase substitusi lusi pada semen, maka dapat diambil kesimpulan dari hasil pengujian bahwa :

1. Pada komposisi 900°C, 1000°C dan 1100°C memiliki kecenderungan fisik yang seragam, seperti tampak fisik dan penyerapan. *Paving block* memiliki daya serap yang cenderung naik pada setiap kenaikan penambahan prosentase substitusi serbuk lusi yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Dan dari tampak fisik bahwa pada setiap kenaikan prosentase penambahan substitusi serbuk lusi mengakibatkan warna *paving block* akan semakin pekat.
2. Hasil kuat tekan rata-rata *paving block* dengan seiring banyaknya penambahan prosentase serbuk lusi yang ditambahkan pada campuran mengalami penurunan.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dianjurkan berkaitan dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya, perlu penelitian lebih lanjut tentang penggunaan serbuk lusi sebagai *pozzolan*, sehingga lebih homogen karakteristiknya.

DAFTAR PUSTAKA

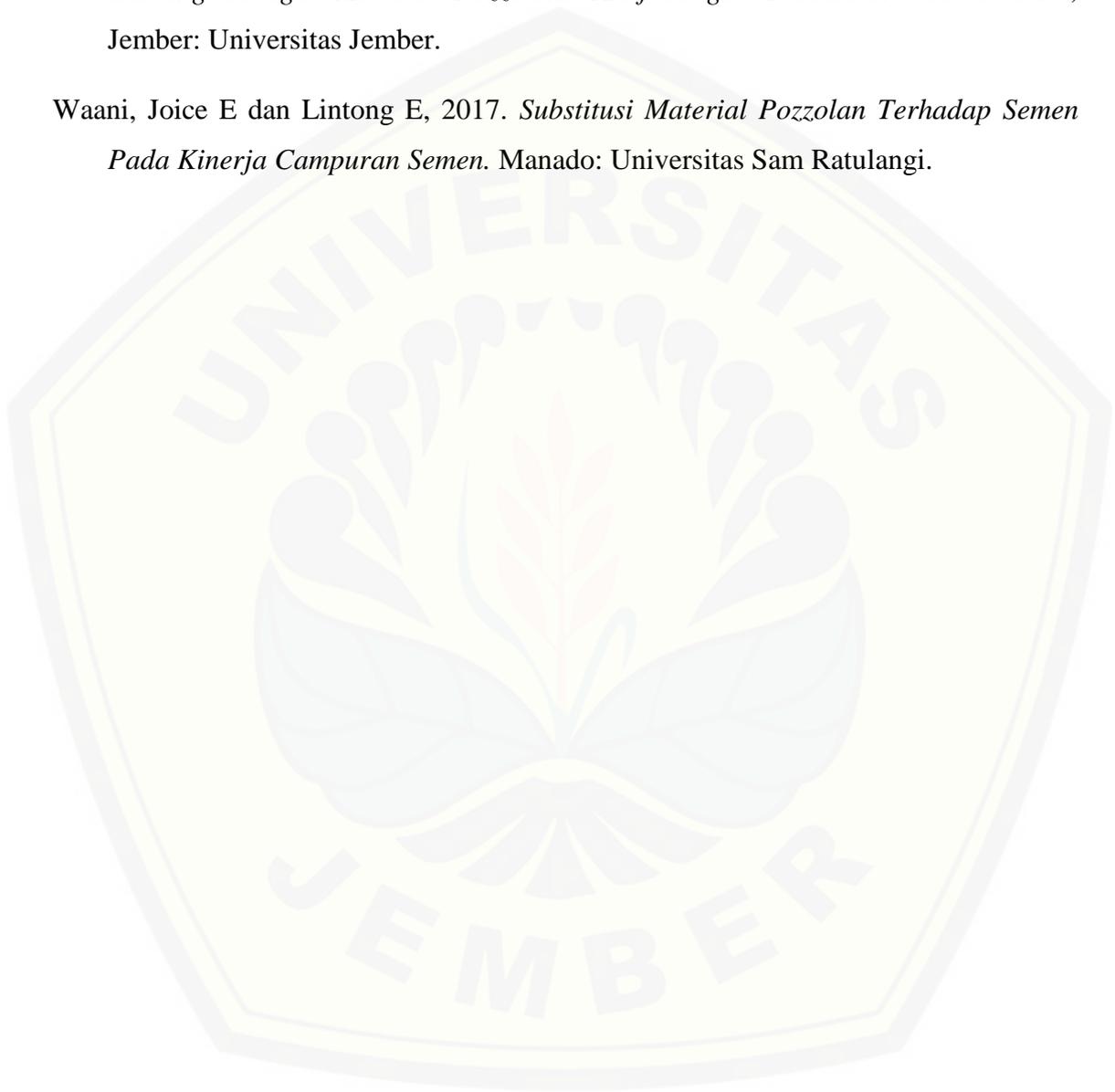
- ACI 232.1R-00, 2001, *Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete Reported by ACI Committee 232* ACI 211.1.
- ACI 232.1R-12, 2012, *Report on the Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete.*
- Akoglu, Haldun, 2018. *User's Guide to Correlation Coefficients.* Turkish Journal of Emergency Medicine 18 (2018) 91-93.
- Antoni, et.all. 2013. *Effects of Calcination Temperature of Lusi Mud on The Compressive Strength of Geopolymer Mortar.* Advance Materials Research Vo.626 (2013) pp 224-228.
- Antoni, et.all. 2015. *Effect of Particle Size on Properties of Sidoarjo Mud Based Geopolimer.* Materials Science Forum Vol. 803 (2015) pp 44-48.
- Badan Standar Nasional. 1989. *SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A.*
- Badan Standar Nasional. 1996. *SNI 03-0691-1996, Bata Beton (Paving Block).*
- Badan Standar Nasional. 2004. *SNI 15-0302-2004, Semen Portland Pozzolan.*
- Badan Standar Nasional. 2004. *SNI 15-2049-2004, Semen Portland.*
- Badan Standar Nasional. 2014. *SNI 2460:2014, Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton.*
- Badan Standar Nasional, 1998. *SNI 03-4804-1998, Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat.*
- Badan Standar Nasional, 1990. *SNI 03-1970-1990, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.*
- Badan Standar Nasional, 2000. *SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.*

- Badan Standar Nasional, 1991. *SNI 03-2403-1991, Tata Cara Pemasangan Blok Beton Terkunci Untuk Permukaan Jalan*.
- Badan Standar Nasional, 2002. *SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- Baskaran, K and K. Gopinath, 2013. *Study on Applicability of ACI and DoE Mix Design Methods for Paving Blocks*, The Institution of Engineers, Sri Lanka.
- Davies, Richard J, 2017. *The Cause of The 2006 Lusi Mud Volcano (Indonesia): Please Let's Not Rewrite History*. *Marine and Petroleum Geology* 95 (2018) 344.
- Hardjito, et.all, 2012. *Pozzolanic Activity Assessment of Lusi (Lumpur Sidoarjo) Mud in Semi High Volume Pozzolanic Mortar*. Surabaya: Petra Christian University.
- <https://www.its.ac.id/news/2006/10/04/bahan-bangunan-dari-lumpur-lapindo-aman-bagi-kesehatan/> (Diakses pada tanggal 04 Oktober 2006).
- Kiana, Yogi dan Priyanto Saelan, 2012. *Kajian Mengenai Standar Deviasi Hasil Uji Tekan Beton*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Lasino, 2018. *Pengembangan Mikro Lumpur Sidoarjo Sebagai Bahan Substitusi Semen Dalam Pembuatan Beton*. Bandung: Pusat Litbang Permukiman.
- Limbachiya, Vireen, et.all, 2016. *Strength, Durability and Leaching Properties of Concrete Paving Blocks Incorporating GGBS and SF*. *UK: Construction and Building Materials* 113 (2016) 273-279.
- Nanang, 2017. *Penggunaan Limbah Plastik Daur Ulang Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Beton SCC (Self Compacting Concrete)*. Jember: Universitas Jember.
- Nanin, 2013. *Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash Sebagai Fine Alwa Pada AAC dengan Pasta Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo dengan Tambahan Gypsum dan Foam*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugraha, Paul dan Antoni, 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Rossy
- PP No.85 tahun 1999. *Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.

Rahmatullah, Dany, 2017. *Karakteristik Beton Ringan Struktural dengan Biji Plastik dan Batu Skoria*. Jember: Universitas Jember.

Rosy, 2018. *Karakteristik Kuat Tekan Paving Block dengan Sunstitusi Serbuk Limbah Genteng Sebagai Material Pozzoland Aktif dengan Parameter Variasi Suhu*, Jember: Universitas Jember.

Waani, Joice E dan Lintong E, 2017. *Substitusi Material Pozzolan Terhadap Semen Pada Kinerja Campuran Semen*. Manado: Universitas Sam Ratulangi.



LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan dan Proses *Treatment* Serbuk Lusi

No	Dokumentasi	Kegiatan	Tempat
1.		Pengambilan limbah lumpur lapindo	Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo
2.		Pengeringan lusi dibawah sinar matahari	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
3.		Penghalusan pecahan lusi dengan alat <i>crusher</i>	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

4.		<p>Pembakaran lusi pada suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C</p>	<p>PT. Cheil Jedang Indonesia, Pasuruan</p>
5.		<p>Penghalusan lusi dengan saringan ASTM no 200 (0,074mm)</p>	<p>Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember</p>
6.		<p>Serbuk Lusi</p>	<p>Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember</p>

7.		Serbuk Lusi (berat volume)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
8.		Serbuk Lusi (berat jenis)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

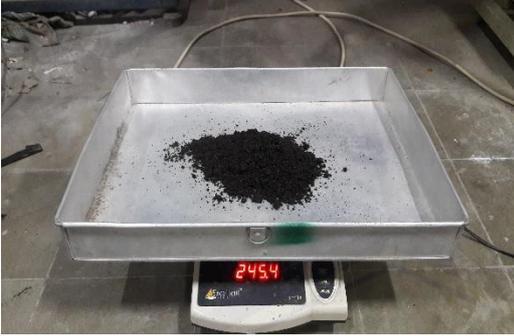
Lampiran 2. Pengujian Semen

No	Dokumentasi	Pengujian	Tempat
1.		Semen	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

2.		Semen (berat volume)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
3.		Semen (berat jenis)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

Lampiran 3. Pengujian Pasir

No	Dokumentasi	Kegiatan	Tempat
1.		Pasir (analisa saringan)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
2.		Pasir (berat jenis)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
3.		Pasir (berat volume)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

4.		Pasir (kelembaban)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
5.		Pasir (resapan air)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
6.		Pasir (kadar lumpur)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

Lampiran 4. Pembuatan Benda Uji

No	Dokumentasi	Kegiatan	Tempat
1.		<p>Persiapan bahan</p>	<p>UD. Kusuma Kencong</p>
2.		<p>Pengecoran</p>	<p>UD. Kusuma Kencong</p>
3.		<p>Pencetakan campuran dengan mesin <i>press vibrator</i></p>	<p>UD. Kusuma Kencong</p>
4.		<p>Setelah pencetakan <i>paving block</i></p>	<p>UD. Kusuma Kencong</p>

5.		Perawatan <i>paving block</i>	UD. Kusuma Kencong
----	---	----------------------------------	--------------------------

Lampiran 5. Pengujian Resapan Air *Paving Block*

No	Dokumentasi	Kegiatan	Tempat
1.		Perendaman <i>paving block</i>	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
2.		Penimbangan <i>paving block</i> keadaan jenuh	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

3.		Pengovenan <i>paving block</i> (suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$)	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember
4.		Penimbangan <i>paving block</i> keadaan kering oven	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

Lampiran 6. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

No	Dokumentasi	Kegiatan	Tempat
1.		<i>Paving block</i>	Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember

<p>2.</p>		<p>Penimbangan <i>massa paving block</i></p>	<p>Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember</p>
<p>3.</p>		<p>Pengujian <i>paving block</i> dengan mesin <i>press digital</i></p>	<p>Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember</p>
<p>4.</p>		<p>Hasil pengujian <i>paving block</i></p>	<p>Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jember</p>