



**PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) PADA  
PERKERASAN JALAN KAKU DENGAN SPESIFIKASI GRADASI  
AGREGAT PERKERASAN JALAN LENTUR**

***THE USE OF SIDOARJO MUD (LUSI) ON RIGID PAVEMENT  
WITH AGREGATE GRADATION SPESIFICATIONS OF FLEXIBLE  
PAVEMENT***

**SKRIPSI**

Oleh :

**EDO ADITYA NATHA YUDA**

**161910301028**

**PROGAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) PADA  
PERKERASAN JALAN KAKU DENGAN SPESIFIKASI GRADASI  
AGREGAT PERKERASAN JALAN LENTUR**

***THE USE OF SIDOARJO MUD (LUSI) ON RIGID PAVEMENT  
WITH AGREGATE GRADATION SPESIFICATIONS OF FLEXIBLE  
PAVEMENT***

**SKRIPSI**

Disusun Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Program Studi Strata 1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

Oleh :

**EDO ADITYA NATHA YUDA**

**161910301028**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini disusun dan dipersembahkan serta didedikasikan sebagai ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendukung dan memberi semangat serta doa tiada henti. Bapak Wijang Supriyadi,Amd dan Ibu Nining Agustriningsih,SST.
2. Bapak Ir. Ahmad Hasanuddin, ST.,MT dan Ibu Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing serta Bapak Ir. Dwi Nurtanto, ST.,MT yang telah membantu dan membina sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Moh. Akir selaku Teknisi Laboratorium Struktur dan Bapak Didik yang telah membantu dan membina saya selama menggunakan Laboratorium Struktur sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.
4. Moh. Dafa Hestiyafin Tachtiar sebagai adik tersayang yang selalu memberi semangat dan saling memberi nasihat disaat salah.
5. Evinda Hidayatul Jannah, yang telah sabar dan menjadi sumber inspirasi serta saling membantu dan berbagi rasa sakit dan sayang semenjak duduk dibangku Sekolah Menengah Atas hingga sekarang.
6. Tim Penelitian Struktur Beton dan Transportasi. Ilga, Jorda, Roziqin, Ayu, Adel, Fatkhur, Hafi, Arul, Karim yang mau saling membantu satu sama lain.
7. Teman-teman seperjuangan. Peruzzi, Thifal, Mega, Aldo, Adam, Yulia, Iqlima, Dony, Febri, Alfin, Rudi, Rendi, Hasbi, Alfian, Fajar, Kukuh, Faiz, Men, Tedi, Bagus, Ulul, Kotok, dan Santy yang telah membantu.
8. Keluarga besar UKMS Kolang Kaling Fakultas Teknik Univesitas Jember.
9. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2016 (Biji Besi).
10. Semua pihak yang telah membantu penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

**MOTTO**

“Jika dunia tidak dapat mencetak namamu dibuku sejarah, maka buatlah sejarahmu sendiri sampai dunia mengenalmu“

(Edo Aditya Natha Yuda)

“Allah tidak akan mengubah nasib suatu bangsa sebelum bangsa itu sendiri yang mengubahnya“

(Ir.Soekarno,1901-1970) ; [QS. Ar-Rad : 11]

“Sebelum jadi sopir, jadilah kernet terlebih dahulu”

(Nining Agustriningsih, SST.)

“Jadi lelaki harus bisa segalanya, tak ada kata mengeluh”

(Wijang Supriyadi, Amd)

“Dadi opo wae ojo lali mulang, mulang marang keluargane, lingkungane, lan masyarakat sekitare”

(KH. Yusuf Muhammad, PP. Darus Sholah)

“Berusaha saja tanpa berdoa sama dengan sombong, berdoa saja tanpa berusaha sama dengan bohong”

( Ust. Fuad Harun An-Nisa’, PP. Darus Sholah)

“Ubahlah suatu bencana menjadi sesuatu yang bermanfaat dan bernilai bagi orang banyak, itu adalah engineer”

(Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Edo Aditya Natha Yuda

NIM : 161910301028

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian yang berjudul “Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur” adalah hasil penelitian sendiri bukan penelitian orang lain, kecuali sumber kutipan yang menjadi rujukan dalam penelitian ini, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta benar-benar bukan karya plagiat atau jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas kebenaran isi dan keaslian karya ilmiah ini, serta penelitian ini benar-benar adalah penelitian sendiri sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika terbukti pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Juli 2020



Edo Aditya Natha Yuda

NIM. 161910301028

**SKRIPSI**

**PENGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) PADA  
PERKERASAN JALAN KAKU DENGAN SPESIFIKASI GRADASI  
AGREGAT PERKERASAN JALAN LENTUR**

***THE USE OF SIDOARJO MUD (LUSI) ON RIGID PAVEMENT  
WITH AGREGATE GRADATION SPESIFICATIONS OF FLEXIBLE  
PAVEMENT***

Oleh :

Edo Aditya Natha Yuda

161910301028

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Hasanuddin,ST.,MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Indra Nurtjahjaningtyas,ST.,MT.



**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul “Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur” telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Senin

Tanggal : 27 Juli 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama



Ir. Ahmad Hasanuddin, ST., MT.  
NIP. 197103271998031003

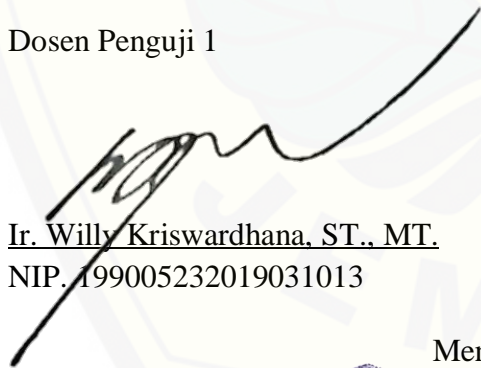
Dosen Pembimbing Anggota



Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, ST., MT.  
NIP. 197010241998032001

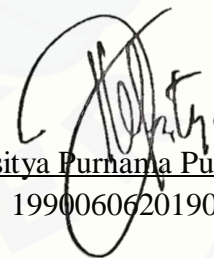
Tim Penguji :

Dosen Penguji 1



Ir. Willy Kriswardhana, ST., MT.  
NIP. 199005232019031013

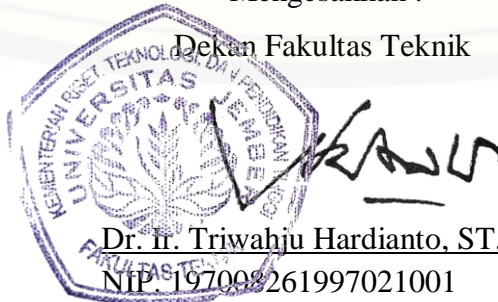
Dosen Penguji 2



Paksitya Purnama Putra, ST., MT.  
NIP. 199006062019031022

Mengesahkan :

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, ST., MT.  
NIP. 197002261997021001

## RINGKASAN

**Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur;** Edo Aditya Natha Yuda, 161910301028; 2020: 116 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Perkerasan kaku merupakan konstruksi perkerasan dengan beton yang umumnya digunakan pada jalan tol dan perkerasan lentur merupakan perkerasan dengan aspal yang memiliki agregat bergradasi rapat. Kekuatan beton dipengaruhi oleh faktor air semen (*fas*) dan *filler* untuk mengisi rongga udara pada struktur beton. Lumpur Sidoarjo (Lusi) merupakan limbah material vulkanik dari dalam perut bumi yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo, dan *fly ash* merupakan limbah sisa pembakaran batu bara di PLTU. Lusi dan *fly ash* mengandung senyawa yang hampir sama dengan semen yaitu  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{AL}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SO}_3$  sehingga baik untuk campuran beton sebagai *filler*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan struktur beton menggunakan gradasi agregat perkerasan lentur dengan penambahan *filler* lusi dan *fly ash* yang diterapkan untuk jalan tol. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi *fas* sebesar 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 dan variasi penambahan *filler* lusi sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap *fly ash*. Benda uji dibuat silinder ukuran 15 x 30 cm dengan perbandingan 1:2:3. Hasil penelitian diperoleh bahwa seiring bertambahnya nilai *fas* maka semakin turun kuat tekannya, dan penggunaan gradasi agregat perkerasan jalan lentur pada perkerasan jalan kaku menggunakan *filler fly ash* dapat diterapkan pada jalan tol. Seiring bertambahnya persentase *filler* lusi terhadap *fly ash* maka semakin turun kuat tekannya dan tidak dapat diterapkan pada jalan tol karena tidak memenuhi spesifikasi jalan tol.

**Kata Kunci :** Perkerasan kaku, perkerasan lentur, lusi, *fly ash*, *filler*, *fas*.



## SUMMARY

*The Use Of Sidoarjo Mud (Lusi) On Rigid Pavement With Aggregate Gradation Specifications Of Flexible Pavement; Edo Aditya Natha Yuda, 161910301028; 2020: 116 page; Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Jember University.*

*Rigid pavement is a concrete pavement construction that is generally used on toll roads and flexible pavement is pavement with asphalt which has a tightly graded aggregate. The strength of concrete is influenced by the cement water factor (fas) and filler to fill the air cavity in the concrete structure. Sidoarjo mud (lusi) is volcanic material waste from the bowels of the earth that occurs in Sidoarjo Regency, and fly ash is waste from coal combustion at PLTU. Lusi and fly ash contain compounds which are almost the same as cement, namely  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , and  $\text{SO}_3$  so it is good for concrete mixes as fillers. This study aims to analyze the strength of concrete structures using flexible pavement aggregate gradations with the addition of lusi and flyash fillers applied to toll roads. The method used is an experiment with fas variations of 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 and variations of the addition of lusi filler by 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, and 100% of the fly ash. The specimen is made of a cylinder measuring 15 x 30 cm in a ratio of 1:2:3. The results showed that as the value of the fas increases, the compressive strength decreases, and the use of aggregate gradations of flexible pavement paths on rigid pavement using fly ash filler can be applied to toll roads. As the percentage increase of lusi filler to fly ash decreases its compressive strength and cannot be applied to toll roads because it does not meet toll road specifications.*

**Keywords :** *Rigid pavement, flexible pavement, lusi, fly ash, filler, fas.*

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur". Tidak lupa pula kita junjung baginda Rasulullah, Muhammad SAW Alhamdulillah telah disusun skripsi ini untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi Strata 1 Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Gusfan Halik, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.
3. Ir. Ahmad Hasanuddin, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama.
4. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Anggota.
5. Ir. Willy Kriswardhana, ST., MT selaku Dosen Penguji Utama.
6. Paksitya Purnama Putra, ST., MT selaku Dosen Penguji Anggota.
7. Firda Lutfiatul Fitria, S.Si., MT selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Ir. Dwi Nurtanto, ST., MT selaku Dosen Struktur.
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
10. Staff dan seluruh jajarannya di Fakultas Teknik khususnya Teknik Sipil Universitas Jember.

Jember, 27 Juli 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

JUDUL I.....	i
JUDUL II.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERNYATAAN .....	v
PEMBIMBING.....	vi
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
<i>SUMMARY</i> .....	ix
PRAKATA .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	4
1.3    Tujuan Penelitian .....	4
1.4    Manfaat Penelitian .....	4
1.5    Batasan Masalah.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1    Perkerasan Jalan .....	6
2.1.1    Perkerasan Jalan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ).....	6

2.1.2	Perkerasan Jalan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ).....	8
2.1.3	Perkerasan Jalan Komposit ( <i>Composite Pavement</i> ) .....	9
2.2	Spesifikasi Perkerasan Jalan.....	10
2.2.1	Gradasi Agregat.....	13
2.3	Bahan Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) .....	14
2.3.1	Bahan Agregat.....	14
2.3.2	Bahan Pengikat.....	16
2.3.3	Air .....	19
2.3.4	Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	20
2.4	Faktor Air Semen.....	21
2.5	Pengujian Bahan Perkerasan Jalan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) .....	23
2.6	Lumpur Sidoarjo (Lusi) .....	25
2.7	Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Batu Bara.....	28
2.8	Pengujian Campuran Perkerasan Jalan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ).....	29
2.9	Kontrol Kualitas Pekerjaan .....	32
2.10	Perawatan Benda Uji ( <i>Curing</i> ) .....	34
2.11	Penelitian Sebelumnya.....	34
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>36</b>
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	36
3.2	Persiapan Alat dan Bahan .....	36
3.2.1	Alat Pengujian .....	36
3.2.2	Bahan Pengujian.....	37
3.3	Pengujian Material.....	38
3.3.1	Semen.....	38
3.3.2	Agregat Kasar .....	40
3.3.3	Agregat Halus.....	43
3.3.4	Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	47

3.4	Pengolahan Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	50
3.4.1	Pengambilan Material .....	50
3.4.2	Proses Pengeringan .....	51
3.4.3	Penghancuran Material .....	52
3.4.4	Penyaringan.....	52
3.5	Pengolahan Kebutuhan Air .....	52
3.6	Model Benda Uji .....	53
3.6.1	Rencana Penelitian .....	53
3.6.2	Tahapan Pelaksanaan.....	53
3.7	Diagram Alir.....	55
3.8	Pengumpulan Data.....	57
3.8.1	Data Primer .....	57
3.8.2	Data Sekunder .....	57
3.9	Kontrol Benda Uji.....	57
3.9.1	Kuat Tekan Beton ( $F_c'$ ) .....	57
3.9.2	Kuat Tekan Rata-rata Beton ( $F_c'r$ ).....	57
3.9.3	Standar Deviasi (SD) .....	57
3.9.4	Variabilitas .....	58
3.10	Pengolahan Data Hasil Pengujian.....	58
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>59</b>
4.1	Hasil Pengujian Material.....	59
4.1.1	Semen .....	59
4.1.2	Agregat Kasar .....	60
4.1.3	Agregat Halus .....	64
4.1.4	Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....	68
4.2	Rancangan Campuran Perkerasan Jalan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) .....	71
4.2.1	Perhitungan Rencana Proporsi Campuran .....	71

4.2.2	Proporsi Bahan Penyusun.....	73
4.2.3	Kebutuhan Bahan Penyusun.....	74
4.3	Pengujian Perkerasan Jalan Kaku.....	77
4.4	Kontrol Kualitas Pekerjaan .....	89
BAB 5. PENUTUP .....		94
5.1.	Kesimpulan.....	94
5.2.	Saran .....	94
DAFTAR PUSTAKA .....		95
LAMPIRAN .....		103



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1	Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen.....	6
Gambar 2.2	(a) Lapisan Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) Pada Tanah Asli, (b) Lapisan Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) Pada Tanah Timbunan, (c) Lapisan Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) Pada Tanah Galian.....	7
Gambar 2.3	Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ).....	7
Gambar 2.4	Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ).....	9
Gambar 2.5	Lapisan Penyusun Perkerasan Jalan Lentur.....	9
Gambar 2.6	Lapisan Penyusun Perkerasan Jalan Komposit ( <i>Composite Pavement</i> )....	9
Gambar 2.7	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen.....	22
Gambar 2.8	Pengujian Slump atau <i>Slump Test</i> .....	29
Gambar 3.1	(a) Pusat Semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) (b) Pengambilan Bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	51
Gambar 3.2	(a) Pengeringan Di Bawah Sinar Matahari Langsung (b) Pengeringan dengan Oven.....	51
Gambar 3.3	(a) Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) Berbentuk Gumpalan (b) Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) Berbentuk Pipih.....	52
Gambar 4.1	Batas Gradasi Agregat Kasar.....	61
Gambar 4.2	Batas Gradasi Agregat Halus.....	65
Gambar 4.3	Grafik Hasil Rencana Proporsi Campuran.....	73
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Fas Pada Umur 7 Hari.....	79
Gambar 4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Fas Pada Umur 28 Hari.....	79
Gambar 4.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Fas Pada Umur 7 Hari.....	80
Gambar 4.7	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Fas Pada Umur 7 Hari.....	80

Gambar 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Fas Pada Umur 28 Hari.....	81
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Fas Pada Umur 28 Hari.....	81
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 7 Hari.....	84
Gambar 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 28 Hari.....	84
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 7 Hari.....	85
Gambar 4.13 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 7 Hari.....	85
Gambar 4.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 28 Hari.....	86
Gambar 4.15 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo Pada Umur 28 Hari.....	86
Gambar 4.16 Hubungan Pengaruh Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo dan <i>Fly Ash</i> Pada Umur 7 Hari.....	89
Gambar 4.17 Hubungan Pengaruh Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo dan <i>Fly Ash</i> Pada Umur 28 Hari.....	89
Gambar 4.18 Grafik Hubungan Pengaruh Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo dan <i>Fly Ash</i> Pada Umur 7 Hari & 28 Hari.....	90

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Lapis Permukaan dan Kualitas Beton .....	10
Tabel 2.2 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Tipis Aspal Pasir.....	11
Tabel 2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Tipis Aspal Beton.....	11
Tabel 2.4 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk <i>Stone Matrix Asphalt</i> .....	12
Tabel 2.5 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Aspal Beton.....	12
Tabel 2.6 Sifat-sifat Agregat Kasar.....	14
Tabel 2.7 Sifat-sifat Agregat Halus.....	15
Tabel 2.8 Ketentuan Mutu Agregat.....	15
Tabel 2.9 Spesifikasi Agregat Kasar dan Agregat Halus.....	15
Tabel 2.10 Kandungan Senyawa Semen Portland.....	17
Tabel 2.11 Sifat Senyawa Kimia dan Sifat Fisik Semen.....	18
Tabel 2.12 Persentase Kandungan Senyawa Kimia Semen Portland.....	18
Tabel 2.13 Kebutuhan Semen Minimum.....	19
Tabel 2.14 Batas-batas Gradasi Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	21
Tabel 2.15 Nilai Indeks Plastisitas Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	21
Tabel 2.16 Persyaratan Nilai Faktor Air Semen Maksimum).....	22
Tabel 2.17 Kandungan Material Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	26
Tabel 2.18 Hasil Pengujian Toksikologis Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	26
Tabel 2.19 Perbandingan Hasil Senyawa Kimia Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan semen OPC Tipe I.....	27
Tabel 2.20 Kandungan Senyawa Kimia Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Batu Bara.....	28
Tabel 2.21 Perbedaan Kandungan Senyawa Kimia Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Batu Bara.....	28

Tabel 2.22 Nilai <i>Slump</i> untuk Berbagai Pekerjaan Beton.....	29
Tabel 2.23 Persyaratan Diameter Batang Pemasat.....	30
Tabel 2.24 Metode Persyaratan Pemasatan.....	30
Tabel 2.25 Metode Persyaratan Pemasatan Penusukan.....	30
Tabel 2.26 Metode Persyaratan Pemasatan Penggetaran.....	31
Tabel 2.27 Ketentuan Mutu Beton.....	31
Tabel 2.28 Kualitas Nilai Standard Deviasi.....	33
Tabel 2.29 Faktor Pengali Standard Deviasi.....	33
Tabel 2.30 Variabilitas.....	34
Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian.....	36
Tabel 3.2 Perencanaan Benda Uji.....	53
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Semen.....	59
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Berat Volume Semen.....	60
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	61
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar.....	62
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Air Resapan Agregat Kasar.....	62
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar.....	63
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Kelembaban Agregat Kasar.....	63
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	64
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	65
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.....	66
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Air Resapan Agregat Halus.....	66
Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus.....	67
Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Kelembaban Agregat Halus.....	67
Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	68
Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Fly Ash</i> .....	68
Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Berat Volume <i>Fly Ash</i> .....	69

Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	69
Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Air Resapan Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	70
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Berat Volume Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	70
Tabel 4.20 Data Hasil Pengujian Kelembaban Lumpur Sidoarjo (Lusi).....	71
Tabel 4.21 Data Hasil Perhitungan Rencana Proporsi Campuran.....	72
Tabel 4.22 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun per m <sup>3</sup> .....	74
Tabel 4.23 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun per m <sup>3</sup> Terkoreksi.	75
Tabel 4.24 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun per 1 Benda Uji....	75
Tabel 4.25 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun per 1 Benda Uji Terkoreksi....	75
Tabel 4.26 Klasifikasi Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun per Ayakan.....	76
Tabel 4.27 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Semen dan Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> )... 76	
Tabel 4.28 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	77
Tabel 4.29 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Setiap Fas.....	77
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Slump Pada Variasi Fas.....	78
Tabel 4.31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Fas.....	78
Tabel 4.32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dengan Variasi Persentase Penambahan <i>Filler</i> Lumpur Sidoarjo.....	83
Tabel 4.33 Perubahan Nilai Fas Akibat Penambahan Air Berdasarkan Nilai Slump.	78
Tabel 4.34 Perhitungan Kualitas Kontrol Pekerjaan Dengan Variasi Fas.....	91
Tabel 4.35 Perhitungan Kualitas Kontrol Pekerjaan Dengan Variasi Persentase Lusi .....	90
Tabel 4.36 Kualitas Kontrol Pekerjaan.....	92



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Rencana waktu penelitian.....	103
Lampiran 2. Persiapan bahan.....	104
Lampiran 3. Pengujian bahan.....	107
Lampiran 4. Pembuatan benda uji.....	111
Lampiran 5. Perawatan benda uji.....	113
Lampiran 6. Pengujian benda uji.....	114



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Infrastruktur dibidang transportasi merupakan sarana yang sangat dibutuhkan untuk perkembangan dan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan di Indonesia. Sejak tahun 2016, pemerintah sedang gencar-gencarnya membangun jalan tol hingga mencapai panjang 950 kilometer (PUPR, 2018). Jalan tol umumnya dibuat menggunakan perkerasan jalan kaku. Bahan campuran perkerasan jalan kaku atau beton terdiri dari bahan agregat berupa kerikil dengan ukuran tertentu, pasir, dan abu batu sebagai bahan pengisi atau *filler* dan bahan pengikat berupa semen dengan campuran air pada komposisi tertentu. Gradasi agregat perkerasan jalan kaku cenderung seragam pada agregat kasar dan halus dengan zona tertentu sesuai persyaratan SNI, sedangkan gradasi agregat perkerasan jalan lentur memiliki variasi gradasi agregat yang berbeda-beda sesuai spesifikasinya, seperti Latasir, Laston, Laston, dan Stone Matrix Asphalt (SMA). Gradasi menerus atau gradasi rapat (*dense graded*) memiliki rongga yang sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas yang tinggi sehingga sangat baik digunakan untuk campuran beton, oleh sebab itu spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur digunakan untuk campuran beton karena memiliki gradasi yang sama yaitu gradasi menerus pada lapis aspal beton (Laston) atau *Asphalt Course* (AC) tipe lapis aus atau *Wearing Course* (WC).

*Filler* memiliki ukuran yang lebih kecil dari agregat halus dengan ukuran butir lolos saringan No.200, namun memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kekuatan beton karena memiliki peran cukup penting untuk mengisi rongga udara pada campuran beton. Pada umumnya *filler* merupakan abu (debu) batu atau *stonedust*, hal ini mendorong penulis untuk memanfaatkan limbah semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dan *Fly Ash* Batu Bara sebagai bahan pengisi. Kekuatan beton juga dipengaruhi oleh perbandingan komposisi semen dan air serta komposisi agregat yang digunakan, komposisi semen dan air disebut sebagai faktor air semen (fas).

Lumpur Sidoarjo (Lusi) merupakan material lumpur vulkanik (*mud volcano*) dari dalam perut bumi yang terjadi akibat kesalahan manusia, dan terjadi di tiga kecamatan yaitu, Kecamatan Porong, Kecamatan Tanggualingin, dan Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Musibah ini berlangsung selama 14 tahun, tercatat sejak tanggal 29 Mei 2006 dan telah menenggelamkan kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian, dimana 4 desa di lahan seluas 400 hektar (ha), dan belasan desa lain yang juga terdampak di lahan seluas 300 hektar (ha) ikut tenggelam, dengan total korban disinyalir mencapai 45 ribu jiwa yang harus kehilangan tempat tinggal (CNN Indonesia, 2019). Perkembangan semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) sangat unik dan belum pernah terjadi dalam sejarah peradaban manusia di bumi, karena berlangsung singkat dalam periode waktu lima tahun bukan dalam periode waktu sepuluh ribu tahun (Richard Davies, 2011). Pemerintah Indonesia membuat Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2007 tentang Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS), yang bertugas untuk menangani semburan dan luapan lumpur serta masalah sosial dan infrastruktur akibat bencana tersebut.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk memanfaatkan Lumpur Sidoarjo (Lusi), menurut Mustopa dan Risanti (2013) hasil penelitian *Energy Dispersive X-ray* (EDX) lumpur tidak teraktivasi menunjukkan kandungan senyawa unsur kimia Lumpur Sidoarjo (Lusi) didominasi oleh  $Al_2O_3$  (alumina) dan  $SiO_2$  (Silika), dan menurut Suprianto (2012), lumpur Sidoarjo (Lusi) memiliki kandungan senyawa kimia  $Al_2O_3$  (alumina) sebesar 83,93% dan  $Fe_2O_3$  (besi) sebesar 82,71%. Lumpur Sidoarjo (Lusi) dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan struktur beton dalam dunia konstruksi dan dapat membantu mengurangi masalah lingkungan serta sosial (Nuruddin dkk, 2010). Menurut Karimah (2008), pemanfaatan Lumpur Sidoarjo (Lusi) agar lebih maksimal menggunakan campuran lebih dari 35% untuk meningkatkan kekuatan batu bata merah, dan menurut Hardjito et al. (2012), Lumpur Sidoarjo (Lusi) dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen sebesar 40% dari semen mortar. Pada prosentase Lumpur Sidoarjo (Lusi) di bawah 40%, hasil kuat tekan paving block cenderung mengalami penurunan (Fakhri, 2019), dan menurut

Arifin (2011), proporsi Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai *filler* pada campuran laston perkerasan jalan lentur yaitu, sebesar 75% dan abu batu sebesar 25% dari total lolos saringan No. 200.

Penelitian sebelumnya menghasilkan kesimpulan bahwa, pengaruh spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur pada perkerasan jalan kaku belum dapat dikatakan berhasil karena jauh dari kuat tekan yang direncanakan akibat dari perbandingan agregat halus sebesar 80% dan agregat kasar sebesar 20% yang sangat jauh (Suyoso et al., 2019). Menurut Tahir (2009), *fly ash* batu bara merupakan limbah industri yang sangat berpotensi dalam konstruksi jalan raya dan dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) karena memiliki ukuran yang sangat halus dan mengandung unsur pozzolan. Abu terbang (*fly ash*) batu bara merupakan sisa hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mengandung unsur dasar  $\text{SiO}_2$  (silika),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (besi), dan  $\text{SO}_3$  (sulfur) berdasarkan hasil pengujian laboratorium (Adibroto et al., 2015). Produksi limbah abu terbang (*fly ash*) di Indonesia mencapai 2 juta ton pada tahun 2006 dan meningkat mencapai 3,3 juta ton pada tahun 2009 serta diperkirakan tiap tahun akan meningkat sebanyak 219.000 ton, hal ini akan terus meningkat sejalan dengan kebutuhan batu bara sebagai bahan utama dalam pembangkit listrik di PLTU dan tentu saja akan menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan dan kesehatan manusia melalui rantai makanan (Damayanti, 2018).

Berdasarkan semua uraian di atas, maka dilakukan penelitian tentang Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur. Pada penelitian ini faktor air semen yang digunakan adalah 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 dengan penambahan bahan pengisi (*filler*) abu terbang (*fly ash*) dan melihat pengaruh penambahan *filler* Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap abu terbang (*fly ash*) batu bara pada fas dengan hasil kuat tekan tertinggi. Inovasi ini diharapkan mampu mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah Lumpur Sidoarjo (Lusi) dan

limbah batu bara, serta bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan perkerasan jalan kaku dengan spesifikasi perkerasan jalan lentur pada penelitian sebelumnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana nilai kuat tekan perkerasan jalan kaku menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur, pada variasi faktor air semen 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 dengan penambahan *filler fly ash*?
2. Bagaimana pengaruh *filler* Lumpur Sidoarjo (Lusi) terhadap fas dengan hasil kuat tekan tertinggi pada perkerasan jalan kaku menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur dengan variasi persentase penambahan 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap *filler fly ash*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai kuat tekan perkerasan jalan kaku menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur, pada variasi faktor air semen 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 dengan penambahan *filler fly ash*.
2. Mengetahui pengaruh *filler* Lumpur Sidoarjo (Lusi) terhadap fas dengan hasil kuat tekan tertinggi pada perkerasan jalan kaku menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur dengan variasi persentase penambahan 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap *filler fly ash*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah dari pencampuran (*asphalt mixing plant*) dan (*concrete ready mix*) dan limbah semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) serta limbah pemakaian batu bara di PLTU, dan menjadi rujukan untuk mengetahui spesifikasi perkerasan jalan lentur dapat diterapkan untuk perkerasan jalan kaku atau tidak berdasarkan gradasi agregatnya.



### 1.5 Batasan Masalah

Agar tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini tidak menyimpang, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari
2. Perawatan beton (*curing*) dilakukan dengan cara direndam dalam air
3. Lokasi pengambilan material limbah Lumpur Sidoarjo (Lusi) di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo
4. *Fly ash* batu bara digunakan tipe F yang berasal dari PLTU Karang Paiton Kabupaten Probolinggo
5. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil asli Jember
6. Agregat halus yang digunakan adalah pasir asli Lumajang
7. Variasi Faktor air semen (fas) yang digunakan adalah 0,40, 0,45, 0,50, 0,55
8. Variasi Persentase Penambahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) adalah 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100%
9. Jenis semen yang digunakan yaitu *Pozzolan Portland Cement* (PPC) merk Gresik
10. Perbandingan semen dan agregat adalah 1 : 2 : 3
11. Tidak mempertimbangkan faktor biaya (skala laboratorium).

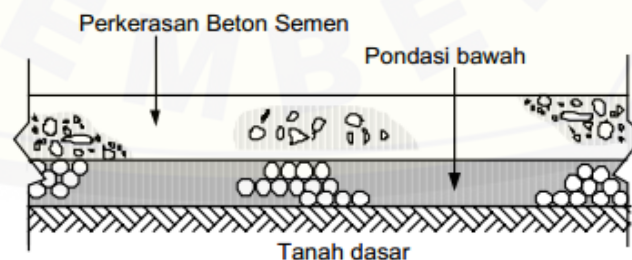
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan bagian dari jalan yang diperkeras dengan ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan kestabilan tertentu untuk menyalurkan beban lalu lintas kendaraan yang melewatinya ke tanah dasarnya. Perkerasan jalan dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu : perkerasan jalan kaku, perkerasan jalan lentur, dan perkerasan jalan komposit.

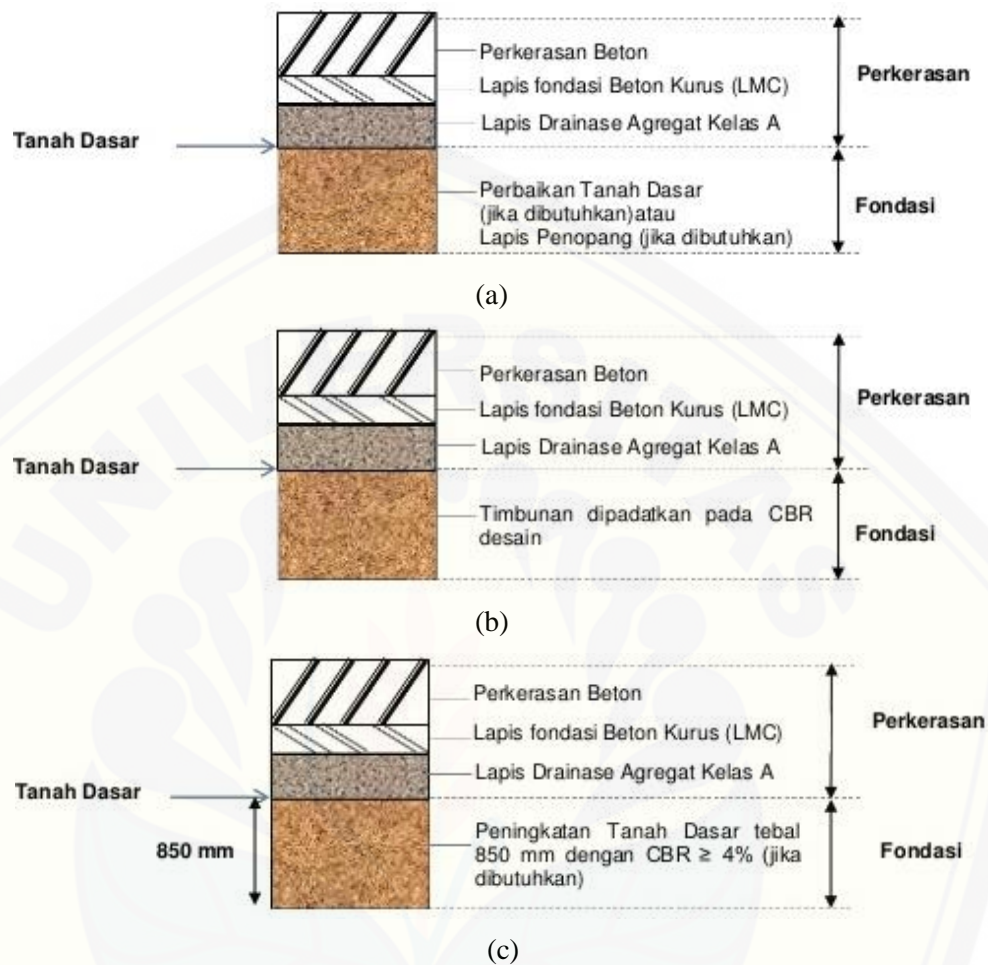
#### 2.1.1 Perkerasan Jalan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan jalan kaku atau *rigid pavement* adalah jenis perkerasan jalan yang umumnya terdiri dari tanah dasar (*subgrade*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan lapis beton semen (*cement concrete*) dengan atau tanpa tulangan, seperti gambar 2.1. Gambar 2.2, menunjukkan perkerasan jalan kaku dibuat pada permukaan tanah asli, atau tanah galian, atau tanah timbunan yang dipadatkan. Pada gambar 2.3, distribusi beban perkerasan kaku disalurkan ke daerah yang relatif luas pada tanah dasar (*subgrade*) yang menjadi bagian utama dalam menahan beban struktural. Menurut (Iqbal, 1995), kekuatan perkerasan tegar (tebal lapisan beton tidak termasuk pondasi) ditentukan oleh lapisan beton sendiri dan tanah dasar tidak begitu menentukan.

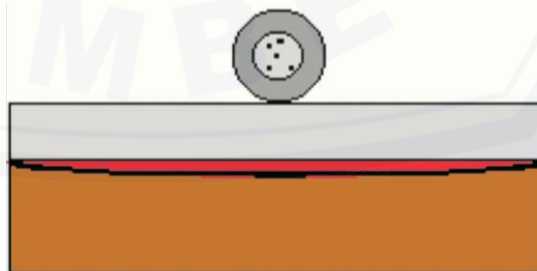


**Gambar 2.1** Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen.  
(Sumber : Pd T-14-2003, Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen)





**Gambar 2.2** (a) Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Tanah Asli, (b) Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Tanah Timbunan, (c) Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Tanah Galian. (Sumber : Andangsadewa, 2017).



**Gambar 2.3** Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*). (Sumber : Artawimbawa, 2012)

### 2.1.2 Perkerasan Jalan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan jalan lentur atau *flexible pavement* adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Menurut Sukirman (1999), perkerasan jalan lentur memiliki kelenturan yang cukup baik karena pendistribusian beban lalu lintas kendaraan yang melewatinya disebarakan melalui lapisan dibawahnya, seperti pada gambar 2.4. Lapisan penyusun perkerasan jalan lentur disajikan dalam gambar 2.5 yang terdiri dari lapisan sebagai berikut :

a Lapis tanah dasar (*subgrade*)

Lapis tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah, atau permukaan galian, atau permukaan timbunan yang dipadatkan dan berfungsi sebagai permukaan dasar dari lapisan penyusun perkerasan jalan lentur lainnya.

b Lapis pondasi bawah (*subbase course*)

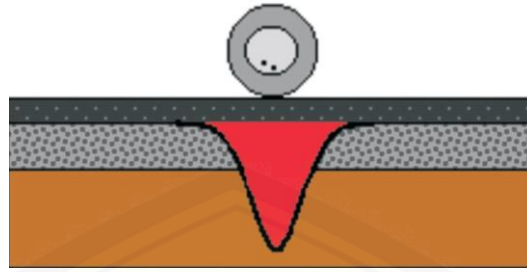
Lapis pondasi bawah (*subbase course*) adalah bagian perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar dan berfungsi sebagai lapisan pertama dari perkerasan untuk menyebarkan beban lalu lintas kendaraan yang lewat.

c Lapis pondasi atas (*base course*)

Lapis pondasi atas (*base course*) adalah bagian perkerasan yang terletak di antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah dan berfungsi sebagai perletakan lapis permukaan dan menahan beban lalu lintas kendaraan yang lewat.

d Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan (*surface course*) adalah bagian perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan yang menahan beban lalu lintas yang lewat secara langsung dan melindungi lapisan penyusun lainnya dari kerusakan akibat cuaca terutama air hujan.



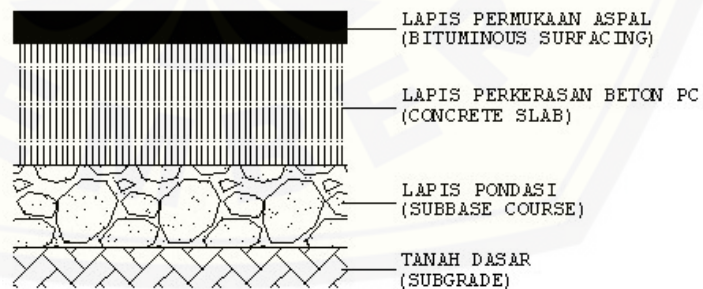
**Gambar 2.4** Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*). (Sumber : Artawimbawa, 2012)



**Gambar 2.5** Lapisan Penyusun Perkerasan Jalan Lentur. (Sumber : Satria, 2019)

### 2.1.3 Perkerasan Jalan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan jalan komposit atau *composite pavement* adalah jenis perkerasan yang mengkombinasikan antara perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*), seperti pada gambar 2.6. Pendistribusian beban lalu lintas yang melewatinya sangat baik karena ditahan secara bersama-sama.



**Gambar 2.6** Lapisan Penyusun Perkerasan Jalan Komposit (*Composite Pavement*). (Sumber : Kitaspil.com, 2017)

## 2.2 Spesifikasi Perkerasan Jalan

Spesifikasi perkerasan jalan adalah standardisasi teknis untuk mengontrol mutu dan kualitas perkerasan jalan. Kualitas dan mutu perkerasan beton ditentukan oleh komposisi campurannya. Pada tabel 2.1, perbedaan campuran berdasarkan tingkat (*grade*) menentukan kekuatan minimum beton.

**Tabel 2.1** Lapis Permukaan dan Kualitas Beton

Pavement layer	Designed mix grade
Surface Slabs :	
1. Unreinforced Concrete (URC), Jointed Reinforced Concrete (JRC), Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)	C40
2. Continuously Reinforced Concrete Roadbase (CRCR)	C40
3. CRCP ground beam anchorages	C30
4. Wet lean concrete 4) for roadbases	C20
5. Wet lean concrete 3) for sub-bases	C15
6. Wet lean concrete 2) as required in	C10
7. Wet lean concrete 1) appendix 7/1	C7,5
8. Cement Bound Material category 1 (CBM1)	} For roadbases and sub-bases
9. Cement Bound Material category 2 (CBM2)	
10. Cement Bound Material category 1 (CBM1)	
11. Cement Bound Material category 1 (CBM1)	

(Sumber : Roadwork Theory and Practice, 1990)

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, jenis-jenis campuran perkerasan aspal antara lain :

### 1. Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) atau *Sand Sheet* (SS)

Lapis tipis aspal pasir (*Sand Sheet*) adalah lapis permukaan perkerasan jalan yang terdiri dari agregat halus atau pasir atau kombinasi keduanya, dan aspal keras yang dicampur dan dihampar kemudian dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Latasir digolongkan menjadi 2 macam gradasi yaitu, Kelas-A dan Kelas-B yang umumnya digunakan untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas rendah ( $\leq 500.000$  ESA) dan memerlukan penambahan filler agar memenuhi kebutuhan yang disyaratkan, sesuai tabel 2.2.



**Tabel 2.2** Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Tipis Aspal Pasir

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Ayakan			
ASTM		Latasir Kelas-A		Latasir Kelas-B	
No.	mm	Bawah	Atas	Bawah	Atas
1/2	12,5	100	100	100	100
3/8	9,5	90	100	-	-
8	2,36	-	-	75	100
200	0,075	4	14	8	18

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:4-45)

### 2. Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS)

Lapis tipis aspal beton (*Hot Rolled Sheet*) adalah jenis perkerasan jalan lentur yang digunakan untuk menanggulangi kerusakan permukaan jalan seperti alur (*rutting*), pelepasan butir (*raveling*), retak, dan berfungsi sebagai lapisan fungsional dan lapis kedap air. Lataston terbagi menjadi dua jenis campuran yaitu, HRS Lapis Aus atau *Wearing Course* (HRS-WC) dan HRS Lapis Fondasi (HRS-Base), masing-masing memiliki ukuran agregat maksimum sebesar 19 mm sesuai kebutuhan yang disyaratkan pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Tipis Aspal Beton

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Ayakan			
ASTM		HRS-WC		HRS-Base	
No.	mm	Bawah	Atas	Bawah	Atas
3/4	19	100	100	100	100
1/2	12,5	90	100	90	100
3/8	9,5	75	85	65	90
8	2,36	50	72	35	55
30	0,600	35	60	15	35
200	0,075	6	10	2	9

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:6-39)

### 3. *Stone Matrix Asphalt* (SMA)

*Stone Matrix Asphalt* (SMA) adalah jenis perkerasan jalan lentur yang terdiri dari 3 jenis campuran yaitu, SMA Kasar, SMA Halus, dan SMA Tipis dengan masing-masing ukuran maksimum agregat sesuai dengan kebutuhan yang disyaratkan pada tabel 2.4.



**Tabel 2.4** Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk *Stone Matrix Asphalt*

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Ayakan					
ASTM		SMA Tipis		SMA Halus		SMA Kasar	
No.	mm	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
1	25	-	-	-	-	100	100
3/4	19	-	-	100	100	90	100
1/2	12,5	100	100	90	100	50	88
3/8	9,5	70	95	50	80	25	60
4	4,75	30	50	20	35	20	28
8	2,36	20	30	16	24	16	24
16	1,18	14	21	-	-	-	-
30	0,600	12	18	-	-	-	-
50	0,300	10	15	-	-	-	-
200	0,075	8	12	8	11	8	11

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:6-39)

#### 4. Lapis Aspal Beton (Laston) atau *Asphalt Concrete* (AC)

Lapis aspal beton (*Asphalt Concrete*) adalah jenis perkerasan jalan lentur yang terdiri dari 3 jenis campuran yaitu, AC Lapis Aus atau *Wearing Course* (AC-WC), AC Lapis Antara atau *Binder Course* (AC-BC), dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*) dengan masing-masing ukuran maksimum agregat sesuai dengan kebutuhan yang disyaratkan pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Lapis Aspal Beton

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Ayakan					
ASTM		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
No.	mm	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
1 <sup>1/2</sup>	37,5	-	-	-	-	100	100
1	25	-	-	100	100	90	100
3/4	19	100	100	90	100	76	90
1/2	12,5	90	100	75	90	60	78
3/8	9,5	77	90	66	82	52	71
4	4,75	53	69	46	64	35	54
8	2,36	33	53	30	49	23	41
16	1,18	21	40	18	38	13	30
30	0,600	14	30	12	28	10	22
50	0,300	9	22	7	20	6	15
100	0,150	6	15	5	13	4	10
200	0,075	4	9	4	8	3	7

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:6-39)

Perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus memenuhi batas-batas sesuai tabel 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5.

### 2.2.1 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan variasi ukuran butir agregat, macam-macam gradasi agregat dibedakan menjadi 3, antara lain :

#### a Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah gradasi agregat dengan ukuran butir yang hampir sama atau sejenis. Gradasi ini mengandung agregat halus yang sedikit, dan disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) sehingga tidak mampu mengisi rongga kosong antar agregatnya, dan memiliki stabilitas yang kurang dengan berat volume yang kecil, namun menghasilkan sifat permeabilitas yang tinggi.

#### b Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat (*dense graded*) adalah gradasi agregat dengan campuran agregat kasar dan halus yang seimbang, dan disebut juga gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*) sehingga menghasilkan stabilitas yang tinggi, namun kurang kedap air dan berat volume besar.

#### c Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang (*gap graded*) adalah gradasi agregat dengan ukuran agregat yang tidak lengkap karena ada beberapa agregat yang tidak ada ataupun sangat sedikit, sehingga memiliki kualitas yang berada diantara kualitas gradasi yang telah disebutkan di atas.

Untuk gradasi campuran Laston (AC-WC) menggunakan campuran bergradasi baik atau gradasi rapat (*dense graded*) karena memiliki rongga yang sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas yang tinggi. Menurut Jhon (2008), dalam memilih campuran gradasi agregat Laston (AC-WC) perlu memperhatikan kurva fuller, kecuali untuk gradasi Latasir (SS) dan Lataston (HRS).

Kurva fuller merupakan kurva gradasi campuran yang memiliki kepadatan maksimum dengan rongga antar agregat (VMA) yang minimum.

### 2.3 Bahan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Bahan perkerasan jalan adalah material penyusun perkerasan jalan. Dalam hal ini, perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*) menggunakan spesifikasi perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*).

#### 2.3.1 Bahan Agregat

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), bahan agregat sebagai material penyusun perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*), antara lain :

##### a Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material batuan untuk menyusun perkerasan beton semen yang harus memenuhi standar AASHTO M80-13, dengan ukuran agregat tertahan pada saringan standar ASTM no.8 (2,36 mm). Sifat-sifat agregat kasar harus memenuhi syarat pada tabel 2.6, dan memiliki standar ketentuan mutu dan spesifikasi agregat pada tabel 2.8 dan tabel 2.9.

**Tabel 2.6** Sifat-sifat Agregat Kasar

Sifat-sifat	Metode Pengujian	Ketentuan
1. Kehilangan akibat Abrasi Los Angeles	SNI 2417:2008	Tidak melampaui 40% untuk 500 putaran
2. Berat Isi Lepas	SNI 03-4804-1998	Min. 1200 kg/m <sup>3</sup>
3. Berat Jenis	SNI 1970:2016	Min. 2,1
4. Penyerapan oleh Air	SNI 1970:2016	<i>air cooled blast furnace slag</i> : maks. 6% lainnya: maks. 2,5%
5. Bentuk partikel pipih dan lonjong dengan rasio 3:1	ASTM D4791-10	Maks. 25 %
6. Bidang Pecah, tertahan ayakan no.4 (4,75 mm)	SNI 7619:2012	Min. 95/90 <sup>[1]</sup>

[1] 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih, dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:5-19)

## b Agregat Halus

Agregat halus merupakan material pasir atau *natural sand* (NS) yang harus memenuhi standar SNI 03-6820-2002, dengan ukuran agregat lolos pada saringan standar ASTM No.4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan standar ASTM No.200 (0,075 mm). Sifat-sifat agregat halus harus memenuhi syarat pada tabel 2.7, dan memiliki standar ketentuan mutu dan spesifikasi agregat pada tabel 2.8 dan tabel 2.9.

**Tabel 2.7** Sifat-sifat Agregat Halus

Sifat-sifat	Metode Pengujian	Ketentuan
1. Berat Isi Lepas	SNI 03-4804-1998	Min. 1200 kg/m <sup>3</sup>
2. Penyerapan oleh Air	SNI 1969:2016	Maks. 5%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:5-19)

**Tabel 2.8** Ketentuan Mutu Agregat

Sifat-sifat	Metode Pengujian	Batas maks	
		Halus	Kasar
1. Keausan agregat dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	-	40%
2. Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Magnesium SNI 3407:2008	10%	12%
		15%	18%
3. Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah	SNI 03-4141-1996	3%	2%
4. Bahan yang lolos saringan No.200	SNI ASTM C117:2012	Umum: 5% Abrasi : 3%	1%
5. Kotoran organik	SNI 2816:2014	Pelat No.3	-

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018:7-10)

**Tabel 2.9** Spesifikasi Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian	Spesifikasi Agregat			
	Metode Pengujian	Kasar (gr/cm <sup>3</sup> )	Metode Pengujian	Halus (gr/cm <sup>3</sup> )
1. Kadar Lumpur	SNI 03-2461-2002	Maks. 1%	SNI S 04-1989-F	Maks. 5%
2. Berat Jenis	SNI 1970:2016	Min. 2,1	SNI S 04-1989-F	Maks. 2,9
3. Penyerapan Air	SNI 1970:2016	Maks. 2,5%	SNI 1969:2016	Maks. 5%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

### 2.3.2 Bahan Pengikat

Bahan pengikat merupakan bahan yang berfungsi untuk merekatkan komponen material agregat kasar dan agregat halus.

#### a. Semen

Semen adalah bahan pengikat yang dicampur dengan air pada komposisi tertentu, jenis-jenis semen antara lain :

##### 1). Semen Portland Biasa (*Ordinary Portland Cement*)

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, Semen Portland merupakan semen yang terdiri dari kalsium silikat ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) yang bersifat hidrolis<sup>1</sup>. Semen portland dihasilkan dari penggilingan klinker semen portland dengan bahan tambahan satu atau lebih senyawa kimia kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dalam bentuk kristal, dan boleh ditambah bahan tambahan lain.

Menurut (PUBI (1982), Semen *Portland* di Indonesia dibedakan menjadi lima jenis yaitu :

##### a). Tipe I

Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus dan merupakan semen portland biasa (*ordinary portland cement*).

##### b). Tipe II

Semen Portland untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

##### c). Tipe III

Semen Portland untuk penggunaan yang memerlukan persyaratan kekuatan tinggi.

##### d). Tipe IV

Semen Portland untuk penggunaan yang memerlukan persyaratan panas hidrasi rendah.

---

<sup>1</sup> Cairan atau minyak



## e). Tipe V

Semen Portland untuk penggunaan yang memerlukan persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Kandungan senyawa semen portland harus memenuhi kebutuhan yang disyaratkan pada tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Kandungan Senyawa Semen Portland

Sifat-sifat	Jenis Semen Portlad (%)				
	I	II	III	IV	V
SiO <sub>2</sub> , min		20,0 <sup>b,c</sup>			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maks		6,0			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6,0 <sup>b,c</sup>			
NgO, maks	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
SO <sub>3</sub> , maks					
Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3 <sup>d</sup>	2,3 <sup>d</sup>
Jika C <sub>3</sub> A > 8,0	3,5	<sup>d</sup>	4,5	<sup>d</sup>	<sup>d</sup>
Hilang Pijar, maks	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Bagian Tak Larut, maks		1,5	1,5	1,5	1,5
C <sub>3</sub> S, maks				35 <sup>b</sup>	15
C <sub>2</sub> S, maks			13	40 <sup>b</sup>	10
C <sub>3</sub> A, maks		8,0	1,5	7 <sup>b</sup>	5 <sup>b</sup>
C <sub>4</sub> AF+ <sub>2</sub> C <sub>3</sub> A atau C <sub>4</sub> AF+C <sub>2</sub> F, maks					25

(Sumber : SNI 15-2049-2004)

2). Semen Portland Pozzolan (*Pozzolan Portland Cement*)

Berdasarkan SNI 15-0302-2004, Semen Portland Pozzolan merupakan Semen Portland khusus yang dikembangkan dan diproduksi dari campuran klinker Semen Portland, gips, dan bahan mineral yang mempunyai sifat pozzolan<sup>2</sup>.

3). Semen Portland Komposit (*Composite Portland Cement*)

Berdasarkan SNI 15-7064-2004, semen portland komposit merupakan semen portland khusus yang dikembangkan dan diperoleh dari hasil penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Bahan yang mengandung senyawa silika (SiO<sub>2</sub>) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

<sup>3</sup> Bahan yang mengandung terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur

Dalam penelitian tentang semen, jenis-jenis semen mengandung sifat senyawa kimia dan mempunyai sifat fisik pada tabel 2.11, dan didukung pada penelitian yang lain dalam tabel 2.12.

**Tabel 2.11** Sifat Senyawa Kimia dan Sifat Fisik Semen

Sifat-sifat	Jenis-jenis Semen (%)		
	OPC	PPC	CPC
1. $\text{Al}_2\text{O}_3$	5,49	8,76	7,40
2. $\text{CaO}$	65,21	58,66	57,38
3. $\text{SiO}_2$	20,92	23,13	23,04
4. $\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,78	4,62	3,36
5. Kehalusan	4,00	5,00	2,00
6. Berat Isi (kg/l)	1,29	1,19	1,15

(Sumber : Salain, 2009)

**Tabel 2.12** Porsentase Kandungan Senyawa Kimia Semen Portland

Sifat-sifat	Kandungan (%)
Kapur ( $\text{CaO}$ )	60 – 66
Silika ( $\text{SiO}_2$ )	16 - 25
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	3 - 8
Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	1 - 5

(Sumber : Fakhri, 2019)

Senyawa kimia silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang terkandung dalam Semen Portland saat bereaksi dengan air akan menjadi perekat dan memadat lalu mengeras. Reaksi menjadi perekat disebut hidrasi<sup>4</sup> yang bersifat exothermic<sup>5</sup> dan panas yang ditimbulkan sebesar 110 kalori/gram (Tjokrodimulyo, 1995). Kebutuhan semen minimum ditetapkan sesuai tabel 2.13 untuk menghindari beton dari kerusakan lingkungan.

<sup>4</sup> Proses dimana ion dikelilingi oleh molekul-molekul air yang tersusun dalam kondisi tertentu

<sup>5</sup> Reaksi kimia yang melepaskan energi melalui cahaya atau panas

**Tabel 2.13** Kebutuhan Semen Minimum

Jenis Beton	Mutu Beton		Ukuran Agregat (mm)	FAS (Terhadap Berat)	Kadar Semen Min. (kg/m <sup>3</sup> ) dari campuran	
	Fc' (MPa)	$\sigma_{bk}'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )				
Mutu Tinggi	65	K800				
	50	K600	19	0,35	450	
	45	K500	37	0,40	395	
			25	0,40	430	
	38	K450	19	0,40	455	
			37	0,425	370	
			25	0,425	405	
	35	K400	19	0,425	430	
			37	0,450	350	
			25	0,450	385	
	Mutu Sedang	30	K350	19	0,450	405
				37	0,475	335
25				0,475	365	
25		K300	19	0,475	385	
			37	0,500	315	
			25	0,500	345	
20		K250	19	0,500	365	
			37	0,550	290	
			25	0,550	315	
Mutu Rendah		15	K175	19	0,550	335
				37	0,600	265
				25	0,600	290
	10	K125	19	0,600	305	
			37	0,700	225	
			25	0,700	245	
			19	0,700	260	

(Sumber : (PdT-07-2005-B-9-21))

### 2.3.3 Air

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), air yang digunakan untuk campuran perkerasan beton semen harus bersih dan bebas dari bahan yang mengandung minyak, garam, asam, basa, gula, atau bahan organik. Menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu :

- a Air haruslah bersih
- b Tidak mengandung lumpur, minyak maupun bahan mengambang lainnya yang terlihat secara visual.
- c Tidak mengandung benda-benda tersuspensi >2 gram/liter.

- d Tidak mengandung garam-garam yang terlarut yang dapat merusak beton (asam-asam, zat organic, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida tidak lebih dari 500 ppm serta senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO<sub>3</sub>.
- e Jika dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air suling, maka penurunan tidak lebih dari 10%.
- f Semua jenis air yang mutunya meragukan harus dianalisis terlebih dahulu secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.
- g Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas air boleh mengandung klorida lebih dari 50 ppm.

Menurut SNI 7974:2013, semua sumber air dapat digunakan untuk air pencampur perkerasan beton semen. Sumber air boleh menggunakan air yang tidak bisa diminum (*nonpotable water*), air bisa diminum (*potable water*), air sisa produksi beton (*used water*), dan air kombinasi (*combination water*) yang terdiri dari tiga sumber air tersebut. Air sisa produksi beton merupakan air bekas pencuci mixer beton, atau air hujan yang di tampung dalam fasilitas produksi beton, atau air yang mengandung sisa campuran beton.

Kebutuhan air dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kebutuhan Air} = \text{Faktor Air Semen} \times \text{Kebutuhan Semen} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

#### 2.3.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* merupakan agregat yang umumnya menggunakan abu batu, dengan ukuran agregat lolos pada saringan standar ASTM No.30 (0,600 mm) dan paling sedikit 65% lolos pada saringan standar ASTM No.200 (0,075 mm). Bahan pengisi (*filler*) mempunyai batas-batas gradasi yang disyaratkan pada tabel 2.14 dan harus mempunyai nilai indeks plastisitas sesuai SK SNI M 1966-1990-F pada tabel 2.15.

**Tabel 2.14** Batas-batas Gradasi Bahan Pengisi (*Filler*)

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Ayakan	
ASTM		<i>Filler</i>	
No.	mm	Bawah	Atas
30	12,5	100	100
50	9,5	95	100
100	0,150	90	100
200	0,075	65	100

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

**Tabel 2.15** Nilai Indeks Plastisitas Bahan Pengisi (*Filler*)

Jenis Bahan	Nilai Indeks Plastisitas (%)
Abu Batu	$\leq 4$
Abu Slag	$\leq 4$
Kapur ( $\text{CaCO}_3$ )	$\leq 4$
Abu Terbang Semen	$\leq 4$
Semen	Tidak disyaratkan
Kapur Hidrolik ( $\text{Ca(OH)}_2$ )	Tidak disyaratkan

(Sumber : SNI-06-6723-2002)

Berdasarkan SNI 03-2460-1991 bahan pengisi atau *filler* berupa abu terbang harus mempunyai hilang pijar maks.12%.

#### 2.4 Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan banyaknya air kecuali yang terserap oleh agregat dengan banyaknya Semen Portland di dalam campuran adukan beton. Nilai faktor air semen pada pembuatan beton berkisar antara 0,4 hingga 0,6 yang ditetapkan pada tabel 2.16 supaya beton tidak cepat rusak.

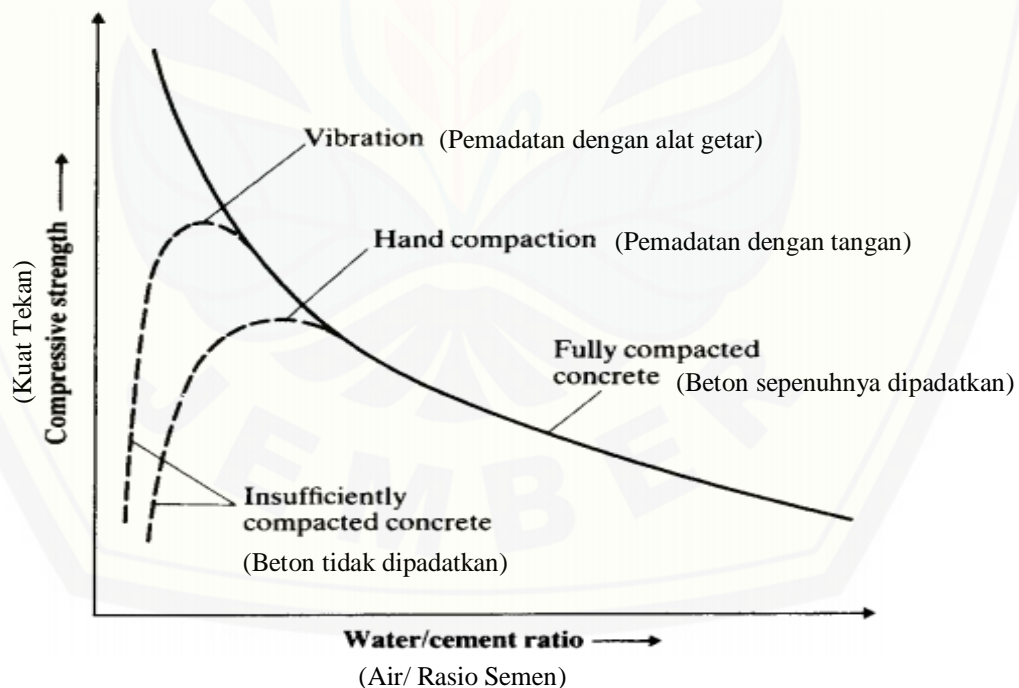


**Tabel 2.16** Persyaratan Nilai Faktor Air Semen Maksimum

Jenis Beton	Faktor Air Semen Maks.
A. Beton di dalam bangunan	
1. Keadaan keliling non korosif	0,60
2. Keadaan keliling non korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52
B. Beton di luar bangunan	
1. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
2. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
C. Beton masuk ke dalam tanah	
1. Mengalami kering dan basah bergantian	0,55
2. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	0,52
Beton selalu berhubungan dengan air tawar atau payau atau laut	0,52 – 0,75

(Sumber : Dokumen Petunjuk Praktikum Beton, halaman:36-37)

Penentuan nilai faktor air semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton dan saling berhubungan yang dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen.  
(Sumber : Horn, 2015)

## 2.5 Pengujian Bahan Perkerasan Jalan Kaku (*Rigid Pavement*)

Adapun pengujian bahan perkerasan jalan, antara lain :

### a Analisa Saringan

Analisa saringan merupakan proses identifikasi ukuran agregat berdasarkan persen kumulatif lolos dan tertahan dengan menggunakan standar saringan ASTM. Analisa saringan sangat berpengaruh terhadap penentuan gradasi agregat penyusun perkerasan jalan.

### b Berat Volume

Berat volume merupakan pengujian untuk mengetahui berat bahan setiap satuan volume satu m<sup>3</sup> yang dilakukan dengan dua cara yaitu, pada kondisi padat dengan dirojok dan gembur dengan tidak dirojok. Dapat dihitung dengan rumus :

$$BV = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- BV : Berat Volume
- W<sub>1</sub> : Berat Silinder
- W<sub>2</sub> : Berat Silinder + Agregat
- V : Volume Silinder

### c Berat Jenis

Berat jenis merupakan proses identifikasi sifat bahan penyusun perkerasan jalan sesuai tabel 2.9. Proses identifikasi dilakukan dengan membandingkan berat agregat pada kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*)<sup>6</sup> di udara dengan berat di dalam air. Dapat dihitung dengan rumus :

#### 1) Semen, Lumpur Sidoarjo, dan *Fly ash*

$$BJ = \frac{W}{(V_2 - V_1)} \times d \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- BJ : Berat Jenis
- V<sub>1</sub> : Volume Awal pembacaan Labu *Le Chatelier*

---

<sup>6</sup> Kondisi permukaan kering jenuh

$V_2$  : Volume Akhir Pembacaan Labu *Le Chatelier*

$d$  : Berat Jenis Air 1 gram/ ml

2) Agregat Kasar

$$BJ = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

BJ : Berat Jenis

$W_1$  : Berat Kerikil Kondisi SSD Diudara

$W_2$  : Berat Kerikil Kondisi SSD di dalam Air

3) Agregat Halus

$$BJ = \frac{W_1}{(W_3+W_1)-W_2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

BJ : Berat Jenis

$W_1$  : Berat Pasir Kondisi SSD

$W_2$  : Berat Pasir Kondisi SSD + Air

$W_3$  : Berat Picnometer + Air

d Air Resapan Agregat

Air resapan merupakan proses penyerapan air oleh agregat dari kondisi permukaan kering jenuh atau *saturated surface dry* (SSD) pada kondisi kering oven sesuai tabel 2.9. Dapat dihitung dengan rumus :

$$KAR = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

KAR : Kadar Air Resapan

$W_1$  : Berat Agregat Kondisi SSD

$W_2$  : Berat Agregat Kondisi Kering Oven

e Kelembaban Agregat

Kelembaban agregat merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung di dalam agregat. Dapat dihitung dengan rumus :

$$KA = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- KA : Kelembaban Agregat  
 $W_1$  : Berat Agregat Kondisi Asli di Lapangan  
 $W_2$  : Berat Agregat Kondisi Kering Oven

f Kadar Lumpur

Kadar lumpur merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui persentase lumpur yang terkandung dalam agregat sesuai tabel 2.9. Dapat dihitung dengan rumus :

1) Agregat Kasar

$$KL = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- KL : Kadar Lumpur  
 $W_1$  : Berat Kerikil Kering Oven Sebelum Dicuci  
 $W_2$  : Berat Kerikil Kering Oven Setelah Dicuci

2) Agregat Halus

$$KL = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- KL : Kadar Lumpur  
 $h_1$  : Tinggi Lumpur  
 $h_2$  : Tinggi Pasir

## 2.6 Lumpur Sidoarjo (Lusi)

Lumpur Sidoarjo (Lusi) merupakan semburan lumpur panas dari dalam perut bumi, berupa material lumpur vulkanik (*mud volcano*) yang mengandung lempung dan pasir pada tabel 2.17 dengan persentase 70% zat cair dan 30% zat padat.

**Tabel 2.17** Kandungan Material Lumpur Sidoarjo (Lusi)

Jenis Material	Kandungan (%)
Lempung ( <i>Clay</i> )	71,43
Lanau ( <i>Slit</i> )	10,71
Pasir ( <i>Sand</i> )	17,86

(Sumber : Noerwarsito, 2006)

Berdasarkan hasil pengujian toksikologis<sup>7</sup> pada tabel 2.18, Lumpur Sidoarjo (Lusi) aman bagi kesehatan karena tidak termasuk limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan (Mukono dan Triwulan, 2006). Hasil pemeriksaan Lumpur Sidoarjo (Lusi), pernah dilakukan oleh Dr.Ir. Aristanto dengan hasil kandungan senyawa kimia pada tabel 2.19 yang disajikan dengan kandungan senyawa Semen Portland.

**Tabel 2.18** Hasil Pengujian Toksikologis Lumpur Sidoarjo (Lusi)

Sifat-sifat	Hasil Uji Maks. (Mg/L)	Baku Mutu (PP No.18/1999) (Mg/L)
Arsen	0,045	5
Barium	1,066	100
Boron	5,097	500
Timbal	0,05	5
Raksa	0,004	0,2
Sianida bebas	0,02	20
Trichlorophenol	0,017	2 (2,4,6 Trichlorophenol) 400 (2,4,4 Trichlorophenol)

(Sumber : Depudi Bidang TPSA-BPPT)

<sup>7</sup> Pengaruh-pengaruh bahan kimia yang merugikan bagi organisme hidup



**Tabel 2.19** Perbandingan Hasil Senyawa Kimia Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan Semen Portland Tipe I

Sifat-sifat	Kandungan Senyawa Kimia (%)	
	Lumpur Sidoarjo	Semen
SiO <sub>2</sub>	53,08	20,8
CaO	2,07	65,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,60	3,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,27	6,9
TiO <sub>2</sub>	0,57	
MgO	2,89	Maks. 2,0
Na <sub>2</sub> O	2,97	
K <sub>2</sub> O	1,44	
SO <sub>2</sub>	2,96	
SO <sub>3</sub>		1,6
Hilang Pijar	10,15	Maks. 1,5

(Sumber : Anom Wiryasa dan Sudarsana, 2009)

Berdasarkan sifat dan kandungan senyawa kimia pada Lumpur Sidoarjo (Lusi) membuktikan bahwa Lumpur Sidoarjo (Lusi) dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan struktur beton dalam dunia konstruksi (Nuruddin et.al, 2010).

Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai *filler* diharapkan mampu meningkatkan kekuatan perkerasan jalan dan menjadi solusi mengatasi permasalahan di Kabupaten Sidoarjo, karena memiliki kandungan senyawa kimia yang hampir sama dengan Semen Portland. Kandungan senyawa kapur (CaO) pada semen berfungsi untuk proses perekatan atau pengikatan, dan senyawa silika (SiO<sub>2</sub>) berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) yang kedua senyawa ini memiliki peranan penting pada kekuatan semen, sedangkan senyawa alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) berfungsi mempercepat proses pengerasan dan senyawa besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) berfungsi menambah kekuatan campuran beton. Variasi penambahan *filler* Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% dengan rumus :

$$F = PF \times \Sigma W \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

F : Bahan Pengisi (*Filler*)

PF : Prosentase *Filler*

ΣW : Jumlah Agregat Lolos Saringan No.200

## 2.7 Abu Terbang (*Fly Ash*) Batu Bara

Abu terbang (*fly ash*) batu bara merupakan limbah industri padat dengan ukuran sangat halus yang mengandung senyawa kimia pada tabel 2.20 dan tabel 2.21

**Tabel 2.20** Kandungan Senyawa Kimia Abu Terbang (*Fly Ash*) Batu Bara

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (minimum %)	70,0	50,0
$\text{SO}_3$ (maksimum %)	5,0	5,0
Kadar Air (maksimum %)	3,0	3,0
Kehilangan Panas (maksimum%)	6,0 <sup>A</sup>	6,0

<sup>A</sup> Penggunaan sampai 12% masih diizinkan jika ada perbaikan kinerja atau hasil test laboratorium menunjukkan demikian  
(Sumber : Mulyono, 2005)

**Tabel 2.21** Perbedaan Kandungan Senyawa Kimia Abu Terbang (*Fly Ash*) Batu Bara

Senyawa Kimia	Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Batu Bara	
	Jawa Timur (%)	Jawa Barat (%)
$\text{SiO}_2$	41,3	51,3
$\text{Al}_2\text{O}_3$	29,5	34,6
$\text{TiO}_2$	1,25	0,13
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	11,55	5,11
$\text{CaO}$	9,13	4,48
$\text{MgO}$	2,46	1,81
$\text{K}_2\text{O}$	1,14	0,48
$\text{Na}_2\text{O}$	1,73	0,69
$\text{MnO}_2$	0,038	0,20
$\text{SO}_3$	0,82	-
$\text{P}_2\text{O}_3$	0,24	-
LIOI	0,62	0,45

(Sumber : Damayanti, 2018)

Berdasarkan sifat dan kandungan senyawa kimia pada abu terbang (*fly ash*) batu bara membuktikan bahwa abu terbang (*fly ash*) batu bara sangat berpotensi dalam konstruksi jalan raya dan dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) (Tahir, 2009).

**2.8 Pengujian Campuran Perkerasan Jalan Kaku (*Rigid Pavement*)**

Adapun pengujian campuran perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*), antara lain :

1. Uji *Slump*

Uji *slump* merupakan pengujian untuk mengetahui kelecakan (*workability*)<sup>8</sup> campuran beton segar dengan mencari selisih perbedaan penurunan sebelum dan sesudah *cone slump* diangkat seperti pada gambar 2.8 dengan ketentuan nilai slump pada tabel 2.22. Dapat dihitung dengan rumus :

$$NS = W1 - W2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

- NS : Nilai Slump
- W<sub>1</sub> : Tinggi *Cone Slump*
- W<sub>2</sub> : Tinggi Jatuhnya Adukan Campuran Beton



**Gambar 2.8** Pengujian Slump atau *Slump Test*. (Sumber : Ilmutekniksipil.com)

**Tabel 2.22** Nilai *Slump* untuk Berbagai Pekerjaan Beton

Uraian	Maks. (Cm)	Min. (Cm)
Dinding, Pelat Fondasi dan Fondasi Bertulang	12,5	5
Fondasi Telapak Tidak Bertulang, Kaison, dan Konstruksi Bawah Tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom, dan Dinding	15,0	7,5
Perkerasan Jalan	7,5	5,0
Pembetonan Massal	7,5	2,5

(Sumber : Pd T-07-2005-B)

<sup>8</sup> Kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan

Menurut SNI 1973:2008, Nilai *slump* yang lebih besar dari 75 mm pemadatan dilakukan dengan cara penusukan menggunakan batang penusuk sesuai tabel 2.23, dan nilai *slump* yang berada di antara 25 mm sampai 75 mm pemadatan dilakukan dengan cara penusukan atau penggetaran internal, sedangkan untuk nilai *slump* yang lebih kecil dari 25 mm pemadatan hanya boleh dilakukan dengan cara penggetaran dengan alat *vibrator*. Pemadatan harus memenuhi persyaratan sesuai SNI 4810:2013 pada tabel 2.24, dan cara yang dilakukan juga harus memenuhi persyaratan pada tabel 2.25 dan 2.26.

**Tabel 2.23** Persyaratan Diameter Batang Pemat

Diameter Silinder atau Lebar Balok (mm)	Diameter atau batang (mm)
< 150	$10 \pm 2$
$\geq 150$	$16 \pm 2$

(Sumber : SNI 4810:2013)

**Tabel 2.24** Metode Persyaratan Pemadatan

Diameter Silinder atau Lebar Balok (mm)	Diameter atau batang (mm)
< 25	Penggetaran
$\geq 25$	Penusukan atau penggetaran

(Sumber : SNI 4810:2013)

**Tabel 2.25** Metode Persyaratan Pemadatan Penusukan

Ukuran Benda Uji (mm)	Jumlah Lapisan	Jumlah Penusukan
A. Silinder (Diameter)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50
B. Balok (Lebar)		
150	2	
200	2	1 per 14 cm <sup>2</sup> dari luas permukaan
> 200	3 atau lebih	

(Sumber : SNI 4810:2013)

**Tabel 2.26** Metode Persyaratan Pematatan Penggetaran

Ukuran Benda Uji (mm)	Jumlah Lapisan	Jumlah Penusukan	Tebal Lapisan
<b>A. Silinder (Diameter)</b>			
100	2	1	½ tinggi benda uji
150	2	2	
225	2	4	
<b>B. Balok (Lebar)</b>			
150	1	1 (durasi sama)	Sedekat mungkin tinggi benda uji ukuran 200 mm
200	1		
> 200	2 atau lebih		

(Sumber : SNI 4810:2013)

2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kualitas mutu beton yang telah dibuat pada umur tertentu dan harus memenuhi syarat yang dibutuhkan pada tabel 2.27. Dapat dihitung dengan rumus :

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- fc' : Compressive Strength/ Kuat Tekan (Mpa)
- P : Beban Maksimum (N)
- A : Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

**Tabel 2.27** Ketentuan Mutu Beton

Jenis Beton	Mutu Beton		Kuat Tekan Minimum (MPa) BU Silinder 15x30 cm	
	Fc' (MPa)	σ <sub>bk</sub> ' (Kg/cm <sup>2</sup> )	7 Hari	28 Hari
Mutu Tinggi	50	K600	32,5	50,0
	45	K500	26,0	40,0
	35	K400	24,0	33,0
Mutu Sedang	30	K350	21,0	29,0
	25	K300	18,0	25,0
	20	K250	15,0	21,0
Mutu Rendah	15	K175	9,5	14,5
	10	K125	7,0	10,5

(Sumber : Pd T-07-2005-B)



**Tabel 2.28** Klasifikasi Mutu Perkerasan Jalan

Mutu Beton		Kuat Tekan Minimum (MPa) BU Silinder 15x30 cm		Klasifikasi Jalan
Fc' (MPa)	σ <sub>bk</sub> ' (Kg/cm <sup>2</sup> )	7 Hari	28 Hari	
30	K350	21,0	29,0	Jalan daerah Industri
25	K300	18,0	25,0	Jalan lokal/ kolektor
20	K250	15,0	21,0	Jalan desa/ pemukiman

(Sumber : Wardana dan Suaryana, 2015)

### 2.9 Kontrol Kualitas Pekerjaan

Kontrol kualitas pekerjaan perlu dilakukan untuk memastikan kualitas benda uji yang telah dibuat sesuai dengan target tertentu, meliputi :

a Rata-rata Kuat Tekan (fc'r)

Rata-rata kuat tekan perlu dihitung untuk mengontrol nilai rata-rata kuat tekannya. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kuat tekan rata-ratanya dengan rumus :

$$fc'r = \frac{\sum fc'}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- fc'r : Kuat Tekan Rata-rata
- fc' : Kuat Tekan Beton (Mpa)
- n : Jumlah Benda Uji

b Standard Deviasi

Standard deviasi (Sd) perlu dihitung untuk mengetahui tingkat penyebaran campuran adukan beton sesuai dengan tabel 2.28, karena komposisi campuran setiap 1 sampel benda uji dicampur sebanyak berapa sampel benda uji yang mampu dibuat dalam satu kali adukan beton, menggunakan mesin *mixer concrete* secara bersamaan. Sebelum proses pencampuran adukan beton dimulai, perlu adanya koreksi dengan faktor pengali pada tabel 2.29 agar kebutuhan agregat dapat disesuaikan. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung standard deviasinya dengan rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(fc' - fc'r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

Sd : Standard Deviasi

fc' : Kuat Tekan Beton (Mpa)

fc'r : Kuat Tekan Rata-rata Beton

n : Jumlah Benda Uji

Kualitas campuran adukan beton dapat dilihat dengan cara menghitung nilai standard deviasi (Sd).

**Tabel 2.29** Kualitas Nilai Standard Deviasi

Kualitas	Standard Deviasi
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

(Sumber : Dokumen Petunjuk Praktikum Beton, halaman: 33-34)

**Tabel 2.30** Faktor pengali Standard Deviasi

Jumlah Data	Faktor Pengali
30	1,0
25	1,03
20	1,08
15	1,16
<15	Tidak Boleh

(Sumber : Dokumen Petunjuk Praktikum Beton, halaman: 33)

c Variabilitas

Variabilitas perlu dihitung untuk mengetahui kualitas sifat fisik beton, sesuai dengan tabel 2.31. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung variabilitasnya dengan rumus :

$$V = \frac{Sd}{fc'r} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- V : Variabilitas  
 Sd : Standard Deviasi  
 $f_c'$  : Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)

**Tabel 2.31** Variabilitas

Sifat-sifat	Kualitas Beton
Sangat Baik	< 10%
Baik	10 – 15%
Cukup Baik	15 – 20%
Kurang Baik	> 20%

(Sumber : Nanang, 2017)

### 2.10 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Berdasarkan SNI 4810:2013 perawatan beton (*curing*) dilakukan dengan cara direndam dalam air secara keseluruhan yang bertujuan untuk menjaga kelembaban dan suhu beton supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air. Selain itu, perawatan beton dilakukan dengan cara direndam untuk mendapatkan kuat tekan beton yang tinggi karena molekul udara pada beton keluar oleh tekanan air sehingga ikatan beton menjadi lebih rapat dan lebih padat.

### 2.11 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suyoso et al. di Universitas Jember Kabupaten Jember pada tahun 2019 tentang “Kajian Eksperimental Penerapan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur Untuk Campuran Perkerasan Jalan Kaku Pada Berbagai Variasi Faktor Air Semen”, dengan menggunakan metode penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur pada penambahan variasi nilai faktor air semen. Penelitian tersebut menghasilkan kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi nilai faktor air semen. Variasi nilai faktor air semen yang digunakan adalah 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 dan hasil kuat tekan yang diperoleh pada variasi faktor air

semen 0,40 sebesar 11 Mpa, 0,45 sebesar 12 Mpa, 0,50 sebesar 17 Mpa, dan 0,55 sebesar 19 Mpa. Dengan demikian, disimpulkan bahwa kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi nilai faktor air semen, hal ini berbanding terbalik dengan Standard Nasional Indonesia (SNI) yang menyatakan bahwa setiap penambahan variasi nilai faktor air semen, maka kuat tekan beton mengalami penurunan. Namun, hasil kuat tekan yang diperoleh tidak memenuhi persyaratan kuat tekan rencana sebesar 20 Mpa, hal ini dikarenakan hasil pengujian spesifikasi gradasi agregat menunjukkan perbandingan sebesar 20% agregat kasar dan 80% agregat halus sehingga karakteristik beton menjadi lemah.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian tentang “Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan Jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur”, dengan menggunakan metode penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton menggunakan spesifikasi gradasi perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*), jenis lapis aspal beton (*laston*) atau *Asphalt Concrete* (AC) tipe lapis aus atau *Wearing Coarse* (WC) dengan penambahan variasi nilai faktor air semen sebesar 0,40, 0,45, 0,50, dan 0,55 pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan *filler* abu terbang (*fly ash*) batu bara sebagai pengembangan penelitian sebelumnya. Serta untuk mengetahui pengaruh Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) terhadap kuat tekan beton yang menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*) dengan variasi persentase penambahan sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% dari total agregat lolos saringan no.200 yang dalam penelitian ini menggunakan abu terbang (*fly ash*) batu bara pada fas dengan hasil kuat tekan tekan tertinggi diumur 7 hari dan 28 hari.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen berdasarkan sumber rujukan dan penelitian sebelumnya.

#### **3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini berlangsung pada Bulan Januari sampai Bulan Juni 2020, yang berada di satu lokasi dengan dua tempat yang berbeda yaitu, Laboratorium Transportasi Universitas Jember untuk persiapan bahan dan pengujian bahan kemudian di Laboratorium Struktur Universitas Jember untuk pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Penelitian ini dilakukan sesuai jadwal perencanaan pada tabel 3.1.

#### **Tabel 3.1** Perencanaan Jadwal Penelitian

Terlampir pada lampiran 1

#### **3.2 Persiapan Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat Pengujian**

Adapun alat pengujian yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Timbangan
2. Neraca Ohaus
3. Satu set saringan standar ASTM
4. Mesin Shieve Shaker
5. Mesin Abrasi Los Angeles
6. Mesin pengaduk semen (*Mixer*)
7. Oven dengan pengatur suhu
8. Loyang
9. Gelas Ukur
10. Picnometer



11. Cetakan beton atau bekisting berbentuk silinder 150 x 300 mm
12. Kerucut Abrams
13. Batang besi penusuk
14. Gerobak dorong
15. Bak penampung air
16. Sekop
17. Cetok
18. Palu
19. Penggaris atau meteran
20. Compression testing machine
21. Cetakan berbentuk risma
22. Jangka sorong
23. Rubber capping pad beton
24. Kain lap
25. Stop kontak
26. Mesin crusher

### 3.2.2 Bahan Pengujian

Adapun bahan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

#### 1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian menggunakan jenis Semen Portland tipe 1 atau *Ordinary Portland Cement* (OPC) Merk Gresik

#### 2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kerikil alami asli Jember

#### 3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian menggunakan pasir alami asli Lumajang

#### 4. *Filler*

Bahan pengisi atau *filler* yang digunakan dalam penelitian menggunakan limbah semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dan abu terbang (*fly ash*) batu bara tipe F pada persentase tertentu

#### 5. Air

Air yang digunakan dalam penelitian menggunakan sumber air bersih dari Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember.

### 3.3 Pengujian Material

#### 3.3.1 Semen

Semen yang digunakan adalah PPC (*Portland Pozzolan Cement*) merk Gresik. Adapun pengujian bahan pengikat menggunakan semen, meliputi :

##### a Berat Jenis

##### 1) Alat Pengujian

- a) Labu *Le Chatelier* kapasitas 24 ml
- b) Timbangan Analitis
- c) Thermometer
- d) Minyak tanah
- e) Kawat
- f) Tissue
- g) Spatula
- h) Corong Kaca

##### 2) Langkah Pengujian

- a) Mengisi Labu *Le Chatelier* dengan minyak tanah sampai memenuhi skala antara 0 – 1, kemudian membersihkan dan mengeringkan bagian atas permukaan minyak tanah dengan menggunakan kawat yang dibalut dengan tissue

- b) Meletakkan Labu *Le Chatelier* yang berisikan minyak tanah di ruang yang bersuhu tetap selama 15 menit untuk menyamakan suhu cairan dengan suhu ruangan ( $20 - 25^{\circ}\text{C}$ )
- c) Mengamati dan mencatat volume awal ( $V_1$ ) dengan membaca skala pada Labu *Le Chatelier*
- d) Menimbang semen sebanyak 64 gram ( $W$ )
- e) Memasukkan semen yang telah ditimbang ke dalam Labu *Le Chatelier* sedikit demi sedikit secara perlahan menggunakan spatula dan corong kaca, upayakan semen tidak menempel pada dinding Labu *Le Chatelier*
- f) Meletakkan kembali Labu *Le Chatelier* yang berisikan semen dan minyak tanah di ruangan yang bersuhu tetap selama 15 menit
- g) Memutar Labu *Le Chatelier* yang berisikan semen dan minyak tanah yang telah didiamkan selama 15 menit secara perlahan sampai tidak terdapat gelembung udara di dalamnya
- h) Mencatat tinggi permukaan cairan setelah tidak terdapat gelembung udara ( $V_2$ ).

### 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat jenisnya dengan rumus nomor 2.3 pada subbab 2.5.

#### b Berat Volume

- 1) Alat Pengujian
  - a) Timbangan Analitis
  - b) Takaran Berbentuk Silinder
  - c) Besi Penusuk.
- 2) Langkah Pengujian
  - a) Tanpa Rojokan
    - (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
    - (2) Mengisi silinder dengan semen lalu diratakan
    - (3) Menimbang silinder yang telah berisi semen ( $W_2$ ).

b) Dengan Rojokan

- (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
- (2) Mengisi silinder dengan semen sebanyak  $1/3$ ,  $2/3$ , dan  $3/3$  bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali secara memutar dalam setiap lapis bagian
- (3) Menimbang silinder yang telah berisi semen ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat volumenya dengan rumus nomor 2.2 pada subbab 2.5.

### 3.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil alami asli Jember. Adapun pengujian agregat kasar, meliputi :

a) Analisa Saringan

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Analitis
- b) Satu Set Saringan Standard ASTM
- c) Shieve Shaker
- d) Oven

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang kerikil sebanyak  $>2500$  gram, kemudian dioven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- b) Menimbang kerikil kondisi kering oven sebanyak 2500 gram
- c) Menyusun saringan standard ASTM sesuai susunan ukuran
- d) Memasukkan kerikil ke dalam saringan standard ASTM yang telah disusun
- e) Meletakkan susunan saringan standard ASTM yang telah berisi kerikil ke atas Mesin Shieve Shaker, kemudian diayak

f) Menimbang kerikil yang tertahan setelah diayak pada masing-masing ukuran saringan

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menganalisa hasil ayakan pada masing-masing saringan sesuai subbab 2.2 dan pada tabel 2.5.

b Berat Jenis

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan
- b) Neraca Ohaus 3 Lengan

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gram ( $W_1$ )
- b) Menimbang kerikil kondisi SSD di dalam air ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat jenisnya dengan rumus nomor 2.4 pada subbab 2.5.

c Air Resapan

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Kg
- b) Oven

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang kerikil kondisi SSD sebanyak 500 gram ( $W_1$ )
- b) Memasukkan kerikil yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- c) Menimbang kerikil yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kadar air resapannya dengan rumus nomor 2.6 pada subbab 2.5.



d Berat Volume

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Kg
- b) Takaran Berbentuk Silinder
- c) Besi Penusuk.

2) Langkah Pengujian

a) Tanpa Rojokan

- (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
- (2) Mengisi silinder dengan kerikil lalu diratakan
- (3) Menimbang silinder yang telah berisi kerikil ( $W_2$ ).

b) Dengan Rojokan

- (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
- (2) Mengisi silinder dengan kerikil sebanyak  $1/3$ ,  $2/3$ , dan  $3/3$  bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali secara memutar dalam setiap lapis bagian
- (3) Menimbang silinder yang telah berisi kerikil ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat volumenya dengan rumus nomor 2.2 pada subbab 2.5.

e Kelembaban Agregat

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Analitis
- b) Oven
- c) Loyang

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang kerikil kondisi asli di lapangan sebanyak 500 gram ( $W_1$ )
- b) Memasukkan kerikil yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- c) Menimbang kerikil yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

### 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kelembabannya dengan rumus nomor 2.7 pada subbab 2.5.

#### f Kadar Lumpur

##### 1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Analitis
- b) Ayakan No.200
- c) Oven

##### 2) Langkah Pengujian

- a) Mengoven kerikil sebelum dicuci agar beratnya tetap pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- b) Menimbang kerikil setelah di oven sebanyak 500 gram
- c) Memasukkan kerikil setelah ditimbang ke dalam ayakan No.200
- d) Kemudian mencuci kerikil sampai benar-benar bersih menggunakan ayakan No.200 dengan air bersih
- e) Setelah benar-benar bersih, kemudian mengoven kerikil lagi selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- f) Menimbang berat kerikil setelah dicuci dan di oven, kemudian mencatat hasilnya

##### 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kadar lumpurnya dengan rumus nomor 2.8 pada subbab 2.5.

#### 3.3.1 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami asli Lumajang. Adapun pengujian agregat halus, meliputi :

##### a Analisa Saringan

##### 1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Analitis

- b) Satu Set Saringan Standard ASTM
  - c) Shieve Shaker
  - d) Oven
- 2) Langkah Pengujian
- a) Menimbang pasir sebanyak >1500 gram, kemudian dioven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
  - b) Menimbang pasir kondisi kering oven sebanyak 1500 gram
  - c) Menyusun saringan standard ASTM sesuai susunan ukuran
  - d) Memasukkan pasir ke dalam saringan standard ASTM yang telah disusun
  - e) Meletakkan susunan saringan standard ASTM yang telah berisi pasir ke atas Mesin Shieve Shaker, kemudian diayak
  - f) Menimbang pasir yang tertahan setelah diayak pada masing-masing ukuran saringan.

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menganalisa hasil ayakan pada masing-masing saringan sesuai subbab 2.2 dan pada tabel 2.5

b Berat Jenis

- 1) Alat Pengujian
- a) Timbangan Analitis
  - b) Picnometer kapasitas 100 cc
  - c) Oven
- 2) Langkah Pengujian
- a) Menimbang 44iterature
  - b) Menimbang pasir kondisi SSD sebanyak 50 gram ( $W_1$ )
  - c) Memasukkan pasir yang telah ditimbang ke dalam 44iterature sedikit demi sedikit secara perlahan

- d) Memasukkan air ke dalam 45iterature yang telah berisi pasir sampai penuh, kemudian diputar-putar secara miring hingga gelembung udara keluar
- e) Menimbang 45iterature yang telah berisi pasir + air setelah gelembung udara keluar ( $W_2$ )
- f) Mengisi air ke dalam 45iterature kosong hingga penuh, kemudian ditimbang beratnya ( $W_3$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat jenisnya dengan rumus nomor 2.5 pada subbab 2.5.

c Air Resapan

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Kg
- b) Oven

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang kerikil kondisi SSD sebanyak 100 gram ( $W_1$ )
- b) Memasukkan kerikil yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- c) Menimbang kerikil yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kadar air resapannya dengan rumus nomor 2.6 pada subbab 2.5.

d Berat volume

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Kg
- b) Takaran Berbentuk Silinder
- c) Besi Penusuk.

2) Langkah Pengujian

- a) Tanpa Rojokan

(1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong( $W_1$ )

(2) Mengisi silinder dengan pasir lalu diratakan

(3) Menimbang silinder yang telah berisi pasir ( $W_2$ ).

b) Dengan Rojokan

(1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong( $W_1$ )

(2) Mengisi silinder dengan pasir sebanyak 1/3, 2/3, dan 3/3 bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali secara memutar dalam setiap lapis bagian

(3) Menimbang silinder yang telah berisi pasir ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat volumenya dengan rumus nomer 2.2 pada subbab 2.5

e Kelembaban

1) Alat Pengujian

a) Timbangan Analitis

b) Oven

c) Loyang

2) Langkah Pengujian

a) Menimbang pasir kondisi asli di lapangan sebanyak 250 gram ( $W_1$ )

b) Memasukkan pasir yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$

c) Menimbang pasir yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kelembabannya dengan rumus nomor 2.7 pada subbab 2.5.

f Kadar Lumpur

1) Alat Pengujian

a) Tabung Gelas Ukur

b) Penggaris



## 2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang pasir kondisi asli di lapangan sebanyak 250 gram
- b) Memasukkan pasir yang telah ditimbang ke dalam tabung gelas ukur dan memasukkan air bersih ke dalamnya sampai kira-kira hampir penuh
- c) Menutup bagian atas tabung gelas ukur dengan tangan, kemudian diputar-putar agar semua lumpur terpisah dari pasir
- d) Setelah selesai diaduk, kemudian mendiamkan pasir selama 24 jam
- e) Setelah didiamkan selama 24 jam, kemudian mengukur dengan penggaris dan mencatat tinggi lumpur( $h_1$ ) dan tinggi pasir ( $h_2$ )

## 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kadar lumpurnya dengan rumus nomor 2.9 pada subbab 2.5.

### 3.3.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah Lumpur Sidoarjo (Lusi) dan abu terbang (*fly ash*) batu bara. Adapun pengujian bahan pengisi (*filler*), meliputi :

#### a Berat Jenis

##### 1) Alat Pengujian

- a) Labu *Le Chatelier* kapasitas 24 ml
- b) Timbangan Analitis
- c) Thermometer
- d) Minyak tanah
- e) Kawat
- f) Tissue
- g) Spatula
- h) Corong Kaca

##### 2) Langkah Pengujian

- a) Mengisi Labu *Le Chatelier* dengan minyak tanah sampai memenuhi skala antara 0 – 1, kemudian membersihkan dan mengeringkan bagian

atas permukaan minyak tanah dengan menggunakan kawat yang dibalut dengan tissue

- b) Meletakkan Labu *Le Chatelier* yang berisikan minyak tanah di ruang yang bersuhu tetap selama 15 menit untuk menyamakan suhu cairan dengan suhu ruangan ( $20 - 25^{\circ}\text{C}$ )
  - c) Mengamati dan mencatat volume awal ( $V_1$ ) dengan membaca skala pada Labu *Le Chatelier*
  - d) Menimbang bahan pengisi (*filler*) sebanyak 64 gram ( $W$ )
  - e) Memasukkan bahan pengisi (*filler*) yang telah ditimbang ke dalam Labu *Le Chatelier* sedikit demi sedikit secara perlahan menggunakan spatula dan corong kaca, upayakan tidak menempel pada dinding Labu *Le Chatelier*
  - f) Meletakkan kembali Labu *Le Chatelier* yang berisikan bahan pengisi (*filler*) dan minyak tanah di ruangan yang bersuhu tetap selama 15 menit
  - g) Memutar Labu *Le Chatelier* yang berisikan bahan pengisi (*filler*) dan minyak tanah yang telah didiamkan selama 15 menit secara perlahan sampai tidak terdapat gelembung udara di dalamnya
  - h) Mencatat tinggi permukaan cairan setelah tidak terdapat gelembung udara ( $V_2$ ).
- 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat jenisnya dengan rumus nomor 2.3 pada subbab 2.5.

b Berat Volume

- 1) Alat Pengujian
  - a) Timbangan Analitis
  - b) Takaran Berbentuk Silinder
  - c) Besi Penusuk.
- 2) Langkah Pengujian
  - a) Tanpa Rojokan

- (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
- (2) Mengisi silinder dengan bahan pengisi (*filler*) lalu diratakan
- (3) Menimbang silinder yang telah berisi bahan pengisi (*filler*) ( $W_2$ ).

b) Dengan Rojokan

- (1) Menimbang silinder dalam keadaan kering kosong ( $W_1$ )
- (2) Mengisi silinder dengan bahan pengisi (*filler*) sebanyak 1/3, 2/3, dan 3/3 bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali secara memutar dalam setiap lapis bagian
- (3) Menimbang silinder yang telah berisi bahan pengisi (*filler*) ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung berat volumenya dengan rumus nomor 2.2 pada subbab 2.5.

c) Air Resapan

Pengujian air resapan dilakukan hanya pada Lumpur Sidoarjo (Lusi) saja

1) Alat Pengujian

- a) Timbangan Kg
- b) Oven

2) Langkah Pengujian

- a) Menimbang bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) kondisi SSD sebanyak 150 gram ( $W_1$ )
- b) Memasukkan bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- c) Menimbang bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kadar air resapannya dengan rumus nomor 2.6 pada subbab 2.5.

#### d Kelembaban

Pengujian kelembaban dilakukan hanya pada Lumpur Sidoarjo (Lusi) saja

- 1) Alat Pengujian
  - a) Timbangan Analitis
  - b) Oven
  - c) Loyang
- 2) Langkah Pengujian
  - a) Menimbang bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) kondisi asli di lapangan sebanyak 500 gram ( $W_1$ )
  - b) Memasukkan bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang telah ditimbang ke dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
  - c) Menimbang bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang telah dioven setelah dingin ( $W_2$ ).

#### 3) Pengolahan Data

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kelembabannya dengan rumus nomor 2.7 pada subbab 2.5.

### 3.4 Pengolahan Lumpur Sidoarjo (Lusi)

#### 3.4.1 Pengambilan Material

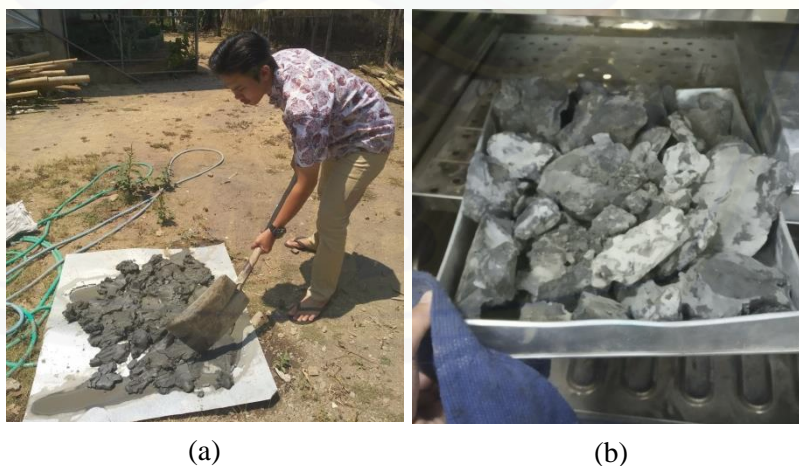
Pengambilan material Lumpur Sidoarjo (Lusi) dilakukan pada jarak kurang lebih 200 m dari pusat semburan pada gambar 3.1 dengan alasan keamanan dan material masih dalam kondisi asli tidak tercampur dengan agregat pasir dan batu (sirtu) tanggul penahan semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi).



**Gambar 3.1** (a) Pusat Semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) (b) Pengambilan Bahan Lumpur Sidoarjo (Lusi). (Sumber : Edo, Dokumentasi Pribadi, Desember 2019).

#### 3.4.2 Proses Pengeringan Material

Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang diambil perlu dicuci terlebih dahulu sampai gelembung busa sedikit hilang kemudian dilakukan proses pengeringan. Proses pengeringan dilakukan dengan dua tahapan yaitu, pengeringan dengan dihampar di bawah sinar matahari langsung selama 4 hingga 5 hari, dan pengeringan dengan cara di oven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  agar benar-benar kering sempurna, dapat dilihat pada gambar 3.2. Dengan demikian, proses pengeringan material Lumpur Sidoarjo (Lusi) berlangsung selama  $\pm 6$  hari atau dapat dikatakan seminggu.



**Gambar 3.2** (a) Pengeringan di bawah Sinar Matahari Langsung (b) Pengeringan dengan Oven. (Sumber : Edo, Dokumentasi Pribadi, Januari 2020).



### 3.4.3 Penghancuran Material

Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) setelah dikeringkan berbentuk gumpalan dan pipih, seperti gambar 3.3. Untuk dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*), maka perlu dilakukan penghancuran menggunakan alu atau lesung.



**Gambar 3.3** (a) Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) Berbentuk Gumpalan (b) Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) Berbentuk Pipih. (Sumber : Edo, Dokumentasi Pribadi, Januari 2020).

### 3.4.4 Penyaringan Material

Material Lumpur Sidoarjo (Lusi) dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) jika memenuhi persyaratan lolos saringan standard ASTM No.200 (0,075 mm) dengan persentase sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap abu terbang (*fly ash*) batu bara.

## 3.5 Pengolahan Kebutuhan Air

Kebutuhan air sangat diperlukan dalam campuran beton karena sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton sesuai subbab 2.4 gambar 2.7, sehingga kebutuhan air dan semen perlu dihitung dengan rumus nomor 2.1 pada sub-subbab 2.3.3.

### 3.6 Model Benda Uji

#### 3.6.1 Rencana Penelitian

Rencana penelitian perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*) menggunakan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur laston (AC) WC berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm sesuai standard SNI. Perbandingan campuran bahan penyusun dalam penelitian ini adalah 1:2:3 dengan metode pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari. Total benda uji yang dibuat sebanyak 54 buah, dapat dilihat pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Perencanaan Benda Uji

Bahan <i>Filler</i> (%)		Umur (Hari)	Variasi Faktor Air Semen				Jumlah BU
Lusi	<i>Fly ash</i>		0,40	0,45	0,50	0,55	
0	100	7	3	3	3	3	12
		28	3	3	3	3	12
45	55	7	3	0	0	0	3
		28	3	0	0	0	3
55	45	7	3	0	0	0	3
		28	3	0	0	0	3
65	35	7	3	0	0	0	3
		28	3	0	0	0	3
75	25	7	3	0	0	0	3
		28	3	0	0	0	3
100	0	7	3	0	0	0	3
		28	3	0	0	0	3
Total						54 Buah	

#### 3.6.2 Tahapan Pelaksanaan

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian, meliputi :

##### a Tahap I

Tahapan ini merupakan tahapan awal untuk merencanakan penelitian yang akan dilakukan melalui studi literature. Studi literatur yang dilakukan dengan meninjau pada penelitian terdahulu tentang penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengisi (*filler*) dan penelitian terdahulu tentang pengaruh penambahan variasi

nilai faktor air semen terhadap kuat tekan beton, sehingga dapat menjadi pedoman untuk menentukan proporsi bahan yang baik.

b Tahap II

Tahapan ini merupakan tahapan pendahuluan dengan melakukan persiapan bahan dan pengujian bahan untuk menentukan komposisi campuran beton agar dapat digunakan sebagai bahan penelitian.

c Tahap III

Tahapan ini merupakan tahapan pelaksanaan dengan melakukan pembuatan campuran beton sesuai komposisi yang diperoleh kemudian menguji campuran tersebut untuk kemudahan proses pembuatan benda uji (*workability*). Setelah benda uji telah jadi, kemudian dilakukan proses perawatan beton.

d Tahap IV

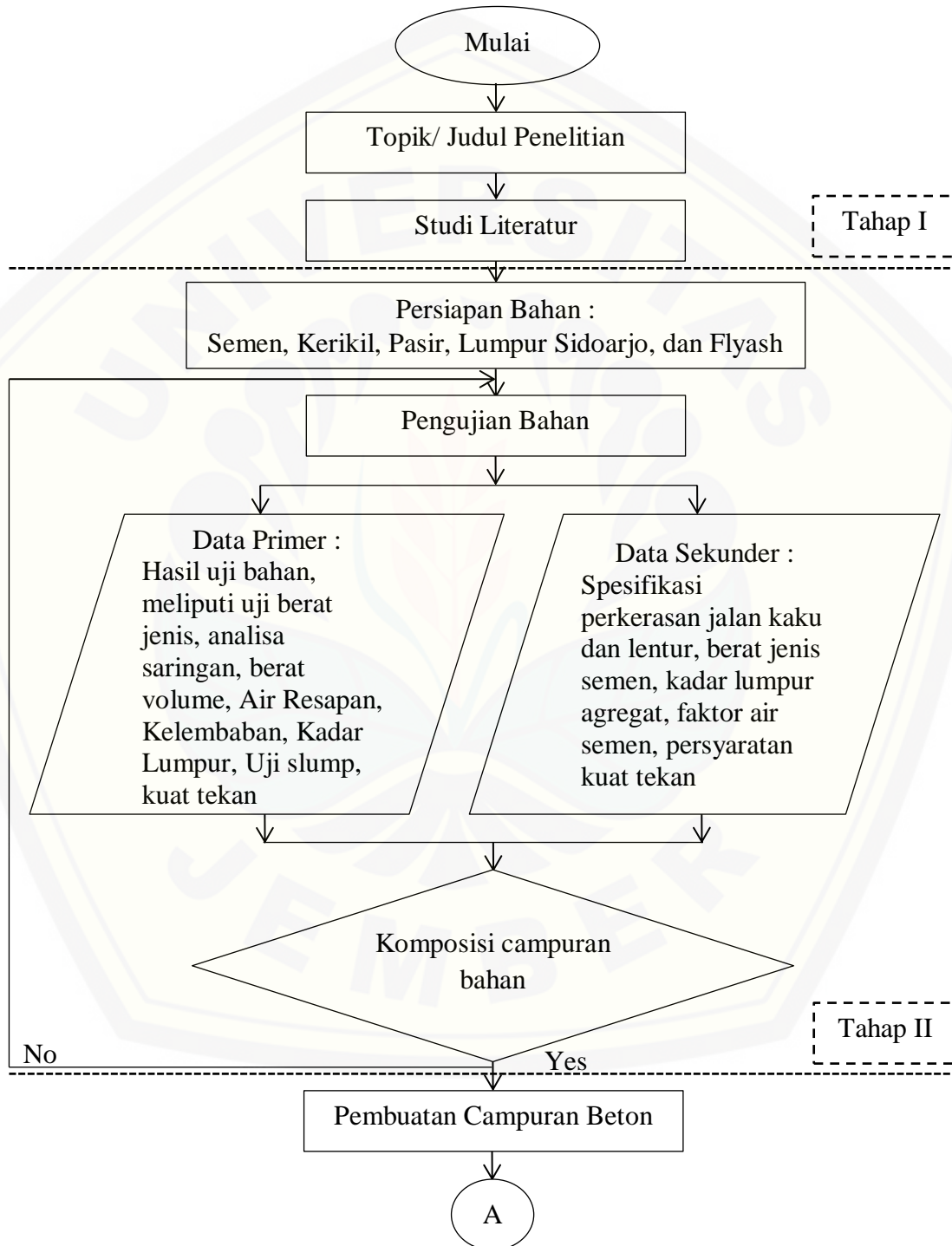
Tahapan ini merupakan tahapan pengujian benda uji setelah proses perawatan beton selesai, dengan melakukan penimbangan berat beton dan pengujian kuat tekan beton.

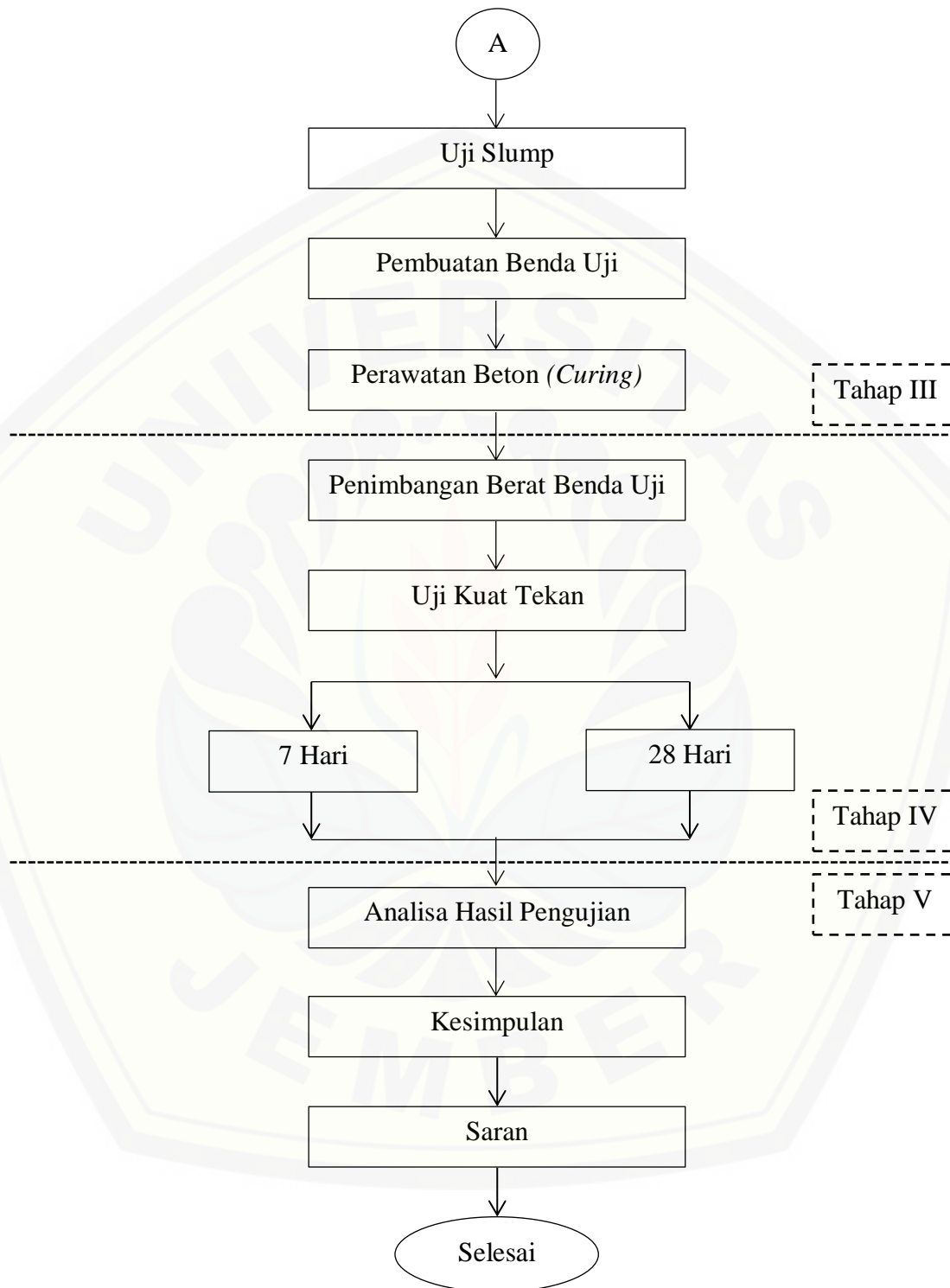
e Tahap V

Tahapan ini merupakan tahapan akhir setelah proses pengujian selesai, dengan menganalisa hasil penelitian yang diperoleh kemudian menarik kesimpulan dari hasil penelitian ini agar tujuan dari penelitian ini dapat tercapai dan saran agar dapat bermanfaat.

### 3.7 Diagram Alir

Adapun diagram alir untuk tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut :







### 3.8 Pengumpulan Data

Adapun pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

#### 3.8.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan sesuai pada subbab 3.3, 3.4, dan 3.5

#### 3.8.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari tinjauan studi literatur sesuai yang diuraikan pada Bab 2.

### 3.9 Kontrol Benda Uji

Kualitas benda uji perlu dikontrol untuk mengetahui nilai mutu beton yang telah di buat apakah baik atau tidak, dengan cara perhitungan sebagai berikut :

#### 3.9.1 Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Kuat tekan dilakukan dengan cara mengujinya dengan mesin compressive concrete, dan data hasil perhitungan kuat tekan pada alat dihitung untuk mengetahui mutu betonnya dengan rumus nomor 2.12 subbab 2.8.

#### 3.9.2 Kuat Tekan Rata-rata Beton ( $f_c'r$ )

Rata-rata kuat tekan perlu dihitung untuk mengontrol nilai rata-rata kuat tekannya. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung kuat tekan rata-ratanya dengan rumus nomor 2.13 subbab 2.9.

#### 3.9.3 Standard Deviasi (SD)

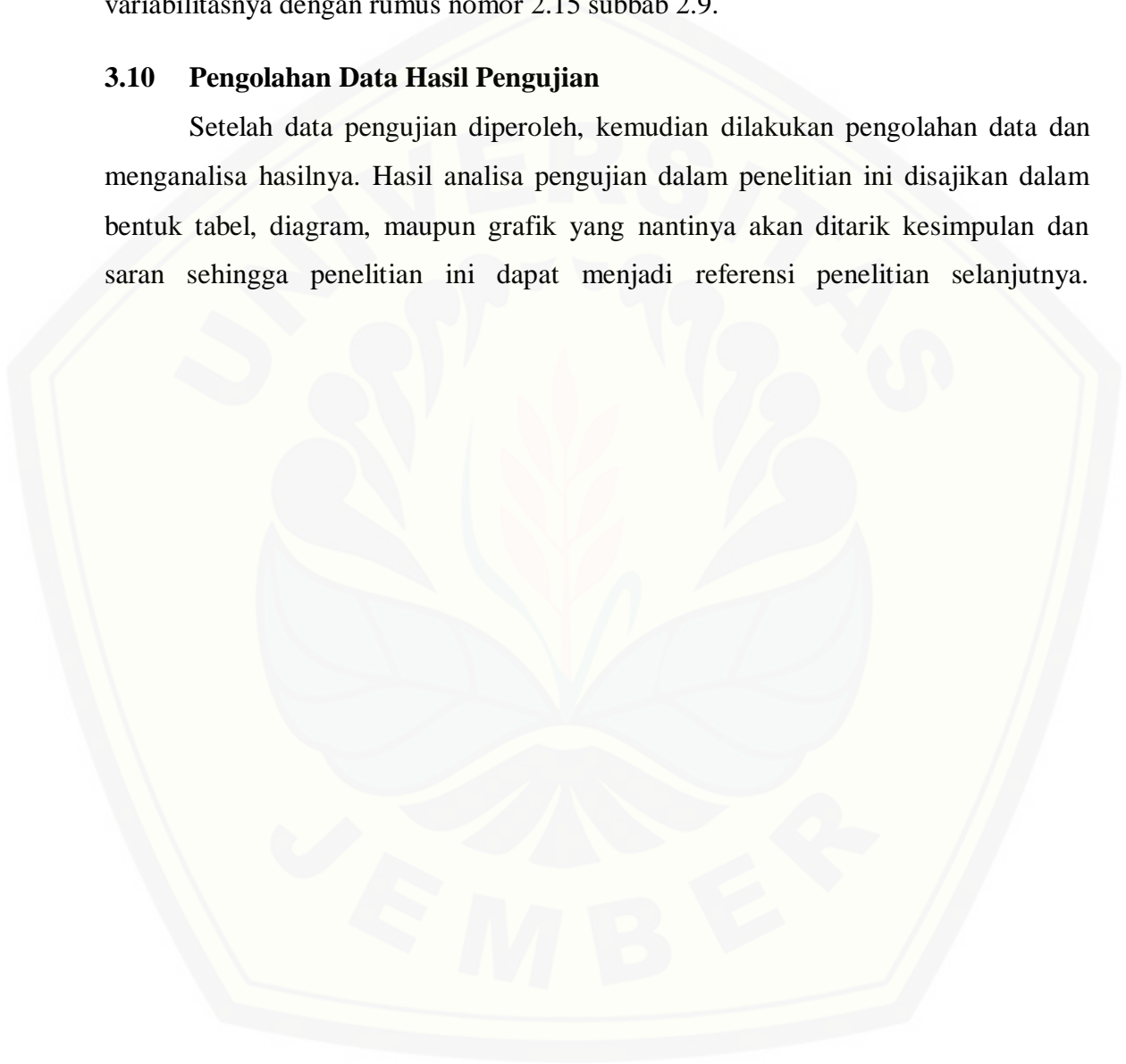
Standard deviasi (Sd) perlu dihitung untuk mengetahui tingkat penyebaran campuran adukan beton sesuai dengan tabel 2.28, karena komposisi campuran setiap 1 sampel benda uji dicampur sebanyak berapa sampel benda uji yang mampu dibuat dalam satu kali adukan beton menggunakan mesin *mixer concrete* secara bersamaan. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung standard deviasinya dengan rumus nomor 2.14 subbab 2.9.

#### 3.9.4 Variabilitas

Variabilitas perlu dihitung untuk mengetahui kualitas sifat fisik beton, sesuai dengan tabel 2.30. Setelah data pengujian diperoleh, kemudian menghitung variabilitasnya dengan rumus nomor 2.15 subbab 2.9.

#### **3.10 Pengolahan Data Hasil Pengujian**

Setelah data pengujian diperoleh, kemudian dilakukan pengolahan data dan menganalisa hasilnya. Hasil analisa pengujian dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel, diagram, maupun grafik yang nantinya akan ditarik kesimpulan dan saran sehingga penelitian ini dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa mengenai “Penggunaan Lumpur Sidoarjo (Lusi) Pada Perkerasan jalan Kaku Dengan Spesifikasi Gradasi Agregat Perkerasan Jalan Lentur” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1 Pada variasi penambahan faktor air semen sebesar 0,40, 0,45, 0,50, dan 0,55 dengan 100% *filler fly ash* batu bara menunjukkan bahwa semakin bertambahnya nilai faktor air semen maka semakin turun kuat tekannya, ini sesuai berdasarkan SNI. Penggunaan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur dapat dipakai pada perkerasan jalan kaku dengan penambahan *filler fly ash* batu bara dan dapat diterapkan pada jalan tol.
- 2 Pada variasi persentase penambahan *filler* Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebesar 0%, 45%, 55%, 65%, 75%, dan 100% terhadap *filler fly ash* batu bara pada fas dengan hasil kuat tekan tertinggi menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase *filler* lusi maka semakin turun kuat tekannya, dan naik lagi pada persentase 100%. Naik turunnya kuat tekan pada variasi persentase penambahan *filler* lusi disebabkan karena perubahan nilai fas akibat penambahan air berdasarkan acuan nilai slump dari fas dengan hasil kuat tekan tertinggi. Penambahan *filler* lusi tidak dapat diterapkan pada jalan tol, dan hanya dapat diterapkan pada jalan lokal/kolektor dan jalan pedesaan dan pemukiman.

### 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya yaitu :

Untuk penelitian selanjutnya, perlu penelitian lebih lanjut mengenai kandungan senyawa dari bahan pengisi (*filler*) dan penambahan air perlu menggunakan acuan air resapan lusi agar nilai fasnya tidak berubah, serta bahan lusi perlu diolah dengan cara dibakar agar kandungan senyawa kimianya menjadi reaktif.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO M80. (2013). *Standard Specification For Coarse Agregate For hydraulic Cement Concrete*. 2017. American Association Of State Highway And Transportation Officials.
- Adibroto, F., Suhelmidawati, E., Azhar, A., Zade, M., Sumatera, W., Danasi, M., Lisantono, A., Yusra, A., Aulia, T. B., Sipil, J., Teknik, F., Umar, U. T., Penyareng, A., Aceh, M., Sipil, J., Teknik, F., Syiah, U., Penggunaan, P., Terbang, A. B. U., ... Nasional, B. S. (2015). Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Batu Bara Terhadap. *Standar Nasional Indonesia, 1*(KoNTekS 9), 251. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Adonaranita, F. (2014). *Pengaruh Komposisi Lumpur Lapindo Sidoarjo Terhadap Mutu Batu Bata Berdasarkan SNI 15-2094-2000*. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya (UNESA).
- Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. G., KAWASHITA, K., Reynolds, J. H., ALMEIDA, F. F. M. D. E., de Almeida, F. F. M., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Oldenzaal, Z., Guida, A., Tchalenko, J. S., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J., Rotevatn, A., Nixon, C. W., Rotevatn, A., Sanderson, D. J., ... Junho, M. do C. B. (2013). No. Title. *Journal of Petrology, 369*(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Andangsadewa. (2017). *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga : Manual Perkerasan Jalan*. <https://www.slideshare.net/andangsadewa/manual-perkerasan-jalan-07-juli2017-kiat-oke> [Diakses pada tanggal 7 Juli 2017].
- Anom Wiryasa, N., & Sudarsana, I. (2007). Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Pengganti Tanah Liat Pada Produksi Genteng Keramik. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 11*(2).
- Anom Wiryasa, N., & Sudarsana, I. (2009). Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai

- Bahan Substitusi Semen Dalam Pembuatan Bata Beton Pejal. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 13(1), 39–46.
- Anonim. (2017). *Mengenal Perkerasan Jalan Beton Semen*. <https://www.kitasipil.com/2017/03/mengenal-perkerasan-beton-semen.html?m=1> [Diakses pada tanggal 27 Maret 2017].
- Ariawan, I.M.A dan I.A.R. Widhiawati. (2010). Pengaruh gradasi agregat terhadap karakteristik campuran laston. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 14(2). Denpasar. Universitas Udayana.
- Arifin, M. Z. (2011). Penggunaan Lumpur Lapindo Sebagai Filler Pada Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Rekayasa Sipil*, 5(3), 152–160.
- Aristi, Z. (2019). Pemanfaatan lumpur lapindo sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan, berat jenis, dan penyerapan air pada beton. *Undergraduate Thesis*. Surabaya. Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG).
- Artawimbawa. (2012). Perkerasan Kaku (Rigid Pavement). <https://www.slideshare.net/Artawimbawa/perkerasan-kaku> [Diakses pada tanggal 7 Mei 2012].
- Association Of Standart Testing Materials (ASTM) C 136-06. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.
- Bobie. (2018). Perkerasan kaku (rigid pavement) pada ruas jalan posing kabupaten murung raya. *Buletin Insinyur* 1(2):56-61. [www.buletinppi.ulm.ac.id](http://www.buletinppi.ulm.ac.id). [Diakses pada tahun 2018]
- CNN Indonesia. (2019). *Menilik Kronologis Tragedi 13 Tahun Lumpur Lapindo*. <https://m.cnnindonesia.com/ekonomi/20190625172403-92-406332/menilik-kronologis-tragedi-13-tahun-lumpur-lapindo> [Diakses pada tanggal 25 Juni 2019].
- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 14(3), 213–231. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol14.no3.2018.966>.



- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah. (2003). Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen. *Pd T-14-2003*. 1985. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewan, A. (2011). *Ahli Geologi : Pengeboran Lapindo Penyebab Semburan Lumpur Sidoarjo*. Richard Davies. England. Durham University. <https://www.voaindonesia.com/amp/93842.html>. [Diakses pada tanggal 31 Mei 2011].
- Dokumen Petunjuk Praktikum Beton. *Persyaratan Nilai Faktor Air Semen Maksimum*. Jember. Universitas Jember (UNEJ).
- Dokumen Petunjuk Praktikum Perkerasan Jalan. *Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles*. SNI 03-2417-1991. Jember. Universitas Jember (UNEJ).
- Dolaksaribu, B dan D.S. Nababan. (2018). Pengaruh faktor air semen terhadap nilai kuat tekan beton dengan menggunakan material pasir lokal merauke dan kerikil yang didatangkan. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha* 7(1). Merauke. Universitas Musamus.
- Fakhli. (2014). *Pengertian Dan Klasifikasi Gradasi*. <https://www.kumpulengineer.com/2014/05/pengertian-dan-klasifikasigradasi.html>. [Diakses pada tanggal 22 Mei 2014].
- Fakhri, A.F. (2019). Pengaruh suhu dan substitusi serbuk lumpur lapindo (sidoarjo) sebagai material pozzolan aktif terhadap karakteristik kuat tekan paving block. *Skripsi*. Jember. Universitas Jember (UNEJ).
- Hardjito, D., Wibowo, G. M., Sipil, J. T., Petra, U. K., & Siwalankerto, J. (2012). *Pozzolanic Kegiatan Penilaian LUSI (lumpur Sidoarjo) Mud di Semi Tinggi Volume pozzolanic Mortar*. 1654–1660.
- Hermanus, G., O.H. Kaseke., F. Jansen,. (2015). Kajian perbedaan campuran beraspal panas antara jenis lapis tipis aspal beton-lapis aus (hrs-wc) bergradasi senjang dengan yang bergradasi semi senjang. *Jurnal Teknik Sipil Statik* 3(4). Manado. Universitas Sam Ratulangi.
- Horn, L. (2015). Targeted/emerging therapies for metastatic non-small cell lung cancer. In *JNCCN Journal of the National Comprehensive Cancer Network*

- (Vol. 13, pp. 676–678). <https://doi.org/10.6004/jnccn.2015.0201>.
- Indriyati, T.S., Alfian, M., Yosi, A. (2019). Kajian pengaruh pemanfaatan limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) pada konstruksi lapisan base perkerasan jalan. *Jurnal Teknik* 13(2). Pekanbaru. Universitas Riau.
- Ilmu Teknik Sipil. (2012). *Pengujian Slump Beton*. <https://www.ilmutekniksipil.com/bahan-bangunan/pengujian-slump-beton>. [Diakses pada tanggal 6 Oktober 2012].
- Iqbal, A. (1995). *Manu, Agus Iqbal " Perkerasan kaku ( Rigid pavement ) / disusun oleh : Agus Iqbal Manu "*. 1995.
- Jhon, F.P. (2008). Kinerja laboratorium dari campuran beton aspal lapis aus (ac-wc) menggunakan retona blend 55 dengan modifikasi filler. *Tesis Magister*. Bandung. Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Karimah, R. (1989). *Batako lumpur lapindo sebagai alternatif material pasangan dinding*. 0–4.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. September.
- Koleksi Buku 1982 " Persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia ( PUBI-1982 ) / Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan " 1982*. (1982). 9598.
- Kusuma, D. (2012). *Peranan Air Dalam Pembuatan Beton*. <https://dwikusumadpu.wordpress.com/tag/05/faktor-air-semen/> [Diakses pada tanggal 2 November 2012].
- Mukono dan Triwulan. (2006). *Salah Jurusan Membawa Berkah*. <http://www.its.ac.id/semuaberita.php>. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Mulyono, T. 2005. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Mustopa, R. S., & Risanti, D. D. (2013). Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 256–261.
- Nanang. (2017). Penggunaan limbah plastic daur ulang sebagai pengganti agregat halus pada beton scc (*self compacting concrete*). *Skripsi*. Jember. Universitas

Jember (UNEJ).

- Noerwarsito, T. (2006). *Blok Lempung Porits*. Surabaya. Laboratorium Struktur. Jurusan Arsitektur. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Nuruddin, M.F., Bayuaji, R., Masilamani, M.B., Biyanto, T.R. (2010). Sidoarjo mud: a potential cement replacement material. *Civil Engineering Dimension* 12(1):18-22.
- PdT-07-2005-B, P. (2002). Pelaksanaan pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan. *Badan Penelitian Dan Pengembangan PUPR*, 3, 1–21.
- Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2007. *Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS)*. 18 April 2007
- Pertiwi, D., B. Wibowo., E. Kasiati., Triaswati., A.G. Sabban. (2011). Perbandingan penggunaan pasir lumajang dengan pasir gunung merapi terhadap kuat tekan beton. *Jurnal APLIKASI* 9(2). Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Pertiwi, N. (2004). Pengaruh gradasi agregat gabungan terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil Intensip* 2(2). Makassar. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Pertiwi, N. (2014). Pengaruh gradasi agregat terhadap karakteristik beton segar. *Jurnal Forum Bangunan* 12(1). Makassar. Universitas Negeri Makassar.
- Prastiwi, A.D. (2014). *Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Terhadap Struktur Mikro Genteng Keramik*. Malang. Universitas Brawijaya (UB).
- Pratama, A., A.B. Pradana., B. Ismoyo., N.R. Ismail. (2013). Analisa pasir besi untuk meningkatkan efisiensi pelat penyerap panas radiasi matahari. *PROTON* 5(2):5-9. Malang. Universitas Widyagama Malang.
- Pratomo, E.P., A. Setyawan., D. Djumari. (2016). Pengaruh gradasi terhadap porositas dan kuat tekan beton berpori. *Jurnal Teknik Sipil*. Surakarta. Universitas Negeri Surakarta (UNS).
- Salain, I.M.A.K. (2009). Pengaruh jenis semen dan jenis agregat kasar terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknologi dan Kejuruan* 32(1). Denpasar. Universitas Udayana.

- Satria, R.A. (2019). *Studi Analisa Perbandingann Perkerasan Lentur*. <https://struktur.shareinspire.me/>. [Diakses pada tanggal 3 Agustus 2019].
- SNI 03. 1966-1990. *Metode Pengujian Batas Plastis Tanah*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2460. (1991). *Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Untuk Campuran Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2834. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2847. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6820. (2002). *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan Dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*. 2015. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI S-04. (1989). *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian Air*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-06-6723-2002-*Spesifikasi-Bahan-Pengisi-Untuk-Campuran-Beraspa.pdf*. (n.d.).
- SNI 15-0302. (2004). *Semen Portland Pozolan*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-7064. (2004). *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049. (2004). *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1973. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 4810. (2013). *Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Spesimen Uji Beton Di Lapangan*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 7974. (2013). *Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis (ASTM C1602–06, IDT)*. *Badan Standarisasi Nasional*, 27(5), 596–602.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Jakarta. Granit.



- Sukmana, A. (2010). *Spesifikasi Umum 2006 Divisi 7 : Perkerasan Jalan Beton (Rigid Pavement)*. <https://www.scribd.com/doc/45260499/Divisi-7-Rigid-Pavement>. [Diakses pada tanggal 14 Desember 2010].
- Suprianto, Y. (2012). *Tinjauan kuat tekan beton dengan pemanfaatan lumpur kering tungku ex. Lapindo sebagai pengganti semen. Jurnal Tugas Akhir*. Surakarta. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Susanto, A dan P.A. Nugroho. (2012). Pemanfaatan lumpur lapindo sebagai pengganti agregat kasar beton. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. Surakarta. Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS).
- Suyoso, H., Nurtanto, D., Widiarti, W. Y., & Ratnaningsih, A. (2019). Kajian eksperimental penerapan spesifikasi gradasi agregat perkerasan jalan lentur untuk campuran perkerasan jalan kaku pada berbagai variasi faktor air semen. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. Jember. Universitas Jember.
- Syahr A P, A. (2015). Pengaruh cara perawatan kuat lentur beton. *Proyek Akhir*. Yogyakarta. Universitas Yogyakarta (UNY).
- Tahir, A. (2009). Karakteristik campuran beton aspal (AC-WC) dengan menggunakan variasi kadar filler abu terbang batu bara. *Jurnal SMARTek*, 7(4), 256–278. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2010.04.009>.
- Tingay, M., Manga, M., Rudolph, M. L., & Davies, R. (2017). An alternative review of facts , coincidences and past and future studies of the Lusi eruption. *Marine and Petroleum Geology*, September, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.12.031>
- Tjokrodimulyo, K. (1995). *Bahan Bangunan*. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada (UGM).
- Wardana, P. K., & Suaryana, N. (2015). *TEBAL PERKERASAN KAKU UNTUK LALU LINTAS RENDAH ( DEVELOPMENT OF PRACTICAL DESIGN OF CONCRETE ROAD PAVEMENT THICKNES FOR LOW VOLUME ROADS )*. 202–211.
- Wibowo, R. Zulfikar., H. Paramu., D. Rato., H.S. Addy., E. Sulistyoningsih., S.



Bukhori., A. Tallapessy., N.D. Gianawati., Siswoyo., A. Rijadi., Nawiyanto. (2016). *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember. UPT Penerbitan Universitas Jember.

Yazidun Niam, A. (2016). Pengaruh Treatment Lumpur Lapindo Terhadap Mutu Batu Bata Bahan Lumpur Lapindo Berdasarkan Sni 15-2094-2000. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1/REKAT/17), 1–7.





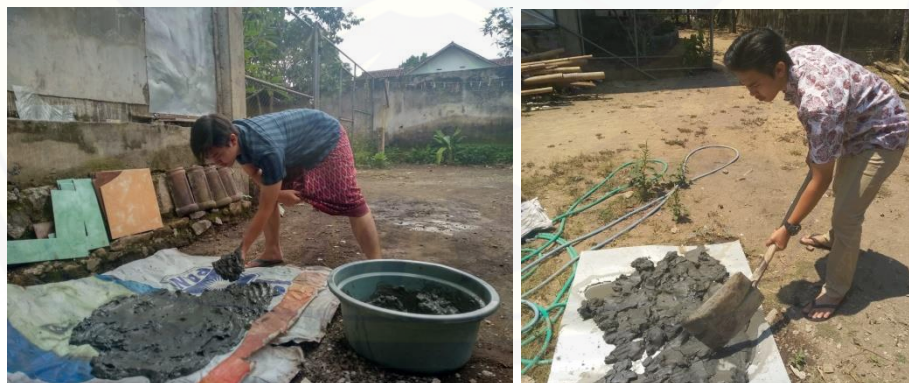
**Lampiran 2. Persiapan bahan**



**Gambar 1.** Pengambilan Limbah Lumpur Sidoarjo (Lusi) Di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo



**Gambar 2.** Pencucian Limbah Lumpur Sidoarjo

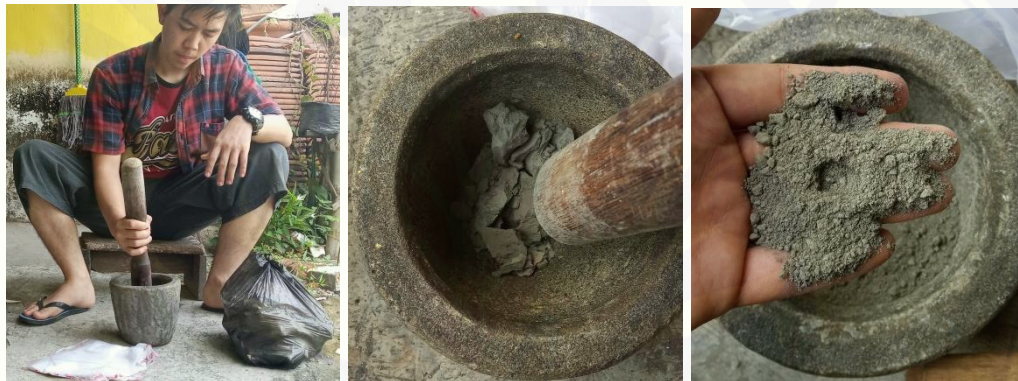


**Gambar 3.** Pengeringan Limbah Lumpur Sidoarjo Di Bawah Sinar Matahari Langsung





**Gambar 4.** Pengeringan Limbah Lumpur Sidoarjo Dengan Oven Setelah Kering Oleh Sinar Matahari



**Gambar 5.** Penghancuran Limbah Lumpur Sidoarjo Setelah Kering Oven



**Gambar 6.** Penyaringan Limbah Lumpur Sidoarjo Setelah Dihancurkan Menggunakan Ayakan No. 200



**Gambar 7.** Pencucian dan Perendaman Agregat Kasar Selama 1 Hari dan Pengeringan Agregat Untuk Memperoleh Kondisi SSD



**Gambar 8.** Penyaringan Agregat Sesuai Klasifikasi Ukuran Agregat





**Gambar 9.** Pembelian Abu Terbang (*Fly Ash*) Batu Bara Di PLTU Karang Paiton Kabupaten Probolinggo



**Gambar 10.** Penimbangan Kebutuhan Bahan (Semen, Pasir, Kerikil, Lusi, dan *Fly Ash*)

**Lampiran 3.** Pengujian bahan



**Gambar 11.** Pengujian Berat Jenis (Semen, Lusi, dan *Fly Ash*)



**Gambar 12.** Pengujian Berat Volume (Semen, Lusi, dan *Fly Ash*)



**Gambar 13.** Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus



**Gambar 14.** Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar





**Gambar 15.** Pengujian Air Resapan Agregat Kasar dan Agregat Halus



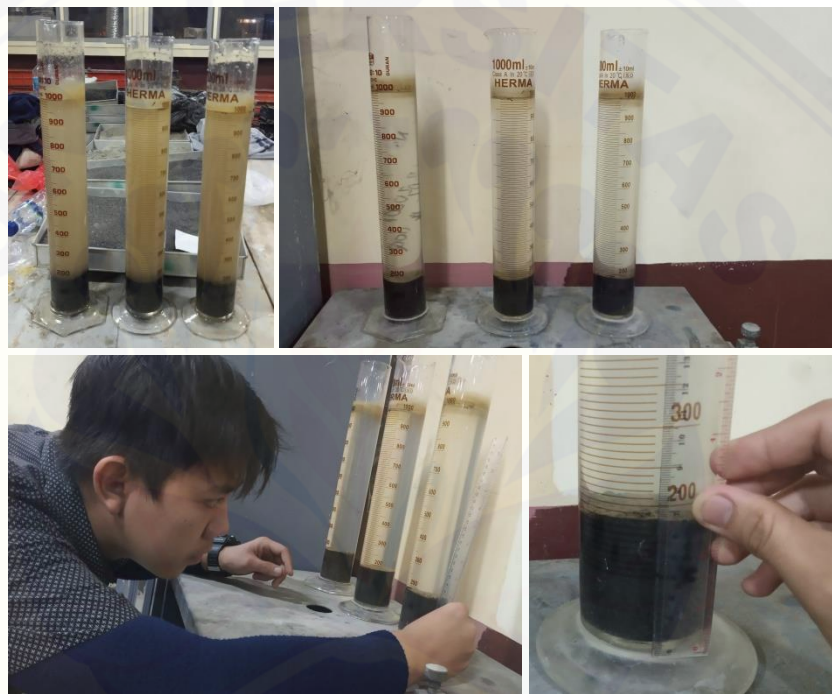
**Gambar 16.** Pengujian Berat Volume Agregat Kasar dan Agregat Halus



**Gambar 17.** Pengujian Kelembaban Agregat Kasar dan Agregat Halus



Gambar 18. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus



Gambar 19. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus



Gambar 20. Pengujian Air Resapan dan Kelembaban Lumpur Sidoarjo (Lusi)



**Lampiran 4. Pembuatan benda uji**



**Gambar 21.** Persiapan Cetakan Silinder atau Bekisting



**Gambar 22.** Pengecoran



**Gambar 23.** Pengujian Slump





**Gambar 24.** Hasil Pengujian Slump Pada Variasi FAS



**Gambar 25.** Pembuatan Benda Uji



Gambar 26. Pelepasan Bekisting

Lampiran 5. Perawatan benda Uji



Gambar 27. Perawatan Benda Uji (Curing) Umur 7 Hari dan 28 hari



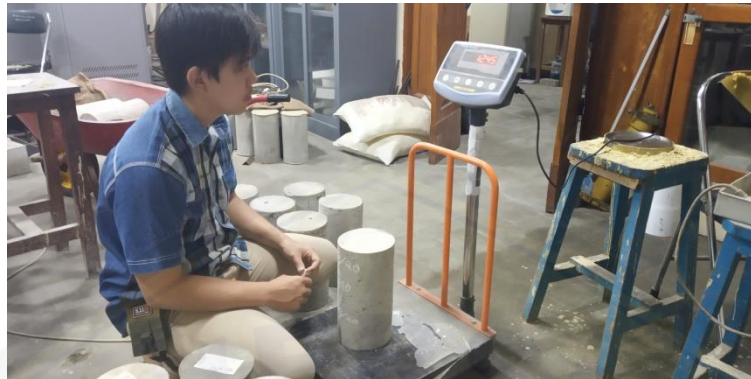


**Gambar 27.** Pengangkatan Benda Uji Setelah Curing

**Lampiran 6.** Pengujian benda uji



**Gambar 28.** Persiapan Pengujian Benda Uji



**Gambar 29.** Penimbangan Benda Uji



**Gambar 30.** Pemberian Capping Pada Benda Uji Agar Permukaan Menjadi Rata



**Gambar 31.** Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji



**Gambar 32.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji



**Gambar 33.** Karakteristik Sifat Fisik Benda Uji Setelah Pengujian