



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP HASIL MARSHALL UNTUK AC-BASE

GIFARY MAULANA WIBAWA
NRP. 1011151000039

Dosen Pembimbing
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP HASIL MARSHALL UNTUK AC-BASE

GIFARY MAULANA WIBAWA
NRP. 10111510000039

Dosen Pembimbing
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001

**PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



FINAL APPLIED PROJECT - VC 181819

THE EFFECT OF WASTE *STYROFOAM* ADDITION TO THE MARSHALL RESULTS FOR AC-BASE

**GIFARY MAULANA WIBAWA
NRP. 1011151000039**

**Supervisor
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001**

**APPLIED UNDERGRADUATE PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**“PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STYROFOAM*
TERHADAP HASIL MARSHALL UNTUK AC-BASE”**

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Terapan

Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh:
MAHASISWA,



GIFARY MAULANA WIBAWA

NRP. 10111510000039

Disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING,



03 FEB 2020



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 -/890/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2020

Tanggal : 17 Januari 2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Pengaruh Penambahan Plastik Styrofoam Terhadap Hasil Marshall Untuk AC-BASE		
Nama Mahasiswa	Gifary Maulana W	NRP	10111510000039
Dosen Pembimbing 1	Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki grafik kadar optimum dan perijles - Tata tulis laporan - Narasi SAH perlu ditambahkan yg dipikanya 	 Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP. 19770218 200501 2 002
<ul style="list-style-type: none"> - Dokumentasi pemampasan pada suhu 15° ditunjukkan 	 Dr. Machus, ST., MT. NIP. 19730914 200501 1 002
	NIP -
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP. 19770218 200501 2 002	 Dr. Machus, ST., MT. NIP. 19730914 200501 1 002	-	-
		NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001	-
		NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Gifary Maulana W 2
 NRP : 1 10111510000039 2
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Hasil Marshall Untuk AC-Base
 Dosen Pembimbing : Ir. Rachmad Baruki, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	8 November 2019	Analisa Saringan dan Blending Agregat		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	5-12-2019	Dibuat Grafik jarak vertikal agak renggang - Uji Karakteristik Aspal + Styrofoam - Pakai Speks Aspal Biasa - Tetap Substitusi.		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP HASIL MARSHALL UNTUK AC-BASE

Nama Mahasiswa : Gifary Maulana Wibawa
NRP : 10111510000039
Dosen Pembimbing : Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP : 19641114 198903 1 001

Lapis Aspal Beton (Laston) atau *Asphalt Concrete* (AC), terdiri dari tiga jenis campuran yaitu AC lapis aus (AC-WC), AC lapis antara (AC-BC), dan AC lapis pondasi. Jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer disebut masing – masing sebagai AC-WC modifikasi, AC-BC modifikasi, dan AC-Base modifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati pengaruh penambahan limbah *styrofoam* terhadap campuran AC-Base. *Styrofoam* merupakan bahan *polymer polystyrene* (PS) dan dapat digunakan sebagai bahan aditif campuran aspal. Material yang digunakan pada penelitian ini antara lain agregat kasar, agregat halus, aspal pen. 60/70 dan limbah *styrofoam*.

Tahapan dalam penelitian ini yaitu uji material, cek spesifikasi, pengujian KAO (Kadar Aspal Optimum), pengujian penambahan *styrofoam* dan analisa hasil pengujian Marshall dan parameternya. Proses pencampuran *styrofoam* menggunakan metode basah dengan cara memasukkan *styrofoam* kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Kadar aspal rencana dicari menggunakan rumus Pb. Variasi kadar *styrofoam* yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari total berat aspal rencana. Setiap variasi kadar *styrofoam* dilakukan pembuatan benda uji sebanyak 5 buah. Analisa penelitian ini ditinjau dari parameter Marshall yang meliputi pengujian *Density*, *Void In Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void in Filled with Asphalt* (VFA), *Stabilitas Marshall*, *Flow*, *Marshall Quotient*

(MQ) yang didasarkan pada spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh penambahan limbah *styrofoam* pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) terhadap parameter Marshall.

Didapatkan nilai Kadar *Styrofoam* Optimum sebesar 1,63%. Nilai kadar *styrofoam* yang masih bisa digunakan atau masih masuk persyaratan uji karakteristik aspal *styrofoam* sesuai dengan spesifikasi aspal pen. 60/70 berkisar antara 0% sampai 2,6%. Nilai kadar *styrofoam* pada campuran *AC-Base* aspal *styrofoam* yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu antara 0% - 3,25%. Sehingga kadar *styrofoam* pada aspal *styrofoam* yang masih bisa digunakan (memenuhi spek) adalah antara 0% - 2,6%.

Kata kunci: Limbah *Styrofoam*, *Polystyrene*, *Polymer*, Aspal *AC-Base*, Uji Marshall

ABSTRACT

THE EFFECT OF WASTE STYROFOAM ADDITION TO THE MARSHALL RESULTS FOR AC-BASE

Name of student : Gifary Maulana Wibawa
NRP : 10111510000039
Supervisor : Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP : 19641114 198903 1 001

Asphalt Concrete (AC) consists of three types of mixture. AC-Wearing Course (AC-WC), AC-Binder Course (AC-BC), and AC-Base Course. A type of asphalt concrete mixture made from polymer asphalt are called as AC-WC modification, AC-BC modification, and AC-Base modification. The purpose of this research is to observe the effect of adding waste styrofoam to the AC-Base mixture. Styrofoam is polymer polystyrene material (PS) and can be used as additive material for asphalt mixture. Materials used in this study are coarse aggregate, fine aggregate, asphalt pen. 60/70 and waste styrofoam.

The stages in this research are material test, check specifications, optimum asphalt content testing, waste styrofoam addition test, and Marshall result analysis and the parameters. The process of mixing waste styrofoam using the wet method by inserting Styrofoam into hot asphalt and stirring at high speed until homogenous. The plan of asphalt content are sought using the Pb formula. The amount of Styrofoam content variations that will be used in this research are 0%; 2%; 4%; 6%; 8% and 10% of the total weight of asphalt plan. Each variation of Styrofoam content was carried out making 5 specimens. The analysis of this research was reviewed from Marshall parameters which is included density test, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void in Filled with Asphalt (VFA), Marshall Stability, Flow, and Marshall Quotient (MQ) based on Bina Marga 2018 specification. The result of this research are expected

to know the effect of waste styrofoam addition in the AC-Base mixture to the marshall parameters.

Obtained the Optimum Styrofoam content value is 1.63%. The value of Styrofoam can still be used or included by the characteristic test requirements of Styrofoam asphalt according to pen. 60/70 asphalt specifications ranging from 0% to 2.6%. The value of Styrofoam levels in the mixture of AC-Base styrofoam that meets the requirements of the general specification of Bina Marga 2018 is between 0% - 3.25%. So the level of Styrofoam on the Styrofoam asphalt that can still be used (meet the spec) is between 0% - 2.6%.

Keywords: Waste Styrofoam, Polystyrene, Polymer, AC-Base Course, Marshall Test.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam selalu tertuju pada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa mendoakan seluruh ummatnya.

Alhamdulillah berkat kerja keras dan kerjasama dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan Proposal Tugas Akhir Terapan dengan judul **“Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Hasil Marshall Untuk AC-Base”**. Proposal ini berisi tentang rencana penelitian penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada para pihak yang telah ikut serta membantu dalam menyelesaikan laporan ini:

1. Orang tua dan keluarga besar yang selalu mendukung serta mendoakan supaya diberi kemudahan dan kelancaran dalam penelitian penulis.
2. Bapak Ir. Rachmad Basuki, MS. Selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi bimbingan, arahan, masukan dan dukungan kepada penulis.
3. Tim penelitian aspal plastik beserta karyawan laboratorium jalan yang membantu dan membimbing selama penelitian.
4. Bapak Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang tidak dapat saya tulis satu-persatu, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan dan menyusun tugas akhir.
5. Moh. Fahrizal Zaki Mubarok dan Ollyan Febrienne selaku teman yang bersama-sama menjalani penelitian ini. Serta Moh. Firli Firdausi yang telah membantu dalam penelitian ini.
6. Teman-teman Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS yang telah memberikan bantuannya kepada penulis dalam membuat laporan ini.

Penulis sadar bahwa proposal ini terdapat banyak kekurangan serta kekhilafan. Oleh sebab itu komentar, kritik dan

saran yang membangun sangat penulis butuhkan demi kebaikan dan pengembangan proposal ini agar dapat bermanfaat dan lebih baik kedepannya.

Surabaya, 26 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lapis Aspal Beton (Laston).....	5
2.2 Spesifikasi Laston.....	5
2.3 Material Penyusun Laston	6
2.3.1 Agregat Kasar	9
2.3.2 Agregat Halus.....	10
2.3.3 Spesifikasi Agregat Gabungan	10
2.3.4 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal.....	12
2.4 Perencanaan Kadar Aspal.....	12
2.5 Plastik <i>Styrofoam Polystyrene</i> (PS).....	13
2.6 Metode Pencampuran Plastik	14
2.6.1 Cara Kering (<i>Dry Process</i>).....	14
2.6.2 Cara Basah (<i>Wet Process</i>)	14
2.7 Pengujian Marshall.....	15
2.8 Parameter Marshall.....	15
2.8.1 Kerapatan Campuran (<i>Density</i>)	16
2.8.2 Prosentase Rongga dalam Campuran / <i>Void In Mix</i> (VIM)	16
2.8.3 Prosentase Rongga diantara Mineral Agregat / <i>Void in Mineral Aggregate</i> (VMA)	17

2.8.4	Proses Rongga dalam Campuran yang Terisi Aspal / <i>Void Filled with Asphalt (VFA)</i>	18
2.8.5	Stabilitas Marshall	19
2.8.6	Kelelahan (<i>Flow</i>)	20
2.8.7	Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>).....	20
2.9	Penelitian Terdahulu.....	20
2.10	Hubungan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan.....	22
BAB III METODOLOGI		25
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2	Tempat Penelitian	28
3.3	Persiapan Alat dan Bahan.....	28
3.4	Prosedur Penelitian	29
3.4.1	Pengujian Material.....	29
3.4.2	Pembuatan Lapisan AC-Base tanpa <i>Styrofoam</i> ...	29
3.4.3	Pengujian Lapisan AC-Base tanpa <i>Styrofoam</i>	29
3.4.4	Pembuatan Lapisan AC-Base dengan <i>Styrofoam</i>	29
3.4.5	Pencampuran Limbah <i>Styrofoam</i>	30
3.4.6	Perhitungan Jumlah Sampel Penelitian	30
3.4.7	Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)... ..	31
3.4.8	Pengujian dengan Marshall	31
3.4.9	Pengolahan dan Pembahasan Hasil	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Pengujian Material	33
4.1.1	Analisa Saringan Agregat.....	33
4.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	49
4.1.3	Keausan Agregat.....	54
4.1.4	Hasil Pengujian Aspal	57
4.2	Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan	58
4.3	Perencanaan Pembuatan Benda Uji.....	61
4.3.1	Penentuan Jumlah Benda Uji.....	61
4.3.2	Penentuan Kadar Aspal Rencana.....	62
4.3.3	Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana.....	66
4.4	Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Rencana	68

4.4.1	<i>Density</i> (Kepadatan)	68
4.4.2	<i>Void In Mix</i> (VIM)	72
4.4.3	<i>Void In Mineral Aggregate</i> (VMA).....	74
4.4.4	<i>Void Filled with Asphalt</i> (VFA)	77
4.4.5	Stabilitas	79
4.4.6	<i>Flow</i> (Kelelehan).....	81
4.4.7	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)	84
4.5	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	87
4.6	Menghitung Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	91
4.7	Hasil Uji Karakteristik Aspal	95
4.7.1	Penetrasi	98
4.7.2	Titik Lembek	100
4.7.3	Titik Nyala.....	101
4.7.4	Daktilitas	102
4.7.5	Kehilangan Berat	103
4.7.6	Berat Jenis	105
4.8	Pengujian <i>Marshall</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	106
4.8.1	<i>Density</i> (Kepadatan)	106
4.8.2	<i>Void In Mix</i> (VIM)	109
4.8.3	<i>Void In Mineral Aggregate</i> (VMA).....	112
4.8.4	<i>Void Filled Asphalt</i> (VFA)	115
4.8.5	Stabilitas	117
4.8.6	<i>Flow</i> (Kelelehan).....	120
4.8.7	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)	122
4.9	Menentukan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	125
4.10	Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	130
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		133
5.1	Kesimpulan.....	133
5.2	Saran.....	134
DAFTAR PUSTAKA.....		137
BIODATA PENULIS.....		141
LAMPIRAN		143

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Laston.....	5
Gambar 2.2 <i>Styrofoam</i> Bekas yang akan Digunakan pada Penelitian ini dan Kode Resin Plastik <i>Polystyrene</i> Angka 6	13
Gambar 2.3 Hubungan Volume dan Rongga-density Benda Uji Campuran Aspla Panas Padat.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10/20	36
Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10/10	40
Gambar 4.3 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 5/10	44
Gambar 4.4 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 0/5	48
Gambar 4.5 Grafik Proporsi Agregat	60
Gambar 4.6 Grafik Density Tiap Variasi Kadar Aspal	71
Gambar 4.7 Grafik VIM Tiap Variasi Kadar Aspal	74
Gambar 4.8 Grafik VMA Tiap Variasi Kadar Aspal	76
Gambar 4.9 Grafik VFA Tiap Variasi Kadar Aspal.....	79
Gambar 4.10 Grafik Nilai Stabilitas Tiap Variasi Kadar Aspal ..	81
Gambar 4.11 Grafik Nilai <i>Flow</i> Tiap Variasi Kadar Aspal.....	83
Gambar 4.12 Grafik Nilai <i>Marshall Quotient</i> Tiap Variasi Kadar Aspal.....	86
Gambar 4.13 Grafik Peninjauan <i>Density</i> untuk Penentuan KAO87	
Gambar 4.14 Grafik Peninjauan VIM untuk Penentuan KAO....	88
Gambar 4.15 Grafik Peninjauan VMA untuk Penentuan KAO ..	88
Gambar 4.16 Grafik Peninjauan VFA untuk Penentuan KAO....	89
Gambar 4.17 Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan KAO	89
Gambar 4.18 Grafik Peninjauan <i>Flow</i> untuk Penentuan KAO ...	90
Gambar 4.19 Grafik Peninjauan <i>Marshall Quotient</i> untuk Menentukan KAO	90
Gambar 4.20 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Penetrasi	99
Gambar 4.21 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Titik Lembek.....	100

Gambar 4.22 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Titik Nyala.....	102
Gambar 4.23 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Daktilitas.....	103
Gambar 4.24 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Kehilangan Berat	104
Gambar 4.25 Hubungan Kadar <i>Styrofoam</i> pada Aspal terhadap Berat Jenis	105
Gambar 4.26 Grafik <i>Density</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	109
Gambar 4.27 Grafik VIM Aspal <i>Styrofoam</i>	111
Gambar 4.28 Grafik VMA Aspal <i>Styrofoam</i>	114
Gambar 4.29 Grafik VFA Aspal <i>Styrofoam</i>	117
Gambar 4.30 Grafik Stabilitas Aspal <i>Styrofoam</i>	119
Gambar 4.31 Grafik <i>Flow</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	122
Gambar 4.32 Grafik <i>Marshall Quotient</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	124
Gambar 4.33 Grafik Peninjauan <i>Density</i> untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum	125
Gambar 4.34 Grafik Peninjauan VIM untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	126
Gambar 4.35 Grafik Peninjauan VMA untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	126
Gambar 4.36 Grafik Peninjauan VFA untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	127
Gambar 4.37 Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	127
Gambar 4.38 Grafik Peninjauan <i>Flow</i> untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	128
Gambar 4.39 Grafik Peninjauan <i>Flow</i> untuk Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	128
Gambar 4.40 Pengujian SEM aspal konvensional dan aspal <i>Styrofoam</i>	130
Gambar 4.41 Hasil Pengujian SEM Aspal Murni dengan Masing - Masing Perbesaran a) 1000x b) 5000x c) 7500x dan d) 10.000x	131

Gambar 4.42 Hasil Pengujian SEM Aspal *Styrofoam* dengan Masing - Masing Perbesaran a) 1000x b) 5000x c) 7500x dan d) 10.000x..... 132

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) Pasal 6.3.3. (1c)	6
Tabel 2.2 Jenis Pengujian Agregat Untuk Campuran Beraspal Panas.....	7
Tabel 2.3 Persyaratan Agregat Standar Kasar.....	7
Tabel 2.4 Persyaratan Agregat Standar Halus.....	8
Tabel 2.5 Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Kasar Pasal 6.3.2.....	9
Tabel 2.6 Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Halus Pasal 6.3.2.....	10
Tabel 2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2	11
Tabel 2.8 Persyaratan aspal keras berdasarkan penetrasi	12
Tabel 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-20 mm)	34
Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm)	38
Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm).....	42
Tabel 4.4 Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)	46
Tabel 4.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-20 mm)	50
Tabel 4.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)	51
Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (5-10 mm)	52
Tabel 4.8 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm)	53
Tabel 4.9 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat	55
Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat.....	56
Tabel 4.11 Hasil Uji Karakteristik Aspal	57
Tabel 4.12 Prosentase Penggabungan Agregat (<i>Combined Agregate</i>).....	59
Tabel 4.13 Prosentase Variasi Campuran.....	61
Tabel 4.14 Fraksi Desain Butiran Agregat	63
Tabel 4.15 Perkiraan Kadar Aspal	65
Tabel 4.16 Variasi Campuran Kadar Aspal 4,54%	67

Tabel 4.17 Variasi Campuran Kadar Aspal 5,04%.....	67
Tabel 4.18 Variasi Campuran Kasar Aspal 5,54%	67
Tabel 4.19 Variasi Campuran Kasar Aspal 6,04%	68
Tabel 4.20 Variasi Campuran Kasar Aspal 6,54%	68
Tabel 4.21 Hasil <i>Density AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	69
Tabel 4.22 Hasil Rata - rata <i>Density</i> Setiap Variasi Kadar Aspal	71
Tabel 4.23 Hasil <i>VIM AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	72
Tabel 4.24 Hasil Rata - rata <i>VIM</i> Setiap Variasi Kadar Aspal....	73
Tabel 4.25 Hasil <i>VMA AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	75
Tabel 4.26 Hasil Rata - rata <i>VMA</i> Setiap Variasi Kadar Aspal tanpa <i>Styrofoam</i>	76
Tabel 4.27 Hasil <i>VFA AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	77
Tabel 4.28 Hasil Rata - rata <i>VFA</i> Setiap Variasi Kadar Aspal ...	78
Tabel 4.29 Hasil Stabilitas <i>AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	79
Tabel 4.30 Hasil Rata - rata Stabilitas Setiap Variasi Kadar Aspal	80
Tabel 4.31 Hasil <i>Flow AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	82
Tabel 4.32 Hasil Rata - rata <i>Flow</i> Setiap Variasi Kadar Aspal ...	83
Tabel 4.33 Hasil <i>MQ AC-Base</i> tanpa <i>Styrofoam</i>	84
Tabel 4.34 Hasil Rata - rata <i>MQ</i> Setiap Variasi Kadar Aspal	85
Tabel 4.35 Rekapitulasi Grafik Penentuan KAO	91
Tabel 4.36 Variabel Kontrol Kadar Aspal Optimum.....	93
Tabel 4.37 Variasi 1 Proporsi Aspal <i>Styrofoam</i>	93
Tabel 4.38 Variasi 2 Proporsi Aspal <i>Styrofoam</i>	93
Tabel 4.39 Variasi 3 Proporsi Aspal <i>Styrofoam</i>	94
Tabel 4.40 Variasi 4 Proporsi Aspal <i>Styrofoam</i>	94
Tabel 4.41 Variasi 5 Proporsi Aspal <i>Styrofoam</i>	94
Tabel 4.42 Hasil Uji Karakteristik Aspal 0% <i>Styrofoam</i>	95
Tabel 4.43 Hasil Uji Karakteristik Aspal 2% <i>Styrofoam</i>	95
Tabel 4.44 Hasil Uji Karakteristik Aspal 4% <i>Styrofoam</i>	96
Tabel 4.45 Hasil Uji Karakteristik Aspal 6% <i>Styrofoam</i>	96
Tabel 4.46 Hasil Uji Karakteristik Aspal 8% <i>Styrofoam</i>	97
Tabel 4.47 Hasil Uji Karakteristik Aspal 10% <i>Styrofoam</i>	97
Tabel 4.48 Hasil Uji Penetrasi pada Aspal <i>Styrofoam</i>	98

Tabel 4.49 Hasil Uji Titik Lembek pada Aspal <i>Styrofoam</i>	100
Tabel 4.50 Hasil Uji Titik Nyala pada Aspal <i>Styrofoam</i>	101
Tabel 4.51 Hasil Uji Daktilitas pada Aspal <i>Styrofoam</i>	102
Tabel 4.52 Hasil Uji Kehilangan Berat pada Aspal <i>Styrofoam</i> .	103
Tabel 4.53 Hasil Uji Kehilangan Berat pada Aspal <i>Styrofoam</i> .	105
Tabel 4.54 Hasil <i>Density</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	107
Tabel 4.55 Hasil Rata - rata <i>Density</i> Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	108
Tabel 4.56 Hasil VIM Aspal <i>Styrofoam</i>	109
Tabel 4.57 Hasil Rata - rata VIM Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	111
Tabel 4.58 Hasil VMA Aspal <i>Styrofoam</i>	112
Tabel 4.59 Hasil Rata - rata VMA Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	114
Tabel 4.60 Hasil VFA Aspal <i>Styrofoam</i>	115
Tabel 4.61 Hasil Rata - rata VFA Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	116
Tabel 4.62 Hasil Stabilitas Aspal <i>Styrofoam</i>	117
Tabel 4.63 Hasil Rata - rata Stabilitas Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	119
Tabel 4.64 Hasil <i>Flow</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	120
Tabel 4.65 Hasil Rata - rata <i>Flow</i> Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	121
Tabel 4.66 Hasil <i>Marshall Quotient</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	123
Tabel 4.67 Hasil Rata - rata <i>Marshall Quotient</i> Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	124
Tabel 4.68 Rekapitulasi Analisa Parameter <i>Marshall</i> Aspal <i>Styrofoam</i>	129

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Logbook Penelitian	143
Lampiran 2 Langkah - Langkah Pembuatan Benda Uji	147
Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian Penetrasi Aspal	150
Lampiran 4 Hasil Pengujian Penetrasi Tiap Kadar <i>Styrofoam</i> ..	150
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian Berat Jenis Aspal	153
Lampiran 6 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	153
Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian Kehilangan Berat Aspal..	156
Lampiran 8 Rekap Hasil Rata - Rata Pengujian Kehilangan Berat Aspal Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	156
Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Titik Lembek Aspal	157
Lampiran 10 Rekap Rata – Rata Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	157
Lampiran 11 Dokumentasi Pengujian Titik Nyala Aspal.....	158
Lampiran 12 Rekap Hasil Rata – Rata Pengujian Titik Nyala Aspal Tiap Variasi Kadar Aspal.....	158
Lampiran 13 Dokumentasi Pengujian Daktilitas Aspal	159
Lampiran 14 Rekap Hasil Rata – Rata Pengujian Daktilitas Aspal Tiap Variasi Kadar <i>Styrofoam</i>	160
Lampiran 15 Dokumentasi Pengujian Marshall Campuran Aspal Konvensional untuk Mencari KAO.....	160
Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall Tiap Kadar Aspal untuk Mencari KAO.....	161
Lampiran 17 Dokumentasi Pengujian Marshall Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>	164
Lampiran 18 Hasil Pengujian Marshall Campuran Aspal <i>Styrofoam</i> Tiap Kadar <i>Styrofoam</i> untuk Mencari Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum.....	165

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, *styrofoam* banyak digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan pengemas makanan dan alat elektronik, bahan dekorasi dan bahan bangunan. Apabila penggunaan *styrofoam* tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah *styrofoam* maka akan timbul pencemaran lingkungan. *Styrofoam* merupakan plastik nomor 6, yaitu *polystyrene* dalam klasifikasi plastik sehingga *styrofoam* sama berbahayanya dengan plastik. *Styrofoam* merupakan material yang sulit terurai secara alami (Damanhuri dan Fitidarini, 2011).

Produksi sampah provinsi DKI Jakarta mencapai 7.099,08 m³ atau meningkat dari 7.046,39 m³ pada tahun sebelumnya. Namun, hanya 84,7 % dari jumlah sampah tersebut yang bisa terangkut. Sisanya terbuang di alam termasuk mengalir ke laut. Parahnya, sampah yang tak terangkut ke tempat pembuangan dan sebagian mengalir ke laut tersebut di dominasi oleh *styrofoam* dan jenis plastik lainnya (Badan Pusat Statistik, 2016). Volume sampah *styrofoam* yang cukup banyak menjadi salah satu yang melatarbelakangi pelarangan penggunaan kemasan *styrofoam* di Kota Bandung. Berdasarkan kajian BPLH Kota Bandung menyebut sampah *styrofoam* saat ini mencapai 27,02 ton per bulan (BPLH Kota Bandung, 2016). Volume sampah di Surabaya yang masuk ke TPA di Benowo mencapai 1.571,31 ton per hari. Hasilnya sampah plastik, termasuk *styrofoam* di Surabaya baik dua kali lipat pada tahun 2016 dibanding 1980-an (Tridratolaksono, 2017).

Plastik *polystyrene* merupakan plastik yang susah terurai dan membutuhkan puluhan hingga ratusan tahun untuk terurai di alam. Selama ini plastik *polystyrene* jarang diolah dan hanya dibuang ke lahan urug (Listiani, 2015). Langkah daur ulang limbah sebelum pembuangan sampah di lahan urug cukup mendapat perhatian karena berbagai alasan, salah satunya untuk

perlindungan lingkungan (Damanhuri dan Padmi, 2010). Dampak Sampah plastik sendiri untuk lingkungan sangat beragam, Sampah plastik yang masuk ke laut dapat terbelah menjadi partikel-partikel kecil yang disebut microplastik dengan ukuran 0,3 – 5 milimeter. Microplastik ini sangat mudah dikonsumsi oleh hewan - hewan laut (Pudjiastuti, 2018).

Di sisi lain, PT. Pertamina (Persero) memproduksi aspal dari kilang minyaknya di Cilacap sebesar 300 – 400 ribu ton per tahun. Sedangkan kebutuhan aspal Nasional adalah sebesar 1,3 – 1,5 juta ton per tahun. Dengan demikian Pertamina hanya mampu menyediakan aspal untuk kebutuhan domestik sebesar 20 – 30 % saja dan 70 – 80 % selebihnya masih harus diimpor dari Singapura (PT. Pertamina, 2018).

Dari kedua permasalahan di atas, jumlah sampah *styrofoam* yang semakin meningkat serta kebutuhan aspal yang kurang mencukupi. Maka, dibutuhkan inovasi untuk mengurangi sampah *styrofoam* untuk digunakan sebagai bahan tambah aspal. Telah ada penelitian terdahulu yang menggunakan *styrofoam* sebagai bahan campuran pengganti aspal. Beberapa penelitian sebelumnya membahas bagaimana pengaruh penambahan limbah *styrofoam* pada campuran aspal. Sehingga di dalam penelitian ini digunakan limbah *styrofoam* karena harganya yang murah, mudah didapat, dan hasil penambahannya lebih baik, serta karakteristik campuran aspal yang dihasilkan dapat memenuhi standar Bina Marga. Sifat *styrofoam* yang mudah dibentuk jika dilakukan pemanasan akan dimanfaatkan pada penelitian kali ini untuk mengetahui pengaruh *styrofoam* terhadap karakteristik uji Marshall pada perkerasan AC-Base. Sehingga dengan ini penulis akan melakukan penelitian tentang “ **Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Hasil Marshall Untuk AC-Base** “.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang diangkat adalah bagaimana menganalisis pengaruh penambahan limbah *styrofoam* pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) ditinjau dari karakteristik Marshall, antara lain :

1. Berapa proporsi KAO campuran *AC-Base* yang akan digunakan pada penelitian?
2. Berapa kadar *styrofoam* optimum pada campuran *AC-Base* ?
3. Berapa kadar *styrofoam* yang memenuhi spesifikasi uji karakteristik aspal PEN 60/70 dan spesifikasi uji *marshall*?
4. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *styrofoam* terhadap hasil *marshall* untuk *AC-Base* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan *styrofoam* pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) ditinjau dari karakteristik uji Marshall. Adapun capaian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mencari KAO campuran *AC-Base* pada penelitian.
2. Untuk mencari kadar *styrofoam* optimum pada campuran *AC-Base*.
3. Untuk mengetahui sampai berapa kadar *styrofoam* masih bisa digunakan atau masih memenuhi spesifikasi uji karakteristik aspal PEN 60/70 dan spesifikasi uji *marshall*.
4. Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah *styrofoam* terhadap hasil *marshall* untuk *AC-Base*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari masalah yang telah diuraikan diatas dan mengingat keterbatasan waktu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah pada penulisan Tugas Akhir ini, antara lain :

1. Tipe plastik yang digunakan sebagai campuran aspal adalah limbah *styrofoam*.
2. Jenis perkerasan berupa Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*).
3. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70.
4. Kadar penambahan *styrofoam* dengan variasi 0%; 2%; 4%; 6%; 8%; dan 10% dari total berat aspal.
5. Metode pencampuran menggunakan metode basah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada pembaca tentang pentingnya penggunaan limbah *styrofoam* dalam bidang konstruksi jalan.
2. Dapat mengurangi jumlah sampah *styrofoam* di Indonesia
3. Dapat meningkatkan kualitas aspal dan nilai tambah plastik sebagai bahan konstruksi

1.6 Lokasi Penelitian

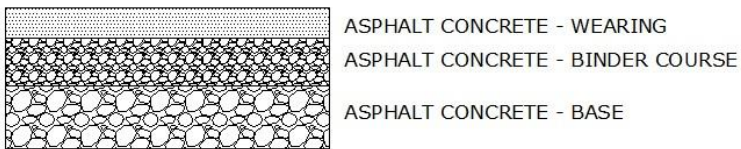
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi & Geoteknik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis beton aspal (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Silvia Sukirman, 1999). Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus dan filler yang bergradasi baik yang dicampur dengan penetration grade aspal.

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis yaitu : AC lapis aus (AC-WC), AC lapis antara (AC-BC), dan AC lapis pondasi (AC-Base), dengan ukuran maksimum agregat masing – masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal *polymer* disebut masing – masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). Pada penelitian kali ini digunakan jenis lapisan AC-Base Modifikasi. Susunan lapis perkerasan pada Laston dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Laston

Sumber : <https://kitasipil.com>

2.2 Spesifikasi Laston

Berdasarkan PU Bina Marga, spesifikasi umum 2018, adapun ketentuan sifat-sifat campuran laston, lihat **Tabel 2.1** :

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) Pasal 6.3.3. (1c)

Sifat – sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3.0		
	Maks.	5.0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁰ C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.3 Material Penyusun Laston

Berdasarkan PU Bina Marga, spesifikasi umum 2018 , pasal 6.3.2 ayat 1, adapun ketentuan-ketentuan pemilihan agregat sebagai berikut :

- a. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspalsesuai dengan syarat-syarat spesifikasi campuran Laston.
- b. Penyerapan air oleh agregat maksimal 3%.
- c. Berat jenis (Spesific Gravity) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

Ketentuan pengujian agregat diperlukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik agregat sebelum digunakan sebagai bahan campuran beraspal panas. Jenis pengujian agregat dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Jenis Pengujian Agregat Untuk Campuran Beraspal Panas

Nomor Standar	Judul Pengujian
SNI 2417:2008	Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles
SNI 03-4142-1996	Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan (0,075 mm)
SNI 03-1968-1990	Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar
SNI 1969:2008	Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
SNI 1970:2008	Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Sumber : Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002 Departemen PU

Adapun persyaratan agregat kasar dan halus berdasarkan Pd T-04-2005-B dapat dilihat pada **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4**.

Tabel 2.3 Persyaratan Agregat Standar Kasar

Pengujian	Metode	Persyaratan		Satuan
		Min.	Maks.	
Berat Jenis	SNI 1969:2008	2,5	-	kg/m ³
- Bulk		2,5	-	
- SSD		2,5	-	

Pengujian	Metode	Persyaratan		Satuan
		Min.	Maks.	
- Apparent				
Penyerapan terhadap air	SNI 1969:2008	-	3	%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	-	40	%

Sumber : Pd T-04-2005-B Departemen Pekerjaan Umum, 2005

Tabel 2.4 Persyaratan Agregat Standar Halus

Pengujian	Metode	Satuan	Persyaratan	
			Min.	Maks.
Berat Jenis				
- Bulk	SNI 1970:2008	kg/m ³	2,5	-
- SSD			2,5	-
- Apparent			2,5	-
Penyerapan terhadap air	SNI 1970:2008	%	-	3

Sumber : Pd T-04-2005-B Departemen Pekerjaan Umum, 2005

2.3.1 Agregat Kasar

Berdasarkan PU Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 syarat – syata agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 2.5** :

Tabel 2.5 Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Kasar Pasal 6.3.2.

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 Putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 Putaran		Maks. 30%
	Semua Jenis Campuran Aspal Bergradasi Lainnya	100 Putaran		Maks. 8%
		500 Putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar			SNI 7619:2012	95/90 [*])
Partikel pipih dan lonjong			ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200			SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.3.2 Agregat Halus

Berdasarkan PU Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018, adapun syarat – syarat agregat halus, lihat **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Halus Pasal 6.3.2

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.3.3 Spesifikasi Agregat Gabungan

Berdasarkan PU Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018, Pasal 6.3.2 ayat 5, Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam **Tabel 2.7** rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran						
	Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang				
	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base
37,5							100
25						100	90-100
19	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5	90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75					53-69	46-64	35-54
2,36	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18					21-40	18-38	13-30
0,600	35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300			15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150					6-15	5-13	4-10
0,075	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.3.4 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

Berdasarkan PU Bina Marga, spesifikasi umum 2018 , pasal 6.3.2 ayat 6, spesifikasi bahan aspal yang dapat digunakan sebagai berikut, lihat di **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Persyaratan aspal keras berdasarkan penetrasi

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan
				Pen. 60/70
1.	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,01 mm	SNI 2456:2011	60-79
2.	Titik Lembek	°C	SNI 2434:2011	(50-58)
3.	Titik Nyala	°C	SNI 2433:2011	Min. 200
4.	Daktalitas, 25 °C	cm	SNI 2432:2011	Min. 100
5.	Penurunan Berat (dengan TFOT)	% berat	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8
6.	Berat Jenis	-	SNI 2441:2011	Min. 1,0

Sumber : RSNi S-01-2003, Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi Departemen PU, 2003

2.4 Perencanaan Kadar Aspal

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb), berdasarkan rumus empiris pada persamaan berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\% FF) + K \quad (2.1)$$

Dimana,

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, (persen terhadap berat campuran)

CA : Persen agregat tertahan saringan No. 8

FA : Persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

FF : (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200

2.5 Plastik Styrofoam Polystyrene (PS)



Gambar 2.2 Styrofoam Bekas yang akan Digunakan pada Penelitian ini dan Kode Resin Plastik *Polystyrene* Angka 6

Sumber : Dokumen Pribadi

Jenis plastik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari – hari adalah *Polystyrene* yang banyak dikenal orang sebagai *styrofoam*. *Polystyrene* terdiri dari 2 jenis yaitu *Extruded Polystyrene* (XPS) dan *Expanded Polystyrene* (EPS) (*Polystyrene Fact Sheet*, 2008). Penelitian ini menggunakan *styrofoam* jenis *Expanded Polystyrene* (EPS) pengemas alat elektronik sebagai bahan campuran aspal. *Polystyrene* jenis EPS merupakan jenis plastik yang banyak sekali digunakan di masyarakat sebagai bahan pengemas makanan dan alat elektronik (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Menurut buku Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Tahun 2002, SBS (*Styrene Butadine Styrene*), SBR (*Styrene Butadine Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*) dan karet adalah jenis – jenis polymer elastomer. Penambahan polymer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat – sifat reologi aspal, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal

Panas, 2002). *Styrofoam* termasuk bahan material *polystyrene* sehingga dapat digunakan sebagai campuran aspal modifikasi polymer elastomer.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan bahan kimia dapat mengikat *styrofoam* dan aspal sehingga mengurangi pemisahan dan menghasilkan produk homogen yang lebih tahan lama. Pemisahan yang terjadi menurun drastis menjadi 5-7%. Hal ini dikarenakan terjadinya ikatan kimia bukan hanya campuran fisik. Peningkatan stabilitas campuran dan sifat yang lebih homogen mengurangi biaya penyimpanan dan meningkatkan umur jalan yang di aspal. Sifat baik yang muncul adalah meningkatkan sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi (Rahmawati, 2016).

2.6 Metode Pencampuran Plastik

2.6.1 Cara Kering (*Dry Process*)

Yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperature campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih mudah hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*) (Suroso, 2008).

2.6.2 Cara Basah (*Wet Process*)

Yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar dan *mixer* kecepatan tinggi. Sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar dibandingkan dengan aspal konvensional (Suroso, 2008).

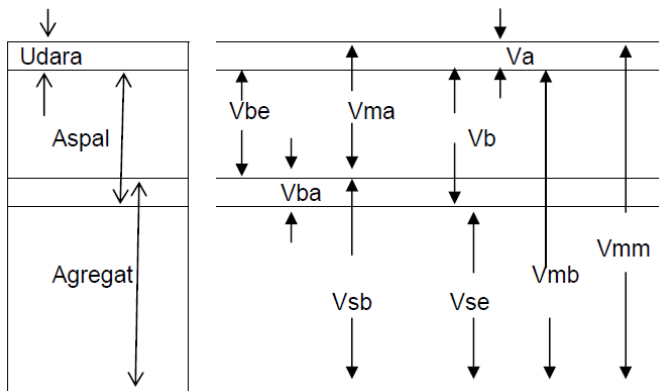
Pada penelitian kali ini digunakan metode pencampuran basah karena dirasa caranya aspal akan dapat tercampur secara penuh dan merata pada aspal. Selain itu, pencampuran *styrofoam* dengan metode basah menghasilkan karakteristik marshall dan stabilitas dinamis yang lebih tinggi dari pada metode kering.

Sehingga, apabila penambahan *styrofoam* pada campuran AC – Base dilakukan dengan metode basah akan dihasilkan campuran *styrofoam* dengan aspal yang lebih homogen.

2.7 Pengujian Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran gregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *marshall* standar berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm).

2.8 Parameter Marshall



Gambar 2.3 Hubungan Volume dan Rongga-density Benda Uji Campuran Aspla Panas Padat

Sumber : *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002*
Departemen PU

Pada penelitian ini, penambahan limbah kantong *styrofoam* dalam campuran aspal diharapkan dapat memenuhi parameter Marshall yang meliputi :

2.8.1 Kerapatan Campuran (*Density*)

Nilai *Density* adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal, faktor-faktor yang mempengaruhi *Density* yaitu temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, semakin bertambahnya kadar aspal semakin banyak rongga-rongga udara yang terisi aspal, sehingga kerapatan semakin tinggi

Menurut Roberts, F.L. (1991) bahwa, jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Puncak kemampuan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Sebenarnya kemampuan yang didapat selama pemadatan di laboratorium tidak begitu penting. Hal yang utama adalah kedekatan antara kemampuan yang diperoleh di laboratorium dengan kemampuan yang diperoleh di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Kemampuan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi pula serta kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi.

2.8.2 Prosentase Rongga dalam Campuran / *Void In Mix* (VIM)

Void In Mix adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah didapatkan, dan dinyatakan dalam persen volume bulk (Puslitbang, 2000)

Void In Mix atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidak seragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitasnya campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Rongga udara dalam campuran yang terlalu

kecil dapat menimbulkan *bleeding*. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan maki kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengekibatkan kelelahan lebih cepat.

Persamaan VIM :

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{\text{Gmm} - \text{Gmb}}{\text{Gmm}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam campuran, persen total campuran (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0. (gr/cm^3)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm^3)

Untuk nilai syarat persen VIM ditentukan berdasarkan jenis lapisan permukaan yang dipilih misalnya untuk lapisan *Asphalt Concrete* (AC) atau biasa dikenal dengan aspal beton nilainya antara 3-5 % persyaratan ini berdasarkan Bina Marga tahun, 2018.

2.8.3 Prosentase Rongga diantara Mineral Agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Pengertian rongga dalam mineral / *void in mineral aggregate* (VMA) adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam presentase volume total campuran. Agregat bergradasi menerus memberikan rongga antar butiran VMA yang kecil dan menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil menyebabkan aspal menyelimuti agregat terbatas, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Nilai VMA akan meningkat seiring dengan bertambahnya selimut aspal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

Pengetian VMA berdasarkan Puslitbang, 2000 adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.

Persamaan VMA :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

VMA : Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb : Berat jenis curah agregat

Ps : Agregat, Perse berat total campuran

Gmb : Berat jenis curah campuran padat (ASTM D 2726)

Untuk nilai VMA ini dapat divisualkan dengan kondisi bejana tabung transparan yang diisi dengan agregat dengan ukuran 12,5 mm sampai dengan 4,75 mm, kemudian dilanjutkan dengan pengisian agregat halus saringan dibawah 4,75 mm sampai dengan saringan 0,0075 mm berupa agregat halus dan abu batu dan juga *filler*. Dari pencampuran tersebut akan terciptanya rongga-rongga antar mineral yang tidak terisi. Rongga tersebutlah yang disebut dengan rongga antara butiran agregat dalam campuran. Untuk mengetahui VMA dalam campuran secara visual sulit dilakukan karena telah terjadinya proses pencampuran, sehingga hanya bisa dihitung dengan menggunakan persamaan mencari nilai VMA. Untuk syarat spesifikasi yang di syaratkan Bina Marga 2018 nilai VMA minimal untuk *AC-Base* adalah 13%.

2.8.4 Proses Rongga dalam Campuran yang Terisi Aspal / *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Menurut Puslitbang, 2000 pengertian VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisis aspal efektif dinyatakan dalam persen. dan secara umum menurut Silvia Sukirman, 1999 Rongga terisis campuran aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang

diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan nilai VFA ditentukan persamaan berikut :

Persamaan VFA :

$$VFA = \frac{100(VMA-VIM)}{VMA} \quad (2.4)$$

Keterangan :

VFA : Rongga terisi aspal (%)

VMA : Rongga diantara mineral (%)

VIM : Rongga udara campuran, persen total campuran (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran.

Untuk nilai VFA yang disyaratkan oleh Bina Marga tahun 2018 untuk *AC-Base* minimum adalah 65%

2.8.5 Stabilitas Marshall

Stabilitas Marshall adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (flow) yang dinyatakan dalam kilogram, sedangkan alir (flow) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban yang dinyatakan dalam mm (SNI 06-2489-1991). Stabilitas pada lapisan perkerasan harus mampu menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur, ataupun bleeding.

Sedangkan Menurut *The Asphalt Institute*, Mudianto (2004), Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian Marshall. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2.8.6 Kelelahan (*Flow*)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial (dalam satuan mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*. Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya, sedangkan nilai kelelahan yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis.

2.8.7 Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Berikut ini persamaan untuk nilai MQ :

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (2.5)$$

Keterangan :

MQ : Marshall Quotient (kg/mm)

S : Nilai stabilitas terkoreksi (kg)

F : Nilai flow (mm)

2.9 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Beberapa diantaranya memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan penulis teliti, seperti kesamaan jenis *styrofoam* dan kesamaan lapisan aspal. Beberapa penelitian tersebut adalah :

- a. M. Nassar et. al (2012) dengan judul penelitian “Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt Binder”. Pada penelitian ini didapatkan nilai stabilitas meningkat dan nilai *flow* menurun seiring bertambahnya kadar Expanded Polistirena.

- b. Anita Rahmawati (2016) dengan judul penelitian “Pengaruh Limbah Padat *Styrofoam* dengan Variasi Kadar 0%; 1%; 2%; 3%; 4%; 5% dan 6% pada Campuran HRS-WC Ditinjau dari Karakteristik Marshall”. Pada penelitian ini menggunakan *styrofoam* sebagai bahan tambah (*additive*) yang digunakan dalam campuran HRS-*Wearing Course* dengan kadar aspal optimum sebesar 7% dan kadar *styrofoam* yang diuji sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% dengan metode Marshall. Dari penelitian ini didapatkan bahwa nilai MQ dan nilai stabilitas yang didapatkan semakin naik seiring dengan ditambahkan prosentase kadar *styrofoam*.
- c. Emil Adly (2016) dengan judul penelitian “*Styrofoam* sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%; 6,5%; 7,5%; 8,5% dan 9,5% pada Campuran AC-WC”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh campuran aspal modifikasi dengan metode Marshall pada campuran AC-WC. Dari hasil pengujian didapat kadar aspal optimum sebesar 5,5% dengan campuran kadar *styrofoam* yang diuji adalah 6,5%; 7,5%; 8,5%; dan 9,5%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada campuran kadar 0% - 9,5% masuk kedalam spesifikasi. Nilai stabilitas terendah didapat pada kadar 0% dan nilai spesifikasi tertinggi pada kadar 6,5%. Kadar terbaik yang didapat pada pengujian penggantian aspal dengan *styrofoam* adalah 7,5%.
- d. Adella Pratita Sari (2017) dengan judul penelitian “Pengaruh Penggunaan *Styrofoam* Sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%; 6,5%; 7,5%; 8,5% dan 9,5% pada Campuran HRS-WC”. Pada penelitian ini *styrofoam* digunakan sebagai bahan pengganti aspal penetrasi 60/70 pada campuran HRS – *Wearing Course* dengan kadar aspal optimum sebesar 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% dan kadar *styrofoam* yang di uji sebesar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% dengan metode Marshall. Dari hasil penelitian didapatkan nilai stabilitas pada penelitian ini mengalami

penurunan dengan bertambahnya kadar *styrofoam* dan nilai stabilitas memenuhi Spesifikasi Departemen PU 2010 (Revisi 3). Nilai MQ tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 6,5% *styrofoam* yaitu mencapai 1039,46 kg/mm.

- e. Reni Permanasari (2017) dengan judul penelitian “Pengaruh Penggunaan *Styrofoam* sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%, 7%, 8%, 9% dan 10% pada Campuran AC-WC”. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan *Styrofoam* bekas tempat makanan sebagai alternatif untuk campuran AC-WC dengan cara dicampurkan kedalam aspal pada suhu ± 280 °C. Kadar aspal yang diuji adalah 7%, 8%, dan 9%, dan 10% dari KAO 5,5% dengan menggunakan metode pengujian *Marshall*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa nilai stabilitas semua memenuhi spesifikasi, nilai paling tinggi terdapat pada kadar 8% yaitu 1392,13 kg. Kadar terbaik yang didapat adalah pada penggantian aspal dengan *styrofoam* kadar 7%.

2.10 Hubungan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

Penelitian tentang pemanfaatan limbah *styrofoam* sebagai inovasi material pada campuran aspal telah banyak dilakukan. Hal tersebut, dapat di tinjau dari banyaknya paper atau jurnal ilmiah yang membahas hal tersebut. Adapun yang dapat saya simpulkan berdasarkan penelitian dengan topik “Pemanfaatan limbah *styrofoam* sebagai campuran Aspal” sebagai berikut :

1. Penentuan KAO secara general, yang menyebabkan nilai hasil parameter marshall pada benda uji tidak maksimal, karena dalam penggunaannya setiap proporsi kadar *styrofoam* yang di campurkan, memiliki nilai KAO yang berbeda beda.
2. Dalam penelitian sebelumnya, belum banyak dijelaskan secara detail hasil parameter marshall setelah diuji, rata

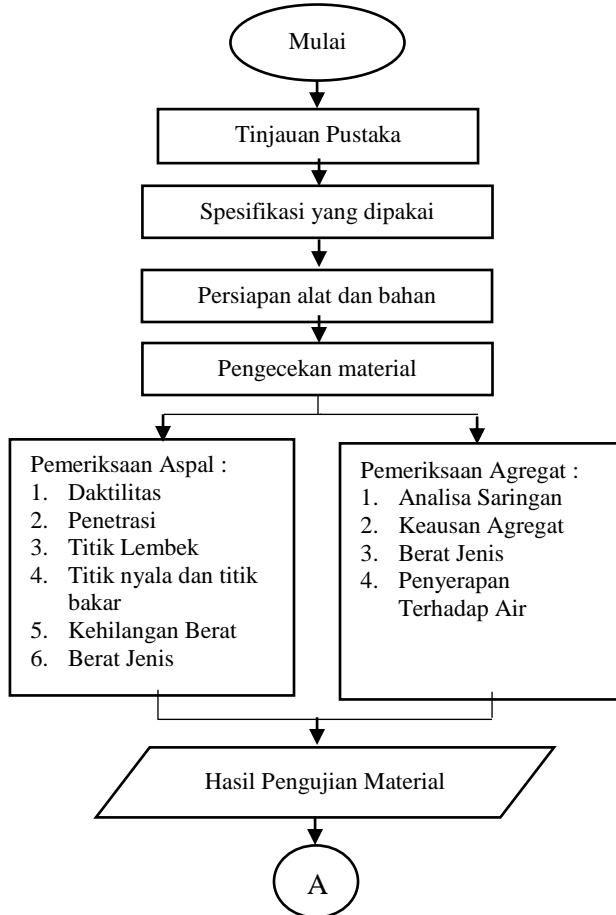
rata hanya memberikan hasil akhir pengaruh terbesar pada parameter uji Marshall dan rata rata menyimpulkan hanya parameter stabilitas.

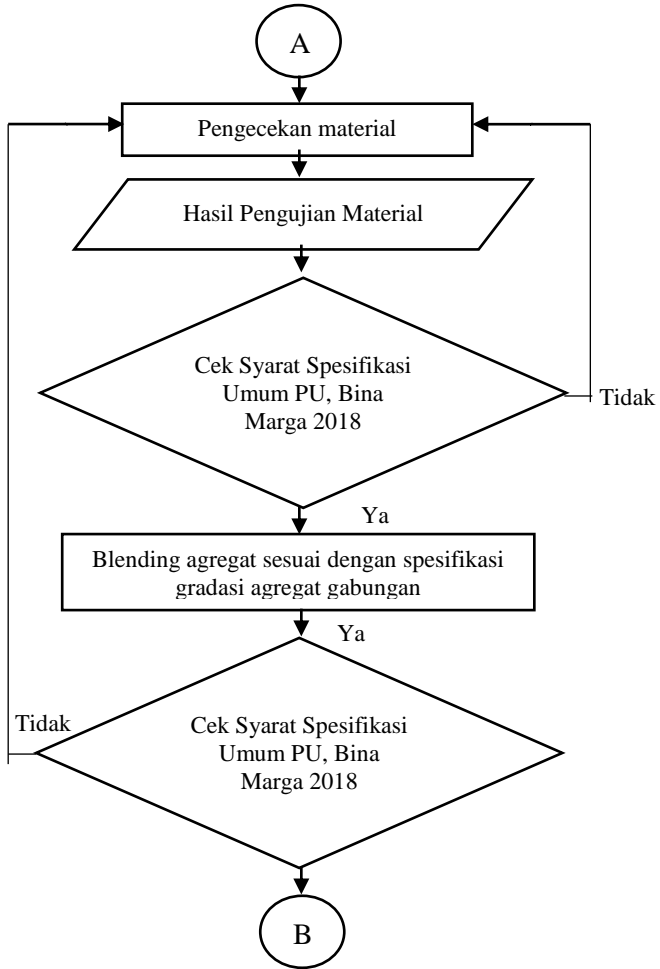
3. Kadar *styrofoam* yang digunakan yaitu antara 0% - 10%.
4. Kadar *styrofoam* yang dapat meningkatkan stabilitas aspal secara optimum yaitu antara 6,5% - 7,5%.

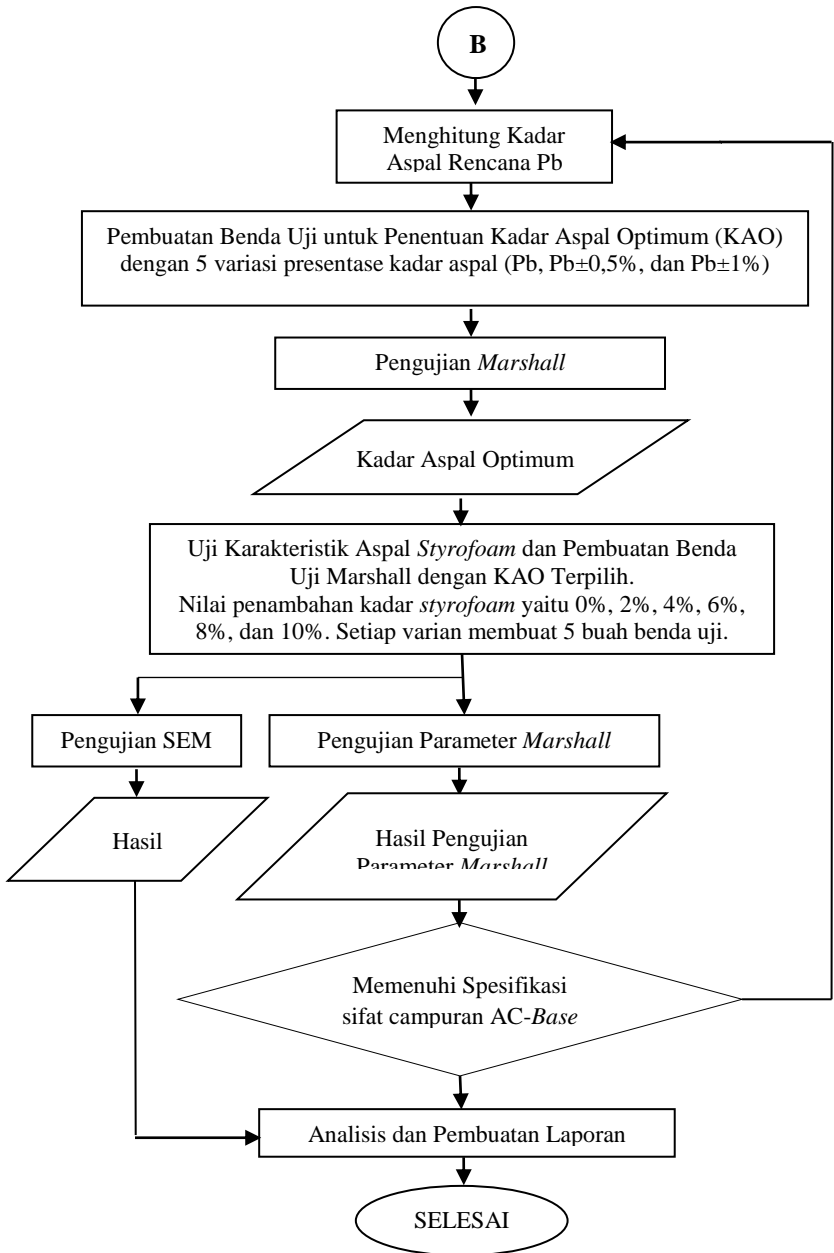
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Data Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Adapaun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan pengujian yang akan digunakan meliputi satu set saringan (*Sieve*), alat uji aspal berupa uji penetrasi, uji kehilangan berat, dan uji daktalitas. Selain itu juga sangat dibutuhkan peralatan uji aggregate meliputi *Los Angeles Machine*, *Marshall*, alat pengering, dan kelengkapan penimbangan serta peralatan penunjang penelitian seperti wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember.

Bahan

Untuk penelitian ini dibutuhkan material uji berupa limbah *styrofoam* serta material utama pembuatan lapisan aspal beton yang meliputi Agregat kasar, aggregate halus, aspal 60/70.

Threatment Styrofoam

Adapun langkah-langkah pengolahan *styrofoam* tersebut sebelum di masukkan dalam campuran aspal sebagai berikut :

1. *Styrofoam* di siapkan.
2. Bersihkan *styrofoam* dari lumpur atau zat-zat yang menempel pada *styrofoam*, pastikan *styrofoam* dalam keadaan bersih.
3. Potong *styrofoam* kecil – kecil dengan ukuran 5 mm

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengujian Material

a. Aspal pen. 60/70

Dilakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, serta kehilangan berat sesuai peraturan yang telah ada yaitu standar nasional Indonesia dan bina marga.

b. Agregat dan *filler*

Agregat dan *filler* sangat diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi agregat kasar dan agregat halus. Untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan maka perlu dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan.

3.4.2 Pembuatan Lapisan AC-Base tanpa Styrofoam

1. Menentukan kadar aspal rencana berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 terhadap berat agregat rencana. Didapat 5 variasi kadar aspal yaitu sebesar Pb; $Pb \pm 0,5\%$; dan $Pb \pm 1\%$ dari berat total agregat dengan setiap variasi memiliki 5 sampel benda uji.
2. Menimbang berat agregat dan aspal sesuai rencana yang didapat.
3. Mencampurkan bahan-bahan yang telah disiapkan pada suhu $155\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Mencetak sampai material sesuai bentuk yang ditentukan

3.4.3 Pengujian Lapisan AC-Base tanpa Styrofoam

Pengujian yang dilakukan adalah uji parameter Marshall terhadap 5 variasi kadar aspal rencana. Berdasarkan parameter Marshall yang didapat, ditentukan kadar aspal optimum (KAO).

3.4.4 Pembuatan Lapisan AC-Base dengan Styrofoam

1. Menimbang berat agregat dan aspal sesuai dengan rencana KAO yang didapat.
2. Menyiapkan limbah *styrofoam* dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat campuran aspal.
3. Mencampurkan bahan – bahan yang telah disiapkan pada suhu minimal $155\text{ }^{\circ}\text{C}$

4. Mencetak sampel material sesuai bentuk yang diinginkan.

3.4.5 Pencampuran Limbah *Styrofoam*

Pada penelitian kali ini cara pencampuran limbah *styrofoam* yang digunakan menggunakan cara basah (*Wet Process*). Yaitu suatu cara pencampuran dimana *styrofoam* dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar dan *mixer* kecepatan tinggi. Sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar dibandingkan dengan aspal konvensional.

3.4.6 Perhitungan Jumlah Sampel Penelitian

- Benda uji tanpa penambahan limbah *styrofoam* :
 1. Pb = 3 sampel
 2. Pb + 0,5% = 3 sampel
 3. Pb - 0,5% = 3 sampel
 4. Pb + 1% = 3 sampel
 5. Pb - 1 % = 3 sampel

Terdapat 15 benda uji untuk campuran aspal tanpa penambahan limbah *styrofoam*. Benda uji akan diuji Marshall dan akan ditentukan KAO.

- Benda uji dengan penambahan limbah *styrofoam* variasi kadar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%
 1. Penambahan *styrofoam* kadar 2% = 5 sampel
 2. Penambahan *styrofoam* kadar 4% = 5 sampel
 3. Penambahan *styrofoam* kadar 6% = 5 sampel
 4. Penambahan *styrofoam* kadar 8% = 5 sampel
 5. Penambahan *styrofoam* kadar 10% = 5 sampel

Terdapat 25 benda uji untuk campuran aspal tanpa penambahan limbah *styrofoam*. Benda uji akan diuji Marshall dan akan ditemukan kadar *styrofoam* optimum.

- Total benda uji yang dibuat sebanyak 40 benda uji.

3.4.7 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Hasil pengujian SEM untuk membandingkan morfologi permukaan hasil dari aspal murni, Aspal AC-Base dan AC-Base dengan penambahan *styrofoam*.

3.4.8 Pengujian dengan Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (flow) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991 dengan dilakukan pembebanan dengan kecepatan tetap (2 inch.) per menit, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas Marshall.

3.4.9 Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap kepadatan
- Kadar aspal terhadap VIM
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang akan digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Laston Lapis Pondasi, maka bisa dilakukan tahap selanjutnya. Jika tidak, harus dilakukan pengecekan ulang atau mengganti material yang sudah ada. Material agregat yang digunakan berasal dari PT Calvary Abadi dan Aspal Penetrasi 60/70 yang digunakan berasal dari PT Bumindo Mojokerto.

Pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Pengujian material yang diujikan meliputi : Sifat agregat (kasar, sedang, dan halus) dan pemeriksaan sifat fisik aspal pen. 60/70. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Geoteknik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

4.1.1 Analisa Saringan Agregat

Analisa Saringan Agregat adalah penentuan prosentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan. Dari analisa saringan, dapat menentukan ukuran butiran/gradasi dari agregat. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat yaitu agregat ukuran 10-20 mm, 10-10 mm, 5-10 mm, dan 0-5 mm. Hasil dari uji analisa saringan adalah sebagai berikut :

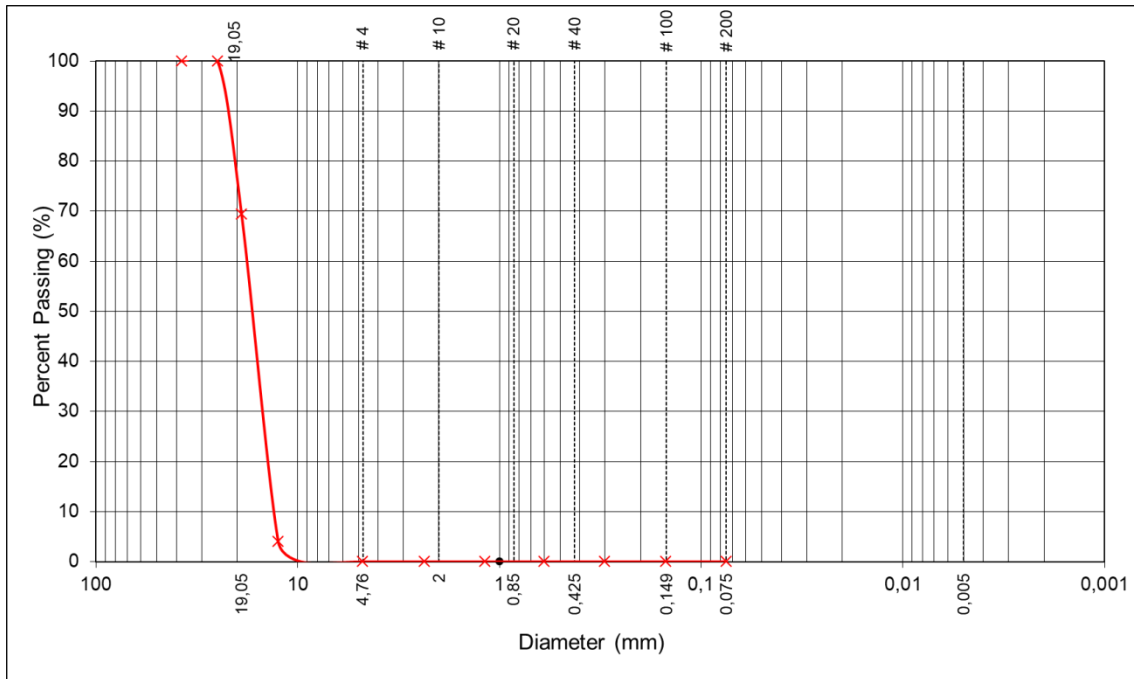
1. Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Tabel 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-20 mm)

Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar								
Agregat 10/20		Berat Sampel :			3000 gr			
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
1	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	100,00
2	1"	0	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
3	3/4"	896	804	1050	916,67	916,67	30,56	69,44
4	1/2"	1942	2064	1886	1964	2880,67	96	4
5	3/8"	162	140	62	121,33	3002	100	0
6	No. 4	-	-	-	0	0	0	0
7	No. 8	-	-	-	0	-		
8	No. 16	-	-	-	0	-		
9	No. 30	-	-	-	0	-		
10	No. 50	-	-	-	0	-		

Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar								
Agregat 10/20		Berat Sampel : 3000 gr						
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
11	No. 100	-	-	-	0	-		
12	No. 200	-	-	-	0	-		
13	Pan	-	-	-	0	-		
Jumlah		3000	3008	2998	3002,00			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10/20

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa saringan agregat ukuran 10/20 pada **Tabel 4.1** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram.
- Berat agregat rata – rata setelah dilakukan penyaringan adalah 3002 gram.

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{3}{4}'' &= \text{Jumlah berat tertahan saringan } 1'' + \text{Rata2} \\ &\quad \text{berat tertahan saringan } \frac{3}{4}'' \\ &= (0 + 916,67) \text{ gram} \\ &= 916,67 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{3}{4}'' &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\Sigma \text{ Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\% \\ &= \frac{916,67}{3000} \times 100\% \\ &= 30,56\% \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{3}{4}'' &= 100\% - \Sigma \% \text{ Tertahan Saringan } \frac{3}{4}'' \\ &= 100\% - 30,56\% \\ &= 69,44\% \end{aligned}$$

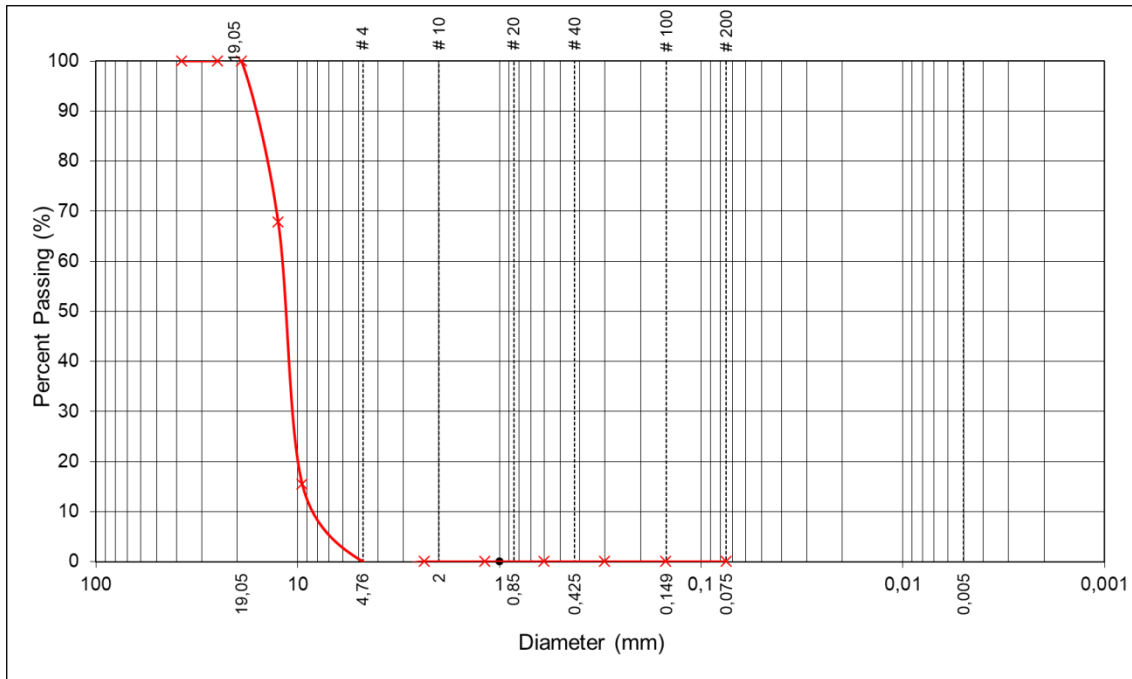
2. Agregat Kasar (CA) 10-10 mm

Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm)

Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar								
Agregat 10/10		Berat Sampel :			3000 gr			
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
1	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	100
2	1"	0	0	0	0	0,00	0	100
3	3/4"	0	0	0	0	0,00	0	100
4	1/2"	1020	920	960	966,67	966,67	32,22	67,78
5	3/8"	1564	1642	1508	1571,3 3	2538,00	84,60	15,40
6	No. 4	420	440	528	462,67	3000,67	100	0
7	No. 8	-	-	-	0	0	0	0
8	No. 16	-	-	-	0	-		
9	No. 30	-	-	-	0	-		
10	No. 50	-	-	-	0	-		

Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar								
Agregat 10/10		Berat Sampel : 3000 gr						
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
11	No. 100	-	-	-	0	-		
12	No. 200	-	-	-	0	-		
13	Pan	-	-	-	0	-		
Jumlah		3004	3002	2996	3000,6 7			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10/10

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa saringan agregat ukuran 10/10 pada **Tabel 4.2** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat rata – rata setelah dilakukan penyaringan adalah 3000,67 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{1}{2}'' &= \text{Jumlah berat tertahan saringan } \frac{3}{4}'' + \text{Rata2} \\ &\quad \text{berat tertahan saringan } \frac{1}{2}'' \\ &= (0 + 966,67) \text{ gram} \\ &= 966,67 \text{ gram} \end{aligned}$$
- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{1}{2}'' &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\Sigma \text{ Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\% \\ &= \frac{966,67}{3000} \times 100\% \\ &= 32,22\% \end{aligned}$$
- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

$$\begin{aligned} \text{Saringan } \frac{1}{2}'' &= 100\% - \Sigma \% \text{ Tertahan Saringan } \frac{1}{2}'' \\ &= 100\% - 32,22\% \\ &= 67,78\% \end{aligned}$$

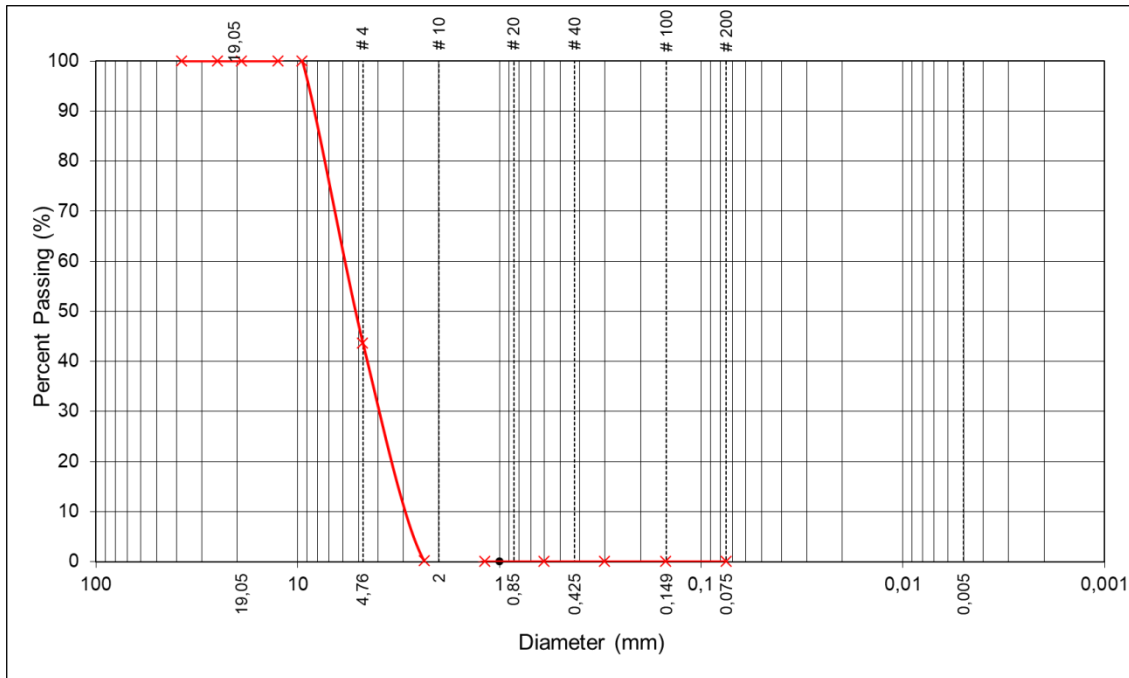
3. Agregat Sedang (MA) 5-10 mm

Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm)

Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang								
Agregat 5/10		Berat Sampel :			3000 gr			
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
1	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	100
2	1"	0	0	0	0	0	0	100
3	3/4"	0	0	0	0	0	0	100
4	1/2"	0	0	0	0	0	0	100
5	3/8"	0	0	0	0	0	0	100
6	No. 4	1630	1764	1682	1692	1692	56,40	43,60
7	No. 8	1364	1238	1314	1305,3 3	2997,33	100	0
8	No. 16	-	-	-	0	0	0	0
9	No. 30	-	-	-	0	-		
10	No. 50	-	-	-	0	-		

Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang								
Agregat 5/10		Berat Sampel : 3000 gr						
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
11	No. 100	-	-	-	0	-		
12	No. 200	-	-	-	0	-		
13	Pan	-	-	-	0	-		
Jumlah		2994	3002	2996	2997,3 3			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.3 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 5/10

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa saringan agregat ukuran 5/10 pada **Tabel 4.3** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram.
- Berat agregat rata - rata setelah dilakukan penyaringan adalah 2997,33 gram.

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.4} &= \text{Jmlh. berat tertahan saringan 3/8''} + \text{Rata2} \\ &\quad \text{berat tertahan saringan No.4} \\ &= (0 + 1692) \text{ gram} \\ &= 1692 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.4} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\% \\ &= \frac{1692}{3000} \times 100\% \\ &= 56,40\% \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.4} &= 100\% - \text{Jumlah \% Tertahan Saringan} \\ &\quad \text{No.4''} \\ &= 100\% - 56,40\% \\ &= 43,60\% \end{aligned}$$

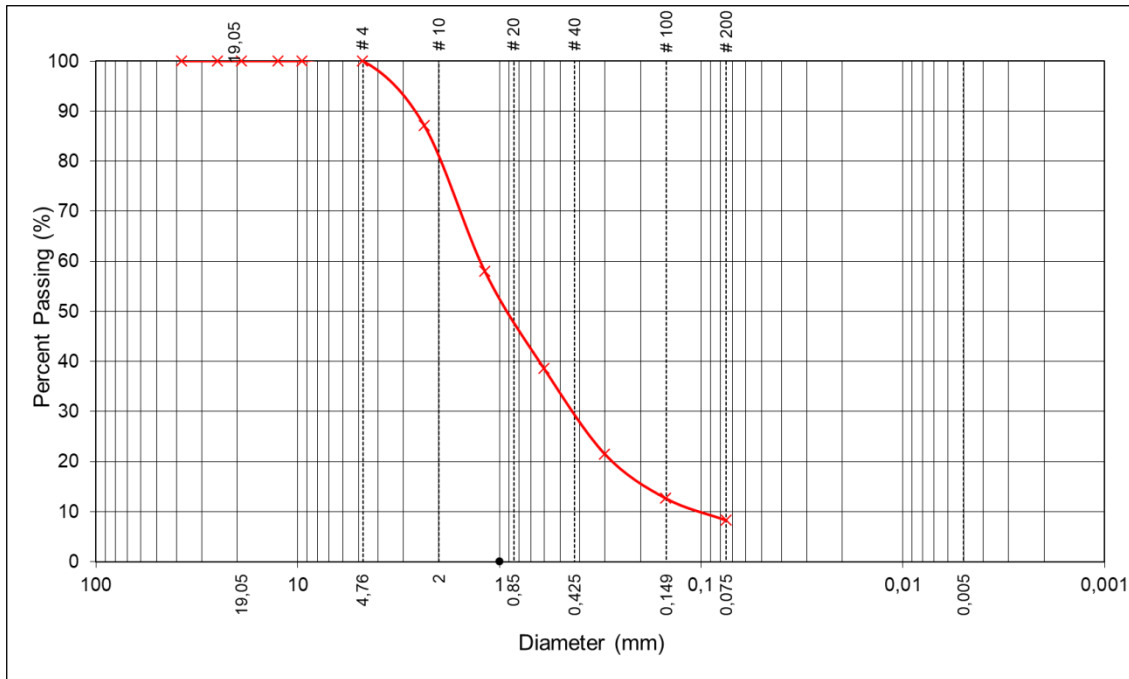
4. Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.4 Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)

Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus								
Agregat 0/5		Berat Sampel :			3000 gr			
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)
1	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	100
2	1"	0	0	0	0	0	0	100
3	3/4"	0	0	0	0	0	0	100
4	1/2"	0	0	0	0	0	0	100
5	3/8"	0	0	0	0	0	0	100
6	No. 4	0	0	0	0	0	0	100
7	No. 8	342	424	394	386,67	386,67	12,89	87,11
8	No. 16	802	946	880	876	1262,67	42,09	57,91
9	No. 30	592	582	572	582	1844,67	61,49	38,51
10	No. 50	552	478	506	512	2356,67	78,56	21,44

Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus								
Agregat 0/5		Berat Sampel : 3000 gr						
No	Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2			
11	No. 100	290	238	264	264	2620,67	87,36	12,64
12	No. 200	158	116	124	132,67	2753,33	91,78	8,22
13	Pan	262	216	226	234,67	2988,00	99,60	0,40
Jumlah		2998	3000	2966	2988,00			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.4 Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 0/5

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa agregat pada **Tabel 4.4** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan adalah 2988 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.8} &= \text{Jmlh. berat tertahan saringan No.4} + \\ &\quad \text{Rata2 berat tertahan saringan No.8} \\ &= (0 + 386,67) \text{ gram} \\ &= 386,67 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.8} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\% \\ &= \frac{386,67}{3000} \times 100\% \\ &= 12,89\% \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

$$\begin{aligned} \text{Saringan No.8} &= 100\% - \text{Jumlah \% Tertahan Saringan } \frac{1}{2}'' \\ &= 100\% - 12,89\% \\ &= 87,11\% \end{aligned}$$

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan penyerapan air agregat. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat yaitu agregat ukuran 10-20 mm, 10-10 mm, 5-10 mm dan 0-5 mm. Metode pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan pada SNI 1969:2008 dan agregat halus berdasarkan pada SNI 1970:2008. Hasil dari uji berat jenis dan penyerapan air agregat terlampir sebagai berikut :

a. Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Tabel 4.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-20 mm)

Agregat 10/20				
Jenis Pengujian	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2
Benda Uji Direndam Selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No. 4, B _k (gr)	2000	2000	2000	2000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, B _j (gr)	2012	2012	2020	2014,67
Berat Benda Uji dalam Air (25°C), B _a (gr)	1278	1280	1276	1278

Sumber : Hasil Pengujian

- **Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-20 mm)**

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2014,67 \text{ g} - 1278 \text{ g}} = 2,71$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{2014,67 \text{ g}}{2014,67 \text{ g} - 1278 \text{ g}} = 2,73$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2000 \text{ g} - 1278 \text{ g}} = 2,77$$

- Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{2014,67 \text{ g} - 2000 \text{ g}}{2000 \text{ g}} \times 100\% = 0,73\%$$

Sesuai dengan Pd T-04-2005-B, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai penyerapan air

memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 0,73%.

b. Agregat Kasar (CA) 10-10 mm

Tabel 4.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)

Agregat 10/10				
Jenis Pengujian	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2
Benda Uji Direndam Selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No. 4, B _k (gr)	2000	2000	2000	2000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, B _j (gr)	2014	2020	2020	2018
Berat Benda Uji dalam Air (25°C), B _a (gr)	1276	1278	1276	1276,67

Sumber : Hasil Pengujian

- **Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)**

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2018 \text{ g} - 1276,67 \text{ g}} = 2,70$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{2018 \text{ g}}{2018 \text{ g} - 1276,67 \text{ g}} = 2,72$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2000 \text{ g} - 1276,67 \text{ g}} = 2,76$$

- Perhitungan Penyerapan Air Agregat

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{2018 \text{ g} - 2000 \text{ g}}{2000 \text{ g}} \times 100\% = 0,9\%$$

Sesuai dengan Pd T-04-2005-B, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 0,9%.

c. Agregat Medium (MA) 5-10 mm

Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (5-10 mm)

Agregat 5/10				
Jenis Pengujian	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Rata2
Benda Uji Direndam Selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No. 4, B_k (gr)	2000	2000	2000	2000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, B_j (gr)	2018	2016	2022	2018,667
Berat Benda Uji dalam Air (25°C), B_a (gr)	1282	1282	1280	1281,33

Sumber : Hasil Pengujian

- **Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (5-10 mm)**
- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2018,67 \text{ g} - 1281,33 \text{ g}} = 2,71$$
- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{2018,67 \text{ g}}{2018,67 \text{ g} - 1281,33 \text{ g}} = 2,74$$
- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{2000 \text{ g}}{2000 \text{ g} - 1281,33 \text{ g}} = 2,78$$
- Perhitungan Penyerapan Air Agregat

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{2018,67 \text{ g} - 2000 \text{ g}}{2000 \text{ g}} \times 100\% = 0,93\%$$

Sesuai dengan Pd T-04-2005-B, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 0,93%.

d. Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.8 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm)

Agregat 0/5			
Pengujian	Perc. 1	Perc. 2	Rata2
Benda Uji Rendam Air Selama (Hari)	3	3	3
Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (gram)	500	500	500
Berat Piknometer Diisi Air (25°C) (B) (gram)	656	654	655
Berat Piknometer + Agr SDD + Air (25°C) (B _i) (gram)	968	966	967
Benda Uji Kering Oven (B _k) (gram)	482	490	486

Sumber : Hasil Pengujian

- **Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (0-5 mm)**
- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B + SSD - B_t} = \frac{486 \text{ g}}{655 \text{ g} + 500 \text{ g} - 967 \text{ g}} = 2,59$$
- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{SSD}{B + SSD - B_t} = \frac{500 \text{ g}}{655 \text{ g} + 500 \text{ g} - 967 \text{ g}} = 2,66$$
- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B + B_k - B_t} = \frac{486 \text{ g}}{655 \text{ g} + 486 \text{ g} - 967 \text{ g}} = 2,79$$
- Perhitungan Penyerapan Air Agregat

$$\frac{(\text{SSD} - \text{Bk})}{\text{Bk}} \times 100\% = \frac{500 \text{ g} - 486 \text{ g}}{486 \text{ g}} \times 100\% = 2,88\%$$

Sesuai dengan Pd T-04-2005-B, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 2,88%.

4.1.3 Keausan Agregat

Daya Tahan Agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis (Degradasi) ataupun kimia (Disintegrasi). Degradasi didefinisikan sebagai pelapukan mekanis yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun beban lalu lintas. Dengan Mesin Los Angeles, hal yang dapat diuji adalah kerana pengaruh Mekanis (Degradasi) saja. Pada pengujian ini digunakan cara B dengan menggunakan benda uji yang lolos saringan $3/4''$ dan tertahan saringan $3/8''$, serta jumlah bola 11 buah dan jumlah putaran sebanyak 500. Hasil dari uji keausan agregat terlampir sebagai berikut :

- Berat agregat tertahan ayakan $3/8''$ = 2500 g
- Berat agregat tertahan ayakan $1/2''$ = 2500 g
- Berat benda uji (a) = 5000 g
- Berat benda uji tertahan ayakan No. 12 (b) = 3926 g

$$\begin{aligned} \text{Nilai keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 3926}{5000} \times 100\% \\ &= 21,48\% \end{aligned}$$

Sesuai Pd T 04-2005-B, nilai keausan agregat sebesar $21,48\% \leq 40\%$. Dari pegujian yang telah dilakukan, nilai keausan agregat memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 21,48%.

Dari pengujian sifat fisik agregat diatas, maka didapatkan hasil yang terlampir dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

No	Pengujian	Metode	Hasil	Batas	Keterangan
Agregat Kasar 10-20					
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969:2008	2,71	≥ 2,5	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969:2008	2,73	≥ 2,5	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969:2008	2,77	≥ 2,5	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969:2008	0,73%	≤ 3%	OK
5	Keausan	SNI 2417:2008	21,48%	≤ 40%	OK
No	Pengujian	Metode	Hasil	Batas	Keterangan
Agregat Kasar 10-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969:2008	2,70	≥ 2,5	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969:2008	2,72	≥ 2,5	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969:2008	2,76	≥ 2,5	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969:2008	0,90%	≤ 3%	OK
5	Keausan	SNI 2417:2008	21,48%	≤ 40%	OK
Agregat Kasar 5-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969:2008	2,71	≥ 2,5	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969:2008	2,74	≥ 2,5	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969:2008	2,78	≥ 2,5	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969:2008	0,93%	≤ 3%	OK
Agregat Halus 0-5					
1	Berat Jenis Curah	SNI 1970:2008	2,59	≥ 2,5	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1970:2008	2,66	≥ 2,5	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1970:2008	2,79	≥ 2,5	OK

No	Pengujian	Metode	Hasil	Batas	Keterangan
4	Penyerapan Air	SNI 1970:2008	2,88%	≤ 3%	OK

Sumber : Hasil Rekapitulasi Perhitungan

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 4.9**, dapat disimpulkan bahwa semua fraksi agregat yang digunakan memenuhi standart yang telah ditentukan.

Dalam menghitung Parameter marshall, diperlukan Parameter hitungan yaitu :

- Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan (Gsb)
- Berat Jenis Efektif Agregat Gabungan (Gse)

Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian agregat serta cara menghitung Gsb dan Gse :

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat

Fraksi	% Agregat	Berat Jenis			% Penyerapan	BJ Pakai	[2]/[7]
		Bulk	SSD	Semu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Agg. 10-20	35	2,71	2,73	2,77	0,73	2,74	12,76
Agg. 10-10	10	2,70	2,72	2,76	0,90	2,73	3,66
Agg. 5-10	15	2,71	2,74	2,78	0,93	2,75	5,46
Agg. 0-5	40	2,59	2,66	2,79	2,88	2,69	14,87
Total							36,76

Sumber : Hasil Rekapitulasi Perhitungan

1. Menghitung Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan (Gsb)

$$\begin{aligned}
 Gsb &= \frac{100}{\frac{\% \text{ Agg (10-20)}}{BJ. \text{ Agg (10-20)}} + \frac{\% \text{ Agg(10-10)}}{BJ. \text{ Agg(10-10)}} + \dots + \frac{\% \text{ Agg n}}{BJ. \text{ Agg n}}} \\
 &= \frac{100}{\frac{35\%}{2,71} + \frac{10\%}{2,70} + \frac{15\%}{2,71} + \frac{40\%}{2,59}}
 \end{aligned}$$

$$= 2,66$$

2. Menghitung Berat Jenis Efektif Agregat Gabungan (Gse)

$$\begin{aligned} Gse &= \frac{100}{\frac{\% \text{ Agg (10-20)}}{\text{BJ. Agg (10-20)}} + \frac{\% \text{ Agg(10-10)}}{\text{BJ. Agg(10-10)}} + \dots + \frac{\% \text{ Agg n}}{\text{BJ. Agg n}}} \\ &= \frac{100}{\frac{35\%}{2,74} + \frac{10\%}{2,73} + \frac{15\%}{2,75} + \frac{40\%}{2,69}} \\ &= 2,72 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada **Tabel 4.10** dan perhitungan nilai Gsb serta Gse didapatkan hasil 2,66 untuk nilai Gsb dan 2,72 untuk nilai Gse.

4.1.4 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Uji Karakteristik Aspal

PENGUJIAN ASPAL						
No.	Pengujian Aspal	Metode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	78,2	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	53,5	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	215	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	161	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1	-	1,042	Memenuhi
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,039	Memenuhi

4.2 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan campuran menggunakan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Dimana spesifikasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah Laston Lapis Pondasi atau biasa disebut dengan *AC-Base*. Pada penelitian ini digunakan penggabungan 4 fraksi agregat dengan cara analitis. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi dengan cara analitis :

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D \quad (4.1)$$

Dimana :

P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan

A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar ukuran d = ... mm

B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium ukuran d = ... mm

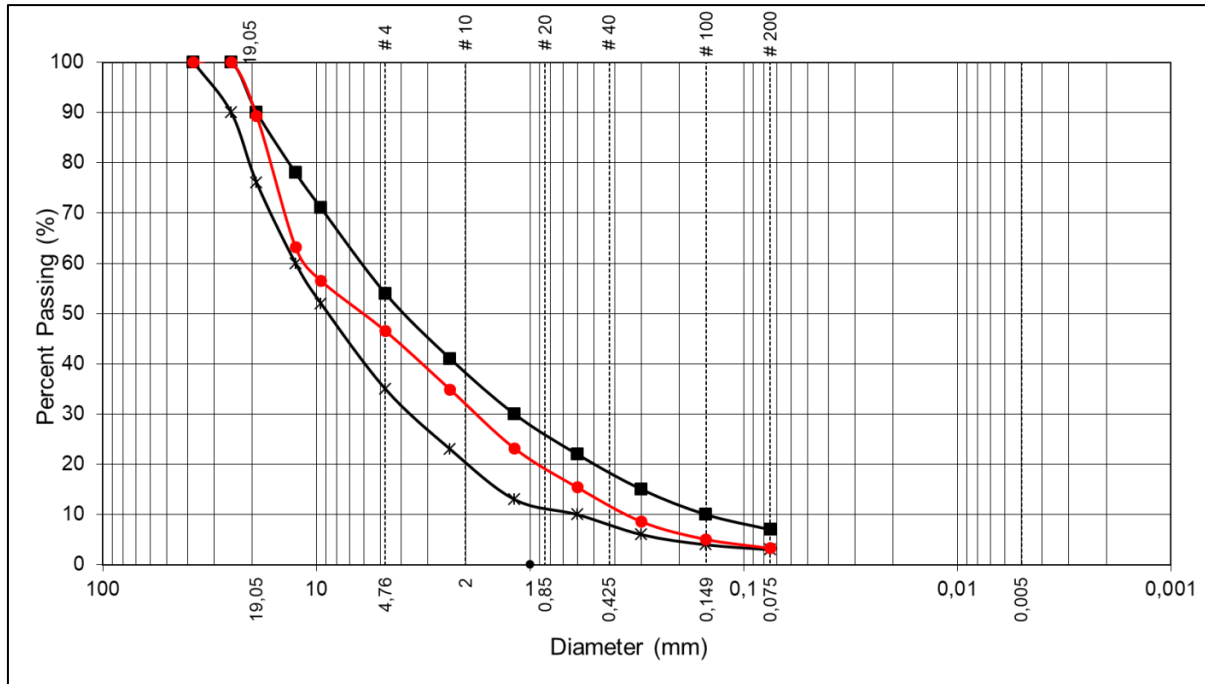
C = Persen lolos saringan fraksi agregat halus ukuran d = ... mm

D = Persen lolos saringan fraksi agregat filler ukuran d = ... mm

Untuk prosentase nilai a, b, c diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2018 mengenai batas agregat campuran *AC-Base*. Berikut tabel dan grafik mengenai prosentase penggabungan agregat (*combined aggregate*) :

Tabel 4.12 Prosentase Penggabungan Agregat (*Combined Agregate*)

Perhitungan Prosentase Lolos Agregat														
Saringan		Prosentase Lolos Agregat												
inc.		Agregat 10/20		Agregat 10/10		Agregat 5/10		Agregat 0/5		Total	Spesifikasi Rencana AC-Base			Ket
ASTM	(mm)	% Lolos	35	% Lolos	10	% Lolos	15	% Lolos	40		BB	-	BA	
1 1/2"	37,5	100	35	100	10	100	15	100	40	100	100	-	100	OK
1"	25	100	35	100	10	100	15	100	40	100	90	-	100	OK
3/4"	19	69,44	24,31	100	10	100	15	100	40	89,31	76	-	90	OK
1/2"	12,5	4	1,39	67,78	6,78	100	15	100	40	63,17	60	-	78	OK
3/8"	9,5	0	0	15,40	1,54	100	15	100	40	56,52	52	-	71	OK
No. 4	4,75	0	0	0	0	43,60	6,54	100	40	46,54	35	-	54	OK
No. 8	2,36	0	0	0	0	0,09	0,01	87,11	34,84	34,86	23	-	41	OK
No. 16	1,18	0	0	0	0	0	0	57,91	23,16	23,16	13	-	30	OK
No. 30	0,600	0	0	0	0	0	0	38,51	15,40	15,40	10	-	22	OK
No. 50	0,300	0	0	0	0	0	0	21,44	8,58	8,58	6	-	15	OK
No. 100	0,15	0	0	0	0	0	0	12,64	5,06	5,06	4	-	10	OK
No. 200	0,075	0	0	0	0	0	0	8,22	3,29	3,29	3	-	7	OK



Gambar 4.5 Grafik Proporsi Agregat
Sumber : Hasil Perhitungan

Dari grafik gabungan 4 fraksi di atas, terlihat bahwa proporsi campurannya berada di antara batas atas dan batas bawah sehingga proporsi campuran diatas memenuhi spesifikasi AC-Base. Dimana proporsi campuran agregat yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah :

Tabel 4.13 Prosentase Variasi Campuran

Agregat	Prosentase Campuran
Agregat Kasar 10-20 mm	35%
Agregat Kasar 10-20 mm	10%
Agregat Sedang 5-10 mm	15%
Agregat Halus 0-5 mm	45%

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji campuran dilakukan setelah semua material telah memenuhi spesifikasi baik spesifikasi fisik maupun spesifikasi Lataston Lapis Pondasi. Pada pembuatan benda uji ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yakni : jumlah benda uji, kadar aspal rencana, agregat yang digunakan, temperatur campuran, dan pemadatan benda uji.

4.3.1 Penentuan Jumlah Benda Uji

- Benda uji tanpa penambahan limbah *styrofoam* :

1. Pb = 3 sampel
2. Pb + 0,5% = 3 sampel
3. Pb - 0,5% = 3 sampel
4. Pb + 1% = 3 sampel
5. Pb - 1 % = 3 sampel

Terdapat 15 benda uji untuk campuran aspal tanpa penambahan limbah *styrofoam*. Benda uji akan diuji Marshall dan akan ditentukan KAO.

- Benda uji dengan penambahan limbah *styrofoam* variasi

1. Penambahan *styrofoam* kadar 2% = 3 sampel
2. Penambahan *styrofoam* kadar 4% = 3 sampel
3. Penambahan *styrofoam* kadar 6% = 3 sampel

4. Penambahan *styrofoam* kadar 8% = 3 sampel

5. Penambahan *styrofoam* kadar 10% = 3 sampel

Terdapat 15 benda uji untuk campuran aspal tanpa penambahan limbah *styrofoam*. Benda uji akan diuji Marshall dan akan ditemukan kadar *styrofoam* optimum.

- Total benda uji yang dibuat sebanyak 40 benda uji.

4.3.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (P_b) sebagai berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \quad (4.2)$$

Dimana :

P_b = Kadar aspal tengah atau ideal, (persen terhadap berat campuran)

CA = Persen agregat tertahan saringan No. 8

FA = Persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

FF = (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No. 200

K = Nilai konstanta (untuk nilai konstanta digunakan 0,5 – 1 untuk Laston)

a. Fraksi Desain Butiran Agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan agregat yang digunakan. Meliputi agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus. Berikut adalah tabel perhitungan fraksi desain butiran agregat. Perhitungan % Lolos didapatkan dari hasil tabel proporsi agregat campuran.

Tabel 4.14 Fraksi Desain Butiran Agregat

Fraksi Desain Butiran Agregat				
Saringan		% Lolos	% Tertahan	Pb (%)
inc.				
ASTM	(mm)			
1 1/2"	37,5	100	0	65,14
1"	25	100	0	
3/4"	19	89,31	10,69	
1/2"	12,5	63,17	26,14	
3/8"	9,5	56,52	6,65	
No. 4	4,75	46,54	9,98	
No. 8	2,36	34,86	11,68	
No. 16	1,18	23,16	11,69	31,57
No. 30	0,6	15,40	7,76	
No. 50	0,3	8,58	6,83	
No. 100	0,15	5,06	3,52	
No. 200	0,075	3,29	1,77	
PAN		0	3,29	3,29

Sumber : Hasil Perhitungan

- Contoh Perhitungan % CA (Tertahan saringan No. 8)

$$\begin{aligned} \text{CA} &= 100\% - \% \text{ Lolos saringan No. 8} \\ &= 100\% - 34,86\% \\ &= 65,14\% \end{aligned}$$
- Contoh Perhitungan % FA (Lolos saringan No. 8, Tertahan saringan No. 200)

$$\begin{aligned} \text{FA} &= 100\% - \text{CA} - \% \text{ Lolos saringan No. 200} \\ &= 100\% - 65,14\% - 3,29\% \\ &= 31,57\% \end{aligned}$$
- Contoh Perhitungan % FF (Lolos saringan No. 200)

$$\begin{aligned} \text{FF} &= 100\% - \text{CA} - \text{FA} \\ &= 100\% - 65,14\% - 31,57\% \\ &= 3,29\% \end{aligned}$$

Sehingga, perkiraan kadar aspal rencana dapat dihitung sebagai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Pb} &= 0,035 (\% \text{CA}) + 0,045 (\% \text{FA}) + 0,18 (\% \text{FF}) + \text{K} \\
 &= 0,035(65,14) + 0,045(32,57) + 0,18(3,29) + 0,5 \\
 &= 4,79\%
 \end{aligned}$$

b. Fraksi Desain Butiran Campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat. Nilai fraksi agregat didapat dari :

- Agregat Kasar (CA)

$$\begin{aligned}
 \text{CA} &= \% \text{CA} \times \frac{100\% - \text{Pb}}{100\%} \\
 &= 65,14\% \times \frac{100\% - 4,79\%}{100\%} \\
 &= 62,02\%
 \end{aligned}$$

- Agregat Halus (FA)

$$\begin{aligned}
 \text{FA} &= \% \text{FA} \times \frac{100\% - \text{Pb}}{100\%} \\
 &= 31,57\% \times \frac{100\% - 4,79\%}{100\%} \\
 &= 30,06\%
 \end{aligned}$$

- Filler (FF)

$$\begin{aligned}
 \text{FF} &= \% \text{FF} \times \frac{100\% - \text{Pb}}{100\%} \\
 &= 3,29\% \times \frac{100\% - 4,79\%}{100\%} \\
 &= 3,13\%
 \end{aligned}$$

Maka total nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Total} &= 62,02\% + 30,06\% + 3,13\% + 4,79\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Perkiraan Awal Penyerapan Aspal

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat.

- Agregat 10-20 = $0,35 \times \text{Penyerapan Agregat 10-20}$
= $0,35 \times 0,73$
= $0,257$
- Agregat 10-10 = $0,1 \times \text{Penyerapan Agregat 10-10}$
= $0,1 \times 0,9$
= $0,09$
- Agregat 5-10 = $0,15 \times \text{Penyerapan Agregat 5-10}$
= $0,15 \times 0,93$
= $0,14$
- Agregat 0-5 = $0,4 \times \text{Penyerapan Agregat 0-5}$
= $0,4 \times 2,88$
= $1,152$
- **Total = $0,257 + 0,09 + 0,14 + 1,152$**
= $1,639$

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

- Penyerapan Aspal = Koefisien x 1,639
= $0,45 \times 1,639$
= $0,73752\%$
- Kadar Aspal = $0,73752\% + 4,79\%$
= $5,54\%$

Perkiraan kadar aspal dalam penelitian ini berdasarkan rentang variasi Pb, $Pb \pm 0,5\%$, dan $Pb \pm 1\%$. Maka perkiraan nilai kadar aspal adalah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Perkiraan Kadar Aspal

Pb - 1%	Pb - 0,5%	Pb	Pb + 0,5%	Pb + 1%
4,54%	5,04%	5,54%	6,04%	6,54%

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.3 Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal yang akan dijadikan sebagai rencana dasar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai besaran proporsi untuk masing – masing material bahan uji sampel aspal. Seperti berat aspal dan jenis agregat dengan total berat 1200 gram untuk setiap sampel, berikut perhitungan mengenai proporsi campuran bahan.

Contoh perhitungan proporsi campuran bahan variasi kadar aspal 1 benda uji 1 :

$$\begin{aligned} \text{Berat kadar aspal} &= \frac{\% \text{Kadar Aspal}}{100\%} \times \text{berat sample} \\ &= \frac{4,54}{100} \times 1200 \\ &= 54,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Berat Agregat} &= 1200 \text{ gram} - 54,5 \text{ gram} \\ &= 1145,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Agg. 10/20} = \frac{35}{100} \times 1145,5 = 400,9 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 10/10} = \frac{10}{100} \times 1145,5 = 114,6 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 5/10} = \frac{15}{100} \times 1145,5 = 171,8 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 0/5} = \frac{40}{100} \times 1145,5 = 458,2 \text{ gram}$$

Tabel 4.16 Variasi Campuran Kadar Aspal 4,54%

Variasi 1	
Kadar Aspal Rencana	4,54%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	54,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 400,9 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 114,6 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 171,8 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 458,2 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Variasi Campuran Kadar Aspal 5,04%

Variasi 2	
Kadar Aspal Rencana	5,04%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	60,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 398,8 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 114,0 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 170,9 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 455,8 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 Variasi Campuran Kasar Aspal 5,54%

Variasi 3	
Kadar Aspal Rencana	5,54%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	66,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 396,7 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 113,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 170,0 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 453,4 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 Variasi Campuran Kasar Aspal 6,04%

Variasi 4		
Kadar Aspal Rencana		6,04%
Berat Sampel		1200 gram
Berat Kadar Aspal		72,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35%	394,6 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10%	112,8 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15%	169,1 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40%	451,0 gram
Total		1200 gram

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.20 Variasi Campuran Kasar Aspal 6,54%

Variasi 5		
Kadar Aspal Rencana		6,54%
Berat Sampel		1200 gram
Berat Kadar Aspal		78,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35%	392,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10%	112,2 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15%	168,2 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40%	448,6 gram
Total		1200 gram

Sumber : Hasil Perhitungan

4.4 Pengujian *Marshall* Aspal Rencana

Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum, maka perlu dilakukan tes marshall berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada masing-masing benda uji. Dari pengujian marshall dapat diketahui apakah nilai kadar aspal rencana (Pb) merupakan kadar aspal optimum atau bukan. Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing – masing kadar aspal rencana.

4.4.1 *Density* (Kepadatan)

Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air, maka didapat nilai *density* sebagai berikut :

Tabel 4.21 Hasil *Density AC-Base* tanpa *Styrofoam*

Kadar Aspal Rencana =		4,54%		Kadar Styrofoam =		0%	
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan		
1	1AG1	1184	682	1204	2,27		
2	1AG2	1188	682	1202	2,28		
3	1AG3	1192	686	1210	2,27		
Rata - rata		1188	683,3	1205,3	2,28		
Kadar Aspal Rencana =		5,04%		Kadar Styrofoam =		0%	
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan		
1	2AG1	1190	690	1202	2,32		
2	2AG2	1190	686	1200	2,32		
3	2AG3	1190	686	1202	2,31		
Rata - rata		1190	687,3	1201,3	2,32		
Kadar Aspal Rencana =		5,54%		Kadar Styrofoam =		0%	
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan		
1	3AG1	1190	688	1198	2,33		
2	3AG2	1184	686	1194	2,33		
3	3AG3	1186	686	1192	2,34		
Rata - rata		1186,67	686,7	1194,7	2,34		
Kadar Aspal Rencana =		6,04%		Kadar Styrofoam =		0%	
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan		
1	4AG1	1180	686	1184	2,37		
2	4AG2	1194	686	1198	2,33		

3	4AG3	1184	684	1188	2,35
Rata - rata		1186	685,3	1190	2,35
Kadar Styrofoam					
Kadar Aspal Rencana =		6,54%	=	0%	
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	5AG1	1182	684	1186	2,35
2	5AG2	1180	684	1188	2,34
3	5AG3	1182	684	1188	2,35
Rata - rata		1181,3	684	1187,3	2,35

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Kepadatan (*density*) adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Untuk memperoleh nilai kepadatan, terlebih dahulu dilakukan penimbangan berat benda uji pada 3 kondisi yaitu keadaan kering, jenuh (SSD), dan berat dalam air. Untuk hasil perhitungan nilai *density* dapat dilihat pada **Tabel 4.21**. *Density* merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji. Berikut adalah contoh perhitungan *density* benda uji 1 dengan kadar aspal 4,54%.

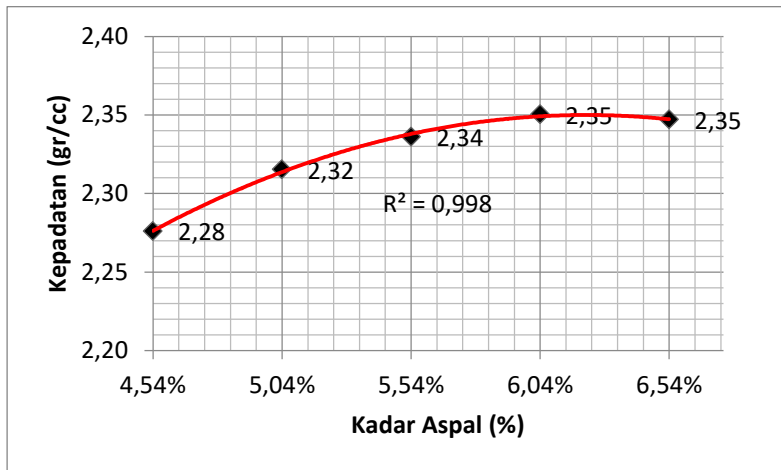
$$\begin{aligned}
 \text{Density} &= \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam Air}} \\
 &= \frac{1188}{1205,3 - 683,3} \\
 &= 2,28
 \end{aligned}$$

Hasil rata – rata dari uji *density* setiap variasi dapat dilihat pada **Tabel 4.22** :

Tabel 4.22 Hasil Rata - rata Density Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata - rata Density							
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Berat Kering (gram)	Berat SSD (gram)	Berat Dalam Air (gram)	Density (gr/cc)
1	1AG	4,54%	0%	1188	1205,3	683,3	2,28
2	2AG	5,04%		1190	1201,3	687,3	2,32
3	3AG	5,54%		1186,7	1194,7	686,7	2,34
4	4AG	6,04%		1186	1190	685,3	2,35
5	5AG	6,54%		1181,3	1187,3	684	2,35

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.6 Grafik Density Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan hasil grafik di atas, nilai kepadatan (*density*) tertinggi terdapat pada kadar aspal 6,04% dan 6,54% yaitu sebesar 2,35 gr/cc. sedangkan nilai terendah pada kadar aspal 4,54% sebesar 2,28 gr/cc. penambahan kadar aspal juga meningkatkan nilai kepadatan.

4.4.2 Void In Mix (VIM)

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran.

Adapun hasil analisa Rongga dalam Campuran (VIM) dapat dilihat pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4.23 Hasil VIM AC-Base tanpa *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VIM (%)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	4,54%	1AG1	0%	10,44	3	5	TIDAK OK
2		1AG2		10,05	3	5	TIDAK OK
3		1AG3		10,44	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				10,31			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VIM (%)	Spek (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	5,04%	2AG1	0%	7,78	3	5	TIDAK OK
2		2AG2		7,78	3	5	TIDAK OK
3		2AG3		8,18	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				7,91			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	5,54%	3AG1	0%	6,70	3	5	TIDAK OK
2		3AG2		6,70	3	5	TIDAK OK
3		3AG3		6,30	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				6,57			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	6,04%	4AG1	0%	4,39	3	5	OK
2		4AG2		6,01	3	5	TIDAK OK
3		4AG3		5,20	3	5	TIDAK OK

Rata - rata				5,20			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	6,54%	5AG1	0%	3,69	3	5	OK
2		5AG2		5,32	3	5	TIDAK OK
3		5AG3		4,91	3	5	OK
Rata - rata				4,64			

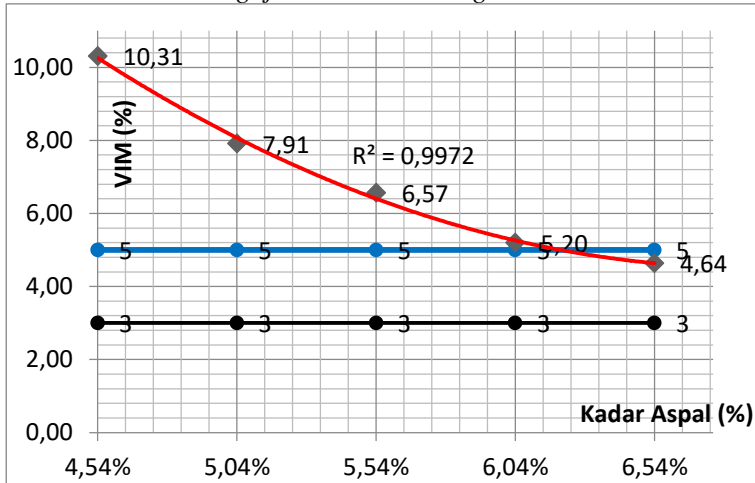
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Hasil rata – rata VIM tiap kadar aspal dapat dilihat pada **Tabel 4.24.**

Tabel 4.24 Hasil Rata - rata VIM Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata – rata VIM Tanpa Styrofoam								
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Density (gr/cc)	BJ Teori Max (gr/cc)	VIM (%)	Syarat (%)		Ket
						Min.	Max.	
1	1AG	4,54%	2,28	2,54	10,31	3	5	TDK OK
2	2AG	5,04%	2,32	2,52	7,91	3	5	TDK OK
3	3AG	5,54%	2,34	2,50	6,57	3	5	TDK OK
4	4AG	6,04%	2,35	2,48	5,20	3	5	TDK OK
5	5AG	6,54%	2,35	2,46	4,64	3	5	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.7 Grafik VIM Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Nilai kadar aspal berbanding terbalik dengan nilai rongga dan kepadatan. Maka semakin tinggi kadar aspal semakin rapat campuran dan kadar rongga dalam campuran (VIM) semakin kecil. Berdasarkan grafik di atas nilai VIM mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. VIM tertinggi pada kadar aspal 4,54% yaitu sebesar 10,31% dan yang terendah pada kadar aspal 6,54% yaitu sebesar 4,64%.

4.4.3 Void In Mineral Aggregate (VMA)

VMA atau prosentase rongga di antara mineral agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.

Adapun hasil analisa *Void in Mineral Agregate* dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.

Tabel 4.25 Hasil VMA AC-Base tanpa Styrofoam

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	4,54%	1AG1	0%	18,54	13	OK
2		1AG2		18,18	13	OK
3		1AG3		18,54	13	OK
Rata - rata				18,42		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	5,04%	2AG1	0%	17,18	13	OK
2		2AG2		17,18	13	OK
3		2AG3		17,53	13	OK
Rata - rata				17,30		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	5,54%	3AG1	0%	17,26	13	OK
2		3AG2		17,26	13	OK
3		3AG3		16,9	13	OK
Rata - rata				17,14		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,04%	4AG1	0%	16,28	13	OK
2		4AG2		17,7	13	OK
3		4AG3		16,99	13	OK
Rata - rata				16,99		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,54%	5AG1	0%	16,73	13	OK
2		5AG2		18,13	13	OK
3		5AG3		17,78	13	OK
Rata - rata				17,55		

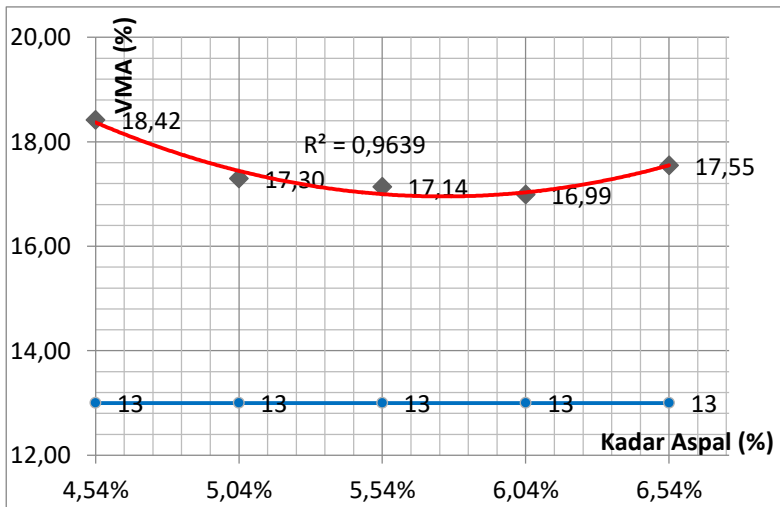
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Hasil rata – rata VMA tiap kadar aspal dapat dilihat pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26 Hasil Rata - rata VMA Setiap Variasi Kadar Aspal tanpa *Styrofoam*

Hasil Rata – rata VMA Tanpa <i>Styrofoam</i>							
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Density (gr/cc)	BJ Bulk Aggregate (gr/cc)	VMA (%)	Syarat (%)	Ket
						Min.	
1	1AG	4,54%	2,28	2,66	18,42	13	OK
2	2AG	5,04%	2,32	2,66	17,30	13	OK
3	3AG	5,54%	2,34	2,66	17,14	13	OK
4	4AG	6,04%	2,35	2,66	16,99	13	OK
5	5AG	6,54%	2,35	2,66	17,55	13	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.8 Grafik VMA Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber ; Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan grafik di atas nilai VMA tertinggi ada pada kadar aspal 4,54% yaitu sebesar 18,42%. Seluruh variasi

campuran memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu nilai VMA > 13%.

4.4.4 Void Filled with Asphalt (VFA)

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Adapun hasil analisa *Void Filled Asphalt* dapat dilihat pada **Tabel 4.27**.

Berikut adalah contoh perhitungan rongga udara yang diisi aspal pada campuran aspal rencana pada kadar aspal 4,54% benda uji 1 :

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

$$VFA = 100 \times \frac{18,54 - 10,44}{18,54}$$

$$VFA = 43,69\%$$

Tabel 4.27 Hasil VFA AC-Base tanpa Styrofoam

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	4,54%	1AG1	0%	43,69	65	TIDAK OK
2		1AG2		44,72	65	TIDAK OK
3		1AG3		43,69	65	TIDAK OK
Rata - rata				44,03		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	5,04%	2AG1	0%	54,71	65	TIDAK OK
2		2AG2		54,71	65	TIDAK OK
3		2AG3		53,34	65	TIDAK OK
Rata - rata				54,26		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	5,54%	3AG1	0%	61,18	65	TIDAK OK

2		3AG2		61,18	65	TIDAK OK
3		3AG3		62,72	65	TIDAK OK
Rata - rata				61,70		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,04%	4AG1	0%	73,03	65	OK
2		4AG2		66,05	65	OK
3		4AG3		69,39	65	OK
Rata - rata				69,49		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,54%	5AG1	0%	77,94	65	OK
2		5AG2		70,66	65	OK
3		5AG3		72,38	65	OK
Rata - rata				73,66		

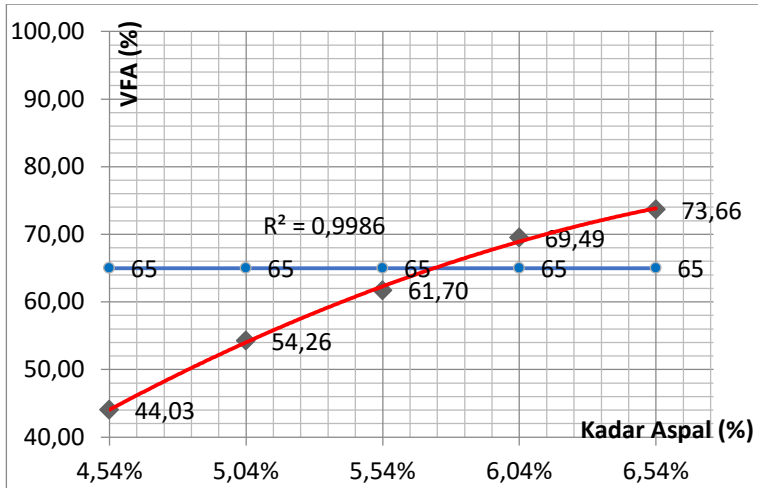
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Hasil rata – rata VFA tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Rata - rata VFA Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata – rat VFA Tanpa Styrofoam								
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Density (gr/cc)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Syarat (%) Min.	Ket
1	1AG	4,54%	2,28	18,42	10,31	44,03	65	TDK OK
2	2AG	5,04%	2,32	17,30	7,91	54,26	65	TDK OK
3	3AG	5,54%	2,34	17,14	6,57	61,70	65	TDK OK
4	4AG	6,04%	2,35	16,99	5,20	69,49	65	OK
5	5AG	6,54%	2,35	17,55	4,64	73,66	65	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik VFA Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Nilai rongga yang terisi aspal (VFA) mengalami peningkatan seiring penambahan kadar aspal. Nilai VFA tertinggi pada kadar aspal 6,54% yaitu sebesar 73,66% dan terendah pada kadar 4,54% sebesar 44,03%.

4.4.5 Stabilitas

Menurut Sukirman, stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Adapun hasil analisa stabilitas dapat dilihat pada **Tabel 4.29**.

Tabel 4.29 Hasil Stabilitas AC-Base tanpa Styrofoam

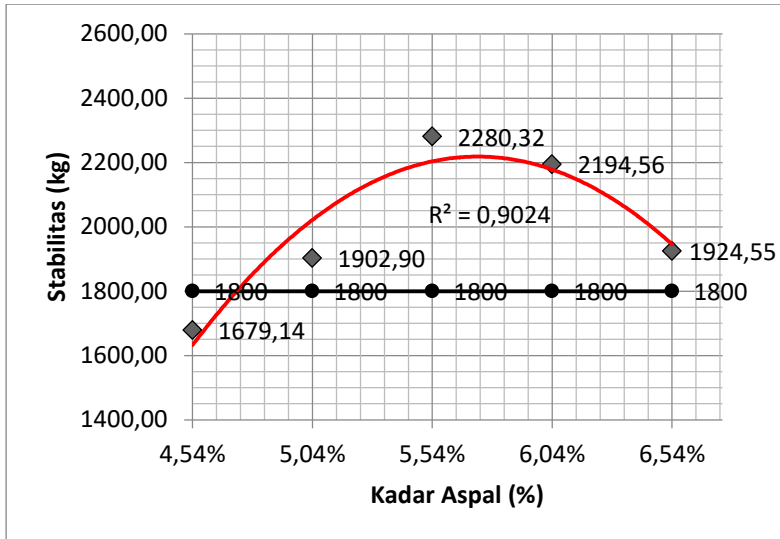
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	4,54%	1AG1	0%	1597,46	1800	TIDAK OK
2		1AG2		1914,38	1800	OK
3		1AG3		1525,57	1800	TIDAK OK
Rata - rata				1679,14		
No	Kadar	Kode	%	Stabilitas	Spek (%)	Ket

	Aspal		Styrofoam	(kg)	Min.	
1	5,04%	2AG1	0%	2094,26	1800	OK
2		2AG2		1766,43	1800	TIDAK OK
3		2AG3		1848,00	1800	OK
Rata - rata				1902,90		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%) Min.	Ket
1	5,54%	3AG1	0%	2425,36	1800	OK
2		3AG2		2253,94	1800	OK
3		3AG3		2161,66	1800	OK
Rata - rata				2280,32		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek(%) Min.	Ket
1	6,04%	4AG1	0%	2660,19	1800	OK
2		4AG2		1678,63	1800	TIDAK OK
3		4AG3		2244,87	1800	OK
Rata - rata				2194,56		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%) Min.	Ket
1	6,54%	5AG1	0%	2027,88	1800	OK
2		5AG2		2199,49	1800	OK
3		5AG3		1546,27	1800	TIDAK OK
Rata - rata				1924,55		

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.30 Hasil Rata - rata Stabilitas Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata - rata Stabilitas						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Stabilitas (kg)	Syarat (mm) Min.	Ket
1	1AG	4,54%	0%	1679,14	1800	TDK OK
2	2AG	5,04%		1902,90	1800	OK
3	3AG	5,54%		2280,32	1800	OK
4	4AG	6,04%		2194,56	1800	OK
5	5AG	6,54%		1924,55	1800	OK



Gambar 4.10 Grafik Nilai Stabilitas Tiap Variasi Kadar Aspal
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 5,54% sebesar 2280,32 kg. Sedangkan terendah pada kadar aspal 4,54%. Bentuk grafik stabilitas berbentuk parabola, hal ini mengartikan bahwa nilai stabilitas akan terus naik hingga kadar optimum aspal, setelah itu nilai stabilitas akan turun. Pada hal ini, nilai optimum aspal berada pada posisi kadar aspal 5,54%.

4.4.6 Flow (Kelelehan)

Menurut Departemen Pekerjaan Umum, flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Adapun hasil analisa flow dapat dilihat pada **Tabel 4.31**.

Tabel 4.31 Hasil *Flow AC-Base* tanpa *Styrofoam*

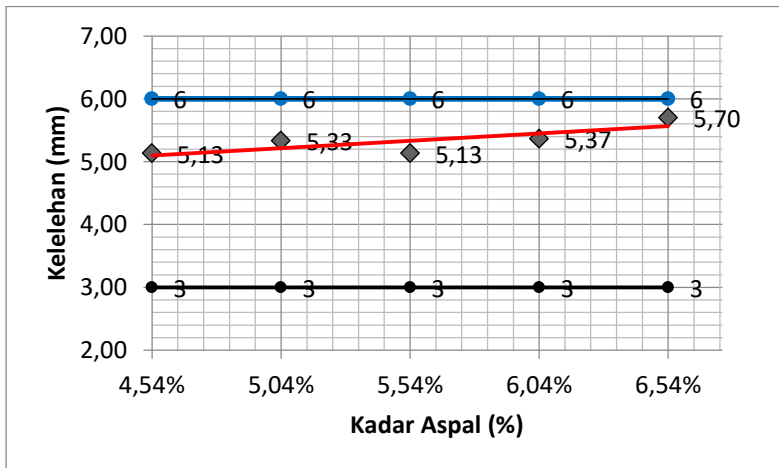
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Flow (mm)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	4,54%	1AG1	0%	5,30	3	6	OK
2		1AG2		5,60	3	6	OK
3		1AG3		4,50	3	6	OK
Rata - rata				5,13			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Flow (mm)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	5,04%	2AG1	0%	4,40	3	6	OK
2		2AG2		6,40	3	6	TIDAK OK
3		2AG3		5,20	3	6	OK
Rata - rata				5,33			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Flow (mm)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	5,54%	3AG1	0%	4,60	3	6	OK
2		3AG2		6,20	3	6	TIDAK OK
3		3AG3		4,60	3	6	OK
Rata - rata				5,13			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Flow (mm)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6,04%	4AG1	0%	6,10	3	6	TIDAK OK
2		4AG2		4,50	3	6	OK
3		4AG3		5,50	3	6	OK
Rata - rata				5,37			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrof oam	Flow (mm)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6,54%	5AG1	0%	6,70	3	6	TIDAK OK
2		5AG2		4,30	3	6	OK
3		5AG3		6,10	3	6	TIDAK OK
Rata - rata				5,70			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.32 Hasil Rata - rata *Flow* Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata - rata Flow							
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Flow (mm)	Syarat (mm)		Ket
					Min.	Max.	
1	1AG	4,54%	0%	5,13	3	6	OK
2	2AG	5,04%		5,33	3	6	OK
3	3AG	5,54%		5,13	3	6	OK
4	4AG	6,04%		5,37	3	6	OK
5	5AG	6,54%		5,70	3	6	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

**Gambar 4.11** Grafik Nilai *Flow* Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa setiap penambahan kadar aspal diikuti dengan kenaikan nilai *flow*. Nilai *flow* tertinggi pada kadar aspal 6,54% yaitu 5,7 mm. sedangkan yang terendah yaitu pada kadar aspal 4,54% sebesar 5,15%. Seluruh variasi kadar aspal memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

4.4.7 Marshall Quotient (MQ)

Menurut Rahmawati, *Marshall Quotient* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Untuk hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada **Tabel 4.33**.

Berikut adalah contoh perhitungan *Marshall Quotient* benda uji 1 dengan kadar aspal 4,54%. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *marshall quotient* sebagai berikut :

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

$$MQ = \frac{1597,46}{5,3}$$

$$MQ = 301,4$$

Tabel 4.33 Hasil MQ AC-Base tanpa Styrofoam

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	4,54%	1AG1	0%	1597,46	5,30	301,4
2		1AG2		1914,38	5,60	341,9
3		1AG3		1525,57	4,50	339,0
Rata - rata						327,4
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	5,04%	2AG1	0%	2094,26	4,40	476,0
2		2AG2		1766,43	6,40	276,0
3		2AG3		1848,00	5,20	355,4
Rata - rata						369,1
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	5,54%	3AG1	0%	2425,36	4,60	527,3
2		3AG2		2253,94	6,20	363,5
3		3AG3		2161,66	4,60	469,9
Rata - rata						453,6

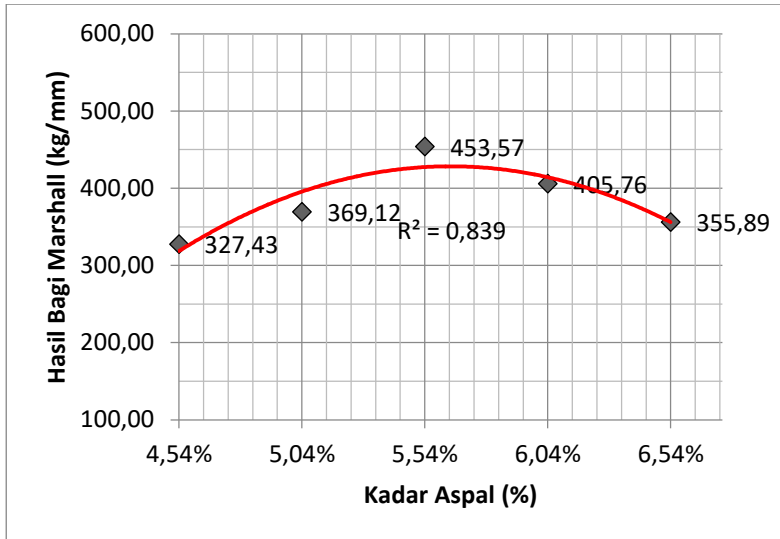
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6,04%	4AG1	0%	2660,19	6,10	436,1
2		4AG2		1678,63	4,50	373,0
3		4AG3		2244,87	5,50	408,2
Rata - rata						405,8
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6,54%	5AG1	0%	2027,88	6,70	302,7
2		5AG2		2199,49	4,30	511,5
3		5AG3		1546,27	6,10	253,5
Rata - rata						355,9

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.34 Hasil Rata - rata MQ Setiap Variasi Kadar Aspal

Hasil Rata - rata Marshall Quotient						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow	MQ (kg/mm)
					(mm)	
1	1AG	4,54%	0%	1679,1	5,13	327,43
2	2AG	5,04%		1902,9	5,33	369,12
3	3AG	5,54%		2280,3	5,13	453,57
4	4AG	6,04%		2194,6	5,37	405,76
5	5AG	6,54%		1924,5	5,70	355,89

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



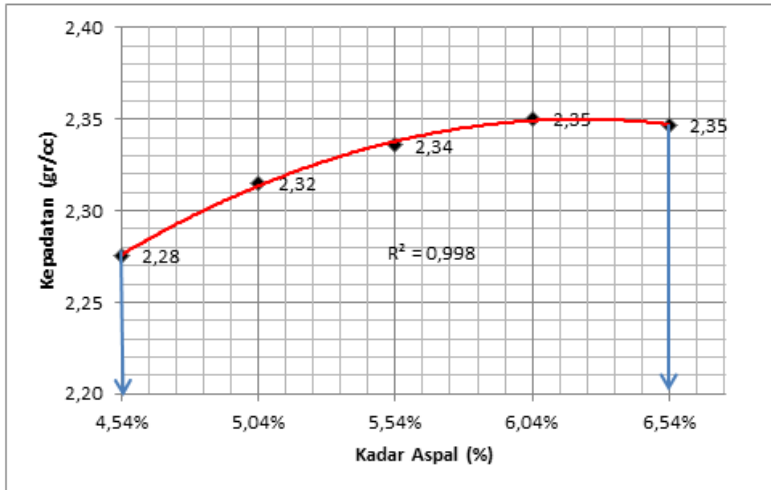
Gambar 4.12 Grafik Nilai *Marshall Quotient* Tiap Variasi Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

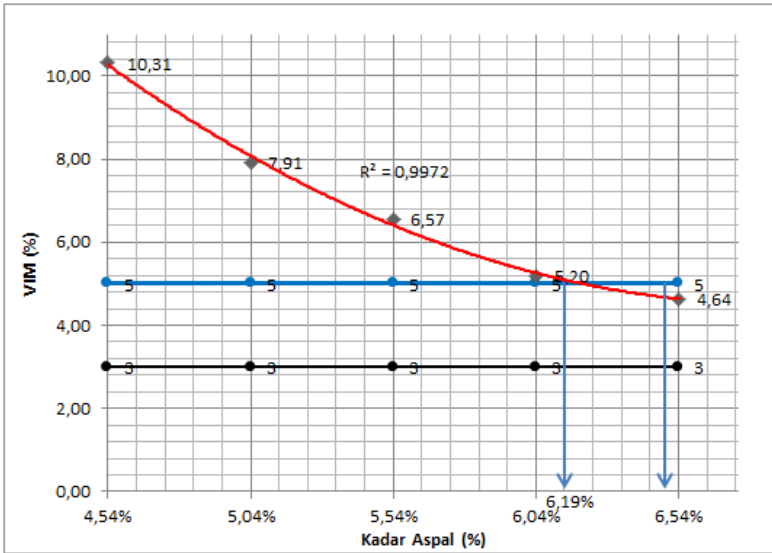
Bentuk nilai *Marshall Quotient* (MQ) menyerupai nilai stabilitas yaitu berbentuk parabola. Pada grafik diatas nilai tertinggi pada kadar aspal 5,54% yaitu sebesar 453,57 kg/mm sedangkan nilai terendah terdapat pada kadar aspal 4,54% yaitu sebesar 327,43 kg/mm. nilai MQ pada seluruh variasi memenuhi Spesifikasi Umum Binamarga 2018.

4.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

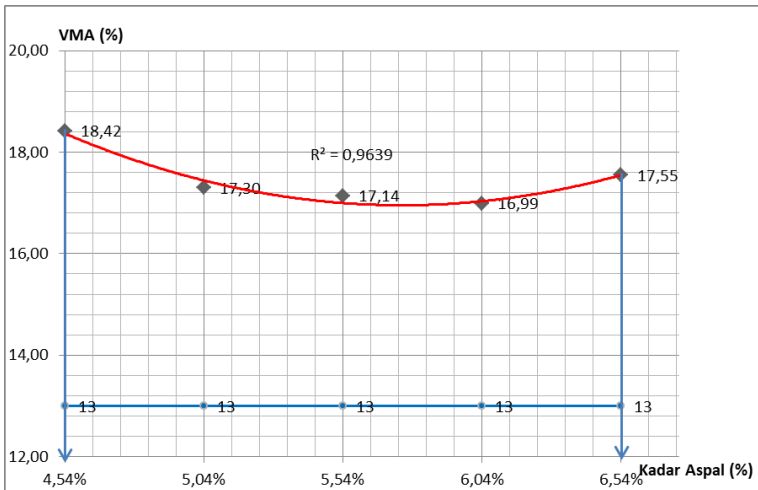
Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode grafik dengan membuat batas – batas nilai parameter *marshall* yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dari campuran aspal. Berikut adalah grafik dan tabel dalam penentuan KAO :



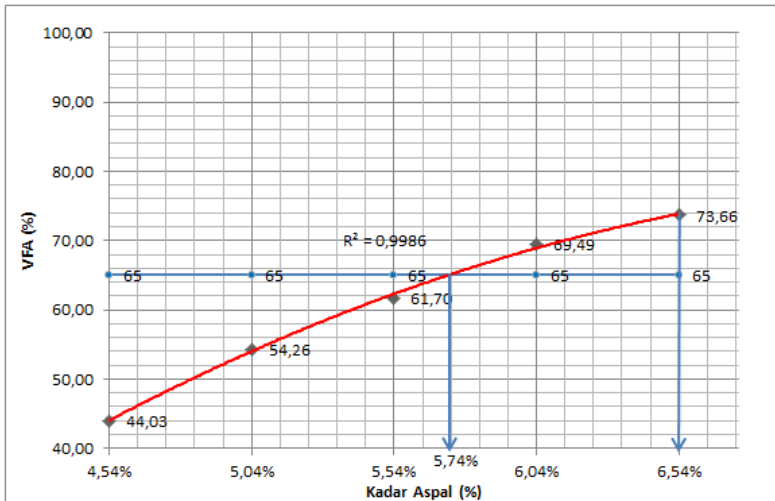
Gambar 4.13 Grafik Peninjauan *Density* untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Peninjauan dan Perhitungan



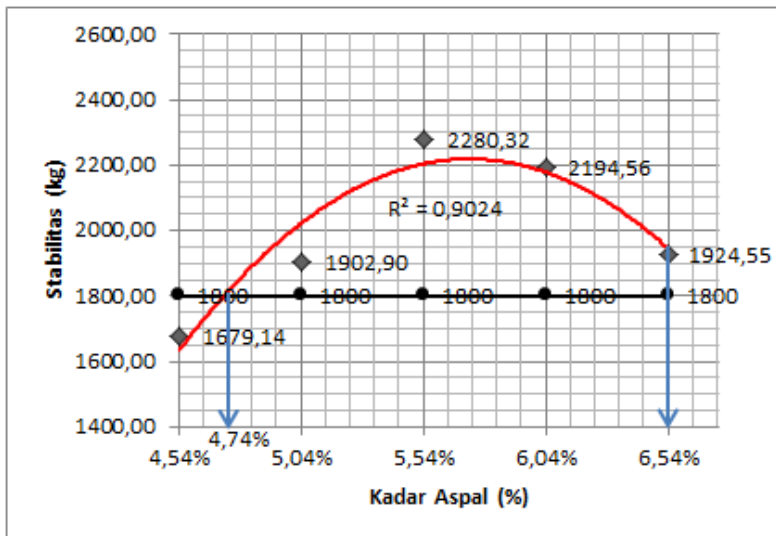
Gambar 4.14 Grafik Peninjauan VIM untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



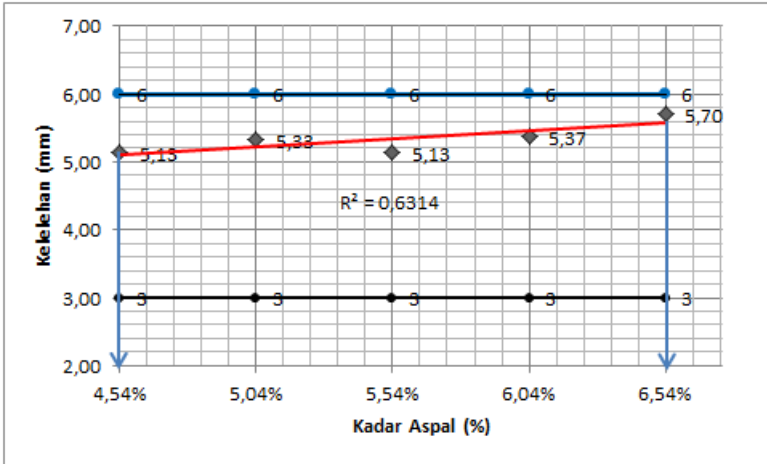
Gambar 4.15 Grafik Peninjauan VMA untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



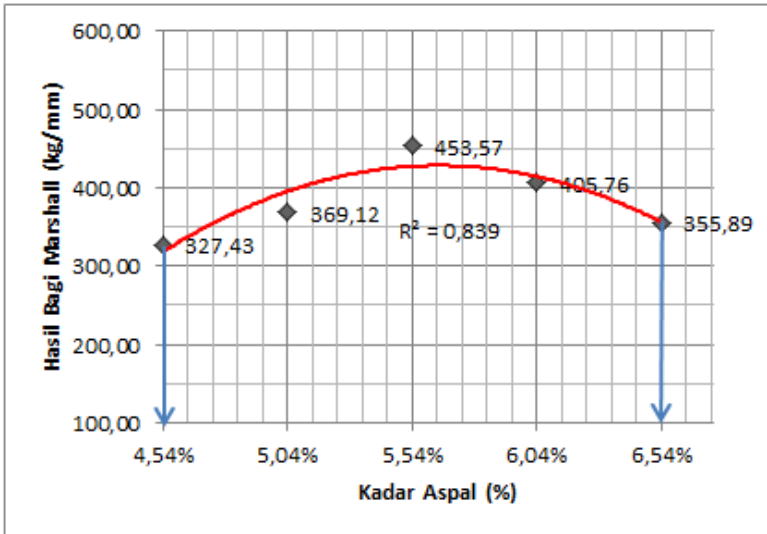
Gambar 4.16 Grafik Peninjauan VFA untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

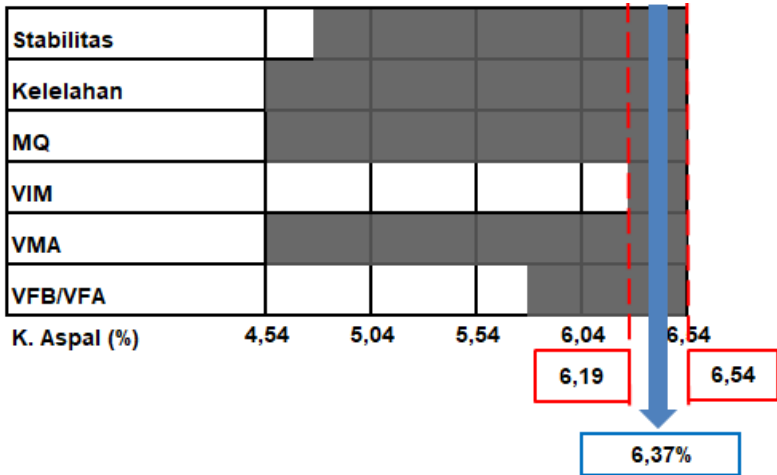


Gambar 4.18 Grafik Peninjauan *Flow* untuk Penentuan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.19 Grafik Peninjauan *Marshall Quotient* untuk Menentukan KAO
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.35 Rekapitulasi Grafik Penentuan KAO



Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan hasil pengujian marshall dan analisa parameter pengujian marshall adapun rekapitulasi grafik seperti pada **Tabel 4.35**.

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan KAO} &= \frac{6,19\% + 6,54\%}{2} \\ &= 6,365\% \\ &\approx 6,37\% \end{aligned}$$

Didapatkan nilai KAO yang digunakan adalah 6,37%

Berdasarkan analisa dari grafik gabungan parameter marshall dibawah, diperoleh batas – batas perpotongan nilai kadar aspal optimum berada diantara 6,19% - 6,54%. Maka nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh dari median atau nilai tengah dari batas – batas KAO tersebut sebesar 6,365% atau dibulatkan menjadi 6,37%.

4.6 Menghitung Variasi Kadar Styrofoam

Berdasarkan batasan masalah yang dibuat, variasi kadar styrofoam yang digunakan yaitu sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan

10% dalam penelitian ini digunakan sebagai substitusi kadar aspal. Adapun contoh perhitungan proporsi campuran dengan penambahan kadar *styrofoam* 2% sebagai berikut :

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\% \text{KAO}}{100\%} \times \text{berat sampel}$$

$$= \frac{6,37}{100} \times 1200$$

$$= 76,4 \text{ gram}$$

$$\text{Kadar Styrofoam} = \% \text{Kadar Styrofoam} \times \text{Kadar Aspal Optimum}$$

$$= 2\% \times 76,4$$

$$= 1,5 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Kadar Aspal} = \text{Berat Kadar Aspal Optimum} - \text{Berat Kadar Styroam}$$

$$= 76,4 \text{ gram} - 1,5 \text{ gram}$$

$$= 74,9 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 10/20} = \frac{35}{100} \times 1123,6 = 393,2 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 10/10} = \frac{10}{100} \times 1123,6 = 112,4 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 5/10} = \frac{15}{100} \times 1123,6 = 168,5 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 0/5} = \frac{40}{100} \times 1123,6 = 449,4 \text{ gram}$$

Tabel 4.36 Variabel Kontrol Kadar Aspal Optimum

Variabel Kontrol	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	76,4 gram
Berat Styrofoam :	0% 0,0 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.37 Variasi 1 Proporsi Aspal Styrofoam

Variasi 1	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	74,9 gram
Berat Styrofoam :	2% 1,5 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.38 Variasi 2 Proporsi Aspal Styrofoam

Variasi 2	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	73,4 gram
Berat Styrofoam :	4% 3,1 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

Tabel 4.39 Variasi 3 Proporsi Aspal *Styrofoam*

Variasi 3	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	71,9 gram
Berat <i>Styrofoam</i> :	6% 4,6 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.40 Variasi 4 Proporsi Aspal *Styrofoam*

Variasi 4	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	70,3 gram
Berat <i>Styrofoam</i> :	8% 6,1 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.41 Variasi 5 Proporsi Aspal *Styrofoam*

Variasi 5	
Kadar Aspal Rencana	6,37%
Berat Sampel	1200 gram
Berat Kadar Aspal	68,8 gram
Berat <i>Styrofoam</i> :	10% 7,6 gram
Berat Agg. Kasar (10-20) mm :	35% 393,2 gram
Berat Agg. Kasar (10-10) mm :	10% 112,4 gram
Berat Agg. Medium (5-10) mm :	15% 168,5 gram
Berat Agg. Halus (0-5) mm :	40% 449,4 gram
Total	1200 gram

4.7 Hasil Uji Karakteristik Aspal *Styrofoam*

Uji karakteristik aspal *styrofoam* dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal setelah di campur dengan *styrofoam* dengan prosentase 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Hasil pengujian karakteristik aspal dengan *styrofoam* dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.42 Hasil Uji Karakteristik Aspal 0% *Styrofoam*

PENGUJIAN ASPAL 0% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	78,2	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	53,5	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	215	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	161	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1	-	1,042	Memenuhi
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,039	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.43 Hasil Uji Karakteristik Aspal 2% *Styrofoam*

PENGUJIAN ASPAL 2% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	65,7	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	54	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	220	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	110,5	Memenuhi
5	Berat	SNI 2441 :	1	-	1,073	Memenuhi

PENGUJIAN ASPAL 2% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
	Jenis	2011				
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,033	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.44 Hasil Uji Karakteristik Aspal 4% Styrofoam

PENGUJIAN ASPAL 4% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	57,3	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	54,25	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	223	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	107	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1	-	1,117	Memenuhi
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,026	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.45 Hasil Uji Karakteristik Aspal 6% Styrofoam

PENGUJIAN ASPAL 6% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	48,5	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	55	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	227	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	89	Tidak Memenuhi
5	Berat	SNI 2441 : 2011	1	-	1,165	Memenuhi

PENGUJIAN ASPAL 6% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
	Jenis	2011				
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,015	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.46 Hasil Uji Karakteristik Aspal 8% Styrofoam

PENGUJIAN ASPAL 8% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	45,2	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	55,25	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	232	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	86	Tidak Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1	-	1,194	Memenuhi
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,011	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.47 Hasil Uji Karakteristik Aspal 10% Styrofoam

PENGUJIAN ASPAL 10% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi 60/70	SNI 2456 : 2011	60	79	43,1	Memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48	58	56	Memenuhi
3	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	200	-	236	Memenuhi
4	Daktilitas	SNI 2432 : 2011	100	-	85	Tidak Memenuhi
5	Berat	SNI 2441 :	1	-	1,235	Memenuhi

PENGUJIAN ASPAL 10% STYROFOAM						
No.	Pengujian Aspal	Matode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min.	Max.		
	Jenis	2011				
6	Kehingan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,010	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pengujian karakteristik yang dilakukan untuk membandingkan sifat fisik campuran aspal dan *styrofoam* pada penelitian ini meliputi pemeriksaan penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat.

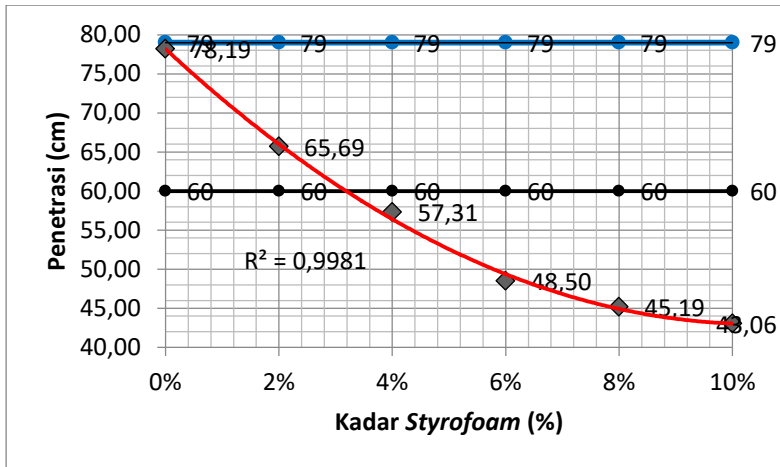
4.7.1 Penetrasi

Hasil pengujian penetrasi campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.48** ditunjukkan pada grafik **Gambar 4.20** sebagai berikut :

Tabel 4.48 Hasil Uji Penetrasi pada Aspal *Styrofoam*

Penetrasi 60/70 SNI 2456:2011						
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Penetrasi (0,1 mm)	Syarat		Ket
				Min.	Max.	
1	6,37%	0%	78,19	60	79	OK
2		2%	65,69			OK
3		4%	57,31			TDK OK
4		6%	48,50			TDK OK
5		8%	45,19			TDK OK
6		10%	43,06			TDK OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.20 Hubungan Kadar *Styrofoam* pada Aspal terhadap Penetrasi

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Semakin banyak presentase *styrofoam* yang dicampurkan kedalam aspal maka nilai penetrasi semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *styrofoam* akan mengakibatkan aspal semakin keras. Semakin kerasnya aspal yang diakibatkan oleh penambahan kadar *styrofoam* mungkin dikarenakan sifat *styrofoam* yang termasuk bahan polimer plastik. Berdasarkan (Sukirman, 2003), pengerasan pada aspal dapat diakibatkan oleh oksidasi, penguapan, dan perubahan kimiawi lain. Reaksi kimia dapat mengubah *resins* menjadi *asphaltenes*, dan *oils* menjadi *resins*, yang secara keseluruhan dapat meningkatkan viskositas aspal.

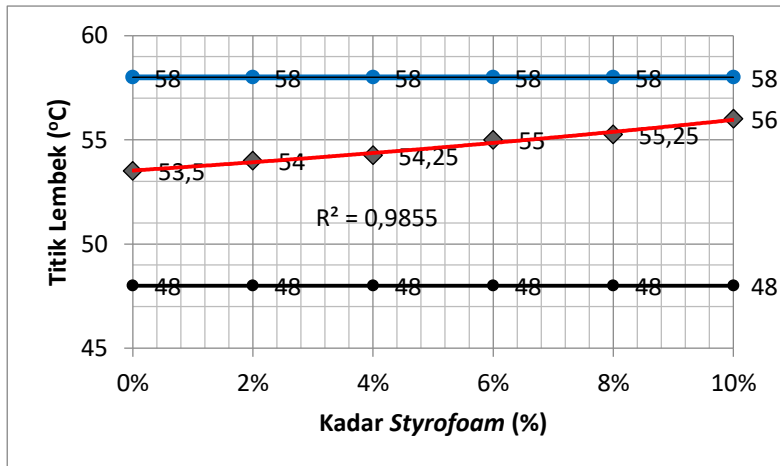
4.7.2 Titik Lembek

Hasil pengujian titik lemek campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.49** ditunjukkan pada grafik **Gambar 4.21** sebagai berikut :

Tabel 4.49 Hasil Uji Titik Lembek pada Aspal *Styrofoam*

Titik Lembek SNI 2434:2011						
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Titik Lembek (°C)	Syarat		Ket
				Min.	Max.	
1	6,37%	0%	53,5	48	58	OK
2		2%	54			OK
3		4%	54,25			OK
4		6%	55			OK
5		8%	55,25			OK
6		10%	56			OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.21 Hubungan Kadar *Styrofoam* pada Aspal terhadap Titik Lembek

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Seiring dengan bertambahnya presentase kadar *styrofoam* yang dicampurkan dengan aspal maka titik lemek cenderung

meningkat. Berdasarkan Sukirman (2003), kepekaan aspal terhadap suhu dipengaruhi oleh komposisi kimia aspal. Titik lembek meningkat karena aspal telah mengalami berbagai macam tahap pencampuran dengan *styrofoam*. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk meningkatkan titik lembek jika diperlukan pada situasi tertentu dimana diperlukan titik lembek yang lebih tinggi dari temperatur permukaan jalan agar tidak terjadi pelelehan aspal dipermukaan jalan.

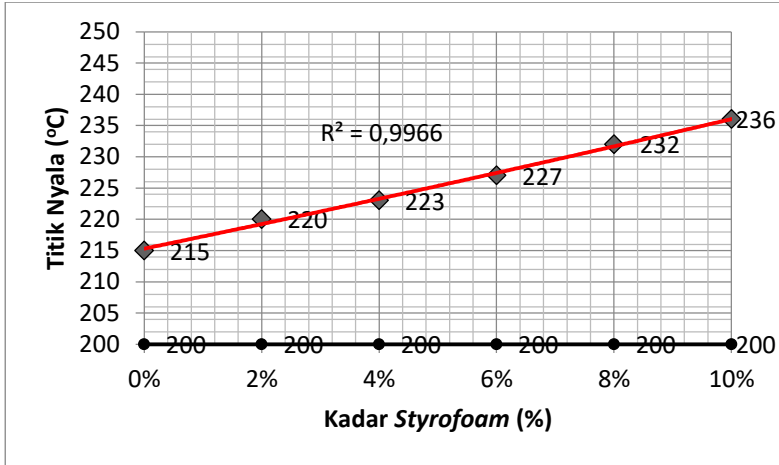
4.7.3 Titik Nyala

Hasil pengujian titik nyala campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.50** ditunjukkan pada **Gambar 4.22** sebagai berikut :

Tabel 4.50 Hasil Uji Titik Nyala pada Aspal *Styrofoam*

Titik Nyala SNI 2433:2011					
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Titik Nyala (°C)	Syarat	Ket
				Min.	
1	6,37%	0%	215	200	OK
2		2%	220		OK
3		4%	223		OK
4		6%	227		OK
5		8%	232		OK
6		10%	236		OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.22 Hubungan Kadar *Styrofoam* pada Aspal terhadap Titik Nyala

Sama halnya dengan titik leleh, semakin banyak kadar *styrofoam* yang dicampurkan nilai titik nyala juga semakin meningkat.

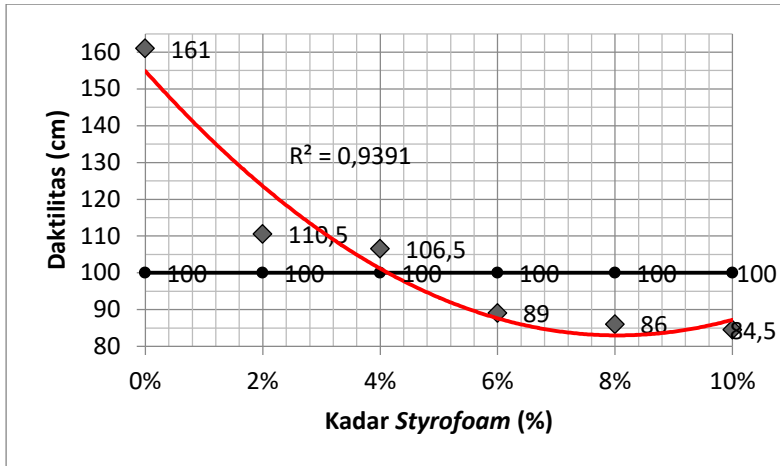
4.7.4 Daktilitas

Hasil pengujian daktilitas campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.51** ditunjukkan pada **Gambar 4.23** sebagai berikut :

Tabel 4.51 Hasil Uji Daktilitas pada Aspal *Styrofoam*

Daktilitas SNI 2432:2011					
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Daktilitas (cm)	Syarat	Ket
				Min.	
1	6,37%	0%	161	100	OK
2		2%	110,5		OK
3		4%	106,5		OK
4		6%	89		TDK OK
5		8%	86		TDK OK
6		10%	84,5		TDK OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.23 Hubungan Kadar Styrofoam pada Aspal terhadap Daktilitas

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil uji daktilitas di atas didapatkan hasil bahwa seiring dengan bertambahnya kadar *styrofoam* sebagai campuran aspal maka nilai daktilitas aspal semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa aspal akan semakin getas apabila dicampuri *styrofoam*.

4.7.5 Kehilangan Berat

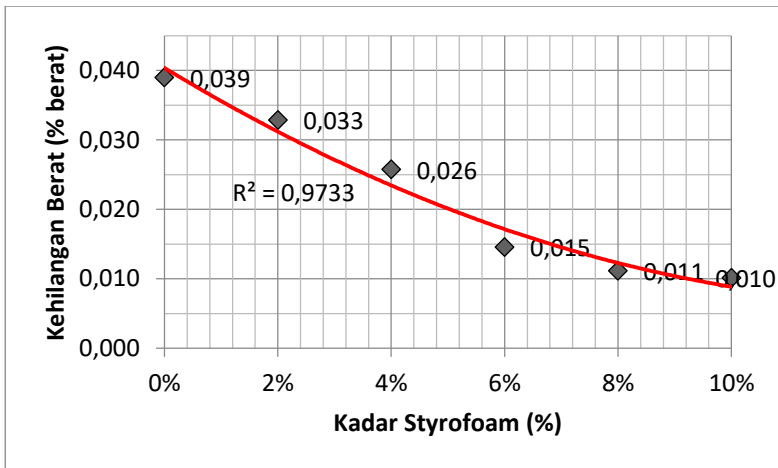
Hasil pengujian kehilangan berat campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.52** ditunjukkan pada **Gambar 4.24** sebagai berikut :

Tabel 4.52 Hasil Uji Kehilangan Berat pada Aspal *Styrofoam*

Kehilangan Berat SNI 06-2440-1991					
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Kehilangan Berat	Syarat	Ket
				Max.	
1	6,37%	0%	0,039	0,8	OK
2		2%	0,033		OK

Kehilangan Berat SNI 06-2440-1991					
No.	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Kehilangan Berat	Syarat	Ket
				Max.	
3		4%	0,026		OK
4		6%	0,015		OK
5		8%	0,011		OK
6		10%	0,010		OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.24 Hubungan Kadar *Styrofoam* pada Aspal terhadap Kehilangan Berat

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Semakin besar kadar *styrofoam* pada campuran aspal semakin kecil kehilangan berat yang terjadi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa besar nilai kadar *styrofoam* berbanding terbalik dengan nilai kehilangan berat. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk mengurangi kehilangan berat ketika pelaksanaan penghamparan aspal.

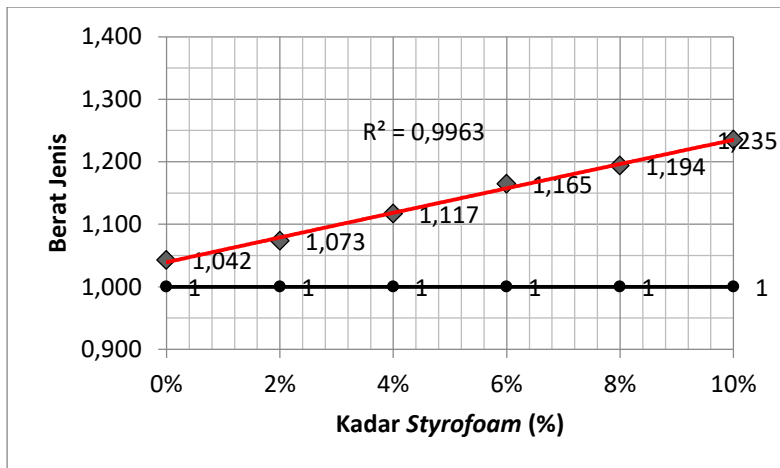
4.7.6 Berat Jenis

Hasil pengujian berat jenis campuran aspal dengan *styrofoam* pada **Tabel 4.53** ditunjukkan pada **Gambar 4.25** sebagai berikut :

Tabel 4.53 Hasil Uji Kehilangan Berat pada Aspal *Styrofoam*

Berat Jenis SNI 2441:2011					
No.	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Berat Jenis	Syarat	Ket
				Min.	
1	6,37%	0%	1,042	1	OK
2		2%	1,073		OK
3		4%	1,117		OK
4		6%	1,165		OK
5		8%	1,194		OK
6		10%	1,235		OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.25 Hubungan Kadar *Styrofoam* pada Aspal terhadap Berat Jenis

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berat jenis aspal *styrofoam* digunakan dalam perhitungan perencanaan campuran aspal dan agregat. **Gambar 4.25** menunjukkan bahwa semakin besar presentase *styrofoam* yang dicampurkan dengan aspal megakibatkan peningkatan berat jenis aspal. Peningkatan berat jenis aspal selain disebabkan karena penambahan *styrofoam* juga dapat diakibatkan dari berkurangnya minyak dan *resins* pada komposisi sehingga yang tertinggal lebih banyak adalah *asphaltenes*.

Dari pengujian karakteristik aspal ini dapat disimpulkan bahwa nilai kadar *styrofoam* yang masih bisa digunakan atau masih masuk persyaratan uji karakteristik aspal *styrofoam* sesuai dengan spesifikasi aspal PEN 60/70 berkisar antara 0% sampai 2,6%.

4.8 Pengujian *Marshall* Aspal *Styrofoam* AC-Base

Setelah dilakukan penghitungan variasi kadar *styrofoam* maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji dibuat 3 buah setiap variasi. Adapun hasil pengujian berat jenis dan *marshall* sebagai berikut :

4.8.1 *Density* (Kepadatan)

Adapun hasil analisa kepadatan (*density*) dari campuran aspal *styrofoam* sebagai berikut :

Contoh penghitungan :

Kadar *Styrofoam* 0%

Rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Density} &= \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam Air}} \\
 &= \frac{1170,1}{1179,2 - 682,9} \\
 &= 2,36
 \end{aligned}$$

Tabel 4.54 Hasil *Density* Aspal *Styrofoam*

Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =			
6,37%		0%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	0AS1	1170,1	682,9	1179,2	2,36
2	0AS2	1174,2	689,5	1184,6	2,37
3	0AS3	1174,3	688,8	1183,7	2,37
Rata - rata		1172,9	687,1	1182,5	2,37
Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =			
6,37%		2%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	1AS1	1181,4	693,6	1189,4	2,38
2	1AS2	1177,4	685,2	1187,6	2,34
3	1AS3	1181,4	688,2	1191,8	2,35
Rata - rata		1180	689	1190	2,36
Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =			
6,37%		4%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	2AS1	1182	685	1194	2,32
2	2AS2	1179,6	691,2	1189,5	2,37
3	2AS3	1180,8	693,2	1192,4	2,37
Rata - rata		1180,8	690	1192	2,35
Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =			
6,37%		6%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	3AS1	1177,1	686,6	1184,8	2,36
2	3AS2	1174,6	681,6	1185,3	2,33

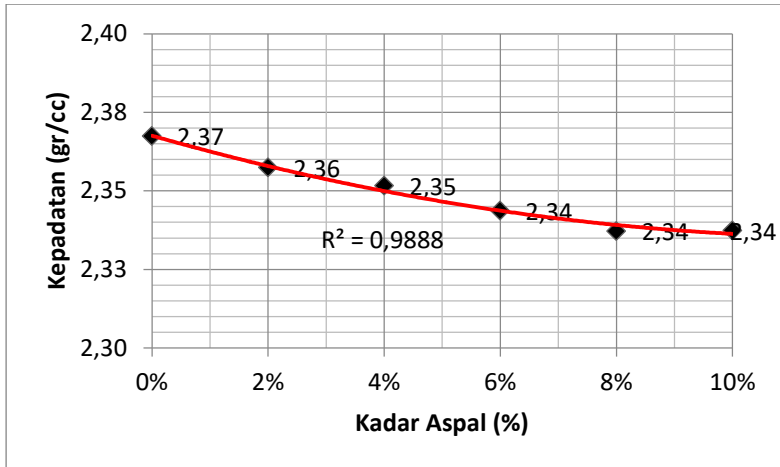
3	3AS3	1180,1	686,5	1191,6	2,34
Rata - rata		1177,3	685	1187	2,34
Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =		8%	
		6,37%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	4AS1	1176	686	1191	2,33
2	4AS2	1176	686	1185,2	2,36
3	4AS3	1178,4	682,1	1188,5	2,33
Rata - rata		1176,8	685	1188	2,34
Kadar Aspal Rencana =		Kadar Styrofoam =		10%	
		6,37%			
No	Kode Aspal	Berat Kering (gr)	Berat dalam Air (gr)	Berat SSD (gr)	Kepadatan
1	5AS1	1176	690	1195	2,33
2	5AS2	1178,1	687	1187,3	2,35
3	5AS3	1176,4	689	1194,2	2,33
Rata - rata		1176,8	689	1192	2,34

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.55 Hasil Rata - rata *Density* Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Hasil Rata - rata Density							
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Berat Kering (gram)	Berat SSD (gram)	Berat Dalam Air (gram)	Density (gr/cc)
1	0AS	6,37%	0%	1172,9	1182,5	687,1	2,37
2	1AS		2%	1180,1	1189,6	689,0	2,36
3	2AS		4%	1180,8	1192,0	689,8	2,35
4	3AS		6%	1177,3	1187,2	684,9	2,34
5	4AS		8%	1176,8	1188,2	684,7	2,34
6	5AS		10%	1176,8	1192,2	688,7	2,34

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.26 Grafik *Density* Aspal *Styrofoam* AC-Base
 Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Seiring penambahan kadar *styrofoam*, *density* campuran mengalami penurunan. Hal ini bisa terjadi karena nilai *void* semakin bertambah seiring dengan penambahan kadar *styrofoam*. Karena rongga yang ada pada campuran aspal bertambah maka nilai kepadatannya pun berkurang.

4.8.2 *Void In Mix* (VIM)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam campuran pada campuran aspal *styrofoam* menggunakan mesin uji *marshall* :

Tabel 4.56 Hasil VIM Aspal *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% <i>Styrof oam</i>	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6,37%	0AS1	0%	4,33	3	5	OK
2		0AS2		3,93	3	5	OK
3		0AS3		3,72	3	5	OK
Rata - rata				3,99			
No	Kadar	Kode	%	Bacaan	Spesifikasi	Ket	

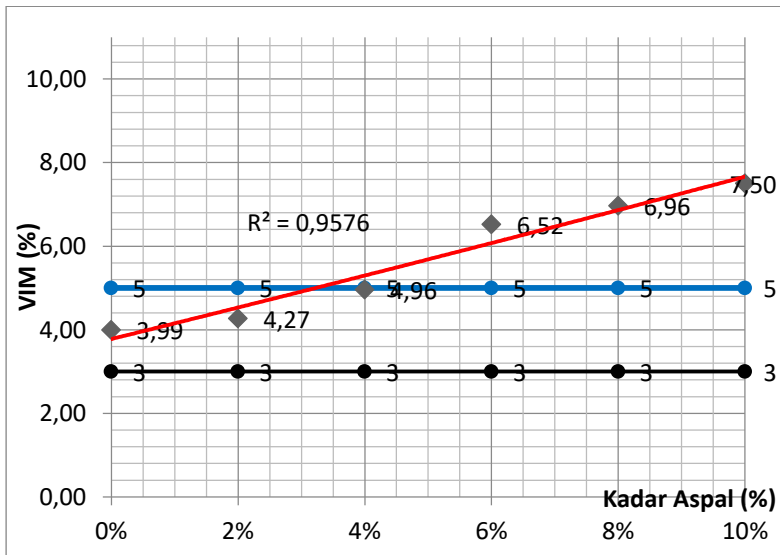
	Aspal		Styrofoam	VIM (%)	Spesifikasi (%)		
					Min.	Max.	
1	6,37%	1AS1	2%	2,1	3	5	TIDAK OK
2		1AS2		5,55	3	5	TIDAK OK
3		1AS3		5,16	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				4,27			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	6,37%	2AS1	4%	6,91	3	5	TIDAK OK
2		2AS2		4,90	3	5	OK
3		2AS3		3,06	3	5	OK
Rata - rata				4,96			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	6,37%	3AS1	6%	5,86	3	5	TIDAK OK
2		3AS2		7,05	3	5	TIDAK OK
3		3AS3		6,66	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				6,52			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan OK / TIDAK OK
					Min.	Max.	
1	6,37%	4AS1	8%	7,36	3	5	TIDAK OK
2		4AS2		6,17	3	5	TIDAK OK
3		4AS3		7,36	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				6,96			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VIM (%)	Spesifikasi (%)		Keterangan
					Min.	Max.	
1	6,37%	5AS1	10%	7,78	3	5	TIDAK OK
2		5AS2		6,99	3	5	TIDAK OK
3		5AS3		7,74	3	5	TIDAK OK
Rata - rata				7,50			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.57 Hasil Rata - rata VIM Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Hasil Rata – rata VIM Aspal <i>Styrofoam</i> KAO = 6,37%								
No	Kode Benda Uji	Kadar <i>Styrofoam</i>	Density (gr/cc)	BJ Teori Max (gr/cc)	VIM (%)	Syarat (%)		Ket
						Min.	Max.	
1	0AS	0%	2,37	2,47	3,99	3	5	OK
2	1AS	2%	2,36	2,48	4,27	3	5	OK
3	2AS	4%	2,35	2,49	4,96	3	5	OK
4	3AS	6%	2,34	2,51	6,52	3	5	TDK OK
5	4AS	8%	2,34	2,52	6,96	3	5	TDK OK
6	5AS	10%	2,34	2,53	7,50	3	5	TDK OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

**Gambar 4.27** Grafik VIM Aspal *Styrofoam* AC-Base

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Nilai VIM cenderung mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar *styrofoam*. Nilai VIM tertinggi pada kadar *styrofoam* 10%. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *styrofoam* rongga pada material tidak terisi secara penuh dan

sempurna sehingga VIM mengalami peningkatan. Material *styrofoam* merupakan material polimer plastik. Aglomerasi (penggumpalan) plastik akan meningkatkan presentase pori dalam campuran aspal (Zhu dkk, 2014).

Nilai VIM yang meningkat menyebabkan nilai VIM pada prosentase kandungan *styrofoam* 6%, 8% dan 10% melebihi batas standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. VIM untuk campuran *AC-Base* maemiliki nilai batas yaitu antara 3% - 5%. Nilai VIM yang melebihi standar akan berakibat pada pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada jalan larena lapis perkerasan berongga dan kurang rapat (Prameswari, 2016). Selain itu menurut Sukirman (2003) menjelaskan bahwa VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir – butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal menjadi lunak akibat meningkatnya suhu. Nilai VIM yang terlalu tinggi berakibat pada kurangnya kedekatan terhadap air dan udara sehingga mengakibatkan lapisan perkerasan mudah teroksidasi dan mengalami kerusakan. VIM yang terlalu kecil menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika suhu meningkat.

4.8.3 Void In Mineral Aggregate (VMA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam agregat pada campuran aspal *styrofoam* menggunakan mesin uji *marshall* :

Tabel 4.58 Hasil VMA Aspal *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% <i>Styrofoam</i>	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	0AS1	0%	16,93	13	OK
2		0AS2		16,58	13	OK
3		0AS3		16,39	13	OK
Rata - rata				16,63		
No	Kadar Aspal	Kode	% <i>Styrofoam</i>	Bacaan VMA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	

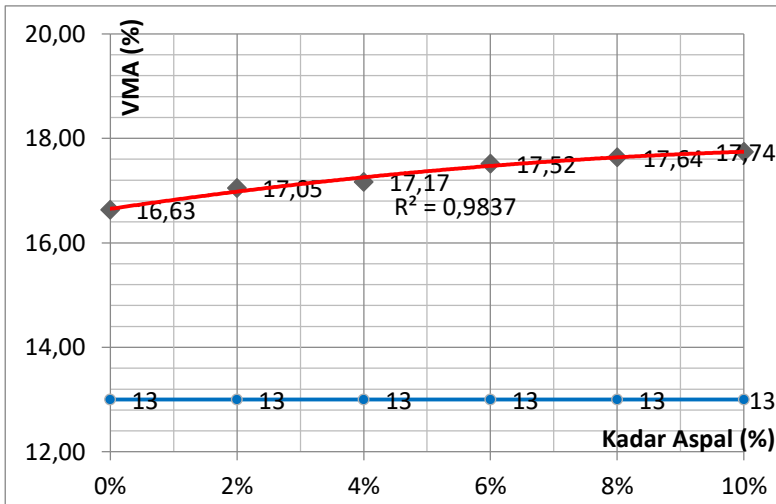
1	6,37%	1AS1	2%	16,23	13	OK
2		1AS2		17,63	13	OK
3		1AS3		17,28	13	OK
Rata - rata				17,05		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%) Min.	Ket
1	6,37%	2AS1	4%	18,34	13	OK
2		2AS2		16,58	13	OK
3		2AS3		16,58	13	OK
Rata - rata				17,17		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%) Min.	Ket
1	6,37%	3AS1	6%	16,93	13	OK
2		3AS2		17,99	13	OK
3		3AS3		17,63	13	OK
Rata - rata				17,52		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%) Min.	Ket
1	6,37%	4AS1	8%	17,99	13	OK
2		4AS2		16,93	13	OK
3		4AS3		17,99	13	OK
Rata - rata				17,64		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VMA (%)	Spek (%) Min.	Ket
1	6,37%	5AS1	10%	17,99	13	OK
2		5AS2		17,28	13	OK
3		5AS3		17,95	13	OK
Rata - rata				17,74		

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.59 Hasil Rata - rata VMA Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Hasil Rata – rata VMA Aspal <i>Styrofoam</i> KAO = 6,37%							
No	Kode Benda Uji	Kadar <i>Styrofoam</i>	Density (gr/cc)	BJ Bulk Aggregate (gr/cc)	VMA (%)	Syarat (%)	Ket
						Min.	
1	0AS	0%	2,37	2,66	16,63	13	OK
2	1AS	2%	2,36	2,66	17,05	13	OK
3	2AS	4%	2,35	2,66	17,17	13	OK
4	3AS	6%	2,34	2,66	17,52	13	OK
5	4AS	8%	2,34	2,66	17,64	13	OK
6	5AS	10%	2,34	2,66	17,74	13	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

**Gambar 4.28** Grafik VMA Aspal *Styrofoam* AC-Base

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil grafik yang didapatkan nilai VMA mengalami peningkatan sering bertambahnya kadar *styrofoam* pada campuran aspal. Nilai VMA tertinggi pada kadar *styrofoam* 10% yaitu sebesar 17,74% Seluruh campuran memenuhi spesifikasi

Bina Marga 2018, yaitu nilai VMA > 13%. Nilai VMA ini juga sama menentukannya seperti nilai VIM faktor yang mempengaruhinya pun sama seperti nilai VIM.

Nilai VMA ditentukan batas minimalnya pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) yaitu 13%. Karena jika VMA terlalu rendah maka dapat terjadi *bleeding* (Sukirman, 2003).

4.8.4 Void Filled Asphalt (VFA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara yang diisi aspal pada campuran aspal *styrofoam* :

Contoh perhitungan kadar *styrofoam* 0% benda uji 1 :

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

$$VFA = 100 \times \frac{16,93 - 4,33}{16,93}$$

$$VFA = 74,42\%$$

Tabel 4.60 Hasil VFA Aspal *Styrofoam*

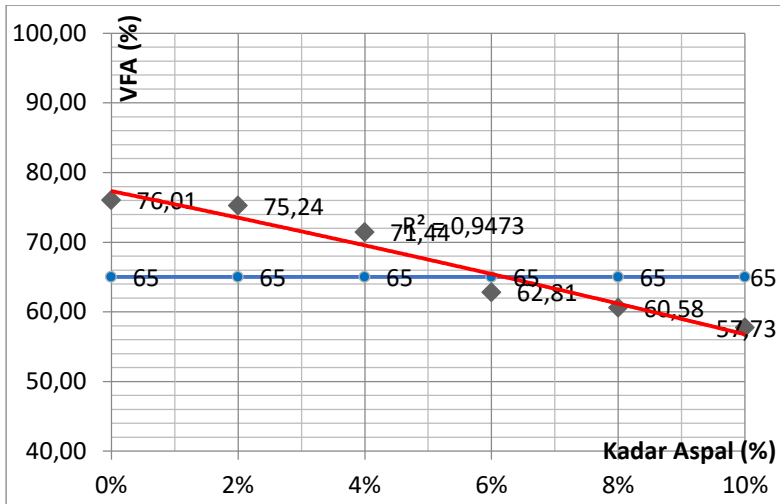
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	0AS1	0%	74,42	65	OK
2		0AS2		76,30	65	OK
3		0AS3		77,30	65	OK
Rata - rata				76,01		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	1AS1	2%	87,06	65	OK
2		1AS2		68,52	65	OK
3		1AS3		70,14	65	OK
Rata - rata				75,24		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	2AS1	4%	62,32	65	TIDAK OK
2		2AS2		70,45	65	OK
3		2AS3		81,54	65	OK

Rata - rata				71,44		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	3AS1	6%	65,39	65	OK
2		3AS2		60,81	65	TIDAK OK
3		3AS3		62,22	65	TIDAK OK
Rata - rata				62,81		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	4AS1	8%	59,09	65	TIDAK OK
2		4AS2		63,56	65	TIDAK OK
3		4AS3		59,09	65	TIDAK OK
Rata - rata				60,58		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Bacaan VFA (%)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	5AS1	10%	56,75	65	TIDAK OK
2		5AS2		59,55	65	TIDAK OK
3		5AS3		56,88	65	TIDAK OK
Rata - rata				57,73		

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.61 Hasil Rata - rata VFA Tiap Variasi Kadar Styrofoam

Hasil Rata - rata VFA Aspal Styrofoam KAO = 6,37%								
No	Kode Benda Uji	Kadar Styrofoam	Density (gr/cc)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Syarat (%) Min.	Ket
1	0AS	0%	2,37	16,63	3,99	76,01	65	OK
2	1AS	2%	2,36	17,05	4,27	75,24	65	OK
3	2AS	4%	2,35	17,17	4,96	71,44	65	OK
4	3AS	6%	2,34	17,52	6,52	62,81	65	TDK OK
5	4AS	8%	2,34	17,64	6,96	60,58	65	TDK OK
6	5AS	10%	2,34	17,74	7,50	57,73	65	TDK OK



Gambar 4.29 Grafik VFA Aspal *Styrofoam* AC-Base
 Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Gambar 4.29 menunjukkan bahwa peningkatan kadar *styrofoam* mengakibatkan penurunan VFA. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa campuran aspal dengan kadar *styrofoam* 6%, 8%, dan 10% tidak memenuhi batas minimum VFA Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebesar 65%. Penurunan nilai VFA disebabkan meningkatnya nilai VMA. Karena nilai VFA dan VMA secara grafik akan berbanding terbalik.

4.8.5 Stabilitas

Berikut adalah hasil analisa stabilitas pada campuran aspal *styrofoam* :

Tabel 4.62 Hasil Stabilitas Aspal *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% <i>Styrofoam</i>	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6.37%	0AS1	0%	2077,84	1800	OK
2		0AS2		1620,71	1800	TIDAK OK
3		0AS3		2057,45	1800	OK

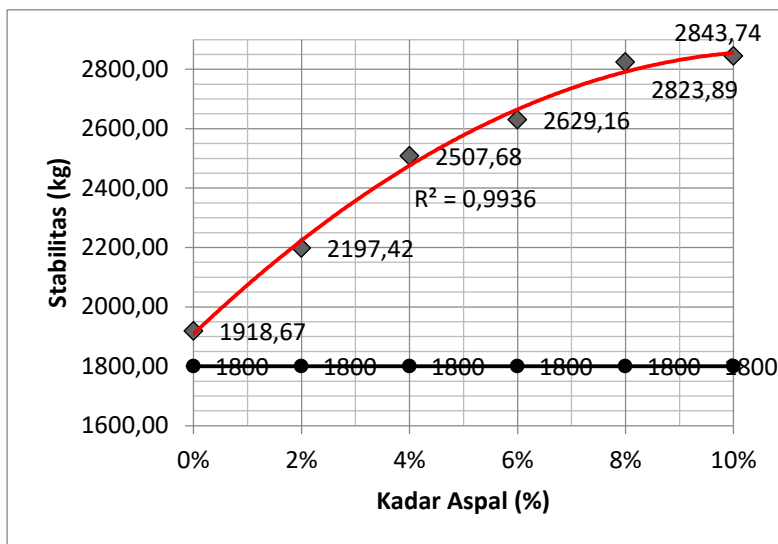
Rata - rata				1918,67		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	1AS1	2%	1979,95	1800	OK
2		1AS2		2311,15	1800	OK
3		1AS3		2301,16	1800	OK
Rata - rata				2197,42		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	2AS1	4%	2758,70	1800	OK
2		2AS2		2432,70	1800	OK
3		2AS3		2331,65	1800	OK
Rata - rata				2507,68		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	3AS1	6%	3058,08	1800	OK
2		3AS2		2584,53	1800	OK
3		3AS3		2244,87	1800	OK
Rata - rata				2629,16		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spek (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	4AS1	8%	2958,66	1800	OK
2		4AS2		2762,06	1800	OK
3		4AS3		2750,95	1800	OK
Rata - rata				2823,89		
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Spesifikasi (%)	Ket
					Min.	
1	6,37%	5AS1	10%	2585,76	1800	OK
2		5AS2		3373,07	1800	OK
3		5AS3		2572,40	1800	OK
Rata - rata				2843,74		

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.63 Hasil Rata - rata Stabilitas Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Hasil Rata - rata Stabilitas						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar <i>Styrofoam</i>	Stabilitas (kg)	Syarat (kg)	Ket
					Min.	
1	0AS	6,37%	0%	1918,67	1800	OK
2	1AS		2%	2197,42	1800	OK
3	2AS		4%	2507,68	1800	OK
4	3AS		6%	2629,16	1800	OK
5	4AS		8%	2823,89	1800	OK
6	5AS		10%	2843,74	1800	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Pehatikan



Gambar 4.30 Grafik Stabilitas Aspal *Styrofoam AC-Base*

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan grafik diatas dengan penambahan *styrofoam* stabilitas *marshall* mengalami peningkatan. Pada kadar *styrofoam* 10% merupakan nilai stabilitas terbesar yaitu sebesar

2843,74 kg. Penambahan plastik pada aspal akan membentuk aglomerasi (penggumpalan) yang meningkatkan stabilitas perkerasan (Nikolaides, 2015). Hal ini didukung pada penelitian Pratomo dkk (2016) seiring penambahan kadar plastik dalam campuran aspal terjadi peningkatan nilai stabilitas perkerasan, namun parameter *Void In Mix* (VIM) yang menunjukkan kadar pori dalam campuran cenderung meningkat sehingga melebihi standard Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Dua pernyataan di atas dari penelitian sebelumnya sesuai dengan hasil stabilitas dan VIM pada penelitian ini.

4.8.6 Flow (Kelelehan)

Berikut adalah hasil analisa *flow* pada campuran aspal *styrofoam* :

Tabel 4.64 Hasil *Flow* Aspal *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6.37%	0AS1	0%	4,60	3	6	OK
2		0AS2		5,00	3	6	OK
3		0AS3		5,00	3	6	OK
Rata - rata				4,87			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6.37%	1AS1	2%	4,20	3	6	OK
2		1AS2		4,50	3	6	OK
3		1AS3		4,90	3	6	OK
Rata - rata				4,53			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6.37%	2AS1	4%	4,80	3	6	OK
2		2AS2		4,70	3	6	OK
3		2AS3		3,70	3	6	OK
Rata - rata				4,40			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	

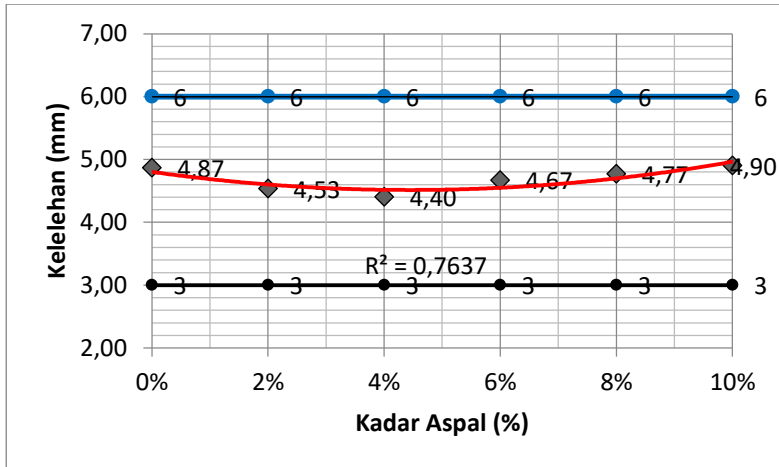
1	6,37%	3AS1	6%	4,40	3	6	OK
2		3AS2		5,20	3	6	OK
3		3AS3		4,40	3	6	OK
Rata - rata				4,67			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6,37%	4AS1	8%	4,80	3	6	OK
2		4AS2		4,90	3	6	OK
3		4AS3		4,60	3	6	OK
Rata - rata				4,77			
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Flow (mm)	Spek (%)		Ket
					Min.	Max.	
1	6,37%	5AS1	10%	5,00	3	6	OK
2		5AS2		4,00	3	6	OK
3		5AS3		5,70	3	6	OK
Rata - rata				4,90			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.65 Hasil Rata - rata Flow Tiap Variasi Kadar Styrofoam

Hasil Rata - rata Flow							
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Flow (mm)	Syarat (mm)		Ket
					Min.	Max.	
1	0AS	6,37%	0%	4,87	3	6	OK
2	1AS		2%	4,53	3	6	OK
3	2AS		4%	4,40	3	6	OK
4	3AS		6%	4,67	3	6	OK
5	4AS		8%	4,77	3	6	OK
6	5AS		10%	4,90	3	6	OK

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.31 Grafik *Flow* Aspal *Styrofoam* AC-Base

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan grafik di atas nilai *flow* cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai *styrofoam*. Nilai *flow* terendah pada kadar *styrofoam* 4% yaitu sebesar 4,4 mm dan tertinggi pada kadar 10% yaitu sebesar 4,9 mm. Besar nilai *flow* juga dapat dipengaruhi nilai kadar rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tercipta di dalam campuran aspal, akan membuat benda uji ketika diuji dengan pembebanan benda uji cenderung cepat retak.

4.8.7 Marshall Quotient (MQ)

Berikut adalah hasil analisa *marshall quotient* pada campuran aspal *styrofoam* :

Contoh perhitungan kadar aspal 0% benda uji 1.

Rumus :

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

$$MQ = \frac{2077,84}{4,6}$$

MQ = 451,7

Tabel 4.66 Hasil *Marshall Quotient* Aspal *Styrofoam*

No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6.37%	0AS1	0%	2077,84	4,60	451,7
2		0AS2		1620,71	5,00	324,1
3		0AS3		2057,45	5,00	411,5
Rata - rata						395,8
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6.37%	1AS1	0%	1979,95	4,20	471,4
2		1AS2		2311,15	4,50	513,6
3		1AS3		2301,16	4,90	469,6
Rata - rata						484,9
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6.37%	2AS1	0%	2758,70	4,80	574,7
2		2AS2		2432,70	4,70	517,6
3		2AS3		2331,65	3,70	630,2
Rata - rata						574,2
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6,37%	3AS1	0%	3058,08	4,40	695,0
2		3AS2		2584,53	5,20	497,0
3		3AS3		2244,87	4,40	510,2
Rata - rata						567,4
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6,37%	4AS1	0%	2958,66	4,80	616,4
2		4AS2		2762,06	4,90	563,7
3		4AS3		2750,95	4,60	598,0
Rata - rata						592,7
No	Kadar Aspal	Kode	% Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ
1	6,37%	5AS1	0%	2585,76	5,00	517,2

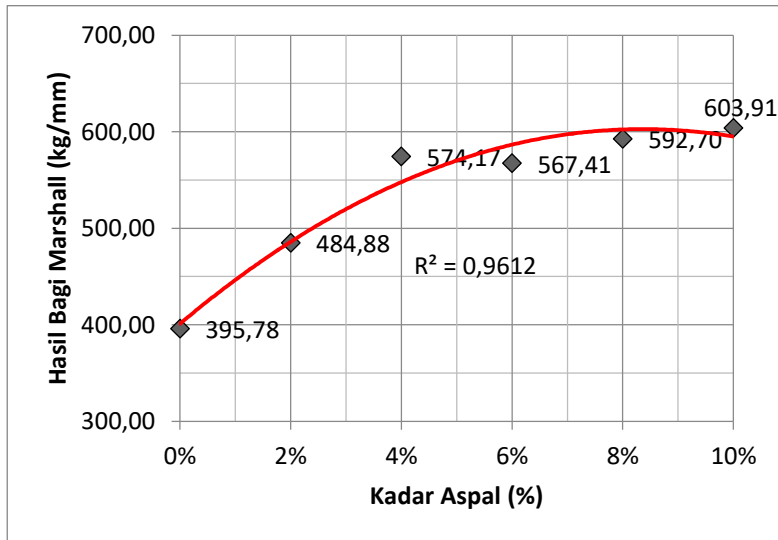
2	5AS2	3373,07	4,00	843,3
3	5AS3	2572,40	5,70	451,3
Rata - rata				603,9

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.67 Hasil Rata - rata *Marshall Quotient* Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Hasil Rata - rata Marshall Quotient						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Stabilitas (kg)	Flow	MQ (kg/mm)
					(mm)	
1	0AS	6,37%	0%	1918,67	4,87	395,78
2	1AS		2%	2197,42	4,53	484,88
3	2AS		4%	2507,68	4,40	574,17
4	3AS		6%	2629,16	4,67	567,41
5	4AS		8%	2823,89	4,77	592,70
6	5AS		10%	2843,74	4,90	603,91

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



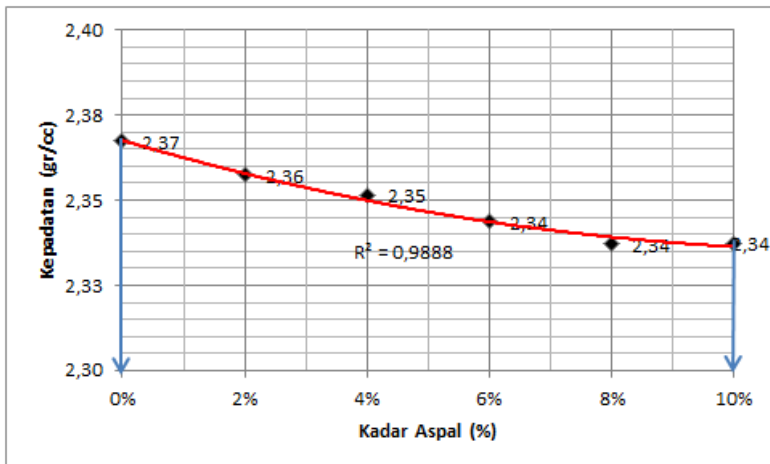
Gambar 4.32 Grafik *Marshall Quotient* Aspal *Styrofoam*

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran (Sukirman, 2003). Semakin tinggi nilai MQ semakin kaku suatu campuran. Faktor yang mempengaruhi MQ adalah pembagian butir agregat, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan. **Gambar 4.32** menunjukkan bahwa nilai MQ cenderung meningkat. Hal itu dapat diartikan bahwa pencampuran dengan *styrofoam* mengakibatkan sifat campuran menjadi kaku.

Berdasarkan grafik di atas bentuk grafik *marshall quotient* menyerupai nilai stabilitas *marshall* aspal *styrofoam*. Nilai terbesar pada kadar *styrofoam* 10% yaitu sebesar 603,91 kg/mm.

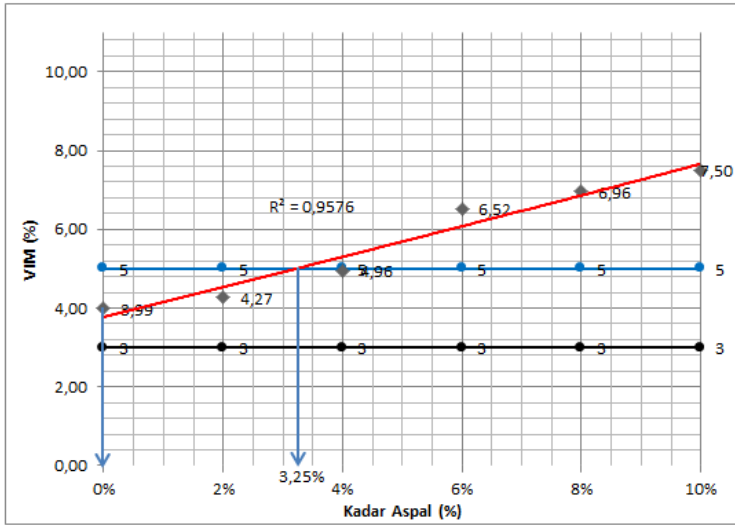
4.9 Menentukan Kadar *Styrofoam* Optimum

Dengan membuat batas – batas nilai parameter *marshall* yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dari campuran aspal dapat ditentukan kadar *styrofoam* optimum :

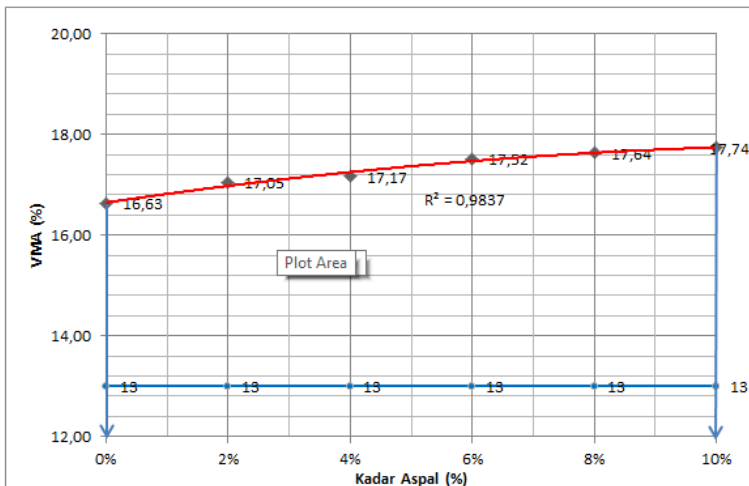


Gambar 4.33 Grafik Peninjauan *Density* untuk Penentuan Kadar *Styrofoam* Optimum

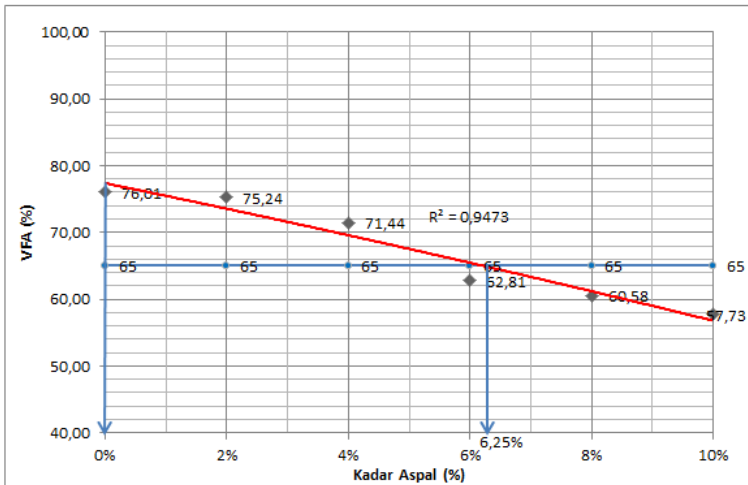
Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



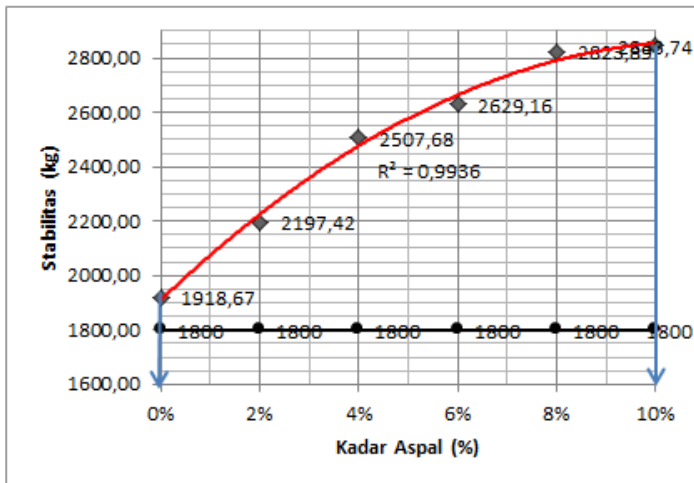
Gambar 4.34 Grafik Peninjauan VIM untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum



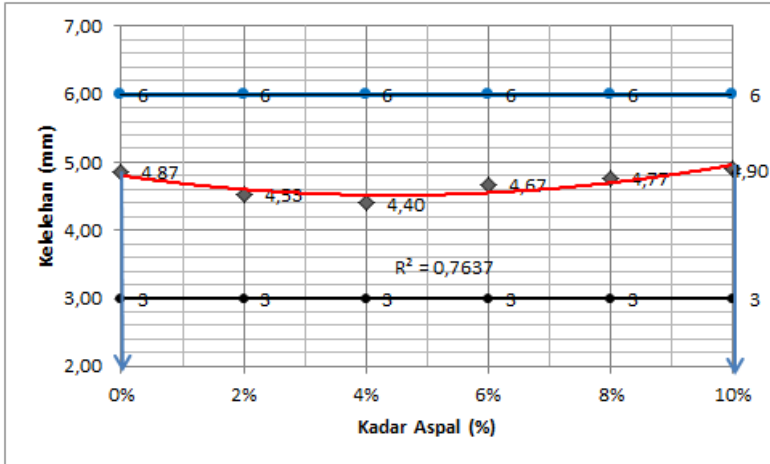
Gambar 4.35 Grafik Peninjauan VMA untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum



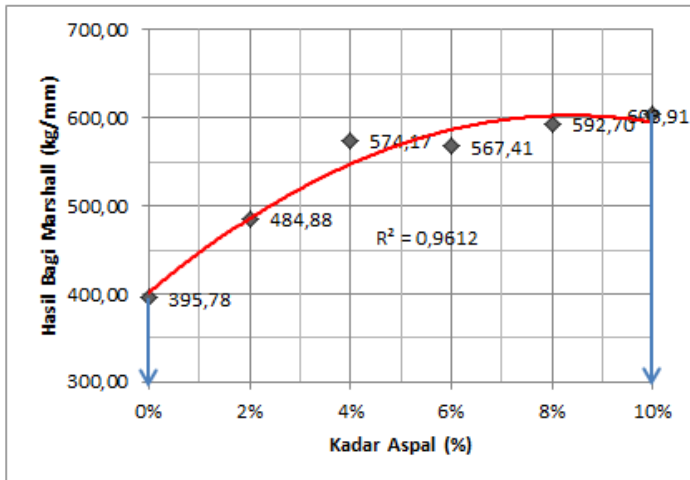
Gambar 4.36 Grafik Peninjauan VFA untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum



Gambar 4.37 Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum

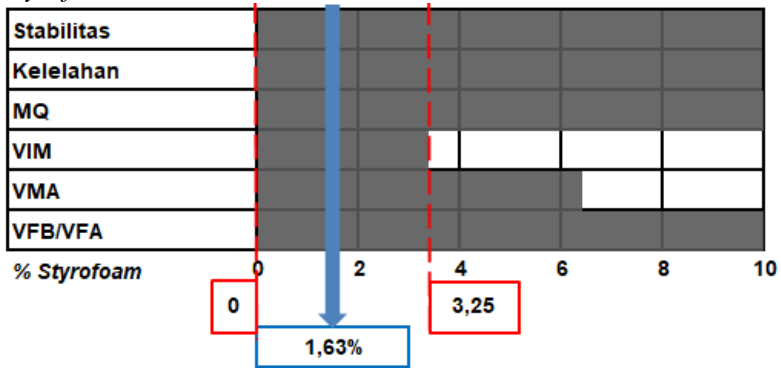


Gambar 4.38 Grafik Peninjauan *Flow* untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum



Gambar 4.39 Grafik Peninjauan *Flow* untuk Penentuan Kadar Styrofoam Optimum

Tabel 4.68 Rekapitulasi Analisa Parameter *Marshall* Aspal *Styrofoam*



Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan hasil pengujian marshall dan analisa parameter pengujian marshall adapun rekapitulasi grafik seperti pada **Tabel 4.68**.

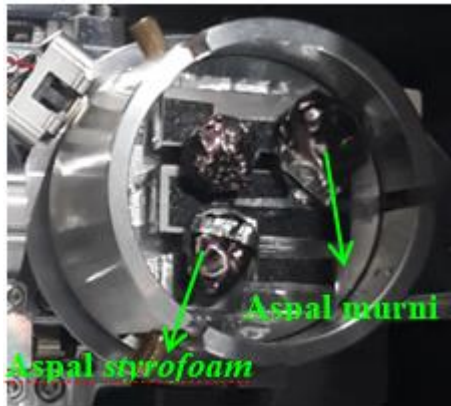
$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan Kadar Styrofoam Optimum} &= \frac{0\% + 3,25\%}{2} \\
 &= 1,625\% \\
 &\approx 1,63\%
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai Kadar *Styrofoam* Optimum yang digunakan adalah 1,63%

Berdasarkan analisa dari grafik gabungan parameter marshall dibawah, diperoleh batas – batas perpotongan nilai kadar *styrofoam* optimum berada diantara 0% - 3,25%. Maka nilai kadar *styrofoam* optimum diperoleh dari median atau nilai tengah dari batas – batas kadar *styrofoam* optimum tersebut sebesar 1,625% atau dibulatkan menjadi 1,63%.

4.10 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

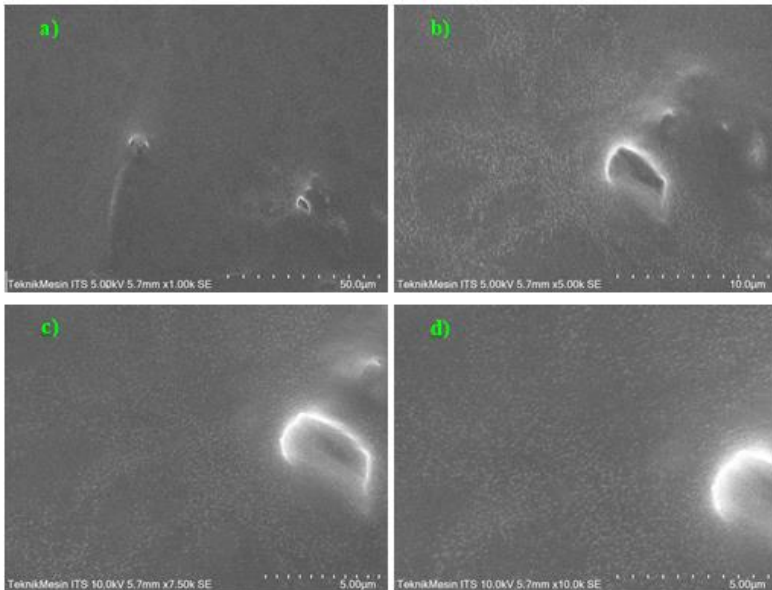
Pengujian SEM untuk mengetahui morfologi aspal murni dan aspal *styrofoam*. Pengujian SEM dilakukan di Jurusan Teknik Mesin ITS. Benda uji aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal murni dan aspal *styrofoam* dengan ukuran 1 cm x 1 cm x 1 cm. Pengujian SEM hanya dapat dilakukan jika benda uji dalam keadaan dingin. Benda uji dapat dilihat pada **Gambar 4.40**.



Gambar 4.40 Pengujian SEM aspal konvensional dan aspal *Styrofoam*

Sumber : Hasil Pengujian

Hasil pengujian SEM untuk aspal murni dapat dilihat pada **Gambar 4.41**.

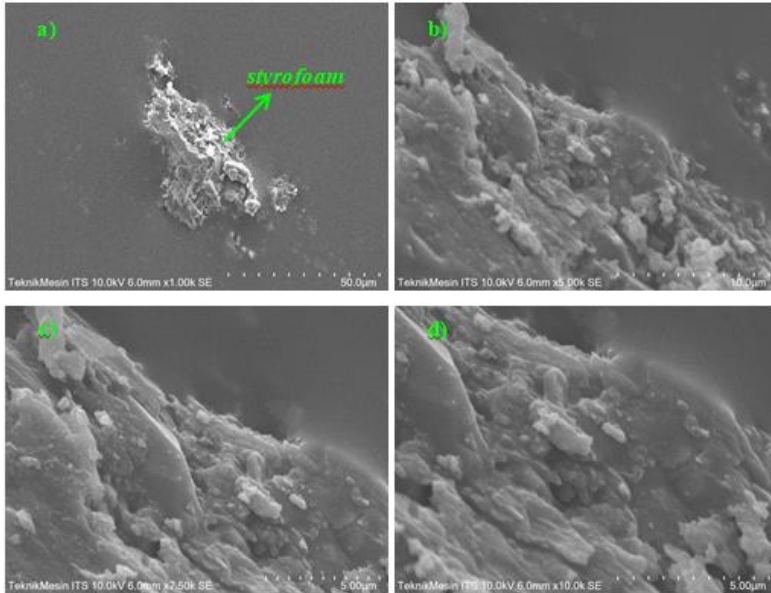


Gambar 4.41 Hasil Pengujian SEM Aspal Murni dengan Masing - Masing Perbesaran a) 1000x b) 5000x c) 7500x dan d) 10.000x

Sumber : Hasil Pengujian

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa hasil SEM dari uji material aspal murni. Dapat kita lihat bahwa gambar SEM dari aspal murni cenderung padat dan homogen. Hal ini karena material yang diujikan hanya satu jenis bahan yaitu aspal murni.

Mari kita bandingkan dengan hasil uji SEM aspal *styrofoam* pada **Gambar 4.42**.



Gambar 4.42 Hasil Pengujian SEM Aspal *Styrofoam* dengan Masing - Masing Perbesaran a) 1000x b) 5000x c) 7500x dan d) 10.000x

Sumber : Hasil Pengujian

Hasil uji SEM pada aspal *styrofoam* menunjukkan bahwa morfologi pada aspal *styrofoam* terlihat adanya penggumpalan (aglomerasi) *styrofoam*. Aglomerasi *styrofoam* dapat diamati dari *styrofoam* yang tidak tercampur secara penuh (homogen). Selain itu ada kemungkinan hasil uji SEM diatas kurang valid. Hal ini karena uji SEM hanya dapat dilakukan saat benda uji dalam keadaan dingin. Sedangkan pencampuran aspal *styrofoam* dengan agregat dilakukan saat aspal *styrofoam* panas yaitu sekitar 155 °C.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Digunakan hasil KAO sebesar 6,37% pada penelitian ini untuk selanjutnya digunakan dalam campuran aspal *styrofoam*.
2. Didapatkan nilai Kadar *Styrofoam* Optimum sebesar 1,63%. Nilai kadar *styrofoam* yang masih bisa digunakan atau masih masuk persyaratan uji karakteristik aspal *styrofoam* sesuai dengan spesifikasi aspal PEN 60/70 berkisar antara 0% sampai 2,6%. Nilai kadar *styrofoam* pada campuran AC-Base aspal *styrofoam* yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu antara 0% - 3,25%. Sehingga kadar *styrofoam* pada aspal *styrofoam* yang masih bisa digunakan (memenuhi spek) adalah antara 0% - 2,6%.
3. Adapun pengaruh penambahan limbah *styrofoam* pada AC-Base terhadap parameter Marshall antara lain :
 - a. Semakin banyak presentase *styrofoam* yang dicampurkan ke dalam aspal maka nilai penetrasi semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *styrofoam* akan mengakibatkan aspal semakin keras.
 - b. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk meningkatkan titik lembek jika diperlukan pada situasi tertentu dimana diperlukan titik lembek yang lebih tinggi dari temperatur permukaan jalan agar tidak terjadi pelelehan aspal dipermukaan jalan. Hal ini juga berlaku pada titik nyala.
 - c. Bertambahnya kadar *styrofoam* sebagai campuran aspal maka nilai daktilitas aspal semakin berkurang. Hal ini

menunjukkan bahwa aspal akan semakin getas apabila dicampuri *styrofoam*.

- d. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk mengurangi kehilangan berat ketika pelaksanaan penghamparan aspal.
- e. Nilai VIM cenderung mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar *styrofoam*. Hal ini disebabkan karena terjadi aglomerasi material *styrofoam* pada campuran aspal *styrofoam*. Sehingga aspal *styrofoam* kurang bisa mengisi *void* pada campuran ataupun agregat. Nilai VIM yang melebihi standar akan berakibat pada pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada jalan larena lapis perkerasan berongga dan kurang rapat. VIM yang terlalu kecil menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika suhu meningkat.
- f. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk menambah stabilitas perkerasan *AC-Base* tapi dengan batasan sampai dengan kadar 2,6%.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode penelitian ini alangkah baiknya di kembangkan lagi yaitu pada proses penentuan kadar aspal optimum (KAO). Setiap penambahan kadar *styrofoam* pada campuran aspal akan mengalami penambahan kepadatan, hal ini akan mempengaruhi hasil uji *marshall*. Saran dari peneliti yaitu KAO dilakukan pada setiap variasi penambahan kadar *sytorofoam* pada campuran.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan jenis plastik yang digunakan lebih variatif, karena plastik memiliki banyak jenis

sehingga seluruh limbah plastik dapat digunakan sebagai material tambah pada campuran aspal.

3. Untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa digunakan material *coupling agent* yang dapat digunakan sebagai pengikat antara material polar dan non-polar. Sehingga tidak terjadi penggumpalan *styrofoam* pada saat dicampurkan dengan aspal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adly, E. (2016). *Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%; 6,5%; 7,5%; 8,5% dan 9,5% pada Campuran AC-WC*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2016). <http://kehati.or.id/styrofoam-dan-plastik-di-jakarta-kian-mengkhawatikan-saatnya-kembali-ke-besek/> . (Diakses pada tanggal 5 Oktober 2019).
- BPLH Kota Bandung. (2016). <https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-3320899/volume-sampah-styrofoam-di-bandung-27-ton-per-bulan> . (Diakses pada tanggal 5 Oktober 2019).
- Damanhuri, E & Padi, T. (2010). *Diktat Kuliah Pengelolaan Sampah*. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pd T-04-2005-B Penggunaan Agregat Slag Besi dan Baja untuk Campuran Beraspal Panas*. Jakarta : PU.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum RI. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Jakarta : PU.
- Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Jakarta: Pemukiman dan Prasarana.
- Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum RI. (2010). *Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)*. Jakarta : PU.
- Fitidarini, N. L & Damanhuri, E. (2011). *Timbulan Sampah Styrofoam di Kota Bandung*. Bandung : Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 17 No. 2 ITB.
- Listiani, Ayu. (2015). *Evaluasi Pemanfaatan Limbah Plastik Expanded Polystyrene (EPS) sebagai Bahan Substitusi Aspal dalam Campuran Lapis Aspal Beton Lapis Aus*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Nassar, M., Kabel, K. I & Ibrahim, M. (2012). *Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt*

- Binder*. ARPN Journal of Science and Technology. Vol 2, No. 10.
- Nikolaides, A. (2015). *Highway Engineering Pavements, Materials and Controls of Quality*. Boca Raton: CRC Press.
- Permanasari, Reni. (2017). *Pengaruh Penggunaan Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%, 7%, 8%, dan 10% pada Campuran AC-WC*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Prameswari, P. A. (2016). *Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall*. JRSDD. Volume. 4, Hal. 294-305
- Pratomo, P., Ali, H. & Diansari, S., (2016). *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linier Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)*. *Jurnal Rekayasa*, 20(3), Hal. 155-166.
- PT.Pertamina.(2018).<https://www.kompasiana.com/indrato/5ae1040e16835f71d2446c42/mengapa-indonesia-harus-impor-aspal> . (Diakses pada tanggal 7 Oktober 2019).
- Pudjiastuti,S(2018).<https://megapolitan.kompas.com/read/2018/08/19/21151811/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-kedua-di-dunia> . (Diakses pada tanggal 7 Oktober 2019).
- Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan. 2000. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Bandung : Departemen Pemukiman dan Pengembangan Wilayah.
- Pustran – Balitbang PU. (1991). *SNI-06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Jakarta : PU.
- Pustran – Balitbang PU. (2003). *RSNI S-01-2003 Spesifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi*. Jakarta : PU.
- Rahmawati. A. (2016). *Pengaruh Limbah Padat Styrofoam Dengan Variasi Kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, Dan 6%*

- Pada Campuran HRS-WC Ditinjau Dari Karakteristik Marshall*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Roberts, F. L. et al. (1996). *Hot Mix Asphalt materials, Mixtures Design and Construction*. Napa Education Foundation, Lanham, Maryland.
- Sari, Adella P. (2017). *Pengaruh Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5% pada Campuran HRS-WC*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta..
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). *Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik*. *Jurnal Rekaya Sipil dan Desain*, 284-293.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung : Granit.
- Suroso, T. W. (2008). *Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Polyethylen) Cara Basah dan Cara Kering terhadap Kinerja Campuran Beraspal*. Bandung : Media Komunikasi Teknik Sipil.
- Tridratolaksono.(2017).http://m.beritajatim.com/pendidikan_kesehatan/293100/pemkot_gagas_perda_sampah_styrofoam.html . (Diakses pada tanggal 5 Oktober 2019).
- Zhu, J., Birgisson, B. & Kringos, N., (2014). *Polymer Modification of Bitumen Advances and Challenges*. *European Polymer Journal*. Volume 54, Hal. 18-38.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Gifary Maulana Wibawa. Lahir di Nganjuk, 28 Juni 1997 sebagai anak sulung dari dua bersaudara dari pasangan Sugeng Wibawa dan Fepi Handayani. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi, SDN Jogomerto 1, SMPN 1 Tanjunganom Nganjuk dan SMAN 2 Nganjuk. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Jurusan D-IV Teknik Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2015 dengan NRP 10111510000039. Di Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Transportasi. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Waskita Karya Tbk, pada proyek Jalan Tol Semarang – Batang seksi 4 – 5. Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir program D-IV Teknik Infrastruktur Sipil mengambil judul “Pengaruh Penambahan Limbah *Styrofoam* Terhadap Hasil Marshall pada *AC-Base*”. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat kedepannya. Jika ada keperluan terkait tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email gifary59@gmail.com.

Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mensupport dan membantu saya dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan ini:

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan, walaupun selama penyelesaian tugas akhir ini mengalami hambatan dan rintangan yang tiada henti.
2. Orang tua dan keluarga besar yang selalu mendukung serta mendoakan supaya diberi kemudahan dan kelancaran dalam penelitian penulis.
3. Bapak Ir. Rachmad Basuki, MS. Selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi bimbingan, arahan, masukan dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang tidak dapat saya tulis satu-persatu, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan dan menyusun proposal.
5. Moh. Fahrizal Zaki Mubarok dan Ollyan Febrienne selaku teman yang bersama-sama menjalani penelitian ini. Serta Moh. Firli Firdausi yang telah membantu dalam penelitian ini.
6. Teman-teman Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS yang telah memberikan bantuannya kepada penulis dalam membuat laporan ini.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Logbook Penelitian

Minggu ke-9		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 21 Oktober 2019	-
2	Selasa, 22 Oktober 2019	• Seminar Proposal
3	Rabu, 23 Oktober 2019	-
4	Kamis, 24 Oktober 2019	• Membeli material agregat dan aspal
5	Jumat, 25 Oktober 2019	• Revisi Proposal
6	Sabtu, 26 Oktober 2019	-
7	Minggu, 27 Oktober 2019	-

Minggu ke-10		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 28 Oktober 2019	-
2	Selasa, 29 Oktober 2019	-
3	Rabu, 30 Oktober 2019	-
4	Kamis, 31 Oktober 2019	-
5	Jumat, 01 November 2019	• Treatment agregat, mencuci, dan menggoreng
6	Sabtu, 02 November 2019	• Analisa Saringan 10-20, 10-10, 5-10, & 0-5
7	Minggu, 03 November 2019	• Analisa Saringan 10-20, 10-10, 5-10, & 0-5

Minggu ke-11		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 04 November 2019	• Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus, Blending Agregat
2	Selasa, 05 November 2019	• Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus, Blending Agregat
3	Rabu, 06 November 2019	• Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus
4	Kamis, 07 November 2019	• Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus
5	Jumat, 08 November 2019	• Hasil Berat Jenis Kasar dan Halus, Uji Karakteristik Aspal
6	Sabtu, 09 November 2019	• Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus, Uji Karakteristik
7	Minggu, 10 November 2019	• Job Mix Formula

Minggu ke-12		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 11 November 2019	• Job Mix Formula, Uji Karakteristik Aspal
2	Selasa, 12 November 2019	• Job Mix Formula, Uji Karakteristik Aspal
3	Rabu, 13 November 2019	• Job Mix Formula, Uji Karakteristik Aspal
4	Kamis, 14 November 2019	• Uji Karakteristik Aspal, Mengayak Agregat per ayakan untuk stok
5	Jumat, 15 November 2019	• Mengayak agregat per ayakan untuk stok
6	Sabtu, 16 November 2019	• Mengayak agregat per ayakan untuk stok
7	Minggu, 17 November 2019	-

Minggu ke-13		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 18 November 2019	• Menimbang 25 kantong agregat
2	Selasa, 19 November 2019	-
3	Rabu, 20 November 2019	-
4	Kamis, 21 November 2019	• Mengkompaktor 2 benda uji
5	Jumat, 22 November 2019	• Mengkompaktor 10 benda uji
6	Sabtu, 23 November 2019	• Mengkompaktor 5 benda uji
7	Minggu, 24 November 2019	• Mengkompaktor 8 benda uji

Minggu ke-14		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 25 November 2019	-
2	Selasa, 26 November 2019	-
3	Rabu, 27 November 2019	• Persiapan data – data uji marshall
4	Kamis, 28 November 2019	• Uji Marshall
5	Jumat, 29 November 2019	• Uji Marshall
6	Sabtu, 30 November 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
7	Minggu, 01 Desember 2019	• Mencari Limbah <i>Styrofoam</i>

Minggu ke-15		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 02 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
2	Selasa, 03 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
3	Rabu, 04 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
4	Kamis, 05 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
5	Jumat, 06 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
6	Sabtu, 07 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
7	Minggu, 08 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum

Minggu ke-16		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 09 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
2	Selasa, 10 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
3	Rabu, 11 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
4	Kamis, 12 Desember 2019	• Penentuan Kadar Aspal Optimum
5	Jumat, 13 Desember 2019	• Menimbang Agregat
6	Sabtu, 14 Desember 2019	• Menimbang Agregat
7	Minggu, 15 Desember 2019	• Menimbang Agregat

Minggu ke-17		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 16 Desember 2019	-
2	Selasa, 17 Desember 2019	-
3	Rabu, 18 Desember 2019	-
4	Kamis, 19 Desember 2019	-
5	Jumat, 20 Desember 2019	• Uji Karakteristik Aspal <i>Styrofoam</i>
6	Sabtu, 21 Desember 2019	• Uji Karakteristik Aspal <i>Styrofoam</i>
7	Minggu, 22 Desember 2019	• Uji Karakteristik Aspal <i>Styrofoam</i>

Minggu ke-18		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 23 Desember 2019	• Uji Karakteristik Aspal <i>Styrofoam</i>
2	Selasa, 24 Desember 2019	• Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>
3	Rabu, 25 Desember 2019	• Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>
4	Kamis, 26 Desember 2019	• Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>
5	Jumat, 27 Desember 2019	• Uji Marshall Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>
6	Sabtu, 28 Desember 2019	• Uji Marshall Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>
7	Minggu, 29 Desember 2019	• Uji Marshall Campuran Aspal <i>Styrofoam</i>

Minggu ke-19		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 30 Desember 2019	• Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum
2	Selasa, 31 Desember 2019	• Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum
3	Rabu, 01 Januari 2019	• Penentuan Kadar <i>Styrofoam</i> Optimum
4	Kamis, 02 Januari 2019	• Membuat Laporan Hasil Uji
5	Jumat, 03 Januari 2019	• Membuat Laporan Hasil Uji
6	Sabtu, 04 Januari 2019	• Membuat Laporan Hasil Uji
7	Minggu, 05 Januari 2019	• Membuat Laporan Hasil Uji

Lampiran 2 Langkah - Langkah Pembuatan Benda Uji





Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian Penetrasi Aspal



Lampiran 4 Hasil Pengujian Penetrasi Tiap Kadar Styrofoam

Penetrasi Aspal Konvensional		
No.	Perc. 1	Perc. 2
1	85	85
2	80	85
3	77	70
4	79	78
5	76	78
6	70	79
7	80	76
8	74	79
	77,63	78,75
	78,19	

**Penetrasi Aspal
Styrofoam 2%**

No.	Perc. 1	Perc. 2
1	60	70
2	72	60
3	67	65
4	62	70
5	70	66
6	70	55
7	60	70
8	65	69
	65,75	65,63
	65,69	

**Penetrasi Aspal
Styrofoam 4%**

No.	Perc. 1	Perc. 2
1	53	65
2	50	50
3	55	64
4	58	50
5	58	64
6	58	57
7	62	57
8	54	62
	56,00	58,63
	57,31	

**Penetrasi Aspal
Styrofoam 6%**

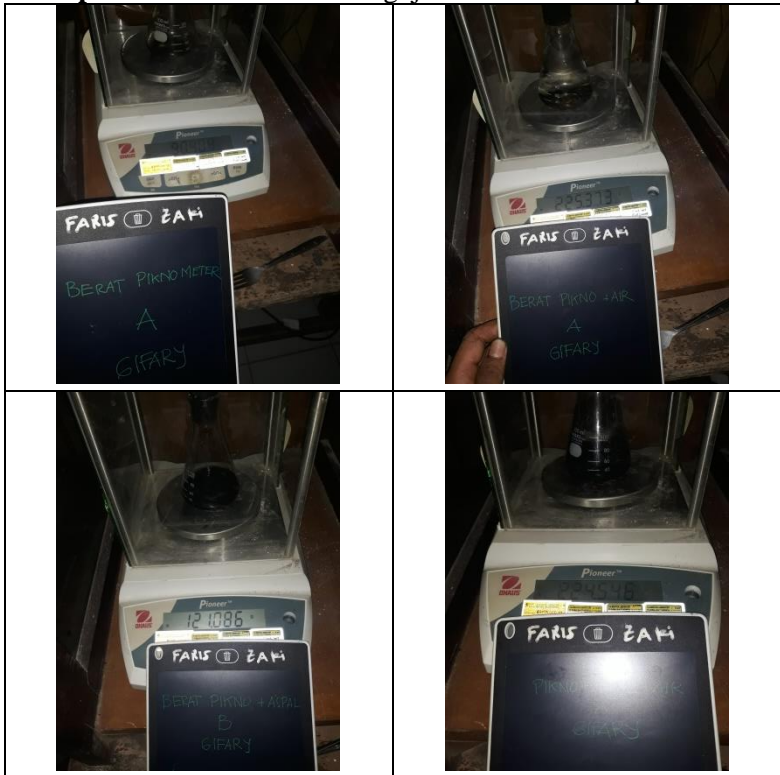
No.	Perc. 1	Perc. 2
1	42	70
2	44	48
3	41	55
4	54	40
5	42	42

Penetrasi Aspal Styrofoam 6%		
No.	Perc. 1	Perc. 2
6	44	50
7	54	50
8	60	40
	47,63	49,375
	48,50	

Penetrasi Aspal Styrofoam 8%		
No.	Perc. 1	Perc. 2
1	50	44
2	46	48
3	44	47
4	44	45
5	40	44
6	46	44
7	44	46
8	44	47
	44,75	45,63
	45,19	

Penetrasi Aspal Styrofoam 10%		
No.	Perc. 1	Perc. 2
1	42	43
2	43	43
3	44	40
4	45	42
5	42	42
6	42	47
7	45	43
8	43	43
	43,25	42,88
	43,1	

Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian Berat Jenis Aspal



Lampiran 6 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Berat Jenis Aspal Kadar <i>Styrofoam</i> 0%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	90,404	87,504
2	Berat Pikno + Air (gram)	225,373	220,817
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	224,546	223,979
4	Berat Pikno + Aspal (gram)	132,826	121,086

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 0%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
5	Berat Isi Pikno (gram)	134,969	133,313
6	Berat Contoh (gram)	42,422	33,582
7	Berat Air (gram)	91,72	102,893
8	BJ. Aspal (gram)	0,981	1,104
9	Rata – rata	1,042	

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 2%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	88,96	89,179
2	Berat Pikno + Air (gram)	222,852	223,495
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	226,608	222,701
4	Berat Pikno + Aspal (gram)	114,872	123,269
5	Berat Isi Pikno (gram)	133,892	134,316
6	Berat Contoh (gram)	25,912	34,09
7	Berat Air (gram)	111,74	99,432
8	BJ. Aspal	1,170	0,977
9	Rata - rata	1,073	

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 4%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	88,77	90,07
2	Berat Pikno + Air (gram)	222,313	222,9
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	226,708	223,44
4	Berat Pikno + Aspal (gram)	114,3	111,211
5	Berat Isi Pikno (gram)	133,543	132,83
6	Berat Contoh (gram)	25,53	21,141
7	Berat Air (gram)	112,41	112,229
8	BJ. Aspal	1,208	1,026
9	Rata - rata	1,117	

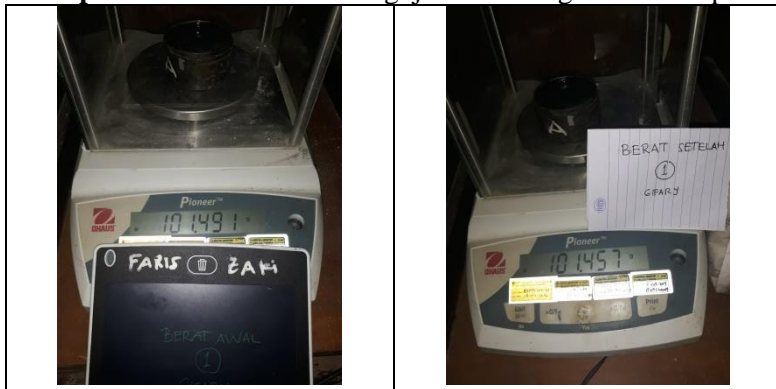
Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 6%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	88,785	90,01
2	Berat Pikno + Air (gram)	223,567	224,564
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	226,553	230,995
4	Berat Pikno + Aspal (gram)	124,565	123,456
5	Berat Isi Pikno (gram)	134,782	134,554
6	Berat Contoh (gram)	35,78	33,446
7	Berat Air (gram)	101,99	107,539
8	BJ. Aspal	1,091	1,238
9	Rata - rata	1,165	

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 8%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	88,783	90,034
2	Berat Pikno + Air (gram)	223,577	224,545
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	228,172	230,985
4	Berat Pikno + Aspal (gram)	124,545	123,345
5	Berat Isi Pikno (gram)	134,794	134,511
6	Berat Contoh (gram)	35,762	33,311
7	Berat Air (gram)	103,63	107,64
8	BJ. Aspal	1,147	1,240
9	Rata - rata	1,194	

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 10%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno (gram)	88,995	89,314
2	Berat Pikno + Air (gram)	222,902	224,08
3	Berat Pikno + Air + Aspal (gram)	228,172	231,995
4	Berat Pikno + Aspal	125,053	123,73

Berat Jenis Aspal Kadar Styrofoam 10%			
No.	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
	(gram)		
5	Berat Isi Pikno (gram)	133,907	134,766
6	Berat Contoh (gram)	36,058	34,416
7	Berat Air (gram)	103,12	108,265
8	BJ. Aspal	1,171	1,299
9	Rata - rata	1,235	

Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian Kehilangan Berat Aspal



Lampiran 8 Rekap Hasil Rata - Rata Pengujian Kehilangan Berat Aspal Tiap Variasi Kadar Styrofoam

Kehilangan Berat SNI 06-2440-1991					
No.	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Kehilangan Berat	Syarat	Ket
				Max.	
1	6,37%	0%	0,039	0,8	OK
2		2%	0,033		OK
3		4%	0,026		OK
4		6%	0,015		OK
5		8%	0,011		OK
6		10%	0,010		OK

Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Titik Lembek Aspal



Lampiran 10 Rekap Rata – Rata Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Tiap Variasi Kadar Styrofoam

Titik Lembek SNI 2434:2011						
No.	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Titik Lembek (°C)	Syarat		Ket
				Min.	Max.	
1	6,37%	0%	53,5	48	58	OK
2		2%	54			OK
3		4%	54,25			OK
4		6%	55			OK
5		8%	55,25			OK
6		10%	56			OK

Lampiran 11 Dokumentasi Pengujian Titik Nyala Aspal**Lampiran 12** Rekap Hasil Rata – Rata Pengujian Titik Nyala Aspal Tiap Variasi Kadar Aspal

Titik Nyala SNI 2433:2011					
No.	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Titik Nyala (°C)	Syarat	Ket
				Min.	
1	6,37%	0%	215	200	OK
2		2%	220		OK
3		4%	223		OK
4		6%	227		OK
5		8%	232		OK
6		10%	236		OK

Lampiran 13 Dokumentasi Pengujian Daktilitas Aspal

Lampiran 14 Rekap Hasil Rata – Rata Pengujian Daktilitas Aspal Tiap Variasi Kadar *Styrofoam*

Daktilitas SNI 2432:2011					
No.	Kadar Aspal	Kadar Styrofoam	Daktilitas (cm)	Syarat	Ket
				Min.	
1	6,37%	0%	161	100	OK
2		2%	110,5		OK
3		4%	106,5		OK
4		6%	89		TDK OK
5		8%	86		TDK OK
6		10%	84,5		TDK OK

Lampiran 15 Dokumentasi Pengujian Marshall Campuran Aspal Konvensional untuk Mencari KAO



Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall Tiap Kadar Aspal untuk Mencari KAO

Kadar Aspal = 4,54%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 0%								
1	1AG1	2,27	1597,46	5,30	10,44	18,54	43,69	301,41
2	1AG2	2,28	1914,38	5,60	10,05	18,18	44,72	341,85
3	1AG3	2,32	2703,33	7,20	8,47	16,74	49,40	375,46
4	1AG4	2,28	2294,22	8,50	10,03	18,18	44,83	269,91
5	1AG5	2,27	1525,57	4,50	10,44	18,54	43,69	339,02
Rata - rata		2,29	2006,99	6,22	9,89	18,04	45,27	325,53

Kadar Aspal = 5,04%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 0%								
1	2AG1	2,32	2094,26	4,40	7,78	17,18	54,71	475,97
2	2AG2	2,30	1765,51	7,10	8,58	17,89	52,04	248,66
3	2AG3	2,32	1766,43	6,40	7,78	17,18	54,71	276,00
4	2AG4	2,31	1848,00	5,20	8,18	17,53	53,34	355,39
5	2AG5	2,28	1746,44	6,10	9,37	18,61	49,65	286,30
Rata - rata		2,30	1844,13	5,84	8,34	17,68	52,89	328,46

Kadar Aspal = 5,54%									
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ	
A		Kadar Styrofoam = 0%							
1	3AG1	2,33	2425,36	4,60	6,7	17,26	61,18	527,25	
2	3AG2	2,33	2253,94	6,20	6,7	17,26	61,18	363,54	
3	3AG3	2,34	2161,66	4,60	6,3	16,9	62,72	469,93	
4	3AG4	2,33	1595,73	3,50	6,7	17,26	61,18	455,92	
5	3AG5	2,28	1798,85	4,60	8,7	19,03	54,28	391,05	
Rata - rata		2,32	2047,11	4,70	7,02	17,54	60,11	441,54	

Kadar Aspal = 6,04%									
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ	
A		Kadar Styrofoam = 0%							
1	4AG1	2,37	2660,19	6,10	4,39	16,28	73,03	436,10	
2	4AG2	2,29	1941,10	6,10	7,62	19,11	60,13	318,21	
3	4AG3	2,33	1678,63	4,50	6,01	17,7	66,05	373,03	
4	4AG4	2,29	1359,97	8,10	7,62	19,11	60,13	167,90	
5	4AG5	2,35	2244,87	5,50	5,2	16,99	69,39	408,16	
Rata - rata		2,33	1976,95	6,06	6,17	17,84	65,74	340,68	

Kadar Aspal = 6,54%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 0%								
1	5AG1	2,38	2874,53	7,20	4,1	17,08	76,00	399,24
2	5AG2	2,37	1621,42	2,10	4,5	17,43	74,18	772,11
3	5AG3	2,35	2027,88	6,70	3,69	16,73	77,94	302,67
4	5AG4	2,34	2199,49	4,30	5,32	18,13	70,66	511,51
5	5AG5	2,35	1546,27	6,10	4,91	17,78	72,38	253,49
Rata - rata		2,36	2053,92	5,28	4,50	17,43	74,23	447,80

Lampiran 17 Dokumentasi Pengujian Marshall Campuran Aspal
Styrofoam



Lampiran 18 Hasil Pengujian Marshall Campuran Aspal *Styrofoam* Tiap Kadar *Styrofoam* untuk Mencari Kadar *Styrofoam* Optimum

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar <i>Styrofoam</i> = 0%								
1	0AS1	2,32	2270,36	5,30	5,96	18,34	67,50	428,37
2	0AS2	2,36	2077,84	4,60	4,33	16,93	74,42	451,70
3	0AS3	2,37	1620,71	5,00	3,93	16,58	76,30	324,14
4	0AS4	2,34	2059,79	5,10	5,15	17,63	70,79	403,88
5	0AS5	2,37	2057,45	5,00	3,72	16,39	77,30	411,49
Rata - rata		2,35	2017,23	5,00	4,62	17,17	73,26	403,92

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar <i>Styrofoam</i> = 2%								
1	1AS1	2,32	3169,02	5,80	6,37	18,34	65,27	546,38
2	1AS2	2,38	1979,95	4,20	2,1	16,23	87,06	471,42
3	1AS3	2,34	2311,15	4,50	5,55	17,63	68,52	513,59
4	1AS4	2,35	2301,16	4,90	5,16	17,28	70,14	469,62
5	1AS5	2,34	2000,14	4,20	6,39	18,3	65,08	476,22
Rata - rata		2,35	2352,28	4,72	5,11	17,56	71,21	495,45

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 4%								
1	2AS1	2,32	2758,70	4,80	6,91	18,34	62,32	574,73
2	2AS2	2,37	2432,70	4,70	4,9	16,58	70,45	517,60
3	2AS3	2,36	2751,97	4,80	5,3	16,93	68,69	573,33
4	2AS4	2,37	2331,65	3,70	3,06	16,58	81,54	630,17
5	2AS5	2,36	2503,06	6,10	5,27	16,92	68,85	410,34
Rata - rata		2,35	2555,61	4,82	5,09	17,07	70,37	541,23

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 6%								
1	3AS1	2,32	1937,63	5,00	7,45	18,34	59,38	387,53
2	3AS2	2,36	3058,08	4,40	5,86	16,93	65,39	695,02
3	3AS3	2,33	2584,53	5,20	7,05	17,99	60,81	497,03
4	3AS4	2,34	2244,87	4,40	6,66	17,63	62,22	510,20
5	3AS5	2,32	2333,07	5,50	7,46	18,28	59,19	424,20
Rata - rata		2,34	2431,64	4,90	6,90	17,83	61,40	502,79

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 8%								
1	4AS1	2,33	2958,66	4,80	7,36	17,99	59,09	616,39
2	4AS2	2,36	2762,06	4,90	6,17	16,93	63,56	563,69
3	4AS3	2,33	2750,95	4,60	7,36	17,99	59,09	598,03
4	4AS4	2,35	2537,22	5,90	6,57	17,28	61,98	430,04
5	4AS5	2,35	2542,83	5,50	6,59	17,57	62,49	462,33
Rata - rata		2,34	2710,34	5,14	6,81	17,55	61,24	534,09

Kadar Aspal = 6,37%								
No.	Kode	Density	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
A Kadar Styrofoam = 10%								
1	5AS1	2,33	2585,76	5,00	7,78	17,99	56,75	517,15
2	5AS2	2,35	3103,05	3,60	6,99	17,28	59,55	861,96
3	5AS3	2,35	3373,07	4,00	6,99	17,28	59,55	843,27
4	5AS4	2,37	4070,95	4,10	6,19	16,58	62,67	992,91
5	5AS5	2,33	2572,40	5,70	7,74	17,95	56,88	451,30
Rata - rata		2,35	3141,04	4,48	7,14	17,42	59,08	733,32