

SKRIPSI

VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAHAN *STYROFOAM*

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai drajat Sarjana S-1
pada Program Studi Teknik Sipil



Disusun Oleh:

FIKRI HAIKAL HIDAYAT

2019D1B040

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

**VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC – WC DENGAN
BAHAN TAMBAHAN STYROFOAM**

Disusun Oleh:

FIKRI HAIKAL HIDAYAT
2019D1B040

Mataram, 18 Januari 2024

Pembimbing I



Titik Wahyuningsih, ST., MT

NIDN : 0819097401

Pembimbing II



Ari Ramadhan Hidayat, ST., M.Eng.

NIDN : 0823029401

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



Dr. H. Aji Svailendra Ubaidillah, ST., M.Sc

NIDN : 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

**VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC – WC DENGAN
BAHAN TAMBAHAN STYROFOAM**

Disusun Oleh :

FIKRI HAIKAL HIDAYAT
2019D1B040

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Hari/Tanggal : Mataram 18 Januari 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Titik Wahyuningsih, ST., MT. (.....)
2. Penguji II : Ari Ramadhan Hidayat, ST., M.Eng. (.....)
3. Penguji III : Adryan Fitrayudha, ST., MT (.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc.

NIDN : 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAHAN *STYROFOAM*”

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukuman yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 18 Januari 2024

Yang membuat pernyataan



FIKRI HAIKAL HIDAYAT

NIM : 2019D1B040



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fikri Haikal Hidayat
NIM : 2019018040
Tempat/Tgl Lahir : Tanjung / 11 Mei 2001
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087722670215
Email : haikalhidayat1105@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
PADA LAPISAN ASPAL BETON AC-WC DENGAN BAHAN TAMBAHAN
STYROFOAM.

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 46%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 27 FEBRUARI 2024

Penulis

FIKRI HAIKAL HIDAYAT
NIM. 2019018040

Mengetahui,
Kepala UPT, Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fikri Haikal Hidayat
NIM : 2019018040
Tempat/Tgl Lahir : Tanjung / 11 Mei 2001
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087722670 215 / haikalhidayat1105@gmail.com
Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

VARIASI SUDUT PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
PADA LAPISAN ASPAL BETON AC - W/C DENGAN BAHAN TAMBAHAN
STYROFOAM

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 27 Februari2024
Penulis

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Fikri Haikal Hidayat
NIM. 2019018040



Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(Q.S Al Baqarah 286)

"Cobaan hidupmu bukanlah untuk menguji kekuatan dirimu. Tapi menakar seberapa besar kesungguhan dalam memohon pertolongan kepada Allah."

(Ibnu Qoyyim)

"Kesabaran dan ketekunan membawa hasil yang luar biasa."

(Napoleon Hil)

"Berkompetisi dengan diri sendiri, bukan dengan orang lain."

(Penulis)

"Jangan takut gagal, keberhasilan sering kali berasal dari pengalaman kegagalan."

(Penulis)

"Jika aku tumbuh menjadi setengah dari dirimu, Ayah, maka aku akan menganggap hidupku sukses"

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moral maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah Subhanahu Wata'ala karena atas kehendak-Nya lah skripsi ini dapat di berikan kelancaran dan kemudahan dalam proses pengerjaannya.
2. Kedua Orang Tua saya yang tercinta Bapak Juliadi. S.Pd (Alm) dan Ibu Turhayani, yang selalu memperjuangkan secara lahir dan batin serta mendoakan saya disetiap waktunya. Maka dari itu gelar sarjana ini penulis persembahkan untuk mereka berdua.
3. Kakak tercinta Fahmi Munandar dan Dewi Yuliawati, yang selalu mengajarku untuk menyikapi proses hidup dan kesabaran dan yang selalu mendukungku.
4. Bapak Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
5. Bapak Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku Ketua Program studi Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
6. Ibu Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku dosen pembimbing utama.
7. Bapak Ari Ramadhan Hidayat, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping
8. Kerabat dan sahabat tercinta yang selalu membantu selama proses skripsi.
9. Untuk jodoh penulis kelak kamu adalah salah satu alasan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini, meskipun saat ini penulis tidak tahu keberadaanmu entah di bumi bagian mana dan menggengam tangan siapa seperti kata Bj Habibie “Kalau emang dia dilahirkan untuk saya, kamu jungkar balik pun saya yang dapat”.
10. Terakhir penulis persembahkan untuk diri sendiri, karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Tak pernah menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini dengan semaksimal mungkin, ini pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal skripsi yang berjudul “Variasi Suhu Pemadatan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapisan Aspal Beton Ac – Wc Dengan Bahan Tambahan *Styrofoam*”. Salawat beserta salam tidak lupa pula kita haturkan kepada junjungan alam Nabi besar Nabi Muhammad SAW. Dan pada keluarga, sahabat, yang telah berjuang dalam segala hal, berkorban jiwa dan raga untuk menghilangkan kebodohan di muka bumi ini, kepada kita penerus setelah mereka. Sehingga kita bisa merasakan kedamaian dalam menuntut ilmu.

Demikian, semoga proposal skripsi ini bisa diterima sebagai ide atau gagasan yang menambah kekayaan intelektual. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga untuk penulis sendiri.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Mataram, 18, Januari 2024

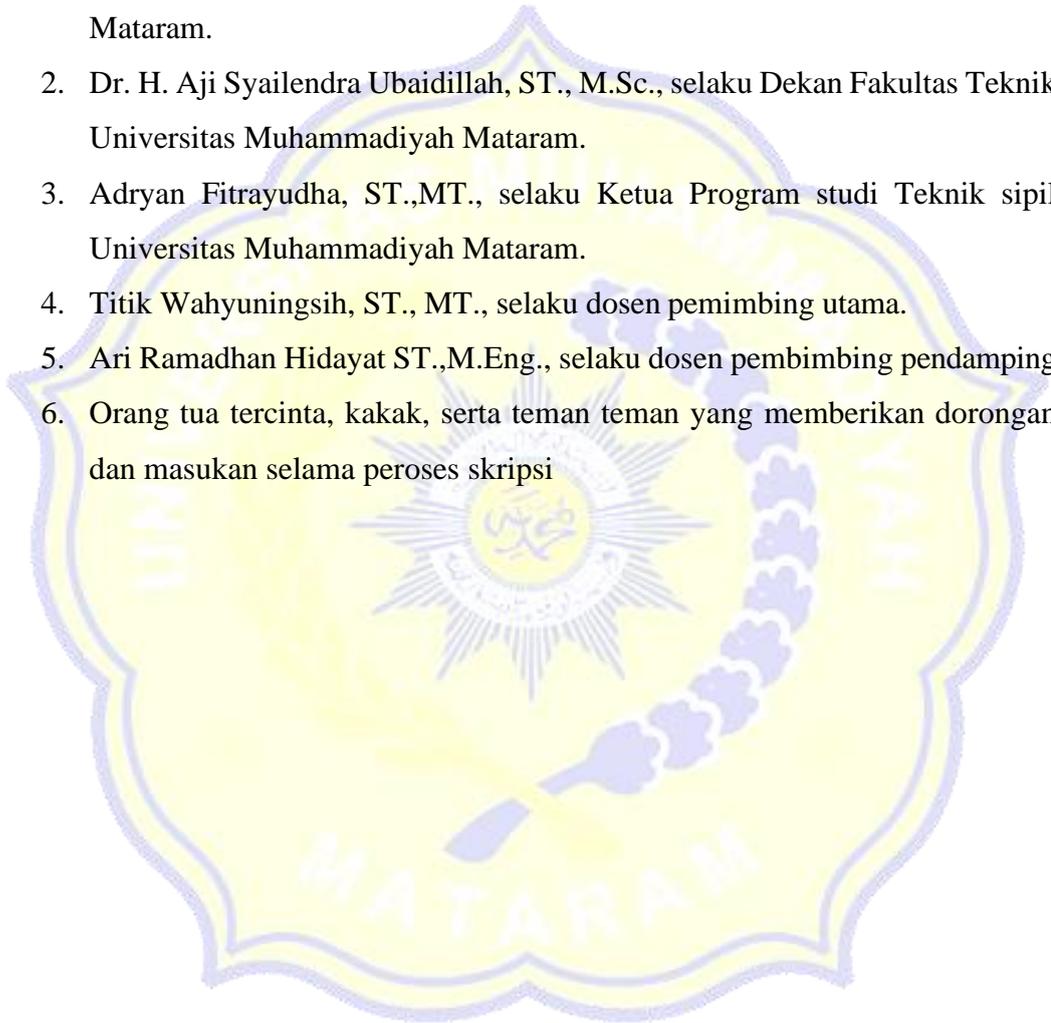
FIKRI HAIKAL HIDAYAT

2019D1B040

UCAPAN TERIMAKASIH

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moral maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Drs. Abdul Wahab, MA., selaku rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adryan Fitrayudha, ST.,MT., selaku Ketua Program studi Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku dosen pemimbing utama.
5. Ari Ramadhan Hidayat ST.,M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping
6. Orang tua tercinta, kakak, serta teman teman yang memberikan dorongan dan masukan selama peroses skripsi



ABSTRAK

Jalan raya adalah infrastruktur transportasi darat yang memiliki peran penting dalam mendukung berbagai aktivitas manusia yang mencakup semua bagian jalan, termasuk tambahan untuk lalu lintas. Jalan raya terdiri dari empat lapisan yang bersusun, yaitu lapisan pondasi bawah (subbase course), lapisan pondasi atas (base course), lapisan antara (binder corse), dan lapisan aus (wearing course).

Penambahan styrofoam pada Lapisan Aspal Beton AC - WC yang merupakan lapisan aus (wearing course). Pengujian ini dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Mataram, dengan variasi suhu pemadatan 115°C, 125°C, 135°C dan 145°C, dan variasi penambahan styrofoam 0%, 2%, 4% dan 6%.

Hasil penelitian ini menunjukkan. Bahan penyusun yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 divisi 6. Nilai stabilitas, MQ, VMA dan VIM cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar styrofoam sebaliknya nilai flow, VIM dan VFA cenderung meningkat. Kadar styrofoam optimum adalah 6% dengan nilai stabilitas flow VIM VMA VFA dan MQ memenuhi spesifikasi dari Direktorat Jendral Bina Marga 2018 divisi 6. Suhu pemadatan optimum dengan penambahan kadar styrofoam optimum adalah 125°C dan 135°C.

Kata kunci: AC-WC, *Styrofoam*, *Marshall*, suhu pemadatan

ABSTRACT

A road is a crucial land transportation facility that supports human activity. It encompasses all components of the roadway, including supplementary sections designed for traffic flow. A highway is composed of four layers: subbase course, base course, binder course, and wearing course. Styrofoam needs to be added to the AC-WC Concrete Asphalt Layer, which serves as the wearing course. This test was conducted in the laboratory of Muhammadiyah Mataram University, with variations in compaction temperature of 115 °C, 125 °C, 135 °C, and 145 °C, and variations in the addition of styrofoam 0%, 2%, 4%, and 6%. The results of this study show. The stability, MQ, VMA, and VIM values tend to decrease as the styrofoam content increases, while the flow, VIM, and VFA values tend to increase. The optimum styrofoam content is 6%, satisfying the standards of the Directorate General of Highways 2018 division 6 for stability flow VIM, VMA VFA, and MQ values. The ideal compaction temperature for including the optimal amount of styrofoam is between 125 °C and 135 °C.

Keywords: AC-WC, Styrofoam, Marshall, compaction temperature

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAPASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMAKASIH.....	x
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II	4

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Perkerasan Jalan.....	6
2.2.2. Perkerasan Lentur	7
2.2.3. Aspal	9
2.2.4. Aspal AC-WC (<i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>).....	14
2.2.5. Agregat.....	15
2.2.6. Jenis agregat.....	18
2.2.7. <i>Filler</i>	20
2.2.8. <i>Styrofoam (Polystyrene)</i>	21
2.2.9. Karakteristik Campuran Aspal.....	23
2.2.10. Perhitungan Kadar Aspal Rencana	24
2.2.11. Pengujian Volumetrik Campuran	25
2.2.12. Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall)	27
BAB III.....	32
METODE PENELITIAN.....	32
3.1. Lokasi Penelitian	32
3.2. Teknik Pengumpulan Data	32
3.3. Peralatan dan Bahan	33
3.3.1. Peralatan.....	33
3.3.2. Bahan	39
3.4. Prosedur Pelaksanaan	40
3.4.1. Tahap persiapan	40
3.4.2. Pembuatan benda uji	42

3.4.3. Marshall test.....	44
3.5. Bagan Alir Penelitian	46
BAB IV	47
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Umum.....	47
4.2. Pengujian Material	47
4.2.1. Hasil analisa pembagian butiran	47
4.2.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	49
4.2.3. Data pengujian aspal	52
4.3. Penentuan Gradasi Agregat	52
4.4. Perhitungan Campuran Dan Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) <i>Asphalt Concrete – Wearing Course (AC- WC)</i>	53
4.4.1. Perhitungan Kadar Aspal Rencana	54
4.4.2. Perhitungan kadar aspal optimum penambahan <i>styrofoam</i>	63
4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum (GMM)	65
4.6. Analisa Marshall pada Kadar Aspal Optimum.....	67
4.6.1. Job mix formula pada kadar aspal optimum.....	67
4.6.2. Hasil Analisa Marshall pada Kadar Aspal Optimum.....	68
BAB V.....	99
KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1. Kesimpulan.....	99
5.2 Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Campuran Lapisan Beton	8
Tabel 2. 2 Persyaratan Aspal Minyak	13
Tabel 2. 3 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal.....	14
Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar	18
Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus	19
Tabel 2. 6 Ketentuan Filler	21
Tabel 2. 7 Persyaratan campuran aspal beton	23
Tabel 2. 8 Angka koreksi pada Perhiungan Stabilitas Marshall	28
Tabel 3. 1 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan	42
Tabel 3. 2 Jumlah Sampel Pengujian	44
Tabel 3. 3 Jumlah Sampel Pengujian	44
Tabel 4. 1 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/4)	48
Tabel 4. 2 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/8)	48
Tabel 4. 3 Analisa saringan Abu Batu	49
Tabel 4. 4 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat (<3/4).....	50
Tabel 4. 5 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat abu batu (t 200)	51
Tabel 4. 6 Karakteristik aspal penetrasi 60/70	52
Tabel 4. 7 Persentase Agregat Campuran	53
Tabel 4. 8 Kadar Aspal Optimum dalam satuan gram	55
Tabel 4. 9 Kadar Aspal Optimum dalam satuan persen.....	56
Tabel 4. 10 Hasil pengujian marshall.....	57
Tabel 4. 11 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Styrofoam 2% ...	63
Tabel 4. 12 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Styrofoam 4% ...	64
Tabel 4. 13 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Styrofoam 6% ...	65
Tabel 4. 14 Hasil pengujian GMM Styrofoam 2%	66
Tabel 4. 15 Hasil pengujian GMM Styrofoam 4%	66
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian GMM Styrofoam 6%	67
Tabel 4. 17 Komposisi material pada KAO 6,5% Styrofoam 2%	67
Tabel 4. 18 Komposisi material pada KAO 6,5% Styrofoam 4%	68
Tabel 4. 19 Komposisi material pada KAO 6,5% Styrofoam 6%	68

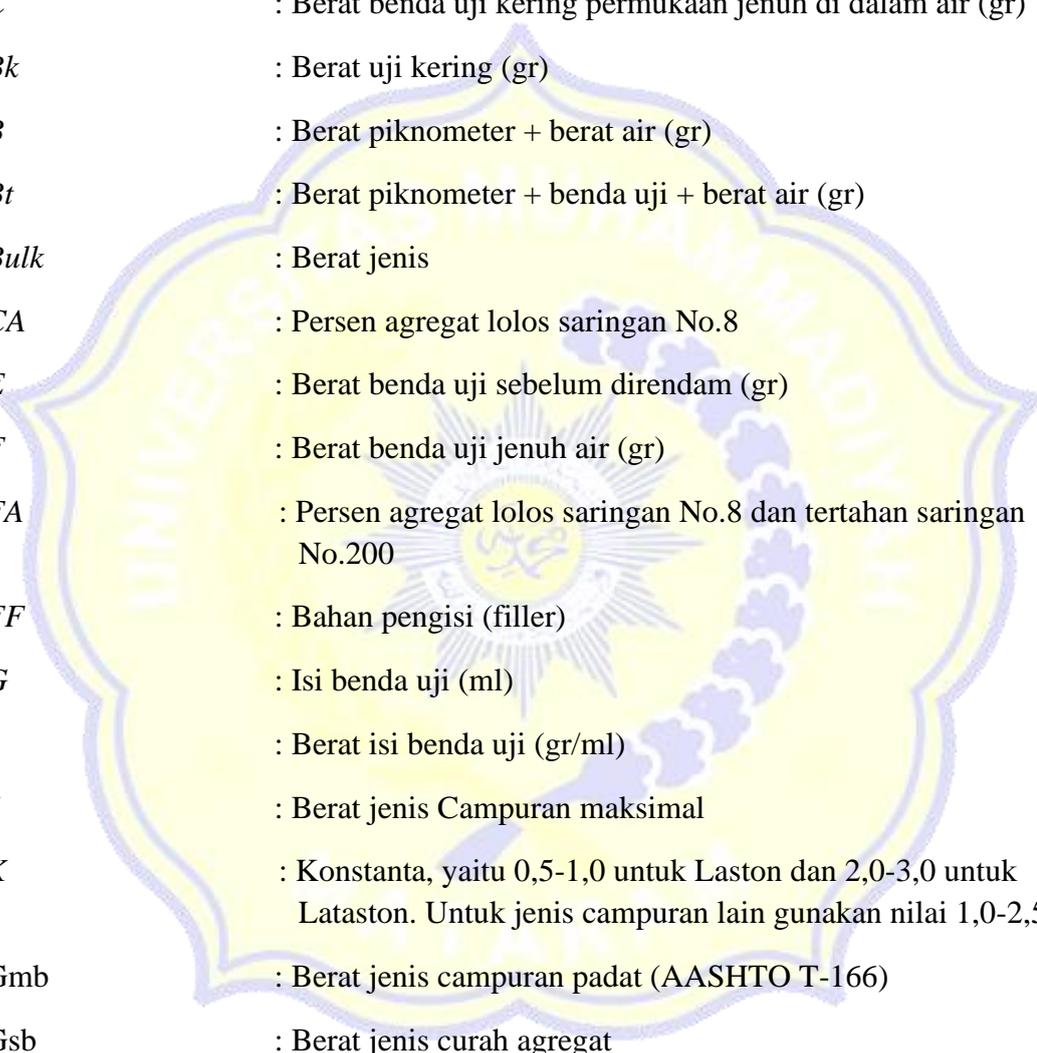
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) suhu 115°C	69
Tabel 4. 21 Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) suhu 125°C	70
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) suhu 135°C	71
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) suhu 145°C	72
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt) pada suhu 115°C....	73
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt) pada suhu 125°C....	74
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt) pada suhu 135°C....	75
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt) pada suhu 145°C....	77
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian VIM (Void in Mix) pada suhu 115°C.....	78
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian VIM (Void in Mix) pada suhu 125°C.....	79
Tabel 4. 30 Hasil Pengujian VIM (Void in Mix) pada suhu 135°C.....	81
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian VIM (Void in Mix) pada suhu 145°C.....	82
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Stabilitas suhu 115°C.....	84
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Stabilitas suhu 125°C.....	85
Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Stabilitas suhu 135°C.....	86
Tabel 4. 35 Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Stabilitas suhu 145°C.....	87
Tabel 4. 36 Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) pada suhu 115°C.....	88
Tabel 4. 37 Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) pada suhu 125°C.....	89
Tabel 4. 38 Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) pada suhu 135°C.....	90
Tabel 4. 39 Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) pada suhu 145°C.....	91
Tabel 4. 40 Hasil Pengujian Kelelehan Plastis (Flow) pada suhu 115°C	92
Tabel 4. 41 Hasil Pengujian Kelelehan Plastis (Flow) pada suhu 125°C.	93
Tabel 4. 42 Hasil Pengujian Kelelehan Plastis (Flow) pada suhu 135°C	94
Tabel 4. 43 Hasil Pengujian Kelelehan Plastis (Flow) pada suhu 145°C	95
Tabel 4. 44 Rekap hasil parameter marshall Suhu 115°C	96
Tabel 4. 45 Rekap hasil parameter marshall Suhu 125°C	97
Tabel 4. 46 Rekap hasil parameter marshall Suhu 135°C	97
Tabel 4. 47 Rekap hasil parameter marshall Suhu 145°C	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Komposisi dari aspal	10
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	32
Gambar 3. 2 Saringan Standar ASTM	33
Gambar 3. 3 Oven atau Pemanas Agregat	34
Gambar 3. 4 Timbangan Digital	34
Gambar 3. 5 Termometer	35
Gambar 3. 6 Cetakan Benda Uji Briket	35
Gambar 3. 7 Alat Penumbuk	36
Gambar 3. 8 Dongkrak Hidrolis	36
Gambar 3. 9 Water Bath	37
Gambar 3. 10 Satu Set Uji Alat Marshall	37
Gambar 3. 11 Panci	38
Gambar 3. 12 Wajan, Spatula, dan Kompor Gas	38
Gambar 3. 13 Sarung Tangan	38
Gambar 3. 14 Agregat kasar dan agregat halus	39
Gambar 3. 15 Aspal	39
Gambar 3. 16 Filler	39
Gambar 3. 17 Air	40
Gambar 3. 18 Styrofoam	40
Gambar 3. 19 Bagan alir	46
Gambar 4. 1 Agregat yang digunakan dalam penelitian	50
Gambar 4. 2 Grafik Persentase Agregat Campuran	53
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate)/Rongga Dalam Mineral Agregat	58
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt)/Rongga terisi aspal	59
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian VIM (Void in The Mix)/Rongga dalam campuran	60
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Stabilitas Marshall	61
Gambar 4. 7 Grafik Perhitungan Kadar Aspal Optimum	62

Gambar 4. 8 Nilai VMA Penambahan styrofoam suhu 115°C	70
Gambar 4. 9 Nilai VMA Penambahan styrofoam suhu 125°C	71
Gambar 4. 10 Nilai VMA Penambahan styrofoam suhu 135°C	72
Gambar 4. 11 Nilai VMA Penambahan styrofoam suhu 145°C	73
Gambar 4. 12 Nilai VFA Penambahan styrofoam suhu 115°C.....	74
Gambar 4. 13 Nilai VFA Penambahan styrofoam suhu 125°C.....	75
Gambar 4. 14 Nilai VFA Penambahan styrofoam suhu 135°C.....	76
Gambar 4. 15 Nilai VFA Penambahan styrofoam suhu 145°C.....	77
Gambar 4. 16 VIM Penambahan styrofoam suhu 115°C.....	79
Gambar 4. 17 Nilai VIM Penambahan styrofoam suhu 125°C.....	80
Gambar 4. 18 Nilai VIM Penambahan styrofoam suhu 135°C.....	81
Gambar 4. 19 Nilai VIM Penambahan styrofoam suhu 145°C.....	83
Gambar 4. 20 Nilai Stabilitas Penambahan styrofoam suhu 115°C.....	84
Gambar 4. 21 Nilai Stabilitas Penambahan styrofoam suhu 125°C.....	85
Gambar 4. 22 Nilai Stabilitas Penambahan styrofoam suhu 135°C.....	86
Gambar 4. 23 Nilai Stabilitas Penambahan styrofoam suhu 145°C.....	87
Gambar 4. 24 Nilai MQ Penambahan styrofoam suhu 115°C	89
Gambar 4. 25 Nilai MQ Penambahan styrofoam suhu 125°C	90
Gambar 4. 26 Nilai MQ Penambahan styrofoam suhu 135°C.....	91
Gambar 4. 27 Nilai MQ Penambahan styrofoam suhu 145°C	92
Gambar 4. 28 Nilai Flow Penambahan styrofoam suhu 115°C.	93
Gambar 4. 29 Nilai Flow Penambahan styrofoam suhu 125°C	94
Gambar 4. 30 Nilai Flow Penambahan styrofoam suhu 135°C.	95
Gambar 4. 31 Nilai Flow Penambahan styrofoam suhu 145°C	96

DAFTAR NOTASI



<i>A</i>	: Berat benda contoh uji kering oven (gr)
<i>APP</i>	: Berat jenis gabungan
<i>APPT</i>	: Berat jenis semu
<i>B</i>	: Berat benda uji kering permukaan (gr)
<i>C</i>	: Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)
<i>Bk</i>	: Berat uji kering (gr)
<i>B</i>	: Berat piknometer + berat air (gr)
<i>Bt</i>	: Berat piknometer + benda uji + berat air (gr)
<i>Bulk</i>	: Berat jenis
<i>CA</i>	: Persen agregat lolos saringan No.8
<i>E</i>	: Berat benda uji sebelum direndam (gr)
<i>F</i>	: Berat benda uji jenuh air (gr)
<i>FA</i>	: Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200
<i>FF</i>	: Bahan pengisi (filler)
<i>G</i>	: Isi benda uji (ml)
<i>I</i>	: Berat isi benda uji (gr/ml)
<i>J</i>	: Berat jenis Campuran maksimal
<i>K</i>	: Konstanta, yaitu 0,5-1,0 untuk Laston dan 2,0-3,0 untuk Lataston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0-2,5
<i>Gmb</i>	: Berat jenis campuran padat (AASHTO T-166)
<i>Gsb</i>	: Berat jenis curah agregat
<i>Gmm</i>	: Berat jenis campuran maksimum
<i>MQ</i>	: Nilai Marshall Quotient (kg/mm)
<i>Pb</i>	: Kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran
<i>Ps</i>	: Persen agregat terhadap berat total campuran
<i>R</i>	: Nilai pembacaan arloji stabilitas

<i>S</i>	: Nilai stabilitas terpendang (kg)
<i>SSD</i>	: Berat jenis kering permukaan
<i>T</i>	: Nilai kelelahan flow (mm)
<i>U</i>	: Berat jenis Bulk gabungan
<i>V</i>	: Berat jenis efektif



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Asistensi

Lampiran 2 Surat - surat skripsi

Lampiran 3 Hasil pengujian dan foto dokumentasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan raya adalah infrastruktur transportasi darat yang memiliki peran penting dalam mendukung berbagai aktivitas manusia yang mencakup semua bagian jalan, termasuk tambahan untuk lalu lintas. Struktur jalan raya terdiri dari empat lapisan yang bertumpuk, yaitu pondasi bawah, pondasi atas, lapisan tengah, dan lapisan permukaan. Kualitas jalan raya berkontribusi besar terhadap peningkatan ekonomi suatu negara karena manfaatnya yang besar dalam menjaga kelancaran transportasi untuk keperluan perdagangan dan sektor ekonomi lainnya.

Pembangunan jalan raya tentu harus membutuhkan perancangan matang terutama dalam perkerasan yang digunakan. Mutu dari sebuah perkerasan jalan sangat berpengaruh terhadap umur rencana dari jalan tersebut. Perkerasan akan memiliki mutu yang baik apabila perancangan dan perencanaannya dilakukan dengan cara yang baik juga dan seluruh komponen utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik. Oleh karena itu unsur campuran aspal yang digunakan sangat penting dalam memastikan mutu campuran yang baik serta efektif dan mampu mengatasi kerusakan pada jalan.

Perkerasan jalan raya merupakan area tempat beban kendaraan melalui roda bersentuhan dengan permukaan jalan. Di Indonesia, beragam jenis perkerasan digunakan, termasuk Laston (Lapis Tipis Aspal Beton/HRS), Latahir (Lapis Tipis Aspal Pasir), SMA (Split Mastic Asphalt), HSMA (High Stiffness Modulus Asphalt), dan jenis lainnya.

Lapisan aspal beton yang dikenal sebagai laston, terbuat dari campuran aspal keras dan agregat yang dicampur, ditempatkan, dan dipadatkan pada suhu yang ditentukan. Kekuatan campuran ini tinggi karena adanya gesekan internal yang dihasilkan oleh sifat fisik agregat, baik dari segi ukuran butiran maupun tekstur permukaannya (kekerasan batuan).

Memasukkan bahan tambahan ke dalam campuran aspal adalah salah satu cara untuk meningkatkan kualitas campuran aspal. Styrofoam adalah bahan ekstra yang ditambahkan ke dalam campuran aspal beton untuk meningkatkan sifatnya.

Styrofoam, atau gabus putih adalah bahan yang umum digunakan untuk menutup barang elektronik. Meskipun styrofoam adalah limbah yang mudah ditemukan, sulit untuk didaur ulang. Styrofoam, salah satu jenis polimer plastik, memiliki sifat termoplastik, yang berarti bahwa ia menjadi lunak saat dipanaskan dan mengeras kembali saat dingin. Jika dicampur dengan bensin, styrofoam dapat berfungsi sebagai perekat. Karena aspal adalah hidrokarbon aromatik, penambahan styrofoam diharapkan dapat meningkatkan daya rekat antara aspal dan agregat, yang berarti campuran beton aspal akan lebih baik.

Berdasarkan pemaparan di atas penelitian eksperimental dengan judul skripsi: "**Variasi Suhu Pemadatan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapisan Aspal Beton AC-WC Bahan Tambahan Styrofoam**" dilakukan untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk membuat aspal beton AC-WC dengan campuran styrofoam dan untuk menghitung variasi persen styrofoam dengan menggunakan uji parameter Marshall.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penyusun ingin mengetahui apakah penggunaan bahan tambah styrofoam dapat meningkatkan kualitas campuran beton aspal dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 devisa 6.

1. Bagaimana nilai karakteristik marshall pada penambahan *Styrofoam* dan variasi suhu pemadatan dengan uji parameter marshall pada aspal beton AC-WC?
2. Berapa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal beton AC-WC dengan tambahan *styrofoam*?
3. Berapa kadar *styrofoam* optimum dan suhu pemadatan yang ideal yang digunakan?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai karakteristik marshall pada penambahan *styrofoam* dan variasi suhu pemadatan yang digunakan pada aspal beton AC-WC.
2. Untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal beton AC – WC.
3. Untuk mengetahui kadar *styrofoam* optimum dan suhu pemadatan yang ideal dalam campuran lapis aspal beton AC-WC.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari temuan penelitian ini mencakup :

1. Dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan dan mengembangkan ilmu pengetahuan pada bidang bahan perkerasan jalan.
2. Salah satu solusi pengurangan *styrofoam* dan juga dapat meningkatkan nilai ekonomis dari bahan tersebut.
3. Salah satu solusi pengurangan limbah *styrofoam* yang ada di sekitar masyarakat.

1.5. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini melibatkan hal-hal berikut:

1. Penggunaan jenis aspal dengan penetrasinya adalah 60/70.
2. Penambahan *styrofoam* dengan kadar sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6%.
3. Variasi suhu pemadatan pada tingkat 115°C, 125°C, 135°C, dan 145°C.
4. Jenis *styrofoam* yang digunakan adalah *styrofoam* pengganjal elektronik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Hermawan A.A. (2018), telah melakukan penelitian dengan judul “Variasi Suhu Pemadatan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapisan Aspal Beton AC-WC Dengan Bahan Tambah *Styrofoam*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggambarkan karakteristik bahan penyusun aspal beton AC-WC, termasuk sifat campuran aspal beton AC-WC dengan penambahan bahan *Styrofoam*, serta menentukan suhu pemadatan yang optimal untuk campuran berdasarkan parameter Marshall. Karakteristik bahan penyusun aspal beton AC-WC diuji pada benda uji Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 5%, 5%, 6%, dan 7%. Kemudian, benda uji KAO dibuat dengan variasi kadar *Styrofoam* 6%, 8%, 10%, 12%, dan 14%, dengan metode pencampuran *Styrofoam* menggunakan metode kering. Selanjutnya, benda uji dibuat dengan variasi suhu pemadatan 115°C, 130°C, 145°C, 160°C, dan 175°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Spesifikasi Bina Marga 2010 tetap relevan untuk bahan penyusun yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai stabilitas, MQ, VMA, dan VFA cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar *Styrofoam*, sedangkan nilai aliran dan VIM cenderung menurun. Dengan mempertimbangkan nilai stabilitas, aliran, VIM, VMA, dan MQ yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga pada tahun 2010, kadar *Styrofoam* yang optimal adalah 12%. Selain itu, dengan peningkatan kadar *Styrofoam*, suhu pemadatan yang optimal adalah 152°C. Terlihat bahwa nilai stabilitas meningkat hingga mencapai puncak tertinggi, lalu mengalami penurunan. Selain itu, nilai aliran, MQ, dan VFA dapat meningkat dengan peningkatan suhu pemadatan, sementara nilai VIM dan VMA dapat menurun seiring dengan kenaikan suhu pemadatan.

Ferdinandes Eddy Poerwodihardjo, dkk (2023), melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Temperatur Pemadatan Pada Campuran Lapis Aspal Beton Ac-Wc Menggunakan Uji Marshall”. Penelitian ini meninjau bagaimana variasi suhu selama proses pemadatan pada campuran aspal beton berdampak pada karakteristik Marshall seperti aliran, stabilitas, kotoran, kotoran dalam campuran aspal (VMA), kotoran dalam campuran (VIM), kotoran yang dipenuhi dengan aspal (VFA), dan Marshall Quotient (MQ). Selama proses pemadatan, temperatur yang digunakan adalah 95°C, 105°C, 115°C, 125°C, dan 135°C. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5%, 6%, 6,5 %, dan 7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan suhu pemadatan pada aspal beton berdampak pada kekuatan benda uji yang diuji dengan uji Marshall. Grafik stabilitas, VMA, VIM, dan MQ memiliki nilai yang cenderung turun, sementara grafik kelelahan (flow) dan VFA memiliki nilai yang cenderung naik. Dalam proses pemadatan aspal beton, suhu ideal adalah 125°C dan 135°C.

Rais Rachman, dkk (2021), melakukan penelitian dengan judul “Variasi Suhu Pemadatan Campuran Ac-Wc Menggunakan Batu Sungai Balusu Kabupaten Toraja Utara”. Dengan menggunakan material agregat yang berasal dari sungai Balusu di kabupaten Toraja Utara, tujuan penelitian adalah untuk mengetahui bagaimana suhu pemadatan berdampak pada campuran AC-WC. Variasi suhu yang berbeda akan diterapkan pada campuran ini. Penelitian ini didasarkan pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6, dengan variasi suhu pencampuran 90 °C, 100 °C, 110 °C, 120 °C, dan 130 °C. Kadar aspal yang digunakan adalah 6%. Hasil pengujian karakteristik agregat Sungai Balusu menunjukkan bahwa bahan campuran Kelas Pengecoran Beton Aspal (AC-WC) dapat digunakan. Setiap indikator menunjukkan nilai yang memenuhi persyaratan dalam Pengujian Karakteristik Marshall Konvensional. Nilai SMS pada suhu pemadatan terbaik melebihi nilai standar, menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap air. Meningkatkan suhu pemadatan cenderung meningkatkan nilai SMS. Ini karena suhu tinggi akan meleleh aspal,

menutupi agregat dan mengisi rongga dalam campuran. Di sisi lain, ketika aspal lebih rendah, agregat akan menjadi lebih sulit untuk diikat karena aspal mulai mengeras, menyebabkan ikatan antara aspal dan agregat tidak sempurna.

Fahrunnisa Fahrunnisa, Dkk (2015), melakukan penelitian tentang “Pengaruh Styrofoam Dan Semen Portland Komposit Pada Campuran Aspal Lapis Permukaan (Ac – Wc) Terhadap Karakteristik Marshall”. Dalam penelitian ini, karakteristik Marshall seperti stabilitas, aliran, VIM, VMA, dan Marshall Qountient dibahas. Hasil penelitian yang dilakukan dengan metode Marshall menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) adalah 6.1%, kadar styrofoam optimum (KSO) adalah 0.0325%, kadar filler optimum (KFO) adalah 7.45%, dan variasi kadar filler adalah 0%, 2.5%, 5%, dan 10%.

Ika Sulianti, dkk (2019), melakukan penelitian dengan judul “Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam”. Styrofoam bekas tempat makanan digunakan sebagai tambahan dalam penelitian ini dan ditambahkan ke dalam campuran AC-WC. Pengujian styrofoam menunjukkan berat aspal 6,5%; 6,75%; 7%; 7,25%; dan 7,5 persen. Kadar aspal ideal (KAO) adalah 5,5 persen. Hasil pengujian Marshall campuran styrofoam menunjukkan nilai stabilitas terbaik pada 6,5 persen, yaitu 3126,002 kg, dengan VITM 4,96%, VMA 15,02%, VFWA 67,8%, aliran 3,44 mm, dan MQ 416,338 kg/mm.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan dan digunakan untuk memfasilitasi mobilitas. Fungsi perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, dan untuk memastikan bahwa rencana tersebut tidak mengalami kerusakan yang signifikan sebelum berakhirnya masa pakainya. Perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis untuk memberikan daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, menurut Sukirman (2003).

Menurut Sukirman (1992), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas hal berikut.

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) dirancang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan perkerasannya bertugas menanggung beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke tanah dasar.
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*) melibatkan penggunaan semen untuk mengintegrasikan semua elemen. Ini mirip dengan menempatkan pelat beton besar di atas permukaan tanah, kadang-kadang dengan tambahan lapisan di bawahnya. Beton berfungsi sebagai penopang untuk beban kendaraan yang melintas di atasnya.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*) terjadi ketika berbagai jenis jalan digabungkan, seperti menyatukan jalan yang tahan beban tinggi dengan jalan yang lebih lentur di atasnya, atau kombinasi jalan lentur dan kaku.

2.2.2. Perkerasan Lentur

Sukirman (1992) mengatakan bahwa ketika membangun jalan, Anda perlu meletakkan berbagai lapisan di atas tanah agar kuat dan mampu menampung mobil yang melaju di atasnya. Lapisan-lapisan tersebut bekerja sama untuk menopang bobot mobil dan menjaga jalan agar tidak rusak.

1. Lapisan permukaan (*surface course*).
 - a. Lapis perkerasan penahan beban roda merupakan lapisan dengan stabilitas tinggi yang dirancang untuk menanggung beban roda selama periode penggunaan jalan.
 - b. Lapis kedap air bertujuan mencegah penetrasi air hujan ke lapisan di bawahnya, menghindari pelemahan pada lapisan-lapisan tersebut.
 - c. Lapis aus (*wearing course*) adalah lapisan yang langsung mengalami gesekan akibat rem kendaraan, membuatnya rentan terhadap keausan.
 - d. Lapis yang mendistribusikan beban ke lapisan bawah bertugas untuk menyalurkan beban ke lapisan lain yang memiliki daya dukung lebih rendah.

2. Lapisan pondasi atas (*base course*)
 - a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya.
 - b. Lapisan resapan untuk lapisan pondasi bawah.
 - c. Bantalan terhadap lapisan permukaan.
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Lapisan subbase berfungsi mirip dengan lapisan tengah jalan, ditempatkan di antara lapisan bawah dan tanah di bawahnya. Tujuannya adalah untuk memberikan dukungan struktural pada jalan dan meningkatkan kekuatannya.

- a. Lapisan tersebut merupakan bagian dari struktur perkerasan yang bertanggung jawab untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapisan tanah dasar. Lapisan ini harus memiliki stabilitas yang cukup tinggi, dengan nilai CBR setara atau melebihi 20%, dan Indeks Plastis (IP) setara atau kurang dari 10%.
- b. Tujuan utamanya adalah mencapai efisiensi penggunaan material yang ekonomis, sehingga lapisan di atasnya dapat dipersempit secara optimal.
- c. Lapis peresap ini dirancang untuk mencegah penumpukan air tanah di pondasi, memastikan kestabilan struktural.
- d. Lapis pertama memiliki peran khusus terkait dengan kondisi lapangan yang memaksa untuk segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca atau kelemahan daya dukung tanah dasar terhadap beban roda alat berat.
- e. Lapis filter ditempatkan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi, mendukung integritas struktural secara keseluruhan. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar itu seperti pondasi jalan. Bisa dibuat dengan cara meremas kotoran yang sudah ada, asalkan kotorannya bagus. Atau, kotoran baru bisa masuk dan diperas. Terkadang bahan khusus seperti

kapur bisa dicampur dengan tanah agar lebih kuat. Kotoran diperas dengan menambahkan air ke dalamnya dan memastikan jumlah air yang digunakan tepat. Ini membantu membuat jalan menjadi kuat dan bertahan lama.

Tabel 2. 1 Persyaratan Campuran Lapisan Beton

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 m dengan kadar aspal	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
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam Campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018.)

2.2.3. Aspal

2.2.3.1. Pengertian aspal

Aspal adalah bahan lengket berwarna hitam atau coklat tua yang digunakan untuk membuat jalan. Bentuknya padat pada suhu kamar tetapi dapat meleleh jika terlalu panas, dan kemudian membeku kembali saat dingin. Jika bercampur dengan batu dan material lainnya, akan membentuk perkerasan jalan yang kuat. Jumlah aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan

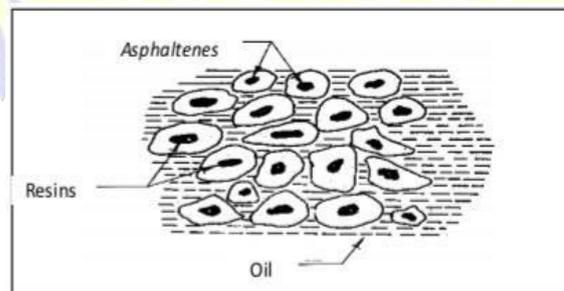
dapat bervariasi dari 4% hingga 10%.

2.2.3.2. Kandungan Aspal

Prinsipnya, aspal terbuat dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lainnya yang bervariasi tergantung pada jenis minyak bumi dan metode pengolahan yang digunakan. Secara umum, unsur kimia yang terkandung dalam aspal dapat dibagi menjadi:

- a. *Carbon* 80-87%.
- b. *Hidrogen* 9-11%.
- c. *Nitrogen* 2-8%.
- d. *Sulfur* 0-1%.
- e. *Logam berat* 0-0,5%.

Secara umum, struktur molekul aspal dapat dibedakan menjadi asphaltenes, resins, dan oils. Asphaltenes tersebar dalam larutan yang dikenal sebagai maltenes. Maltenes larut dalam heptanes, sebuah cairan kental yang terdiri dari resins dan oils. Resins, yang berwarna kuning atau coklat tua, memberikan sifat adhesi pada aspal dan merupakan bagian yang cenderung hilang atau berkurang selama masa penggunaan jalan. Di sisi lain, oils, yang memiliki warna lebih cerah, berfungsi sebagai medium bagi asphaltenes dan resins. Maltenes adalah komponen yang rentan terhadap perubahan seiring perubahan suhu dan umur layanan perkerasan jalan (Silvia Sukirman, 2016). Gambar 2.1 memberikan ilustrasi tentang komposisi aspal.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Komposisi dari aspal

(Sumber: Silvia Sukirman, 2016)

2.2.3.3. Jenis Aspal

Menurut Sulaksono (2001), aspal digolongkan sebagai jenis mineral yang umumnya digunakan dalam konstruksi jalan, khususnya pada perkerasan lentur. Aspal merupakan materi organik (hidrokarbon) yang kompleks, dapat diperoleh langsung dari alam atau melalui proses khusus. Pada suhu ruang (25°C), aspal dapat berwujud cair, semi padat, atau padat. Penggunaan aspal dalam material perkerasan mencakup berbagai aplikasi, mulai dari lapisan permukaan, lapisan pondasi, lapisan aus, hingga lapisan penutup. Aspal sendiri dapat dibedakan menjadi lima jenis.

1. Aspal alam ditemukan di berbagai lokasi, termasuk pulau Buton, Perancis, Swiss, dan Amerika Selatan. Sifat kekerasannya membedakannya menjadi dua jenis, yakni rock asphalt dan lake asphalt.
2. Aspal buatan, juga dikenal sebagai aspal minyak, diproduksi dari minyak bumi. Proses penggunaannya melibatkan pemanasan sebelum digunakan, sehingga sering disebut sebagai aspal panas. Minyak bumi yang mengandung parafin dianggap sebagai bahan baku yang baik untuk pembuatan aspal. Sebaliknya, minyak bumi yang mengandung parafin kurang disukai karena dapat membuat aspal menjadi getas, mudah terbakar, dan memiliki daya lekat yang buruk dengan agregat. Minyak bumi dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok.
 - a. *Parafin base crude oil* adalah minyak bumi yang berkadar parafin tinggi.
 - b. *Asphaltene base crude oil* adalah minyak bumi dengan kadar parafin rendah.
 - c. *Mixed-base crude oil* adalah campuran dari keduanya.

Minyak mentah berbasis asphaltene mengandung sejumlah besar gugusan aromatik dan siklis, yang menyebabkan tingginya kadar aspal dan rendahnya kadar parafin. Proses destilasi digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang sulit menguap dari minyak bumi ini. Sisa-sisa destilasi ini kemudian disuling kembali pada suhu yang sama, tetapi dengan

tekanan rendah (hampa udara), menghasilkan fraksi seperti gas, minyak pelumas, dan sebagai sisa akan dihasilkan aspal semen.

3. Aspal cair adalah jenis aspal keras yang diencerkan menggunakan 10 – 20% kerosin, white spirit, atau gas oil untuk mencapai viskositas tertentu dan memenuhi fraksi destilasi tertentu. Viskositas ini penting agar aspal dapat melapisi agregat dengan cepat dan akan terus meningkat hingga proses pemadatan dilakukan.
4. Aspal emulsi memiliki tingkat kecairan yang lebih tinggi dibandingkan aspal cair. Sifatnya memungkinkan aspal ini menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair konvensional karena daya penetrasi yang lebih baik, terutama pada batuan yang agak lembab, karena sifat pelarut dalam emulsi memiliki daya tarik yang lebih baik terhadap batuan.
5. Tar adalah cairan yang diperoleh dari bahan organik seperti kayu atau batubara melalui proses destilasi pada suhu tinggi tanpa adanya zat asam.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum pada Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987, aspal dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Aspal keras adalah varian aspal minyak yang muncul sebagai residu setelah destilasi minyak bumi dalam kondisi hampa udara. Pada suhu dan tekanan atmosfer normal, aspal keras memiliki bentuk padat.
2. Aspal cair merupakan jenis aspal minyak yang dalam keadaan suhu dan tekanan atmosfer normal berada dalam bentuk cair. Aspal cair ini terbentuk dengan mencampur aspal keras dengan bahan pelarut.
3. Aspal emulsi adalah tipe aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi. Pada kondisi suhu dan tekanan normal, aspal emulsi berbentuk cair, menciptakan campuran homogen dari komponen-komponennya. Salah satu jenis aspal yang termasuk ke dalam aspal minyak adalah aspal semen. Aspal semen dibedakan berdasarkan nilai penetrasi atau viskositas nya. Indonesia saat ini hanya menggunakan aspal Pen 60

yaitu semen aspal dengan penetrasi antara 60-70. ASTM ataupun AASHTO membagi semen aspal ke dalam lima kelompok jenis aspal, yaitu aspal 40-50, aspal 60-70, aspal 85-100, aspal 120-150, dan aspal 200-300.

Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu:

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan Penetrasi 40-50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan Penetrasi 60-70.
3. AC pen 80/100, yaitu AC dengan Penetrasi 80-100.
4. AC pen 200/300, yaitu AC dengan Penetrasi 200-300.

Aspal semen dengan penetrasi rendah biasanya dipilih untuk digunakan di daerah yang memiliki iklim panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sementara aspal semen dengan penetrasi tinggi lebih cocok digunakan di daerah beriklim dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia, umumnya aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100 sering digunakan. Persyaratan untuk aspal minyak dengan klasifikasi 60/70 dapat ditemukan pada Tabel 2.2 berikut ini: Tabel 2. 2 Persyaratan Aspal Minyak.

No	Jenis pengujian	Metode	Syarat
1	Penetrasi pada 25° C (0,1 mm)	SNI 2432-2011	60-70
2	Titik lembek °	SNI 2432-2011	≥48
3	Titik nyala ° C	SNI 2432-2011	≥232
4	Daktilitas pada 25° C (cm)	SNI 2432-2011	≥100
5	Berat jenis	SNI 2432-2011	≥1,0
6	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2440-1991	≥0,8
7	Penetrasi pada 25° C setelah kehilangan berat (%)	SNI 06-2440-1991	≥54
8	Daktilitas 25° C setelah kehilangan berat (cm)	SNI 2432-2011	≥100

(Sumber: Spesifikasi Bina Marga, 2010)

2.2.4. Aspal AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)

Laston sebagai lapis aus (*Wearing Course*) adalah bagian dari perkerasan jalan yang bersentuhan langsung dengan ban kendaraan. Lapisan ini harus memiliki sifat kedap air, ketahanan terhadap cuaca, dan kekuatan yang memenuhi syarat, dengan ketebalan nominal minimum sebesar 40 mm dan ukuran maksimum agregat campuran adalah 19 mm (Bina Marga, 2010). Fungsi dari lapisan-lapisan ini adalah untuk menanggung beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya, termasuk muatan vertikal dari kendaraan, gaya pengereman horizontal, dan getaran roda kendaraan. Karena distribusi beban yang terjadi, beban yang diterima oleh setiap lapisan berbeda, dengan beban terbesar terjadi pada lapisan yang paling bawah.

Berikut ini akan dipaparkan spesifikasi gradasi agregat untuk campuran aspal antara lain dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

No. Saringan 3/4"	Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
	37,5			100
1"	25		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
#4	4,75	53-69	46-64	35-54
#8	2,36	33-53	30-49	23-41
#16	1,18	21-40	18-38	13-30
#30	0,600	14-30	12-28	10-22
#50	0,300	9-22	7-20	6-15
#100	0,150	6-15	5-13	4-10
#200	0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.2.5. Agregat

Agregat merupakan kumpulan butiran-butiran batu pecah atau mineral lainnya, yang dapat berupa hasil alam atau hasil pengolahan. Agregat ini digunakan sebagai bahan utama dalam pembentukan struktur jalan.

Agregat secara umum didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Menurut ASTM (American Society for Testing and Materials), agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dalam bentuk massa berukuran besar atau fragmen-fragmen. Dalam struktur perkerasan jalan, agregat menjadi komponen utama dengan kontribusi sekitar 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75-85% berdasarkan persentase volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil dari pencampuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2016).

Agregat yang akan dipakai pada perkerasan harus memperhatikan sifat-sifat agregat yaitu:

1. Gradasi

Berdasarkan penggunaannya di lapangan, baik untuk lapisan agregat tanpa bahan pengikat aspal maupun untuk campuran beraspal, agregat dibedakan berdasarkan gradasinya. Gradasi mengacu pada distribusi partikel berdasarkan ukuran agregat. Gradasi agregat memainkan peran penting dalam menentukan besarnya rongga antar butir, yang pada gilirannya mempengaruhi stabilitas dan kemudahan penggunaan di lapangan. Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi:

- a. Agregat bergradasi menerus, agregat dengan gradasi ini akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, berat volume besar dan skid resistance yang tinggi. Campuran agregat ini digunakan untuk campuran beraspal pada *asphalt concrete* (AC).
- b. Agregat bergradasi senjang (*gap graded*), merupakan agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit. Agregat ini menghasilkan lapis perkerasan dengan sifat stabilitas campuran sedang, dan juga skid resistance yang rendah. Stabilitas tersebut diperoleh dari mortar.

Gradasi agregat ini digunakan untuk campuran beraspal pada lapis aspal beton (Lataston) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS).

- c. Agregat bergradasi terbuka (Open Graded), merupakan agregat dengan ukuran yang sama. Agregat ini akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volumenya kecil.

2. Kebersihan

Agregat yang mengandung substansi asing merusak perlu dihilangkan sebelum digunakan dalam campuran perkerasan. Substansi asing tersebut dapat berupa tumbuh-tumbuhan, partikel halus, atau gumpalan lumpur. Keberadaan substansi asing ini dapat merugikan karena mereka dapat mengurangi daya lekat aspal terhadap batuan, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas perkerasan. Proses pemisahan atau pembersihan agregat dari substansi asing ini penting untuk memastikan adhesi yang optimal antara aspal dan agregat, sehingga meningkatkan performa dan daya tahan perkerasan jalan.

3. Kekuatan dan Kekerasan

Kekuatan agregat mencakup ketahanan agregat terhadap kerusakan atau pecah akibat pengaruh mekanis atau kimiawi. Agregat yang digunakan dalam lapisan perkerasan harus memiliki daya tahan terhadap degradasi, yang melibatkan kemungkinan kerusakan selama proses pencampuran, pemadatan, pengaruh beban lalu lintas berulang, dan penghancuran yang mungkin terjadi selama masa pelayanan jalan. Kualitas kekuatan agregat sangat penting untuk memastikan bahwa perkerasan jalan memiliki stabilitas dan daya tahan yang memadai terhadap beban dan kondisi lingkungan.

4. Bentuk Permukaan

Bentuk permukaan agregat memainkan peran penting dalam stabilitas lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Partikel agregat yang memiliki bentuk kubus dan sudut tajam cenderung memberikan interlock atau saling mengunci yang lebih besar. Oleh karena

itu, agregat dengan bentuk kubus ini dianggap lebih baik untuk digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. Interlock yang lebih besar membantu meningkatkan stabilitas agregat, memberikan ketahanan terhadap pemindahan dan deformasi selama beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan. Dengan demikian, pemilihan agregat dengan bentuk permukaan yang sesuai menjadi faktor kunci dalam merancang perkerasan jalan yang kokoh dan tahan lama.

5. Tekstur Permukaan

Tekstur permukaan yang kasar dan kasar dapat memberikan gaya gesek yang lebih besar, sehingga mampu menahan gaya pemisah yang bekerja pada batuan. Selain itu, tekstur kasar juga meningkatkan adhesi antara aspal dan batuan. Batuan dengan tekstur kasar memiliki kemampuan lebih baik untuk menahan gaya pemisahan dan memberikan stabilitas yang lebih tinggi pada campuran perkerasan. Sebaliknya, batuan yang halus lebih mudah terselimuti oleh aspal, namun kurang mampu mempertahankan kelekatan yang baik dengan aspal.

6. Porositas

Porositas memang memiliki pengaruh besar terhadap nilai ekonomis suatu campuran lapis perkerasan. Semakin besar porositas batuan, semakin banyak aspal yang diperlukan dalam campuran. Hal ini dikarenakan porositas mencerminkan kemampuan batuan untuk menyerap atau menyerapkan aspal. Batuan dengan porositas yang tinggi dapat menyerap lebih banyak aspal, sehingga memerlukan jumlah aspal yang lebih banyak pula.

Daya kelekatan antara agregat dan aspal dapat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Beberapa jenis agregat, seperti granit dan batuan yang mengandung silika, memiliki sifat hydrophilic, yaitu cenderung menyerap air. Kondisi ini dapat mempengaruhi daya lekat agregat terhadap aspal, karena air yang terperangkap dalam agregat dapat mengurangi kemampuan aspal untuk melekat pada permukaan agregat.

2.2.6. Jenis agregat

Agregat bisa diidentifikasi berdasarkan dua kriteria utama, yaitu kelompok pengolahan dan ukuran butirnya. Dalam hal proses pembentukannya, agregat terbagi menjadi batuan beku (igneous rock), batuan sedimen (sedimentary rock), dan batuan metamorfik (metamorphic rock). Sementara itu, berdasarkan ukuran butirnya, agregat dapat diklasifikasikan sebagai agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Sesuai dengan spesifikasi teknis campuran panas yang disajikan oleh ASTM dan Depkimpraswil tahun 2010, agregat diperinci menjadi beberapa kategori.

1. Agregat Kasar merujuk pada kerikil yang berasal dari proses desintegrasi batuan alami, atau berupa pecahan batu yang dihasilkan melalui industri pemecah batu. Agregat ini memiliki ukuran butir yang lebih besar dari saringan No.4 (=4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci (150 mm). Detail mengenai ketentuan agregat kasar dapat ditemukan dalam Tabel 2.4 di bawah ini. Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode pengujian	Nilai
Kelelahan untuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium sulfat		Maks 18%
Abrasi dengan mesin los angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
	Lainnya		95/90**)

Pengujian		Metode pengujian	Nilai
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

(Sumber: Spesifikasi Bina Marga, 2018)

Catatan:

*) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

**) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2. Agregat Halus adalah jenis agregat yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari saringan No. 4 (= 4,75 mm), dan batas maksimum yang dapat melewati ayakan No. 200 (= 0,075 mm) adalah 10%. Detail mengenai spesifikasi agregat halus dapat diidentifikasi pada tabel berikut ini: Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1967	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat adalah sayatan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

a. Abu batu

Abu batu adalah produk yang dihasilkan dari proses pengolahan batu pecah menggunakan stone crusher. Jenis abu batu yang dimaksud adalah abu batu yang berhasil disaring dan tertahan pada saringan No. 200.

b. *Filler* (Bahan Pengisi).

Bahan pengisi (*filler*) merupakan bagian dari agregat halus yang berhasil melewati saringan No. 200 (= 0,075 mm) dengan persyaratan minimal 75%, seperti yang dijelaskan oleh Silvia Sukirman (2016). Penggunaan bahan pengisi atau *filler* dalam semen harus berada dalam kisaran 1% hingga 2% dari berat total agregat. Untuk campuran SMA, kadar bahan pengisi tidak memiliki batasan tertentu, namun tidak diperbolehkan menggunakan semen, sesuai dengan regulasi Bina Marga tahun 2018 devisa 6. Bahan pengisi yang digunakan sebaiknya tidak terkontaminasi dengan kotoran atau bahan lain, dan harus dalam keadaan kering, dengan kadar air maksimum yang diperbolehkan adalah 1%.

2.2.7. *Filler*

Filler merupakan bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan lapisan aspal. Selain itu, kadar dan jenis *filler* memiliki dampak pada elastisitas dan sensitivitas campuran aspal, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya pada tahun 2012. Ketentuan terkait *filler* pada campuran aspal menurut Bina Marga 2010 revisi 1 adalah:

1. Bahan pengisi yang dimasukkan terdiri dari debu batu kapur (limestone dust), kapur padam (hydrated lime), semen, atau abu terbang, dengan sumber yang telah disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
2. Bahan pengisi yang dimasukkan harus dalam keadaan kering dan tidak mengandung gumpalan. Ketika diuji dengan pengayakan sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990, bahan tersebut harus mengandung bahan yang melewati ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% dari berat

totalnya.

3. Setiap campuran aspal wajib mengandung bahan pengisi yang ditambahkan dalam rentang tidak kurang dari 1% dan maksimal 2% dari berat total agregat. Rincian ketentuan filler dapat ditemukan dalam Tabel 2.6 seperti berikut:

Tabel 2. 6 Ketentuan Filler

Pengujian	Standart	Nilai
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-6723-2002	Min. 75%

2.2.8. Styrofoam (*Polystyrene*)

Styrofoam, juga dikenal sebagai *polystyrene*, adalah produk yang dihasilkan dari *styrene* ($C_6H_5CH=CH_2$), yang mengandung gugus *fenil* (enam cincin karbon) yang disusun secara tidak teratur sepanjang rantai karbon molekul. Penggabungan acak benzena mencegah molekul membentuk struktur yang sangat lurus, sehingga *polystyrene* memiliki bentuk yang tidak tetap, transparan, dan dapat diubah menjadi berbagai bentuk plastik.

Menurut Erliza dan Sutedja seperti yang dikutip dalam Suryaman (2009), plastik dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. *Thermoplastic* adalah jenis plastik yang dapat melunakkan dan membentuk ulang berulang kali dengan pemanasan, contohnya termasuk *polyethylene*, *polypropylene*, *polystyrene*, dan *polyvinyl chloride*. Sebaliknya, *thermoset* adalah jenis plastik yang tidak dapat melunakkan kembali setelah dipanaskan, seperti *henol formaldehid* dan *urea formaldehid*.

Menurut Nurminah (2002), secara umum dikenal beberapa jenis plastik yang sering digunakan antara lain:

1. HDPE (*High Density Polyethylene*),
2. LDPE (*Low Density Polyethylene*),
3. PP (*Polypropylene*),
4. PS (*Polystyrene*),
5. Vinyl (*Polyvinyl Chloride*),

6. PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Menurut Mujiarto (2005), sifat-sifat umum dari *styrofoam/polystyrene* adalah:

1. Karakteristik Mekanis Ciri utama dari sifat mekanis bahan ini mencakup kekakuan, kekerasan, dan menghasilkan suara seperti logam saat jatuh.
2. Resistensi Terhadap Bahan Kimia Resistensi polystyrene terhadap bahan kimia tidak seefektif polypropylene. Polystyrene dapat larut dalam eter dan hidrokarbon. Selain itu, polystyrene memiliki tingkat absorpsi air yang rendah, yaitu di bawah 0,25%.
3. Ketahanan Terhadap Abrasif Polystyrene memiliki permukaan yang relatif lebih keras daripada jenis termoplastik lainnya, meskipun mudah tergores.
4. Ketransparanan Memiliki tingkat transparansi yang tinggi dan dapat memberikan kilauan yang unik yang tidak dimiliki oleh jenis plastik lain.
5. Sifat Listrik Karena memiliki daya serap air yang rendah, polystyrene digunakan untuk keperluan alat-alat listrik.
6. Resistensi Panas Polystyrene memiliki titik lunak yang rendah (90°C), sehingga tidak cocok untuk penggunaan pada suhu tinggi. Selain itu, polimer ini memiliki konduktivitas panas yang rendah.

Menurut Billmeyer (1984) dalam Dharma Giri (2008), Styrofoam dianggap sebagai bahan yang baik dalam hal sifat mekanis dan suhu, namun memiliki kecenderungan menjadi agak rapuh dan lunak pada suhu di atas 100°C . Styrofoam memiliki berat jenis hingga 1050 kg/m^3 , kekuatan tarik hingga 40 MN/m^2 , modulus lentur hingga 3 GN/m^2 , modulus geser hingga $0,99 \text{ GN/m}^2$, dan angka Poisson sebesar 0,33 menurut Crawford (1998) dalam Dharma Giri (2008).

Mujiarto (2005) menjelaskan bahwa Styrofoam memiliki kekuatan permukaan yang relatif lebih keras dibandingkan dengan jenis termoplastik

lainnya. Styrofoam memiliki sifat yang sangat ringan dan bersifat thermoplastic, yang berarti dapat menjadi lunak saat dipanaskan dan mengeras kembali setelah didinginkan. Saat dipanaskan, Styrofoam akan menjadi lunak pada suhu 100°C. Namun, jika terkena api langsung, Styrofoam mudah terbakar dan menghasilkan api berwarna kuning serta meninggalkan jelaga. Selain itu, Styrofoam memiliki ketahanan terhadap asam, basa, dan sifat korosif lainnya seperti garam. Styrofoam juga sangat stabil dan tidak mudah terurai dalam jangka waktu yang lama (www.bfoam.com, 10 September 2010).

2.2.9. Karakteristik Campuran Aspal

Ada beberapa karakteristik yang harus dimiliki pada campuran beton, diantaranya yaitu :

1. Stabilitas pada lapisan perkerasan jalan merujuk pada kemampuannya untuk menahan beban selama pergerakan lalu lintas, termasuk dalam menghadapi perubahan yang bersifat sementara seperti alur, gelombang, dan bleeding. Hal ini menjadi suatu kebutuhan yang mendesak mengingat peningkatan jumlah kendaraan dalam lalu lintas, seperti yang diutarakan oleh (Sepriksaha Diansari pada tahun 2016).

Persamaan (2-1) nilai stabilitas yaitu:

$$S = p \times q \quad (2.1)$$

Keterangan :

S : nilai stabilitas

P : arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : koreksi benda uji

2. Durabilitas sangat penting untuk lapisan permukaan, memastikan bahwa struktur tersebut mampu menghadapi keausan yang disebabkan oleh cuaca, air, perubahan suhu, serta keausan akibat gesekan roda kendaraan.
3. Kelenturan (Fleksibilitas) merujuk pada kemampuan lapisan perkerasan untuk menyesuaikan deformasi yang terjadi karena beban lalu lintas berulang, tanpa menimbulkan retak atau perubahan volume.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (Fatigue Resistance) adalah kemampuan lapis aspal beton untuk menahan beban berulang tanpa mengalami kelelahan yang dapat menghasilkan alur (rutting) atau retak.
5. Kekesatan terhadap slip (Skid Resistance) mencakup keberlanjutan perkerasan dalam memberikan daya gesek sehingga kendaraan tidak mengalami selip, baik dalam kondisi basah maupun kering. Kekesatan ini diukur dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dan roda kendaraan.
6. Kemudahan Pelaksanaan (Workability) mencerminkan tingkat kemudahan suatu campuran untuk dihamparkan dan dipadatkan sehingga menghasilkan kepadatan yang sesuai dengan standar yang diinginkan.

Tabel 2. 7 Persyaratan campuran aspal beton

Sifat sifat campuran	Laston		
	Wc	Bc	Base
Jumlah tumbukan bidang	75		112
Rongga campuraN (%)	Max	3	
	Min	5	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14 13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63 60
Stabilitas marshal (kg)	Min	800 1500	
	Max	- -	
Kelelahan (<i>flow</i>) (mm)	Min	3	5
Marshal quotienst (kg/mm)		250	300
Stabilitas marshall sisa (%) Setelah perendaman selama 24 jam	Min	80	
Rongga dalam campuran (%) Padakepadatanmembal (<i>refusal</i>)	Min	2,5	

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

2.2.10. Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal optimum diperkirakan dengan langkah awal menentukan kadar aspal rencana secara empiris menggunakan Persamaan 2.2.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_b = Perkiraan kadar aspal tengah (persentase berat terhadap campuran)

- C = Agregat tertahan saringan No.8 (agregat lolos saringan $\frac{1}{4}$ - agregat A lolos saringan No.8)
- F = Agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200 (agregat A lolos saringan No.8 – agregat saringan No.200)
- FF = Bahan pengisi lolos saringan No.200 (agregat lolos saringan No.200)
- K = Kira-kira konstanta 0,5 – 1 untuk laston dan 2,0 – 3,0 untuk Lataston.
Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0 – 2,5

Nilai kadar aspal tengah rencana (Pb) yang dihitung dibulatkan hingga mendekati 0,5%. Dalam penelitian ini, terdapat penggunaan 3 nilai kadar aspal rencana. Oleh karena itu, ditentukan satu kadar aspal yang lebih tinggi dari kadar Pb, dan satu kadar aspal yang lebih rendah dari kadar Pb, dengan selisih antar keduanya sebesar 0,5% masing-masing.

2.2.11. Pengujian Volumetrik Campuran

Pengujian volumetrik adalah proses untuk menilai densitas, specific gravity campuran, dan porositas dari setiap benda uji. Pengujian ini mencakup pengukuran tinggi, diameter, berat SSD (Surface Saturated Dry), berat di udara, berat dalam air dari sampel, serta berat jenis dari agregat, filler, dan aspal. Sebelum melakukan pengujian Marshall, benda uji harus melewati pengujian volumetrik terlebih dahulu. Data-data yang dihasilkan dari penelitian laboratorium dianalisis dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

1. Berat Jenis.

- a) Berat jenis agregat kasar dengan Persamaan 2.3 sampai dengan Persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$Bulk = \frac{A}{(B-C)} \quad (2.3)$$

$$SSD = \frac{B}{(B-C)} \quad (2.4)$$

$$APPT = \frac{(A)}{(B-C)} \quad (2.5)$$

$$Penyerapan = \frac{(B-A)}{BA} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dengan:

Bulk = berat jenis.

SSD = berat jenis kering permukaan.

APPT = berat jenis semu.

A = berat benda contoh uji kering oven (gram).

B = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram).

C = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram).

- b) Berat jenis agregat halus dan filler dengan Persamaan 2.7 sampai dengan Persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$Bulk = \frac{BK}{(B+500-Bt)} \quad (2.7)$$

$$SSD = \frac{500}{(Bc+500-BD)} \quad (2.8)$$

$$APPT = \frac{BK}{(B+BK-BT)} \quad (2.9)$$

$$Penyerapan = \frac{500-BK}{BK} \times 100 \quad (2.10)$$

Dengan:

Bulk = berat jenis.

SSD = berat jenis kering permukaan.

APPT = berat jenis semu.

BK = berat kering(gram).

B = berat piknometer + berat air (gram).

Bt = berat piknometer + berat benda uji + berat air (gram).

- c) Berat jenis Bulk gabungan (*U*) dengan Persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$U = \frac{100}{\left(\frac{a}{B J a Bulk}\right) + \left(\frac{b}{B J a Bulk}\right) + \left(\frac{c}{B J a Bulk}\right) + \left(\frac{d}{B J a Bulk}\right)} \quad (2.11)$$

- d) Berat jenis Apparent gabungan (*App*) dengan Persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$App = \frac{100}{\left(\frac{a}{B J a App}\right) + \left(\frac{b}{B J a App}\right) + \left(\frac{c}{B J a App}\right) + \left(\frac{d}{B J a App}\right)} \quad (2.12)$$

- e) Berat jenis efektif (*V*) dengan Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$V = \frac{U + App}{2} \quad (2.13)$$

Dari data tersebut dapat diperoleh harga Density, Stabilitas, dan Marshall Quotient (MQ).

2.2.12. Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall)

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan telah di standarkan oleh ASTM dan AASHTO melalui beberapa modifikasi, seperti ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode Marshall melibatkan pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow) serta analisis kepadatan dan porositas dari campuran padat yang terbentuk. Alat Marshall dilengkapi dengan proving ring berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flow meter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sementara flow meter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder dengan diameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti Metode Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018). Secara umum, pengujian Marshall melibatkan persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan flow, serta perhitungan sifat volumetrik benda uji. Pada tahap persiapan benda uji, beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Jumlah benda uji yang disiapkan.
- b. Persiapan agregat yang akan digunakan.
- c. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
- d. Persiapan campuran aspal beton.
- e. Pemadatan benda uji.
- f. Persiapan untuk pengujian Marshall.

Karakteristik sifat-sifat Marshall sebagai berikut:

- a. Kelelahan (*Flow*)

Nilai flow, dilambangkan sebagai (r) , diperoleh dari pengukuran arloji flow yang mengindikasikan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm. Menurut Roberts (1991), flow dalam konteks uji Marshall adalah

seberapa besar deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai dari awal pembebanan hingga mencapai kondisi kestabilan dan mulai mengalami penurunan. Nilai flow dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan. Flow yang memiliki nilai terlalu tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban. Sebaliknya, flow yang memiliki nilai terlalu rendah menunjukkan adanya rongga yang tidak terisi oleh aspal, yang bisa disebabkan oleh kondisi yang tidak normal atau kandungan aspal yang terlalu rendah, yang berpotensi menyebabkan terjadinya retakan.

b. Stabilitas

Menurut Sukirman (2003), stabilitas dalam konteks perkerasan jalan merujuk pada kemampuan struktur jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen, seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas secara proporsional tergantung pada fungsi jalan dan besaran beban lalu lintas yang akan dilayaninya. Semakin tinggi volume lalu lintas dan dominasi oleh kendaraan berat, maka stabilitas yang tinggi menjadi suatu kebutuhan. Sebaliknya, jika jalan hanya untuk lalu lintas ringan, stabilitas yang sangat tinggi tidak begitu diperlukan.

Nilai stabilitas ($(stability)$) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$S = P \times r \quad (2.14)$$

Dengan:

P = Kalibrasi proving ring pada 0.

r = Nilai pembacaan arloji stabilitas

Angka koreksi dapat ditentukan berdasarkan tebal benda uji, dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Angka koreksi pada Perhiungan Stabilitas Marshall

Isi (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi	Isi (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25.4	5.56	421-431	52.4	1.39
214-225	27	5.00	432-443	54	1.32
226-237	28.6	4.55	444-456	55.6	1.25
238-250	30.2	4.17	457-470	57.2	1.19
251-264	31.8	3.85	471-482	58.7	1.14
265-276	33.3	3.57	483-495	60.3	1.09
277-289	34.9	3.33	496-508	61.9	1.04
290-301	35.5	3.03	509-522	63.5	1.00
302-316	38.1	2.78	523-535	65.1	0.96
317-328	39.7	2.5	536-546	66.7	0.93
329-340	41.3	2.27	547-559	68.3	0.89
341-353	42.9	2.08	560-573	69.9	0.86
354-367	44.4	1.92	574-585	71.4	0.83
368-379	46	1.79	586-598	73	0.81
380-392	47.6	1.67	599-610	74.6	0.78
393-405	49.2	1.56	611-625	76.2	0.76
406-420	50.8	1.47			

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional. Tabel 2. RSNI M-06-2004)

c. *Marshall Quotient (MQ)*

Menurut Bustaman (2000), Marshall Quotient adalah rasio antara stabilitas dan kelelahan (flow) yang digunakan untuk memberikan pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai Marshall Quotient yang tinggi menunjukkan tingkat kekakuan lapis keras yang tinggi. Namun, jika nilai Marshall Quotient terlalu tinggi, dapat menyebabkan keretakan karena beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya, jika nilai Marshall Quotient terlalu rendah, hal ini menunjukkan bahwa campuran terlalu plastis atau fleksibel, yang dapat menyebabkan lapis keras berubah bentuk dengan mudah saat menahan beban lalu lintas.

Perhitungan nilai Marshall Quotient dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$MQ = \frac{s}{t} \quad (2.15)$$

Dengan:

S = Nilai stabilitas terpadang (Kg).

t = Nilai keelehan/flow (mm).

MQ = Nilai Marshall Quotient (Kg/mm).

d. Density

Menurut Roberts (1991), ketika kadar aspal meningkat, kepadatan juga cenderung meningkat hingga mencapai puncaknya, lalu mengalami penurunan. Titik puncak pada kurva kepadatan biasanya terjadi bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Kepadatan yang tinggi pada titik ini mencerminkan kemampuan campuran untuk menahan beban tinggi, serta memiliki sifat kedap terhadap air dan udara yang tinggi. Perhitungan nilai kepadatan (density) dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.15 dan Persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$g = g - f \quad (2.15)$$

$$i = \frac{h}{e} \quad (2.16)$$

dengan:

e = Berat benda uji sebelum direndam (gram).

F = Berat benda uji jenuh air (gram).

G = Berat benda uji dalam air (gram).

H = Isi benda uji (ml).

I = Berat isi benda uji (gram/ml).

e. *Void In The Mix (VIM)*

VIM, atau nilai persentase rongga udara dalam campuran, dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$VIM = 100 - i \times j \quad (2.17)$$

Dengan:

i = Bj benda uji

j = Bj campuran maksimal

f. *Void Filled Asphalt (VFA)*

VFA, atau nilai presentase rongga yang terisi oleh aspal efektif,

dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (2.18)$$

Dengan:

VFA = rongga terisi aspal persen terhadap VMA.

VMA = rongga di antara mineral agregat.

VIM = rongga di dalam campuran.

g. *Void Mineral Agregat (VMA)*

VMA, atau Volume of Voids in the Mineral Aggregate, adalah volume rongga udara antara butir agregat dalam campuran agregat aspal padat. Ini mencakup rongga udara dan kadar aspal efektif yang menyatakan persentase volume rongga di agregat yang terisi oleh aspal, dinyatakan dalam persentase terhadap total volume. VMA dapat dihitung dengan Persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$VMA = 100 - l \quad (2.19)$$

Dengan:

l = Persentase volume agregat

Berdasarkan kriteria pengujian Marshall di atas, dapat diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO). Kadar aspal optimum ini memberikan informasi tentang kemampuan suatu campuran, dan dapat digunakan untuk menilai kepatuhan campuran terhadap standar yang ditetapkan oleh Bina Marga. Persyaratan untuk campuran lapis aspal beton (laston) AC sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga Divisi 6.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Pengujian benda uji dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram yang berlokasi di Jalan KH. Ahmad Dahlan No. 1, Kelurahan Pagesangan, Kecamatan Mataram, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth, 2023)

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan hasil pengujian di laboratorium dan data sekunder. Data sekunder adalah sekumpulan informasi yang telah ada sebelumnya dan digunakan sebagai pelengkap kebutuhan data penelitian. Adapun data sekunder yang di dapatkan dari PT. Sinar Bali Binakarya berupa:

1. *Job Mix* Formula Agregat
2. Analisis pengujian saringan fraksi agregat 3/8, 3/4, Abu batu dan *filler*
3. Data penetrasi aspal 60/70.

3.3. Peralatan dan Bahan

3.3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Alat pemeriksaan agregat, terdiri dari:
 - a. Satu set alat uji saringan (sieve) standar ASTM.

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat melibatkan saringan standar dengan ukuran tertentu. Saringan standar ini mencakup ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #16, #30, #50, dan #200. Proses penggunaan saringan ini bertujuan untuk mengurutkan ukuran agregat dari yang terkecil hingga terbesar.



Gambar 3. 2 Saringan Standar ASTM

2. Oven dan pengatur suhu.

Merupakan alat yang digunakan untuk mengeringkan benda uji dalam suhu tertentu untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Oven atau Pemanas Agregat

3. Timbangan Digital

Timbangan ini memiliki ketelitian sebesar 0,1 gram. Fungsi timbangan dalam penelitian ini adalah untuk mengukur massa benda uji dengan presisi tinggi, sehingga dapat diperoleh data yang akurat.



Gambar 3. 4 Timbangan Digital

4. Termometer

Alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur aspal. Seperti pada Gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Termometer

5. Alat pembuat briket campuran aspal hangat terdiri dari :

- a. Sekumpulan cetakan (mold) yang berbentuk silinder dengan diameter 101,45 mm dan tinggi 80 mm lengkap dengan plat atas serta leher sambung. Ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 6 Cetakan Benda Uji Briket

- b. Alat penumbuk (compactor) yang memiliki permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, memiliki berat 4,536 kg (10 lbs), dan tinggi jatuh bebas sepanjang 45,7 cm (18"). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3. 7 Alat Penumbuk

- c. Satu set Alat Pengangkat Briket (Dongkrak Hidrolik) yang berfungsi untuk mengeluarkan benda uji dari dalam cetakan. Hal ini terlihat pada Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3. 8 Dongkrak Hidrolis

6. Satu set Water Bath yang difungsikan untuk merendam benda uji dalam suhu 60°C selama 30 menit. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.9 di bawah ini:



Gambar 3. 9 Water Bath

7. Satu set alat Marshall terdiri dari:
- Kepala penekan berbentuk lengkung (Breaking Head) dengan jari-jari bagian dalam sebesar 50,8 mm (2 in).
 - Dongkrak pembebanan (loading jack) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal sekitar 50,8 mm/menit.
 - Cincin penguji (proving ring) berkapasitas 2500 kg dan/atau 5000 kg yang dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 (0,001 in).
 - Arloji pengukur alir (flow) dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.

Fungsi dari alat Marshall adalah untuk menentukan nilai stabilitas dan keelehan (flow) serta melakukan analisis kepadatan dan porositas dari campuran padat yang terbentuk. Detail dari alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini:



Gambar 3. 10 Satu Set Uji Alat Marshall

8. Alat Penunjang

1. Panci, berperan sebagai wadah untuk menyimpan campuran agregat dan campuran aspal. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3.11 di bawah ini:



Gambar 3. 11 Panci

2. Wajan, spatula, dan kompor gas digunakan untuk memanaskan aspal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut:



Gambar 3. 12 Wajan, Spatula, dan Kompor Gas

3. Sarung tangan berfungsi sebagai pelindung tangan saat melakukan proses pemanasan campuran aspal. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.13 di bawah ini::



Gambar 3. 13 Sarung Tangan

3.3.2. Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar dan agregat halus



Gambar 3. 14 Agregat kasar dan agregat halus

2. Aspal penetrasi 60 / 70



Gambar 3. 15 Aspal

3. *Filler* atau material lolos saringan No. 200.



Gambar 3. 16 Filler

4. Air



Gambar 3. 17 Air

5. Styrofoam



Gambar 3. 18 Styrofoam

3.4. Prosedur Pelaksanaan

Penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan:

1. Tahap persiapan
2. Tahap pembuatan benda uji
3. Tahap pengujian material

3.4.1. Tahap persiapan

Tahap awal dari proses penelitian melibatkan penetapan desain penelitian, dimana semua alat dan bahan yang diperlukan disiapkan terlebih dahulu. Memastikan ketersediaan alat dan bahan sangat penting karena berdampak signifikan terhadap proses penelitian. Alat dan bahan sudah dipersiapkan secara matang sejak awal.

Peralatan yang digunakan, terdiri dari :

1. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 dan tinggi 7,62 cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 - a. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm
 - b. Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,48 x 30,48 x 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
3. Alat pengeluaran benda uji :

Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat ekstruder yang berdiameter 10 cm.
4. Alat marshall lengkap dengan :
 - a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung.
 - b. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
 - c. Arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta kelengkapannya.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu yang mampu memanasi sampai 200°C derajat ($\pm 3^\circ\text{C}$).
6. Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20 sampai 60°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).
7. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 g dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 g.
8. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 1% dari kapasitas.
9. Perlengkapan lain :
 - a. Panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal.
 - b. Sendok pengaduk dan spatula .
 - c. Kompor atau pemanas (*hot plate*).

d. Sarung tangan.

3.4.2. Pembuatan benda uji

Prosedur pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb), setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis maksimum (BJ Max) dihitung dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
2. Menentukan berat aspal penetrasi 60/70, berat *filler* dan berat agregat yang akan dicampur berdasarkan variasi kadar aspal. Persentase ditentukan berdasarkan berat total campuran, yaitu 1200 gram. Kadar aspal ditentukan dengan perhitungan komposisi agregat campuran.
3. Panaskan agregat pada temperatur 28°C setelah itu panaskan aspal sampai mencapai kekentalan (*viskositas*) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan seperti diperlihatkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 1 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan

Alat uji	Kekentalan untuk		satuan
	pencampuran	pemadatan	
Viscosimeter Kinematik	170 ± 20	280 ± 30	Centistokes
Viscosimeter Saybolt Furol	85 ± 10	140 ± 15	Detik Saybolt Furol

4. Pencampuran benda uji
 - a. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm
 - b. Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C di atas temperatur pencampuran aspal keras
 - c. Masukkan agregat yang telah dipanaskan ke dalam wadah pencampur
 - d. Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan seperti pada Tabe 3. 3 sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregattercampur aspal secara merata.

5. Pemasakan benda uji

- a. Setelah aspal dituangkan ke dalam agregat, campuran ini diaduk sampai rata dan kemudian didiamkan hingga mencapai suhu pemasakan 120°C - 140°C .
- b. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan
- c. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya
- d. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan
- e. Pemasakan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan, setelah itu lakukan penumbukan sebanyak 75 kali di kedua sisi.
- f. Sesudah dilakukan pemasakan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar pada permukaan ujung benda uji,
- g. Keluarkan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang.

6. Persiapan pengujian

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel
- b. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian
- c. Timbang benda uji (berat udara)
- d. Rendam benda uji dalam air selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang
- e. Timbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan isi dari benda uji.
- f. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.

3.4.2.1. Benda uji

Dalam eksperimen ini, benda uji dibuat dengan variasi berdasarkan kadar aspal optimum (KAO), di mana nilai KAO menjadi acuan untuk membentuk variasi benda uji. Terdapat empat variasi, yaitu: tanpa penambahan

styrofoam (0%), penambahan styrofoam 2%, penambahan styrofoam 4%, dan penambahan styrofoam 6%.

Proses pembuatan benda uji melibatkan penambahan styrofoam sesuai dengan persentase yang telah ditetapkan, yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6%. Styrofoam ini kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan variasi dan dicampurkan selama pengadukan agregat dan aspal panas.

Dalam penelitian ini, digunakan total 24 buah benda uji dengan penambahan styrofoam pada variasi 0%, 2%, 4%, dan 6%. Rincian jumlah benda uji yang dibutuhkan dapat ditemukan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. Adapun jumlah dari sampel yang dibutuhkan pada saat melakukan pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Jumlah Sampel Pengujian

No	Variasi Suhu	<i>Marshal test</i>
1	115°C	3 Buah
2	125°C	3 Buah
3	135°C	3 Buah
4	145°C.	3 Buah
Total		12 Buah

Tabel 3. 3 Jumlah Sampel Pengujian

No	Variasi <i>Styrofoam</i>	<i>Marshal test</i>
1	0%	3 Buah
2	2%	3 Buah
3	4%	3 Buah
4	6%	3 Buah
Total		12 Buah

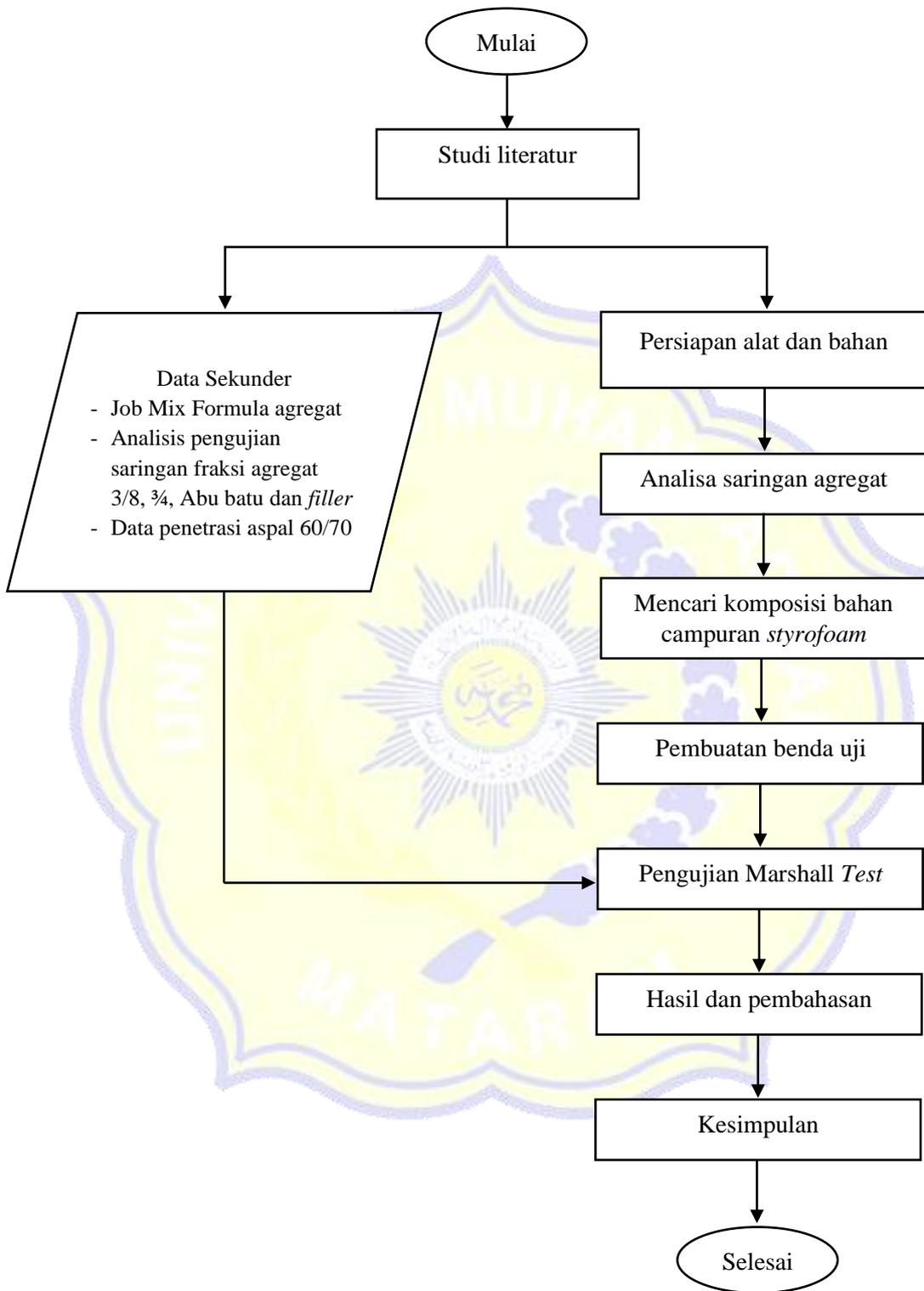
3.4.3. Marshall test

Pengujian Marshall adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal. Semakin tinggi nilai stabilitas pada campuran maka nilai flow juga akan

tinggi. Dengan nilai stabilitas yang tinggi dapat disimpulkan bahwa aspal mampu menahan beban.

1. Benda uji direndam dalam *Water Bath* (bak perendam) selama 30 – 40 menit dengan suhu 60 °C. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah pada masing – masing variasi *styrofoam*.
2. Keluarkan benda uji dari *Water Bath* dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji Marshall.
3. Pasang bagian atas alat penekan uji Marshall di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji Marshall
4. Pasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan
5. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.
6. Dari hasil pengujian ini didapat nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*)
7. Perhitungan nilai stabilitas dan Marshall quotient didapatkan dengan Persamaan 2.14 dan 2.15

3.5. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 19 Bagan alir penelitian