

SKRIPSI

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH *STYROFOAM* UNTUK BAHAN ADITIF PADA *ASPHALT AC-BC*

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun Oleh:

DONI AMRULLAH
2019D1B132

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING
SKRIPSI
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH STYROFOAM UNTUK BAHAN ADITIF
PADA ASPHALT AC-BC


Disusun oleh:

DONI AMRULLAH

2019D1B132

Mataram, 19 Januari 2024

Pembimbing I,



Titik Wahyuningsih, ST., MT.
NIDN.0819097401

Pembimbing II,



Nurul Hidayati, ST., M.Eng.
NIDN.0815049401

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



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

NIDN. 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI
“PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH *STYROFOAM* UNTUK BAHAN ADITIF
PADA *ASPHALT AC-BC*”

Yang Diperiapkan dan Disusun Oleh:

NAMA : DONI AMRULLAH

NIM : 2019D1B132

Telah dipertahankan di depan Tim penguji
pada hari kamis, 1 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Penguji I : Titik Wahyuningsih, ST., MT.

Penguji II : Nurul Hidayati, ST.,M,Eng.

Penguji III : Hafis Hamdani, ST.,MT.

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dean,



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

NIDN. 0806027101

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Doni Amrullah

NIM : 2019D1B132

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah *Styrofoam* Untuk Bahan Aditif Pada
Asphalt AC-BC

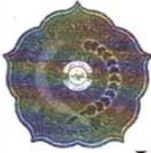
Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul Pengaruh Penggunaan Limbah *Styrofoam* Untuk Bahan Aditif Pada *Asphalt AC-BC* adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pikiran orang lain. Sumber informasi yang digunakan baik dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah dicantumkan dalam daftar pustaka pada skripsi ini.

Apabila pada kemudian hari dapat dibuktikan bahwa skripsi ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Mataram, 24 Januari 2024



Doni Amrullah
2019D1B132



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 : *Doni Amrullah*
NIM : *2019DIB132*
Tempat/Tgl Lahir : *Gerintuk, 09 November 1999*
Program Studi : *Teknik Sipil*
Fakultas : *Teknik*
No. Hp : *+6287866320032*
Email : *radendonnyo19@gmail.com*

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

*"PEMBARUH PENGGUNAAN LIMBAH STYROFOAM UNTUK
BAHAM ADITIF PADA ASPHALT AC-BC"*

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 48%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih 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, *29 Februari*.....2024

Penulis



Doni Amrullah
NIM. *2019DIB132*

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

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

*pilih salah satu yang sesuai



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 : *Doni Amrullah*
NIM : *2019D1B132*
Tempat/Tgl Lahir : *Gerintuk, 09 November 1999*
Program Studi : *Teknik Sipil*
Fakultas : *Teknik*
No. Hp/Email : *087866320032*
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:

"PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH STYROFOAM UNTUK BAHAN ADITIF PADA ASHPALT AC-BC"

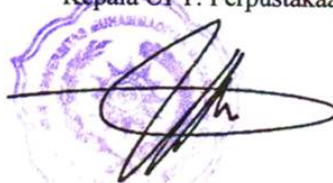
Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, *29 Februari* 2024
Penulis



Doni Amrullah
NIM. *2019D1B132*

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

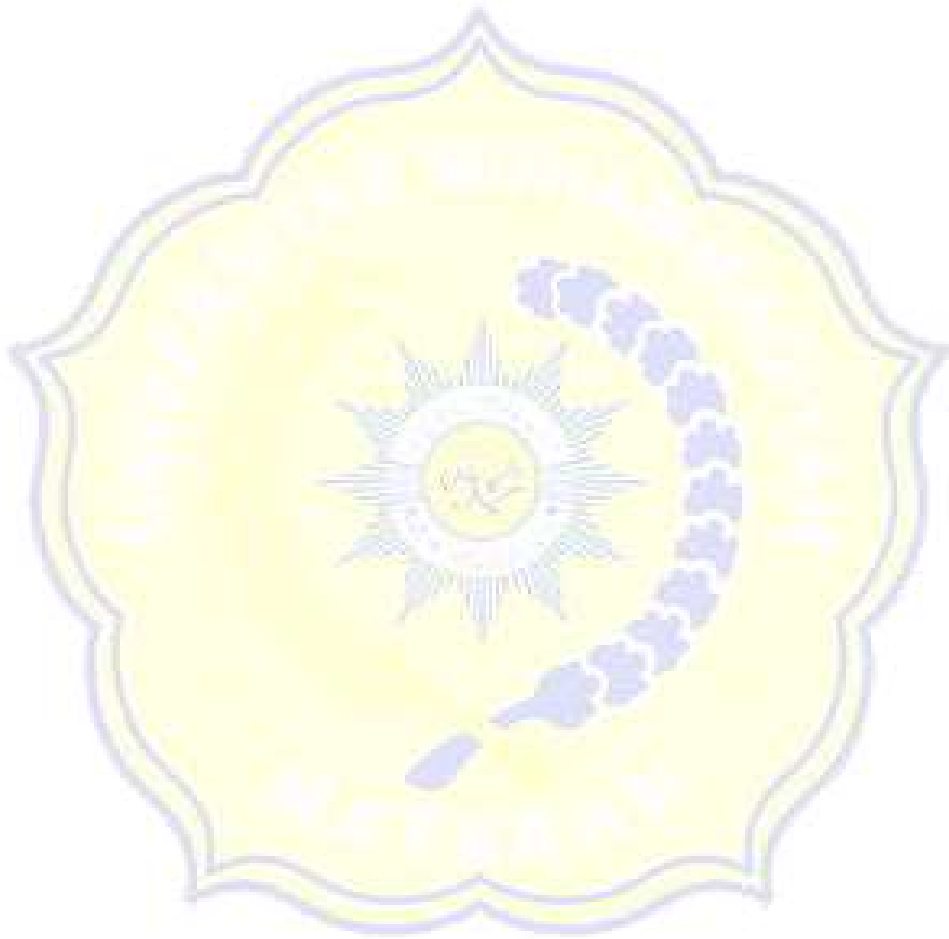
MOTTO

“Mustahil tuhan membawamu sejauh ini hanya untuk gagal”

“ride the sky”

“Terlambat Bukan Berarti Kamu Gagal Hanya Saja Proses mu datangnya belakangan”

“penulis”



LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualikum Warahmatullahi Wabarakatuh

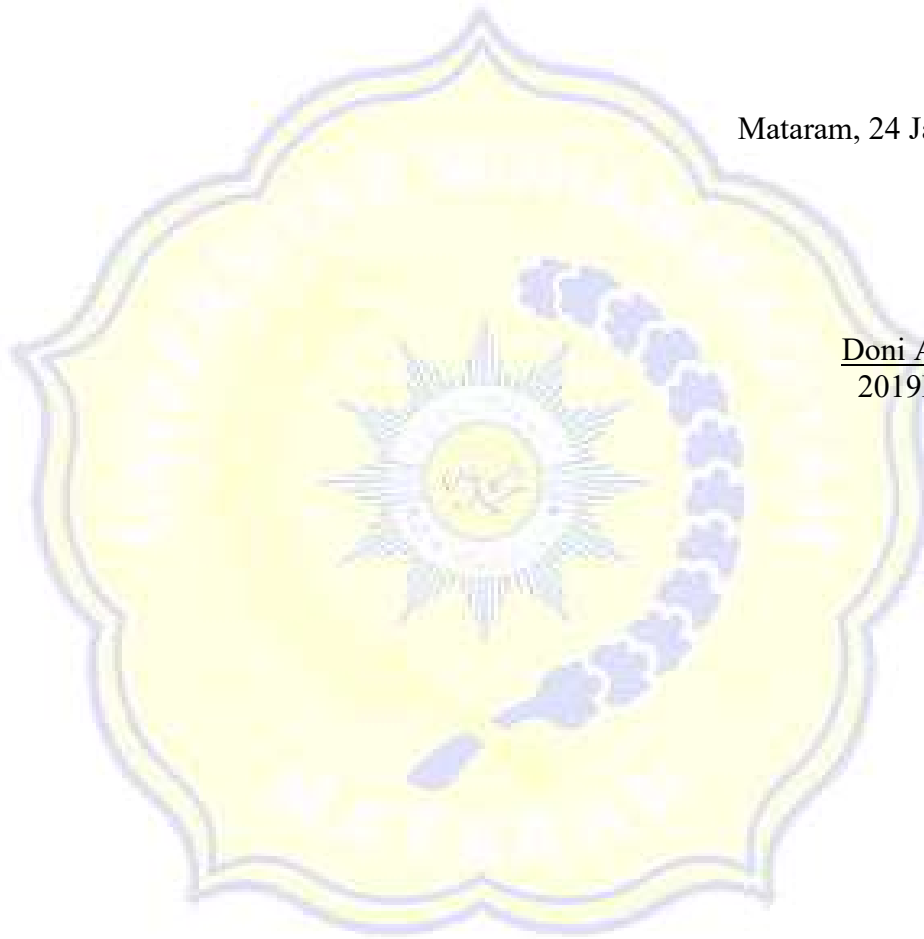
Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kelancaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya, skripsi ini merupakan hasil perjuangan yang cukup menguras tenaga, pikiran dan uang dan teriring dengan waktu, kesabaran, ketekunan dan do'a skripsi yang berjudul “ Pengaruh Penggunaan Limbah *Styrofoam* Untuk Bahan Aditif Pada *Asphalt AC-BC*” ini dipersembahkan kepada pihak-pihak yang selalu membantu dalam segala kondisi, ucapan terimakasih tak terhingga ini penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT yang memberikan nikmat yang tak terhingga dan tauladan terhebat yakni Nabi Muhammad SAW, yang merupakan Mu'robbi terbesar dalam hidup.
2. Rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua (ibu dan bapak) yang tak pernah merasa lelah memberikan do'a, kasih sayang, pengertian, dorongan semangat, materi dan suport serta menjadi motivasi terbesar sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitiannya tepat pada waktunya.
3. Terimakasih kepada keluarga tercinta yang telah memberikan suport sehingga skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
4. Rasa hormat dan terimakasih kepada kedua dosen pembimbing skripsi yakni pembimbing I Titik Wahyuningsih, ST., MT. dan pembimbing II Nurul Hidayati, ST., M,Eng. yang telah mengarahkan dan sabar dalam membimbing sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Dan saya berterimakasih kepada : Muchammad faizt fahriyan, rendi sofyan, hairul hadi, hendi irawan, lalu galih tandayu, fikri haikal hidayat, lathifatuzzahro, silmi wirda fitri, ema panida resti, mardianti, chaisari junita lapat. Yang telah memberi support selama mengerjakan skripsi.
6. Terimakasih kepada seluruh Civitas Akademik Fakultas Teknik UMMAT khususnya dosen Teknik Sipil UMMAT yang telah berbagi ilmu.
7. Untuk kampus Universitas Muhammadiyah Mataram, terimakasih karena

8. telah menjadi tempat untuk menuntut ilmu sebagai bekal di masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis berharap dapat diapresiasi dengan baik. Terimakasih, Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Mataram, 24 Januari 2024



Doni Amrullah
2019D1B132

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Styrofoam Untuk Bahan Aditif Pada Asphalt AC-BC”. 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.

Penulisan skripsi ini banyak sekali mendapat bantuan, saran dan bimbingan dari segala pihak sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan dan rasa terima kasih kepada:

1. Drs. H. 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. sebagai pembimbing I dan Nurul Hidayati, ST., M,Eng. sebagai pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan koreksi mendetail secara terus-menerus tanpa ada rasa bosan di tengah kesibukan yang sedang dijalani.
5. Hafis Hamdani, ST., MT. selaku dosen penguji.
6. Kedua orang tua yaitu bapak Abdurrahman dan Ibu Kamariyah yang telah memberikan limpahan kasih sayang yang begitu berlimpah, *do'a-do'a* mereka yang tidak pernah putus untuk kesuksesan penulis serta dukungan dan suport yang luar biasa untuk penulis.
7. Semua rekan-rekan dan Dan saya berterimakasih kepada : Muchammad faizt

fahriyan, rendi sofyan, hairul hadi, hendi irawan, lalu galih tandayu, fikri haikal hidayat, lathifatuzzahro, silmi wirda fitri, ema panida resti, mardianti, chaisari junita lapat. Yang telah memberi support selama mengerjakan skripsi.

8. Beribu-ribu rasa terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak tersebut, semoga amal kebbaikannya mendapat rahmat yang berlimpah dari Allah Swt. Penulis menyadari bahwa masih banyak kesalahan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Maka dari itu penulis mengharapkan saran seluas-luasnya dari pembaca yang kemudian akan penulis jadikan sebagai evaluasi. Dengan itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya, karena memang manusia tidak luput dari lupa dan kesalahan.

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

Mataram, 24 Januari 2024

Doni Amrullah
2019D1B132

ABSTRAK

Penelitian ini difokuskan pada eksplorasi potensi limbah *styrofoam* sebagai bahan aditif pada campuran aspal AC-BC. Pemanfaatan limbah *styrofoam* dalam industri konstruksi menjadi sorotan karena dapat mendukung upaya pengurangan limbah plastik sambil meningkatkan kinerja material konstruksi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak penggunaan limbah *styrofoam* terhadap karakteristik fisik dan mekanik aspal, dengan harapan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan solusi berkelanjutan.

Metode *marshall* digunakan untuk mengetahui pengaruh limbah *styrofoam* pada aspal AC-BC. Pencampuran limbah *styrofoam* dilakukan dalam variasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap aspal AC-BC, dan analisis dilakukan terhadap stabilitas, dan kelelahan (*flow*). Penggunaan metode *marshall* memberikan landasan yang kuat untuk menilai efek modifikasi limbah *styrofoam* terhadap properti aspal, memastikan keakuratan dan validitas hasil penelitian.

Dari beberapa hasil sifat-sifat campuran AC-BC untuk limbah *styrofoam* sebagai bahan tambah pada aspal dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dengan memakai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5% diperoleh nilai VMA, VFA, Stabilitas, *flow*, dan MQ dapat terpenuhi berdasarkan spesifikasi yang di persyaratkan. Sedangkan untuk nilai VIM ini tidak dapat terpenuhi persyaratan karena sedikit melebihi batas spesifikasi yang di persyaratkan. Berarti untuk penggunaan limbah *styrofoam* dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% ini tidak memenuhi atau tidak dapat dipakai dalam pencampuran beraspal.

Kata Kunci: limbah *styrofoam*, aspal AC-BC, *Marshall*.

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the viability of utilizing Styrofoam waste as an additive in AC-BC bitumen mixtures. The application of Styrofoam waste in the construction sector is currently receiving significant attention due to its potential to enhance the performance of building materials and contribute to the reduction of plastic waste. The primary objective of this study is to assess the effect of Styrofoam waste utilization on the physical and mechanical properties of asphalt with the aim of contributing to the development of sustainable solutions. The marshall method was used to determine the effect of Styrofoam waste on AC-BC asphalt. Styrofoam waste was mixed in variations of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% to AC-BC asphalt, and analysis was conducted on stability and flow. The marshall method provides a solid foundation to assess the effect of Styrofoam waste modification on asphalt properties, ensuring the accuracy and validity of the research results. From some of the results of the properties of the AC-BC mixture for styrofoam waste as an additive to asphalt with variations of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8%, using the optimum asphalt content (KAO) of 5.5%. VMA, VFA, Stability, flow, and MQ values can be met based on the required specifications. As for the VIM value, it cannot meet the requirements because it slightly exceeds the limit of specification needed. It means styrofoam waste with variations of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% does not meet or cannot be used in asphalt mixing.

Keywords: *styrofoam waste, AC-BC asphalt, Marshall.*

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUUAN PUBLIKASI.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
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
BAB II LANDASAN TEORI	5

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Kontruksi Jalan Raya	7
2.3 Aspal	10
2.3.1 Kandungan Aspal	11
2.3.2 Jenis Aspal	12
2.3.3 Lapisan Aspal Beton	13
2.3.4 Fungsi Aspal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan	14
2.3.5 AC-BC (<i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>)	14
2.4 Agregat	14
2.5 Gradasi Agregat	17
2.6 <i>Filler</i>	19
2.7 Sement Portland	19
2.8 <i>Polystyrene (styrofoam)</i>	21
2.9 Karakteristik Campuran Aspal	21
2.10 Perhitungan Kadar Aspal Rencana	22
2.11 Pengujian Volumetrik Campuran	23
2.12 Pengujian <i>Marshall</i> (Karakteristik Sifat-Sifat <i>Marshall</i>)	24
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Lokasi Penelitian	29
3.1.1 Lokasi Pengambilan Sampel	29
3.1.2 Lokasi Pengujian	29
3.2 Teknik Pengumpulan Data	30
3.3 Alat dan Bahan	30
3.3.1 Alat	30
3.3.2 Bahan	38
3.4 Benda Uji	39
3.5 Prosedur Pelaksanaan	39
3.5.1 Tahap Persiapan	39
3.5.2 Pembuatan Benda Uji	40
3.6 <i>Marshall Test</i>	42
3.7 Tahap Penelitian	43

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAAN.....	45
4.1 Umum.....	45
4.2 Pengujian Material	45
4.2.1 Hasil Analisa Saringan Pembagian Pada Setiap Butir Agregat ..	45
4.2.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	48
4.2.3 Data Pengujian Aspal.....	51
4.3 Penentuan Gradasi Campuran dan Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO)	52
4.3.1 Penentuan Gradasi Agregat.....	52
4.3.2 Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	54
4.4 Perhitungan Campuran dan Penentuan Kadar Aspal optimum(KAO) <i>Asphalt concrete-Binder Course(AC-BC)</i>	57
4.4.1 Hasil Pengujian GMM (Berat Jenis Campuran Maksimum).....	61
4.5 Analisa <i>Marshall</i> Pada Kadar Aspal Optimum.....	64
4.5.1 <i>Job Mix</i> Formula Pada Kadar Aspal Optimum Penambahan <i>STYROFOAM</i>	64
4.5.2 Hasil Analisa <i>Marshall</i> Pada Kadar Aspal Optimum	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku	10
Tabel 2. 2 Persyaratan aspal minyak.....	13
Tabel 2. 3 Ketentuan agregat kasar	16
Tabel 2. 4 Ketentuan agregat halus	17
Tabel 2. 5 Spesifikasi pemeriksaan agregat	17
Tabel 2. 6 Ketentuan <i>filler</i>	19
Tabel 2. 7 Komposisi semen Portland.....	20
Tabel 2. 8 Persyaratan campuran aspal beton	22
Tabel 2. 9 Rasio koreksi stabilitas pada laston	26
Tabel 3. 1 Kebutuhan Benda Uji <i>Marshall Test</i>	39
Tabel 4.1 Analisa saringan pembagian butiran agregat (<3/4)	46
Tabel 4.2 Analisa saringan pembagian butiran agregat (<3/8)	47
Tabel 4.3 Analisa saringan pembagian butiran abu batu (#200).....	48
Tabel 4.4 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat (<3/4).....	49
Tabel 4.5 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat (<3/8).....	50
Tabel 4.6 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat abu batu(#200) ...	51
Tabel 4.7 Karakteristik aspal penetrasi 60/70	52
Tabel 4.8 Persentase Agregat Campuran	53
Tabel 4.9 kebutuhan agregat masing-masing kadar aspal dalam gram.....	55
Tabel 4.10 Hasil pengujian <i>Marshall</i> pada campuran AC-BC.....	55
Tabel 4.11 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum limbah <i>styrofoam</i> 2%	57
Tabel 4.12 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum limbah <i>styrofoam</i> 4%	58
Tabel 4.13 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum limbah <i>styrofoam</i> 6%	59
Tabel 4.14 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum limbah <i>styrofoam</i> 8%	60
Tabel 4.15 Hasil Pengujian GMM limbah <i>styrofoam</i> 2%.....	62

Tabel 4.16 Hasil Pengujian GMM limbah <i>Styrofoam</i> 4%	62
Tabel 4.17 Hasil Pengujian GMM limbah <i>Styrofoam</i> 6%	63
Tabel 4.18 Hasil Pengujian GMM limbah <i>Styrofoam</i> 8%	63
Tabel 4.19 Komposisi material pada KAO 5,5 <i>Styrofoam</i> 2%	64
Tabel 4.20 Komposisi material pada KAO 5,5 <i>Styrofoam</i> 4%	64
Tabel 4.21 Komposisi material pada KAO 5,5 <i>Styrofoam</i> 6%	65
Tabel 4.22 Komposisi material pada KAO 5,5 <i>Styrofoam</i> 8%	65
Tabel 4.23 Hasil Pengujian VMA (<i>Void in Mineral Aggregate</i>)/Rongga Dalam Mineral Agregat	66
Tabel 4.24 Hasil Pengujian VFA (<i>Void Filled by Asphalt</i>)/Rongga terisi aspal.	68
Tabel 4.25 Hasil Pengujian VIM (<i>Void in Mix</i>)/Rongga dalam campuran.....	69
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Stabilitas	70
Tabel 4.27 Hasil Pengujian MQ (<i>Marshall Quotient</i>)	71
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Kelelehan Plastis (<i>Flow</i>).....	72
Tabel 4.29 Rekap hasil uji parameter <i>Marshall</i> pada campuran AC-BC	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur perkerasan lentur	8
Gambar 2. 2 Susunan lapis perkerasan kaku	9
Gambar 2. 3 Kandungan Aspal	11
Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel	29
Gambar 3. 2 Lokasi penelitian	30
Gambar 3. 3 Satu set alat uji saringan ASTM.....	31
Gambar 3. 4 Alat pengujian volumetric	31
Gambar 3. 5 Oven atau pemanas agregat.....	32
Gambar 3. 6 Timbangan digital	32
Gambar 3. 7 Termometer	33
Gambar 3. 8 Satu set cetakan (<i>mould</i>)	33
Gambar 3. 9 Alat penumbuk	34
Gambar 3. 10 Dongkrak hidrolik	34
Gambar 3. 11 <i>Water bath</i>	35
Gambar 3. 12 Satu set alat <i>Marshall</i>	36
Gambar 3. 13 Panci	36
Gambar 3. 14 Wajan, spatula, dan kompor gas.....	37
Gambar 3. 15 Sarung tangan	37
Gambar 3. 16 Agregat yang digunakan dalam penelitian	38
Gambar 3. 17 <i>Styrofoam</i>	38
Gambar 3. 18 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 4.1 Grafik Persentase Agregat Campuran	53
Gambar 4.2 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO).....	56
Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian VMA.....	67
Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian VFA	68
Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian VIM	69
Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian <i>STABILITY</i>	71
Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian <i>MARSHALL QUOTIENT</i>	72
Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian <i>FLOW</i>	73

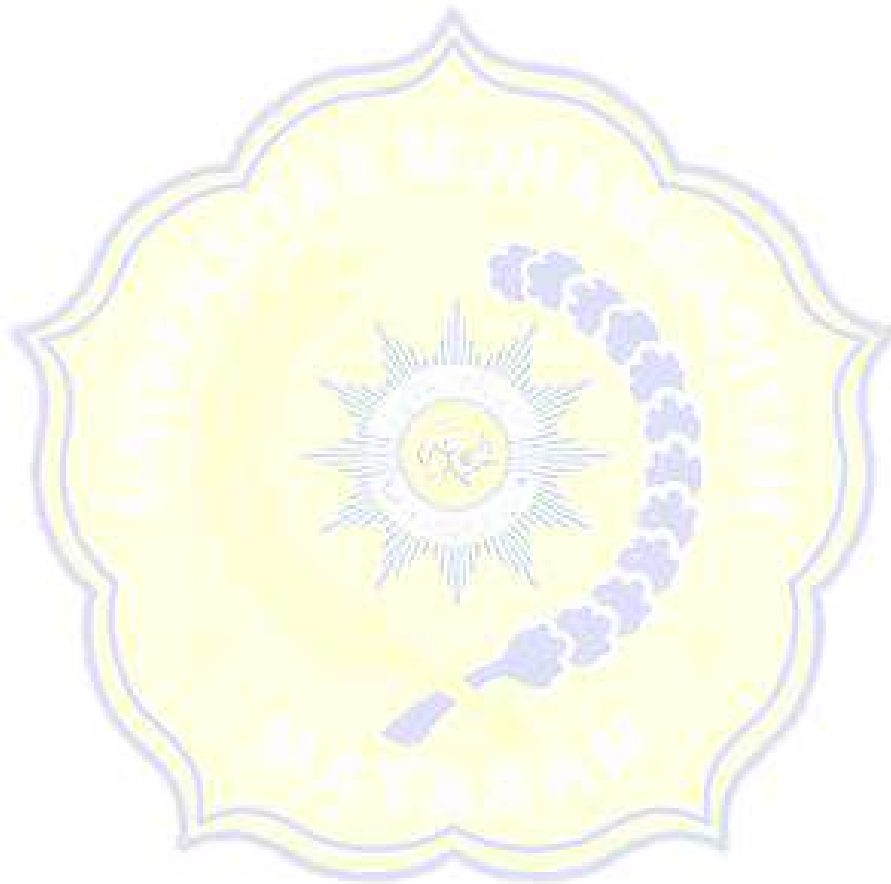
DAFTAR NOTASI



<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 (<i>filler</i>)
<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 <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
<i>Pb</i>	: Kadar aspal tengah, persen terhadap berat 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 <i>flow</i> (mm)
<i>U</i>	: Berat jenis <i>Bulk</i> gabungan
<i>V</i>	: Berat jenis efektif

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data-Data Hasil Pengujian	77
Lampiran 2 : Dokumentasi.....	88
Lampiran 3 : Lembar Asistensi.....	91



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan raya sangat penting bagi masyarakat Indonesia, khususnya yang berada di provinsi Nusa Tenggara Barat, untuk melakukan aktivitas sehari-hari seperti perjalanan ke tempat bekerja, sekolah dan bersantai. Lapisan aspal terdiri dari empat lapisan: lapisan dasar (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pengikat (*binder course*), dan lapisan aus/permukaan (*wearing course*). Permukaan jalan yang berkualitas mutlak diperlukan untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan pengendara serta memperlancar distribusi barang dan jasa yang menjadi motor penggerak pembangunan suatu negara. Hal ini karena seiring berkembangnya system transportasi, permukaan jalan menjadi lebih tua dan kapasitasnya meningkat.

Pembangunan jalan raya membutuhkan perancangan yang baik, terutama untuk perkerasan yang digunakan. Berdasarkan kementerian PUPR (2015) kualitas permukaan jalan sangat bergantung pada kondisi lingkungan setempat. Jika permukaan jalan direncanakan dan di rancang dengan baik. Oleh karena itu, komponen campuran aspal yang digunakan sangat penting untuk menjamin bahwa campuran aspal tersebut berkualitas dan dapat menghilangkan kerusakan pada jalan.

Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas lapisan perkerasan lunak adalah dengan menambah proporsi bahan tambahan seperti *styrofoam*, karena limbah *styrofoam* akan meleleh jika dipanaskan dan memiliki kekuatan rekat yang kuat. Meningkatnya jumlah limbah *styrofoam* membuka peluang pemanfaatannya dalam bidang pembangunan jalan untuk mengurangi jumlah limbah *styrofoam* tersebut. Seiring dengan meningkatnya standar kualitas konstruksi dan pemeliharaan jalan baru, ketersediaan material konstruksi jalan yang memenuhi persyaratan kualitas juga meningkat. Hal ini memicu ide untuk membuat solusi baru untuk masalah tersebut, salah satunya adalah mencari bahan aditif yang dapat meningkatkan kinerja campuran aspal. *Styrofoam* mempunyai sifat termoplastik dan berubah padat pada suhu kamar, namun meleleh jika

dipanaskan di atas 100°C dan menjadi keras kembali jika didinginkan (Rahmawati, 2016). Oleh karena itu, penambahan *styrofoam* pada aspal diharapkan dapat meningkatkan daya rekat antara agregat dan aspal. Hal ini meningkatkan kualitas campuran jalan yang memenuhi persyaratan dan mengurangi jumlah sampah *styrofoam* yang dikirim ke tempat pembuangan akhir (TPA).

Alasan penggunaan limbah *styrofoam* pada penelitian ini adalah karena limbah *styrofoam* terdapat dimana-mana, termasuk di Desa Setanggor, Kecamatan Sukamulia, Kabupaten Lombok Timur, dan belum dimanfaatkan serta masih banyak masyarakat yang belum mengetahui pemanfaatannya, oleh karena itu dengan penelitian ini, kita dapat menentukan proporsi optimal penambahan *styrofoam* pada aspal AC-BC untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan jalan raya sekaligus berkontribusi terhadap perlindungan lingkungan dengan mendaur ulang bahan plastik.

Lapisan aspal beton (*laston*) yang baik digunakan untuk campuran *styrofoam* adalah lapisan AC-BC (*Asphalt Concrete -Binder Course*) yaitu lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda dan kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan bawahnya. Jenis kerusakan yang sering terjadi pada laston adalah pelepasan butiran dan retak. Kerusakan jalan juga disebabkan oleh kekentalan aspal keras yang berlebihan. Ketika bercampur dengan agregat, akibat kurangnya pengendalian mutu di pabrik pencampur aspal/AMP (*asphalt mixing plant*) sehingga temperatur aspal tidak terkontrol. (Sari,2017)

Pengujian *marshall* aspal adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan kekuatan aspal. Pengujian *marshall* memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari campuran aspal.

Berdasarkan pemaparan di atas penelitian eksperimental dengan judul skripsi: "PENGARUH PENGGUNAAN *STYROFOAM* UNTUK BAHAN ADITIF PADA *ASPHALT* (AC-BC)" dilakukan untuk menentukan proses

pembuatan aspal beton AC-BC dengan campuran *styrofoam* dan mengetahui variasi persen penambahan *styrofoam* melalui uji parameter *Marshall*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas, adapun rumusan masalah yaitu:

1. Berapakah persentase komposisi optimum campuran *Styrofoam* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, pada campuran aspal panas AC-BC?
2. Berapa nilai kadar *asphalt* optimum dengan pemakaian limbah *styrofoam* sebagai campuran *asphalt* AC-BC?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui berapa persentase komposisi optimum campuran *styrofoam* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, pada campuran aspal panas AC-BC.
2. Untuk mengetahui kadar optimum penambahan *styrofoam* dengan uji parameter *marshall* pada aspal AC-BC.

1.4. Batasan Masalah

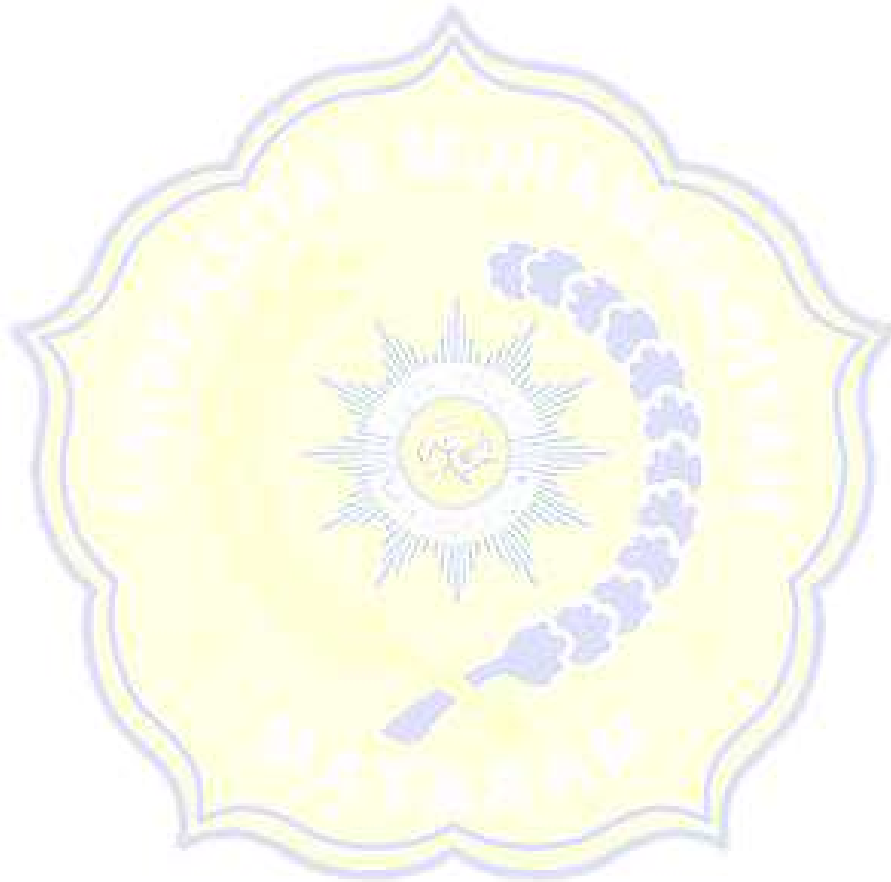
Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. *Polystyrene* yang digunakan adalah *styrofoam* sebagai bahan penambah pada penelitian ini.
2. *Styrofoam* yang digunakan dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, pada penelitian ini.
3. Aspal yang digunakan yaitu aspal 60/70 yang berfungsi sebagai bahan pengikat.
4. Semen yang dipakai adalah semen portland yang berfungsi sebagai *filler*.
5. Tidak melakukan pengujian di lapangan dan penelitian yang dilakukan pada pengujian di laboratorium.
6. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan - bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan *styrofoam*.

7. Tipe campuran yang digunakan adalah lapisan Aspal beton AC-BC (*Asphalt Concrete -Binder Course*) dengan menggunakan spesifikasi umum Bina marga 2018.

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, penggunaan *styrofoam* sebagai bahan penambah diharapkan bisa menjadi bahan alternatif pada bahan campuran perkerasan jalan raya.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Putri, dkk (2020). Penelitian mengenai campuran beton aspal AC-BC dengan penambahan limbah polistiren/*styrofoam* diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal beton. Teknik pencampuran kering digunakan dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja campuran aspal AC berbasis BC dengan menggunakan bahan baku tambahan limbah *styrofoam/polystyrene*. Data dikumpulkan dengan menggunakan uji laboratorium berdasarkan spesifikasi umum konstruksi jalan raya dan metode penelitian yang disebut metode *Marshall*. Dalam penelitian ini, kandungan limbah polistiren/*styrofoam* yang dimasukkan sebesar 0 hingga 2,5% dari berat agregat, dan kandungan aspal bervariasi antara 5,5 hingga 7,5% dari berat agregat. Berdasarkan hasil penelitian ini, penambahan polystyrene/*styrofoam* yang *diperluas* meningkatkan kualitas campuran AC aspal.

Ari. (2017) dengan judul penelitian “Pengaruh Penggunaan *Styrofoam* sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%, 7%, 8%, 9% dan 10% pada Campuran AC-BC”. Pada penelitian ini digunakan expanded *Styrofoam* sebagai alternatif pengganti campuran AC-BC dengan mencampurkannya dengan aspal pada suhu $\pm 180^{\circ}\text{C}$. Kadar aspal yang diuji adalah 7%, 8%, dan 9%, dan 10% dari KAO 5,5 dari 10 dengan menggunakan metode uji *Marshall*. Pada penelitian ini seluruh nilai kestabilan ditemukan berada dalam spesifikasi, dengan nilai tinggi sebesar 8% atau 1392,13 kg. Nilai terbaik dicapai Ketika aspal digantikan oleh polistiren dengan laju 7%.

Suhardi. dkk (2016) Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *marshall* dengan menambahkan variasi pada campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) bergradasi halus dengan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010. Dengan batasan masalah tipe campuran yang digunakan adalah *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan gradasi halus menggunakan spesifikasi umum Bina Marga 2010. Jumlah penambahan

Styrofoam yang digunakan pada tahap atas dan Tengah sebesar 0%, 1,5%, 2,5%, 3,5%, 4,5%, 5,5%, dan 6,5% serta toleransi $\pm 0,5\%$. Dari hasil analisis ditentukan nilai parameter Marshall. Nilai parameter Marsall golongan I dan II memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan Bina Marga 2010 pada kisaran kadar aspal 6,38% sampai dengan 6,5%. Nilai KAO yang sitentukan sebesar 6,44%. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan variasi (*Styrofoam*) pada campuran AC-BC (bahan pengikat aspal beton) mempengaruhi sifat *marshall*. semakin tinggi jumlah yang ditambahkan (*Styrofoam*) maka semakin tinggi jumlah yang ditambahkan (*Styrofoam*) maka semakin tinggi nilai stabilitasnya, dan semakin tinggi nilai porositas dalam campuran maka persentasenya pun semakin tinggi.

Sari. (2017) Penambahan limbah *styrofoam* Penggabungan limbah polistiren ke dalam campuran aspal bertujuan untuk mengurangi limbah dan meningkatkan keawetan aspal sehingga menghasilkan umur yang lebih panjang dibandingkan aspal tanpa bubuk limbah styrofoam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak penambahan serbuk limbah styrofoam ke dalam campuran lapisan aspal beton AC-BC, dengan fokus khusus pada perannya sebagai lapisan perantara pada perkerasan yang terhubung dengan aktivitas lalu lintas. Pengujian dilakukan di laboratorium Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat. Investigasi melibatkan penggunaan persentase limbah styrofoam yang berbeda: 1%, 3%, 5%, dan 7%. Hasil uji Marshall menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada penambahan serbuk sampah plastik sebesar 1%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada penambahan serbuk sampah plastik sebesar 3%. Ketika jumlah bubuk limbah styrofoam meningkat, nilai leleh, yang disebut juga aliran, meningkat. Marshall Quotient mencapai puncaknya pada penambahan 1%, berukuran 512 kg/mm³, dan turun ke titik terendah pada penambahan 5%, berukuran 366 kg/mm³. Nilai VMA semakin berkurang setiap kali dimasukkannya serbuk sampah plastik. Nilai VIM puncak terjadi pada penambahan 1% sebesar 7,24%, sedangkan nilai terendah terjadi pada penambahan 7% sebesar 5,61%. Nilai VFA tertinggi terjadi pada penambahan

7% sebesar 70,18%, sedangkan nilai terendah terjadi pada penambahan 1% sebesar 65,05%.

2.2. Konstruksi Jalan Raya

Secara keseluruhan, perkembangan konstruksi perkerasan jalan di Indonesia mulai berkembang pesat sejak tahun 1970, ketika pembangunan perkerasan jalan sesuai dengan fungsinya dimulai (Hadihardaja, 1997). Menurut Undang-Undang Jalan Raya No. 13/1980, jalan didefinisikan sebagai segala bentuk yang berkaitan dengan bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya, yang diperuntukan untuk lalu lintas pada suatu prasarana perhubungan darat.

Lapisan perkerasan jalan terdiri dari lapis permukaan paling atas yaitu lapis aus (*Wearing Course*) serta lapis antara (*Binder Course*). Lapisan pondasi atas disebut juga Base Course, terletak di antara Subbase Course yang terletak di antara lapisan pondasi dan tanah dasar (Suprpto, 2004). Lapisan pondasi atas terletak diantara lapisan atas dan lapisan pondasi bawah. Untuk menunjang perannya masing-masing sebagai lapisan perkerasan dalam konstruksi jalan, maka setiap lapisan perkerasan mempunyai standar tersendiri. Perkerasan jalan raya dibangun berlapis-lapis untuk memastikan bahwa ia memiliki daya dukung dan umur panjang yang cukup. Perkerasan di jalan raya terdiri dari berbagai bagian yang berbeda :

1. Perkerasan Lentur (*Flexibel Pavement*)

Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) merupakan Perkerasan jenis ini dibangun dengan material granular sebagai lapisan bawahnya dan campuran aspal sebagai lapisan atasnya. Konfigurasi perkerasan lentur pada jalan raya yang sedang dibangun adalah sebagai berikut:

a. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan ini berfungsi sebagai permukaan datar bagi kendaraan yang melintas. Merupakan komponen perkerasan yang mampu menahan gaya vertikal dan horizontal, serta getaran akibat beban roda. Hasilnya, dapat menopang beban roda dan tetap sangat stabil selama masa pakainya. penutup tahan cuaca, tahan

aus, dan kedap air yang melindungi lapisan di bawahnya dari elemen jalur pengikat.

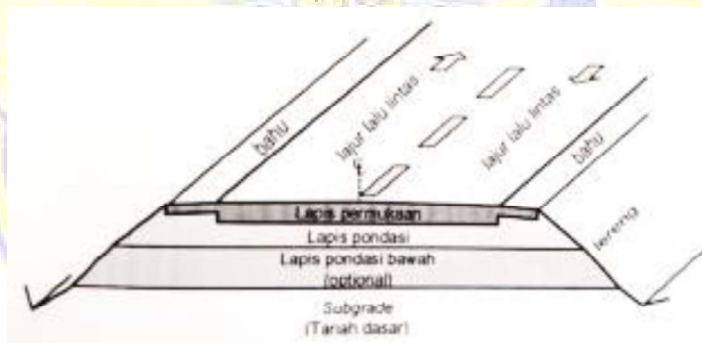
b. Lapisan pondasi atas (*sub base*)

Sebagai lapisan permukaan yang mampu menahan tegangan geser beban roda, sehingga dapat didistribusikan ke lapisan di bawahnya, dan sebagai bantalan lapisan permukaan tersebut, sehingga dapat memperkuat konstruksi perkerasan.

c. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Berfungsi sebagai lapisan resapan untuk mencegah Dengan terbentuknya gumpalan air tanah di pondasi, partikel-partikel kecil dari tanah dasar dicegah untuk naik ke lapisan atas pondasi. Hal ini memungkinkan pondasi menjadi lapisan pertama dalam pekerjaan, yang memungkinkannya berfungsi tanpa hambatan.

Ada beberapa lapisan yang membentuk perkerasan lentur, dan seiring turunnya daya dukung setiap lapisan semakin berkurang. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. struktur perkerasan lentur berikut:



Gambar 2. 1 Struktur perkerasan lentur

(Sumber : sukirman,2010)

Struktur perkerasan pada elemen perkerasan lentur terdiri dari berbagai lapisan, serta jenis lapis perkerasan dan lokasinya dijelaskan pada Gambar 2.1. yaitu :

- a. Tanah dasar (*subgrade*)
- b. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
- c. Lapisan pondasi atas (*base course*)

d. Lapisan permukaan (*surface course*)

2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

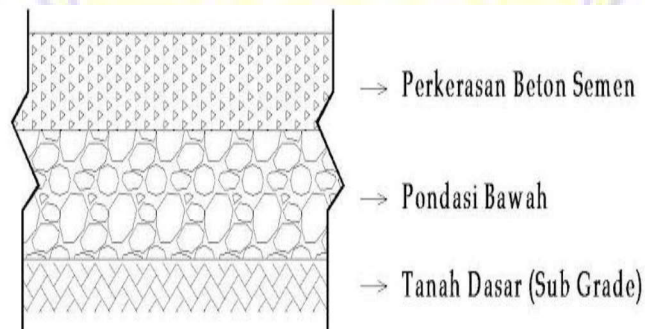
Rigid pavement atau perkerasan kaku merupakan sejenis perkerasan jalan yang sebagian besar terdiri dari beton sebagai bahan yang digunakan untuk perkerasan tersebut. Perkerasan keras merupakan salah satu bentuk permukaan jalan yang sering digunakan, selain perkerasan lunak yang tersusun dari aspal. Seringkali, permukaan ini digunakan pada jalan raya yang mempunyai distribusi beban tinggi dan volume lalu lintas yang signifikan, seperti jalan raya, jalan layang, jalan tol, dan persimpangan yang diberi sinyal. Media pengerasan jalan untuk jalan raya ini biasanya terbuat dari beton; namun, ada beberapa pengecualian permukaannya biasanya dilapisi aspal untuk menambah kenyamanan (Sukirman, 1999). Adapun jenis perkerasan keras antara lain:

a. Perkerasan semen-beton

Perkerasan semen-beton adalah suatu struktur yang terdiri atas lempeng – lempengan beton-semen yang menerus (terputus-putus), dengan atau tanpa tulangan, terletak pada tanah dasar atau tanah dasar, dengan atau tanpa lapisan permukaan beraspal.

b. Perkerasan komposit

Lapisan dasar perkerasan komposit tersusun dari pelat beton semen, sedangkan lapisan atas tersusun dari beton aspal. Perkerasan komposit merupakan jenis perkerasan kaku. Permukaan abrasif ini sering digunakan sebagai landasan pacu bandara (Sukirman, 2010).



Gambar 2. 2 Susunan lapis perkerasan kaku

(Sumber: Sukirman, 2010)

Tabel 2. 1 Perbedaan pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku

No	Perbedaan	Perkerasan lentur	Perkerasan kaku
1	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2	Repetisi beban	Timbul runting (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-rtak pada permukaan
3	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4	Perubahan temperature	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Adulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar

(Sumber : dianasari, 2016)

2.3. Aspal

Aspal atau bitumen adalah Zat yang dimaksud adalah kompleks hidrokarbon yang mengandung sejumlah kecil belerang, oksigen, dan klor. Ini adalah cairan kental. Aspal mempunyai sifat viskoelastik sehingga dapat berfungsi sebagai media pengikat pada perkerasan lentur. Meski berbentuk cairan yang sangat kental, namun aspal terlihat padat jika berada pada suhu normal. Aspal merupakan zat yang sangat rumit, dan sifat kimianya belum dapat ditentukan dengan baik.

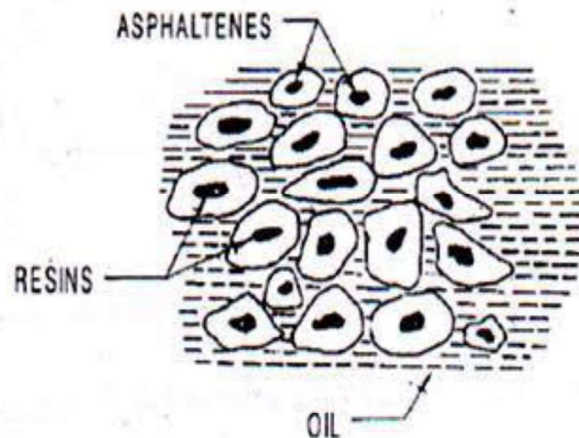
Bitumen merupakan komponen utama aspal, yaitu zat yang diklasifikasikan sebagai komponen semen dan dapat digambarkan berwarna hitam atau coklat tua. Aspal merupakan suatu zat yang mungkin berasal dari alam atau sebagai produk sampingan dari penyulingan minyak bumi. Aspal adalah bahan yang sebagian besar digunakan sebagai pengikat agregat; Oleh karena itu, aspal sering disebut dengan aspal. Tahun 2003 (Sukirman). Aspal merupakan suatu zat termoplastik yang berbentuk padat hingga agak padat bila diukur pada suhu ruangan. Oleh karena itu, aspal akan meleleh jika dipanaskan sampai derajat tertentu, namun akan membeku kembali jika suhunya turun di bawah titik tersebut. Aspal merupakan suatu bahan yang bila digabungkan dengan agregat sangat penting dalam pembentukan campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4–10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran.

2.3.1. Kandungan Aspal

Pada dasarnya aspal tersusun dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lainnya, tergantung pada jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Secara umum, unsur-unsur kimia yang terdapat pada aspal adalah:

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

Sukirman. (1999), Setiap sumber minyak bumi memiliki struktur molekul yang unik. Aspal terdiri dari aspalten dan metana, yang merupakan komponen fundamentalnya. Aspalten adalah bahan berwarna coklat tua atau hitam yang tidak larut dalam heptana. Heptana, cairan kental yang terdiri dari resin dan minyak, berfungsi sebagai pelarut untuk melarutkan malten. Aspal merupakan komponen yang mudah habis atau berkurang sepanjang umur jalan. Resin merupakan zat kental yang berwarna kuning atau coklat tua dan memiliki sifat perekat seperti aspal. Gambar 2.3 menampilkan kandungan aspal



Gambar 2. 3 Kandungan Aspal
(Sumber: Sukirman, 1999)

2.3.2. Jenis aspal

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal terdiri dari :

1. Aspal alam adalah aspal cadangan minyak bumi di dalam tanah dimurnikan melalui proses alami, sehingga menghasilkan pembentukan aspal alam. Aspal ini bisa saja terlihat melalui rekahan atau retakan pada permukaan tanah. Aspal yang terangkat ke permukaan dalam bentuk lembah mengakibatkan terbentuknya endapan aspal alami yang disebut aspal laut. Sedangkan aspal pegunungan ditandai dengan adanya aspal di permukaan tanah dan kemampuannya menembus batuan berpori. Aspal batu buton yang juga dikenal dengan sebutan aspal merupakan aspal alam yang banyak ditemukan di Indonesia. Aspal alami ini dihasilkan ketika minyak merembes melalui celah di kerak bumi dan terperangkap di dalamnya. Jika minyak menguap maka aspal akan menempel pada batuan yang berhubungan dengannya.
2. Aspal buatan, seperti aspal minyak, diproduksi melalui penyulingan minyak bumi, tar, dan batu bara. Aspal keras/semen (AC) adalah jenis aspal minyak bumi yang berbentuk padat pada suhu kamar ($25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$). Tersedia dalam beberapa bentuk berdasarkan sumber minyak bumi dan metode produksinya. Semen aspal dapat diklasifikasikan menurut nilai penetrasinya pada 25°C atau nilai viskositasnya.

Nilai penetrasi aspal semen di Indonesia biasanya digunakan untuk membedakannya, yaitu :

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan Penetrasi 40-50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan Penetrasi 60-79.
3. AC pen 80/100, yaitu AC dengan Penetrasi 80-100.
4. AC pen 200/300, yaitu AC dengan Penetrasi 200-300

Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen menggunakan penetrasi 60/70 dan 80/100. Adapun persyaratan aspal minyak 60/70 ada pada Tabel 2.2. sebagai berikut :

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 ° C	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 : Kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat, 2018)

2.3.3. Lapisan aspal beton

Lapisan aspal beton (*Laston*) merupakan Bagian lapisan permukaan jalan yang terdiri dari kombinasi aspal keras dan agregat/bahan/batu pecah dihamparkan dan dicampur selagi panas, kemudian dipadatkan sampai suhu yang telah ditentukan. Pada suhu yang telah ditentukan sebelumnya, lapisan yang tersusun dari kombinasi aspal keras (AC) dan agregat atau material bergradasi tersebut secara terus menerus dicampur, didistribusikan, dan dipadatkan. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan permukaan struktural dan lapisan pondasi, lapisan aspal beton di bagi menjadi 3 macam yaitu :

1. AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), adalah lapisan tiga jenis pelapis beton aspal: AC-WC, AC-BC, dan AC-Base. Ini mungkin terletak di permukaan dan bertindak sebagai lapisan permukaan. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang halus dan fleksibel karena berinteraksi langsung dengan roda mobil..
2. AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) adalah Lapisan perkerasan ditempatkan diantara lapisan atas (AC-WC) dan lapisan bawah (AC-Base). Lapisan AC-BC memfasilitasi konduksi atau transmisi beban yang diserap ke lapisan di bawahnya. Lapisan ini tidak terkena cuaca namun harus tebal dan kaku untuk meminimalkan tekanan dan ketegangan pada dasar jalan di

bawahnya yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Karakteristik utama dari kombinasi pelapis AC BC ini adalah stabilitasnya.

3. AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*) adalah Basis beton aspal tersusun atas lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan di atas lapisan pondasi. Lapisan ini membantu menahan beban kendaraan dari lapisan AC-BC, yang kemudian diteruskan ke lapisan substruktur.

2.3.4. Fungsi aspal sebagai bahan perkerasan jalan

Aspal berfungsi sebagai pengikat yang kuat bagi agregat dan aspal lainnya, serta sebagai pengisi rongga antar butir agregat untuk mengisi pori-pori dalam butir agregat.

2.3.5. AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Lapisan aus yang disebut AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) harus mempunyai ketebalan minimal 5 cm. Stratum AC-BC Hal ini memfasilitasi transmisi gaya yang diserap ke lapisan bawah. Lapisan tersebut harus cukup tebal dan kaku untuk meminimalkan tegangan dan regangan yang dialami dasar jalan di bawahnya akibat beban lalu lintas. Meski demikian, lapisan ini tidak berinteraksi langsung dengan cuaca. Karakteristik terpenting dari kombinasi pelapis AC-BC ini adalah stabilitasnya. Karena bahan aspal yang digunakan satu lapis, maka harus tahan panas (panas permukaan jalan bisa sampai 70°C). karena terletak pada posisi kedua setelah AC-WC agar tidak mudah melunak (*bledding*) dan *bulging* (berubah bentuk, jembul, bergelombang, terlihat secara visual pada marka jalan yang bengkok), tidak mudah timbul retak yang dapat menyebabkan bocor air, dan tidak mudah terjadi lepas butir (kehilangan daya lengket) (Bina Marga 2010)

2.4. Agregat

Agregat merupakan Bahan utama yang memikul beban dari roda mobil secara langsung dan memberikan kestabilan mekanis. Kualitas campuran dipengaruhi oleh cara butiran tersebut ditambahkan. Sudut butiran agregat dan cakupan area kubik memberikan gesekan internal dan kontak yang cukup antar butiran, sehingga meningkatkan stabilitas pencampuran. Butir agregat yang

panjang dan datar tidak memiliki gesekan internal yang efektif, sehingga menyebabkan terbatasnya stabilitas dalam campuran akhir. Disarankan menggunakan butiran agregat kasar karena permukaannya yang kasar, yang meningkatkan stabilitas dan daya tahan campuran. Agregat diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir menjadi dua kategori:

a. Agregat kasar

Agregat kasar merupakan material padat dengan ukuran butir yang lebih kasar daripada agregat halus, agregat ini tertahan di saringan 0 terdiri dari kerikil (batu pecah). Agregat kasar berfungsi sebagai bahan pengisi dan memberikan kekuatan dan stabilitas pada campuran. Agregat kasar ini memiliki ukuran > 2 mm menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transport Officials*).

Agregat kasar yang baik tidak mungkin mengandung garam. Karena ketahanan slipnya yang sangat baik, agregat kasar ini membantu membuat perkerasan lebih stabil, yang pada gilirannya membantu menjamin keselamatan lalu lintas. Bentuk agregat kasar yang bulat membuat proses kompresi menjadi lebih sederhana, namun kurang stabil. Sebaliknya, agregat sudut lebih sulit diproduksi tetapi masih dianggap agregat kasar. Ketentuan agregat kasar terdapat pada Tabel 2.3. sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan untuk agregat Tahap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium sulfat		Maks 18%
Abrasi Dengan mesin Los angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA (<i>stone mastic asphalt</i>)	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelektan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainya		95/90
Partiker pipih dan lonjong	Sma	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainya		Maks 10%
Material lolos ayakan no.200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

(Sumber : Bina Marga, 2018)

b. Agregat halus

Butir-butir lolos saringan No. 8 hingga No. 200, yang terdiri dari pasir. Besar kecilnya kelenturan suatu campuran ditentukan oleh faktor penyaringan, yaitu hasil penguraian batuan, terak, kerikil, atau kombinasi kedua bahan tersebut. Agregat halus terdiri dari butiran yang bebas dari kontaminan dan hal-hal lain yang tidak dapat diterima, serta memiliki permukaan kasar dan tepi tajam. Menurut AASHTO, butiran agregat halus mempunyai ukuran <2 mm dan $>0,0075$ mm. Ketentuan agregat halus terdapat pada Tabel 2.4. sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Metode pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	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 Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks10%

(Sumber : Bina Marga, 2018)

c. Abu Batu (*Rock Ash*)

Abu batu (*rock ash*) adalah produk akhir yang dihasilkan dari penggunaan mesin pemecah batu berkapasitas 200. Kriteria standar harus dipenuhi oleh agregat yang digunakan. Ada standar tertentu yang harus dipenuhi baik untuk agregat kasar maupun agregat halus. "Pedoman Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton untuk Jalan Raya (AASHTO T96-7)" seperti yang terdapat pada Tabel 2.5. sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Spesifikasi pemeriksaan agregat

No	Jenis pemeriksaan	Syarat
1	Keausan (%)	Max. 40%
2	Penyerapan (%)	Max. 3%
3	Berat jenis <i>Bulk</i>	Min. 2,5 gr/cc
4	Berat jenis SSD	Min. 2,5 gr/cc

(Sumber : AASHTO, 2012)

2.5. Gradasi Agregat

Gradasi adalah Susunan partikel agregat menurut ukurannya. Ukuran partikel agregat dapat ditentukan melalui analisis pengayakan dalam penelitian.

Sukirman (2003) mendefinisikan penilaian agregat sebagai metode yang digunakan untuk memastikan dimensi rongga atau pori-pori dalam agregat yang tercampur.

Agregat kecil yang mampu mengisi lubang yang dibuat oleh agregat campuran dengan ukuran yang sama, agregat ini berongga atau sangat berpori. Sebaliknya jika campuran agregat tersebar merata dari agregat besar ke agregat kecil maka rongga pori akan semakin sedikit. Hal ini disebabkan rongga-rongga yang terbentuk akibat penempatan agregat besar diisi oleh agregat kecil.

Analisis saringan membantu menentukan konsistensi agregat. Gradasi dapat dihitung sebagai persentase berat setiap sampel yang melewati saringan tertentu. Persentase ini dapat dihitung dengan mengukur berat agregat yang tersisa pada setiap saringan atau dengan melewatkannya melalui setiap saringan (Sukirman, 2003). Ada beberapa kategori yang dapat digunakan untuk klasifikasi agregat itu itu adalah:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Sebelum agregat digunakan, campuran perkerasan dibersihkan dari karena benda asing tersebut dapat mengurangi daya rekat aspal pada batu yang pada akhirnya menyebabkan permukaan jalan menjadi terganggu, maka benda asing yang berbahaya seperti tumbuhan, partikel kecil, dan bongkahan lumpur merupakan contoh benda asing tersebut.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan harus tahan terhadap pemadatan, pengulangan beban lalu lintas, degradasi selama proses pencampuran, dan penghancuran.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Bentuk permukaan agregat memengaruhi beberapa stabil lapisan jalan yang dibentuknya. Agregat berbentuk kubus dengan partikel bersudut tajam menciptakan senyawa yang lebih kuat, yang menjadikannya pilihan yang ideal untuk konstruksi perkerasan.

4. Tekstur permukaan jalan

Permukaan batuan yang kasar dan terlihat memiliki gaya gesekan yang lebih kuat sehingga memungkinkannya menahan gaya pemisahan yang bekerja di atasnya. Batu halus rawan dilapisi aspal, meski tidak mampu menahan sifat perekat aspal. Umumnya, peningkatan kekasaran tekstur permukaan meningkatkan daya tahan dan stabilitas kombinasi.

5. Daya rekat aspal

Adhesi aspal dipengaruhi oleh metode penambahan aspal ke dalam air. Granit dan silika merupakan agregat hidrofilik yang cenderung menyerap air sehingga tidak cocok untuk campuran aspal karena terjadi stripping, yaitu terpisahnya lapisan aspal dari agregat akibat air..

2.6. Filler

Bahan Pengisi (*Filler*) adalah bahan atau fraksi dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (2,36 mm) minimum 75 % terhadap berat total agregat, biasanya digunakan abu batu, abu kapur, semen dan bahan lain (Simanjuntak, 2013).

Peraturan untuk bahan pengisi dalam campuran aspal menurut Bina Marga 2010 adalah :

1. Bahan pengisi terdiri dari debu batugamping, kapur terhidrasi, semen atau *fly ash* bersumber dari persetujuan direksi pekerjaan.
2. Bahan pengisi harus kering dan tidak menggumpal dan bila diuji menggunakan saringan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos saringan 200 (75 mikron) Paling sedikit 75% menurut beratnya.
3. Semua campuran aspal harus mengandung 1% hingga 2% bahan pengisi dari total berat agregat.

Tabel 2. 6 Ketentuan filler

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan No.200	SNI 03-6723-2002	Min. 75%

(Sumber : Bina Marga, 2018)

2.7. Sement Portland

Semen portland adalah pengikat *hidrolik* yang diproduksi dengan menghancurkan klinker, dan Sebagian besar terdiri dari kalsium silikat hidrolik dan *gypsum* sebagai bahan pembantu. Bahan dasar pembuatan semen terdiri dari bahan-bahan antara lain kapur, silika, dan besi oksida. Komposisi elemen semen Portland. Selama proses peleburan, oksida berinteraksi dan membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks. (Aprizal, 2015).

Menurut SNI 15-2049-2004, Semen portland adalah semen hidrolis yang dibuat dengan cara menghancurkan terak semen portland, yang terutama tersusun dari kalsium silikat hidrolik dan ditambahkan berupa satu atau lebih senyawa kristal kalsium sulfat.

Komposisi dari senyawa kimia semen portland adalah sebagai berikut dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Komposisi semen portland

No	Oksidasi	Lambang	Kode	Presentase
1	Calcium Oxide	CaO	C	60-65
2	Magnesium Oxide	MgO	M	0-5
3	Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	A	4-8
4	Aluminium Oxide	Fe ₂ O ₃	F	2-5
5	Silicon Oxide	SiO ₂	S	20-24
6	Silicon Oxide	Si ₃	S	1-5

(Sumber: Bina Marga, 2018)

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton juga bisa dipengaruhi oleh jenis semen portland. Untuk itu, ada juga harus tahu jenis semen portland yang terstandarisasi di Indonesia. Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland dibedakan menjadi lima jenis.

1. Tipe I - *Ordinary Portland cement*

Semen yang tidak memerlukan Persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat, kekuatan awal) yakni semen yang biasa dipakai.

2. Tipe II – *Moderate Sulphate Cement*

Semen beton yang mempunyai hidrasi sedang dengan ketahanan sedang.

3. Tipe III – *High Early Strength Cement*

Semen dengan kecepatan mengeras yang tinggi atau biasa disebut semen dengan kekuatan awal tinggi.

4. Tipe IV – *Low Heat Of Hydration Cement*

Semen dengan kecepatan mengeras rendah atau biasa disebut semen dengan kekuatan awal rendah.

5. Tipe V – *Hight Sulphate Resistance Cement*

Semen dengan ketahanan tinggi terhadap kadar sulfat

2.8. *Polystyrene (styrofoam)*

Styrofoam merupakan plastik yang bahan yang banyak digunakan untuk berbagai kegunaan, termasuk yang digunakan untuk pengemasan makanan dan peralatan teknologi, serta bahan untuk dekorasi dan konstruksi. Apabila pemanfaatan styrofoam tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah styrofoam, maka dampaknya adalah kerusakan lingkungan.

2.9. Sifat Campuran Aspal

Campuran beton harus mempunyai beberapa sifat diantaranya:

1. Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan dalam menahan beban-beban akibat perubahan lalu lintas yang bersifat tidak permanen seperti alur, gelombang, dan bleed. Tentu saja hal ini menjadi kebutuhan social seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan di lalu lintas (Sepriskha Diansari, 2016).

Persamaan (2-1) nilai stabilitas yaitu:

$$S = p \times q \tag{2-1}$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas

P : Arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Koreksi benda uji

2. Lapisan permukaan harus mempunyai daya tahan agar mampu menahan keausan akibat pengaruh kondisi seperti cuaca, air, dan variasi suhu, serta keausan akibat gesekan roda. kendaraan.

3. Kemampuan lapisan perkerasan untuk menyesuaikan diri terhadap deformasi yang diakibatkan oleh beban lalu lintas yang berulang tanpa putus atau mengalami perubahan volume disebut fleksibilitas.
4. Ketahanan lelah adalah kemampuan lapisan beton aspal dalam menahan beban yang berulang-ulang tanpa mengalami kelelahan berupa alur dan retak.
5. Hambatan yang ditimbulkan oleh perkerasan untuk mencegah mobil tergelincir ke belakang pada saat hujan (basah) atau pada saat kering disebut dengan ketahanan selip oleh perkerasan. Kekasaran suatu kendaraan dapat diukur dengan koefisien gesekan yang ada antara permukaan jalan dengan roda kendaraan.
6. Kemampuan kerja, juga dikenal sebagai kemudahan pelaksanaan, mengacu pada kemudahan campuran didistribusikan dan dipadatkan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kepadatan yang diharapkan.

Tabel 2. 8 Persyaratan campuran aspal beton

Sifat sifat campuran		Laston		
		<i>wc</i>	<i>bc</i>	<i>base</i>
Jumlah tumbukan bidang		75		112
Rongga campuranN (%)	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 quotient (kg/mm)		250		300
Stabilitas <i>marshall</i> sisa (%) Setelah perendaman selama 24 jam	Min	80		
Rongga dalam campuran (%) Padakepadatanmembal (<i>refusal</i>)	Min	2,5		

(Sumber : Bina Marga, 2018)

2.10. Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal optimum diperkirakan dengan menentukan kadar aspal rencana terlebih dahulu secara empiris dengan persamaan 2-1

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \quad (2-2)$$

Keterangan:

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

CA = Agregat tertahan saringan No.8 (agregat lolos saringan $\frac{1}{4}$ - agregat lolos saringan No.8

FA = Agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200 (agregat 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

Dibulatkan hingga mendekati angka 0,5% untuk nilai rata-rata kadar aspal (Pb) yang telah ditentukan. Ketiga tingkat aspal yang dimaksud digunakan dalam penyelidikan ini. Hasilnya, satu kandungan aspal ditemukan lebih tinggi dari kandungan timbal, sedangkan kandungan aspal lainnya ditentukan lebih rendah dari kandungan timbal. Masing-masing kadar aspal tersebut bervariasi sebesar 0,5%.

2.11. Pengujian volumetrik Campuran

Uji volumetrik adalah pemeriksaan yang dilakukan untuk memastikan kepadatan, berat jenis campuran, dan porositas setiap instrumen yang sedang dievaluasi. Sejumlah pengukuran dilakukan selama pengujian, termasuk tinggi, diameter, berat *Solid-State Drive* (SSD), berat di udara, berat dalam air, dan berat jenis agregat, tanggul, dan aspal dari sampel. Penting untuk melakukan uji volumetrik pada setiap sampel sebelum melanjutkan ke uji *Marshall*. Rumus untuk menganalisis data yang diperoleh dalam penelitian laboratorium sebagai berikut :

Berat jenis

1. Berat jenis agregat kasar dengan persamaan 2-3, persamaan 2-4, persamaan 2-5, dan persamaan 2-6 sebagai berikut :

$$Bulk = \frac{A}{(B-C)} \quad (2-3)$$

$$SSD = \frac{B}{(B-C)} \quad (2-4)$$

$$APPT = \frac{A}{(A-C)} \quad (2-5)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B-A)}{BA} \times 100\% \quad (2-6)$$

Keterangan:

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*)

2. Berat jenis agregat halus & *filler* dengan persamaan 2-7, persamaan 2-8, persamaan 2-9, dan persamaan 3.0 sebagai berikut :

$$Bulk = \frac{BK}{(B+500-Bt)} \quad (2-7)$$

$$SSD = \frac{500}{(BC-500-BD)} \quad (2-8)$$

$$APPT = \frac{BK}{(B+BK-Bt)} \quad (2-9)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{500-BK}{(B+BK-Bt)} \quad (2-10)$$

Keterangan :

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*)

3. Berat jenis *Bulk* gabungan (*U*) dengan persamaan 2-11 sebagai berikut:

$$U = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{b}{B_j b Bulk}\right) + \left(\frac{c}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{d}{B_j a Bulk}\right)} \quad (2-11)$$

4. Berat jenis Apparent gabungan (*App*) dengan persamaan 2-12 sebagai berikut:

$$APP = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a App}\right) + \left(\frac{b}{B_j b App}\right) + \left(\frac{c}{B_j c App}\right) + \left(\frac{d}{B_j d App}\right)} \quad (2-12)$$

5. 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*.

2.12. Pengujian *Marshall* (Karakteristik Sifat-Sifat *Marshall*)

Rancangan campuran dari metode *Marshall* ditemukan oleh *Bruce Marshall*, dan dibakukan oleh ASTM (*American Standard Testing and Material*) ataupun AASHTO dengan beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Teknik *Marshall* didasarkan pada premis dasar yaitu menganalisis densitas dan porositas campuran padat yang dibuat, serta memeriksa stabilitas dan peledakan (aliran) campuran. Alat pengepres ini dikenal dengan nama alat *Marshall* dan dilengkapi dengan flowmeter serta cincin pembuktian (*testing ring*) yang berkapasitas 22,2 kilonewton (5000 pon). Untuk menentukan nilai stabilitas, digunakan cincin pembuktian, dan pengukur aliran digunakan untuk menentukan leleh atau aliran plastik. Dari segi dimensi, benda uji *Marshall* berbentuk benda silinder dengan diameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm).

Prosedur pengujian *Marshall* mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Secara umum tes *Marshall* yaitu mempersiapkan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, memeriksa nilai *stabilitas* dan *flow*, dan menghitung sifat volumetric benda uji. Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mempersiapkan benda uji, antara lain :

1. Jumlah soal tes yang telah disiapkan untuk ujian.
2. Bersiaplah untuk memanfaatkan agregat yang akan digunakan.
3. Tentukan suhu dimana pencampuran dan pemadatan akan dilakukan.
4. Pada langkah keempat, campuran aspal beton disiapkan.
5. Pengepakan barang yang diuji dengan kuat.
6. Persiapan uji *Marshall*.

Karakteristik sifat-sifat *Marshall* sebagai berikut:

a. Kelelehan (*flow*)

Nilai *flow* = *r* didapat dari pembacaan arloji *flow* yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm

b. Stabilitas

Kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi (perubahan bentuk yang permanen) adalah apa yang kita maksud ketika kita berbicara tentang stabilitas. Contoh deformasi antara lain gelombang, bekas roda, dan naiknya aspal ke permukaan.

Nilai kestabilan suatu benda uji dapat ditentukan dengan membaca jam kestabilan dengan menggunakan mesin press Marshall. Setelah memperhitungkan nomor kalibrasi alat dan nomor koreksi ketebalan benda uji, nilai ini disesuaikan.

Nilai stabilitas (*stability*) dapat dihitung dengan persamaan 2-14 sebagai berikut:

$$S = p \times r \quad (2-14)$$

Keterangan:

P = Kalibrasi proving ring pada o

R = Nilai pembacaan arloji stabilitas

Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan aspal beton adalah 1,00 , sehingga untuk menentukan faktor koreksi lapisan aspal beton (*laston*) hanya digunakan angka koreksi dari kisaran 0,83–1,00. Angka koreksi dapat diperoleh dari ketebalan benda uji, yang dapat dilihat pada Tabel 2.9. sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Rasio koreksi stabilitas pada laston

Tebal Benda Uji (Mm)	Angka Koreksi
63,5	1,00
65,1	0,96
66,7	0,93
68,3	0,89
69,9	0,86
71,4	0,83
73,0	0,81
74,6	0,78
76,2	0,76

(Sumber: Bina Marga, 2018)

c. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Apabila nilai *Marshall Quotient* (MQ) semakin tinggi, maka sifat campurannya semakin kaku, begitu pula nilai *Marshall Quotient* (MQ) semakin rendah, maka sifat campuran yang dihasilkan akan lentur. Nilai *Marshall Quotient* dapat dihitung menggunakan persamaan 2-15 sebagai berikut :

$$MQ = \frac{s}{t} \quad (2-15)$$

Keterangan :

S = Nilai *stabilitas* terpasang (kg)

t = Nilai keelehan *flow* (mm)

MQ = Nilai *marshall Quotient* (Kg/mm)

d. Kepadatan (*density*)

Density adalah kepadatan campuran aspal setelah dipadatkan. Semakin besar nilai kepadatannya, maka kombinasi tersebut akan semakin padat. Nilai massa jenis dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis dan mutu bahan penyusunnya, gradasi campuran, jumlah pemadatan, suhu

pemadatan, dan jumlah kandungan aspal. Nilai kepadatan (*density*) dapat dihitung melalui persamaan 2-16 dan persamaan 2-17 sebagai berikut:

$$h = g - f \quad (2-16)$$

$$I = \frac{h}{e} \quad (2-17)$$

Keterangan :

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 merupakan hasil persentase rongga udara dalam campuran, nilai VIM dapat dihitung menggunakan persamaan 2-18 sebagai berikut :

$$VIM = 100 - i \times j \quad (2-18)$$

Keterangan : i = Bj benda uji

J = Bj campuran maksimal

f. *Void Filled Asphalt* (VFA)

VFA adalah persentase rongga yang terisi aspal efektif, nilai VFA dapat dihitung dengan persamaan 2-19 sebagai berikut :

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (2-19)$$

Keterangan : VFA = Rongga terisi aspal persen terhadap VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregata

VIM = Rongga di dalam campuran

g. *Void Mineral Agregat* (VMA)

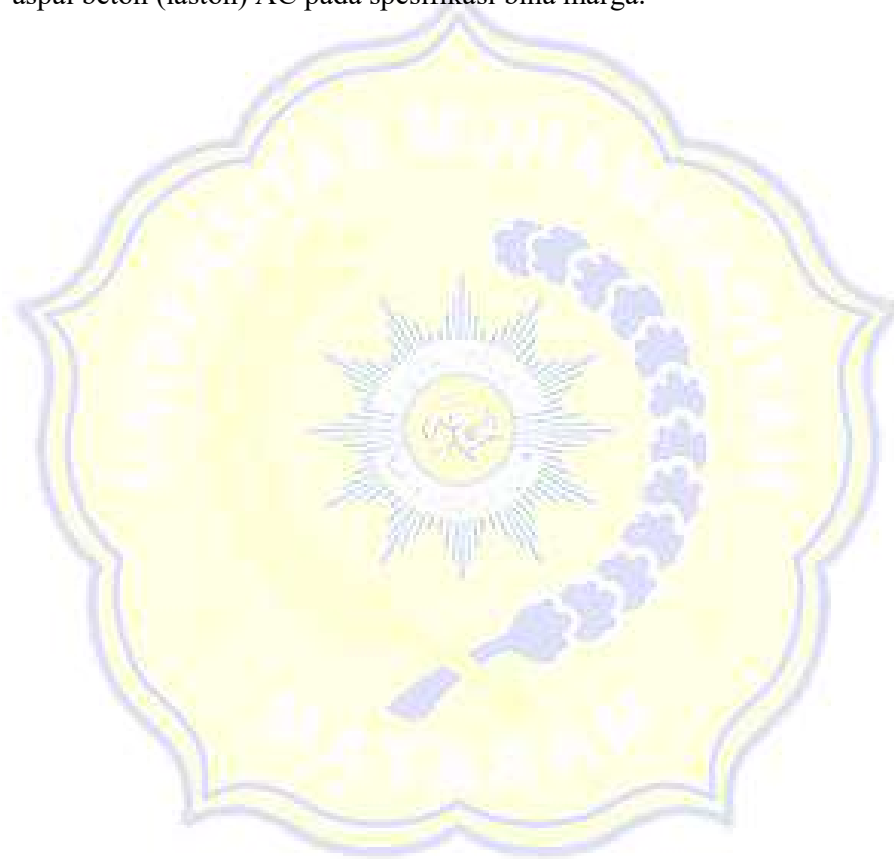
VMA merupakan dan kadar aspal efektif, yaitu proporsi volume rongga pada agregat yang diisi aspal, dinyatakan dalam persentase terhadap total volume. celah udara antar butiran agregat pada kombinasi agregat aspal padat, mengandung rongga udara dan kandungan aspal efektif.

VMA adalah persentase kandungan mineral dalam sampel yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2-20 sebagai berikut :

$$VMA = 100 - l \quad (2.20)$$

Keterangan : l = persentase volume agregat

Beberapa kriteria *uji Marshall* diatas dapat diperoleh kadar aspal optimum (KAO), apabila suatu campuran memenuhi standar Bina Marga maka kadar aspal optimum dapat ditentukan. Persyaratan campuran lapis aspal beton (laston) AC pada spesifikasi bina marga.

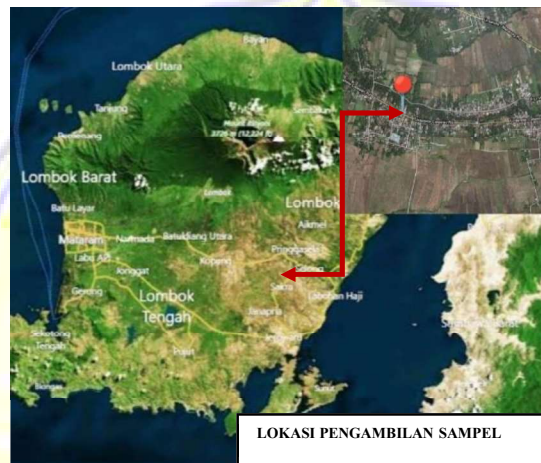


BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

3.1.1. Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel *styrofoam* sebagai bahan peneliti uji *Marshall*. Untuk lebih jelas lokasi pengambilan sampel penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel

(Sumber : google earth, 2023)

3.1.2. Lokasi dan Variasi Penelitian

Penelitian seperti pembuatan benda uji, pemeliharaan benda uji dan pengujian akan dilakukan di Laboratorium Konstruksi Jalan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Kajian yang diuji pada campuran aspal panas adalah uji *marshall* dengan memvariasikan bahan tambahan *Polystyrene* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% berupa polistiren diperluas yang dipisahkan antara gas dan minyak. Seluruh material yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada spesifikasi umum yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal jalan pada tahun 2018.



Gambar 3. 2 Lokasi penelitian

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024)

3.2. Teknik pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Data primer

Data primer dalam penelitian ini adalah data penelitian hasil uji yang meliputi volumetrik benda uji, hasil uji *Marshall*, mencari kadar aspal optimum dan hasil uji *Marshall* kadar aspal efektif.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari temuan penelitian terdahulu atau yang sedang berlangsung yang masih relevan dengan penyidikan. Laboratorium pengujian material AMP PT menyediakan data pemeriksaan agregat yang digunakan dalam penelitian ini. Data ini dianggap sebagai data sekunder. Data temuan pemeriksaan karakteristik aspal dari laboratorium pengujian bahan bangunan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat, serta informasi Jalan Sinarbali Binakarya Raya Mujur yang terletak di Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat..

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu:

1. Alat pemeriksaan agregat, yang terdiri dari:

- a. Satu set alat uji saringan (*sieve*) standar ASTM

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat saringan standar yang terdiri dari ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " #4, #8, #16, #30, #50, dan #200. Dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.3 Satu set alat uji saringan ASTM

(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024)

b. Satu set alat Pengujian Volumetrik

Untuk mengukur volume cairan dan atau memindahkannya dengan akurasi yang tergantung spesifikasi nya. Seperti pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Alat pengujian volumetric

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024)

c. Oven atau pemanas agregat.

Untuk mendapatkan informasi yang diperlukan adalah suatu alat

yang digunakan untuk mengeringkan barang uji pada suhu tertentu. Seperti pada Gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Oven atau pemanas agregat
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

2. Timbangan Digital

Merupakan alat yang digunakan untuk menimbang barang sampel, dengan timbangan yang digunakan dalam penyelidikan ini mempunyai ketelitian 0,1 gram. Seperti pada Gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Timbangan digital
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

3. Termometer

Alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur aspal.

Dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut:



Gambar 3. 7 Termometer

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

4. Alat pembuat briket campuran aspal hangat terdiri dari :
- a) Satu set cetakan (*mold*) berbentuk silinder dengan diameter 101,45 mm, tinggi 80 mm lengkap dengan plat atas dan leher sambung. Seperti pada Gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3. 8 Satu set cetakan (*mould*)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

b) Alat penumbuk (*compactor*)

Alat penumbuk (*compactor*) yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 lbs), tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18"). Seperti pada Gambar 3.9 sebagai berikut:



Gambar 3. 9 Alat penumbuk

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

c) Satu Set Alat Pengangkat Briket (Dongkrak *Hidroliis*)

yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji di dalam mold. Seperti pada Gambar 3.10 sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Dongkrak *hidraulis*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

5. Satu Set *Water Bath*

digunakan untuk merendam benda uji di dalam suhu 60° C selama 30 menit. Seperti pada Gambar 3.11 sebagai berikut:



Gambar 3. 11 *Water bath*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

6. Satu set alat *Marshall*, terdiri dari :

- a) Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*), dengan jari – jari bagian dalam 50,8 mm (2 in).
- b) Dongkrak pembebanan (*loading jack*) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal 50,8 mm/menit.
- c) Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 (0,001 in).
- d) Arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta pelengkapannya.
- e) Fungsi dari alat *marshall* untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.



Gambar 3. 12 Satu set alat *Marshall*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

7. Alat penunjang

- a. Panci, berfungsi sebagai wadah untuk campuran agregat campuran aspal. Seperti Gambar 3.13 sebagai berikut:



Gambar 3. 13 Panci

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

- b. Wajan, spatula dan kompor gas yang berfungsi untuk memanaskan aspal. Seperti pada Gambar 3.14 sebagai berikut:



Gambar 3. 14 Wajan, spatula, dan kompor gas

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

- c. Sarung tangan, berfungsi untuk melindungi tangan ketika memanaskan campuran aspal. Seperti pada Gambar 3.15 sebagai berikut:



Gambar 3. 15 Sarung tangan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

3.3.2. Bahan

1. Agregat

Agregat yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil pemeriksaan agregat di laboratorium bahan jalan dinas pekerjaan umum provinsi nusa tenggara barat.



Gambar 3.16. Agregat yang digunakan dalam penelitian

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

2. Aspal penetrasi 60 / 70 diperoleh dari PT. pertamina
3. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah *portland cement*.
4. *Polystyrene* jenis *styrofoam*



Gambar 3. 17 *Styrofoam*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

3.4. Benda Uji

Benda uji dibuat bervariasi berdasarkan kadar aspal optimum (KAO), nilai KAO menjadi patokan untuk membuat variasi benda uji. Dengan 5 variasi, yaitu: penambahan *styrofoam* 0%, penambahan *styrofoam* 2%, penambahan *styrofoam* 4%, penambahan *styrofoam* 6%, dan penambahan *styrofoam* 8%.

Benda uji *marshall* yang digunakan ialah menambahkan bahan aditif variasi limbah *styrofoam* 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8%;. Alat Marshall yaitu pemadat dan ekstruder digunakan dalam pengujian Marshall untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan. Teknik campuran aspal digunakan dalam uji Marshall. Pada setiap varian, terdapat tiga item uji yang digunakan, sehingga menghasilkan total lima belas objek uji yang dibuat dan dikompres menjadi dua ratus tujuh puluh lima tumbukan.

Ketika agregat dan aspal panas dicampurkan, dibuat benda uji dengan menambahkan *styrofoam*, yang kemudian ditimbang sesuai dengan kriteria variasi yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, lima belas butir tes digunakan dan dilakukan dengan *styrofoam* variasi 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8%.

Jumlah kebutuhan benda uji tersebut seperti disajikan pada Tabel 3.1. Sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Kebutuhan Benda Uji *Marshall* Test

No	Variasi Penambahan <i>Styrofoam</i>	Jumlah Benda Uji
1	0%	3
2	2%	3
3	4%	3
4	6%	3
5	8%	3
Jumlah benda uji		15

(Sumber: Data pribadi, 2023)

3.5. Prosedur Pelaksanaan

3.5.1. Tahap persiapan

Tahap ini merupakan semua instrumen dan bahan penting telah dipersiapkan sebelumnya. Tahap ini juga merupakan tahap penentuan arah penelitian. Penting untuk memastikan bahwa instrumen dan sumber daya

yang diperlukan tersedia, karena hal ini akan berdampak pada penelitian yang sedang dilakukan. Sebelum memulai, periksa apakah alat dan perlengkapan telah disiapkan dengan cara terbaik..

3.5.2. Pembuatan benda uji

Desain campuran awal dibuat sebelum item tes sebenarnya dibuat. Perencanaan mix design meliputi perencanaan gradasi agregat, penentuan aspal, dan pengukuran komposisi setiap proporsi agregat, aspal, dan filler. Gradasi yang digunakan sesuai standar nasional indonesia (SNI). dengan menggunakan gradasi rencana campuran spesifikasi umum bina marga 2018.

Prosedur pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap I
 - Keringkan agregat pada temperatur 105°C - 110°C selama empat jam di dalam oven. Keluarkan agregat dari oven dan diamkan hingga konsistensi beratnya tetap terjaga.
 - Melalui penggunaan penyaringan dan penimbangan, agregat harus dipisahkan menjadi fraksi-fraksi yang diperlukan.
2. Tahap II
 - Dengan memanfaatkan perubahan komposisi aspal, hitunglah berat aspal penetrasi 60/70, berat bahan pengisi, dan berat agregat yang akan dicampur. Persentasenya dihitung dengan memperhitungkan seluruh berat kombinasi, yaitu 1200 gram. Kadar aspal ditentukan dengan perhitungan komposisi agregat campuran.
 - Panaskan aspal pada temperatur 80°C - 100°C .
3. Tahap III
 - Mengikuti perhitungan penetrasi aspal 60/70 ke dalam wadah yang berisi agregat, selanjutnya agregat ditimbang menurut persentase kandungan aspal berdasarkan berat total agregat.
 - Setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram.
4. Tahap IV

-Segera setelah aspal dituangkan ke dalam agregat, campuran diaduk hingga benar-benar halus. Setelah itu didiamkan hingga mencapai suhu pemadatan antara 120 hingga 140 derajat Celcius.

-Langkah ini, bahan dituangkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan dengan cara mengisi bagian bawah dan atas cetakan dengan kertas yang telah dipalu pada alat lain.

5. Tahap V

Melalui penggunaan pemadat, campuran dikompresi tujuh puluh lima kali pada setiap sisinya. Benda uji kemudian dibiarkan turun ke suhu sekitar ± 2 jam untuk jangka waktu tertentu, barulah dikeluarkan dari mould dengan bantuan dongkrak hidrolik.

6. Tahap VI

Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan, dilakukan operasi sebagai berikut:

- Mengukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm (0,004 inci)
- Mengukur berat (berat di udara) benda uji.
- merendam benda uji selama 24 jam pada suhu ruang.
- Setelah perendaman selama 24 jam, timbangan benda uji di dalam air untuk mengetahui isi benda uji.
- Menimbang benda uji dalam keadaan permukaan kering (berat jenuh)

7. Tahap VII

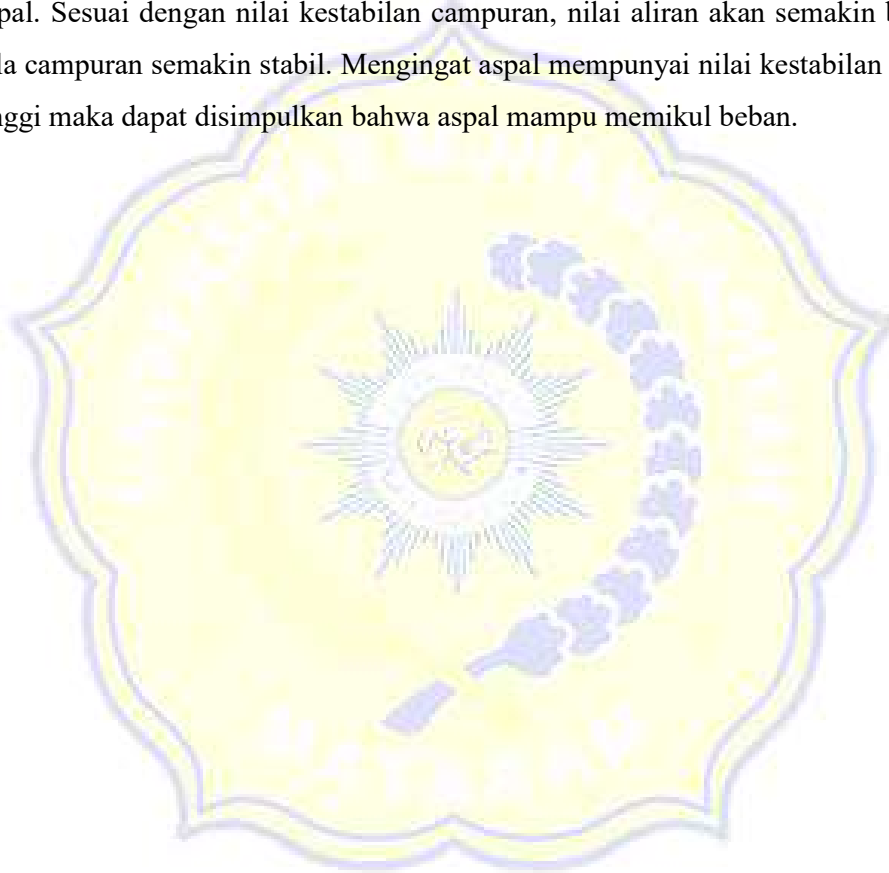
- Rendam benda uji dalam penangas air (*water bath*) bersuhu 60°C selama 30 hingga 40 menit.
- Setelah 30-40 menit, keluarkan benda uji dari *water bath*
- Pasang arloji pengukur (*flow meter*) satu posisi di atas batang pemandu.
- Tempatkan sampel uji di bagian bawah mesin uji marshall.
- Setel jarum jam ke nol.
- Muat benda uji dengan kecepatan konstan kira-kira 2 inci per menit hingga beban maksimum tercapai, beban berkurang seperti yang

ditunjukkan oleh jarum jam tekanan, dan beban maksimum (*stabilitas*) dicapai.

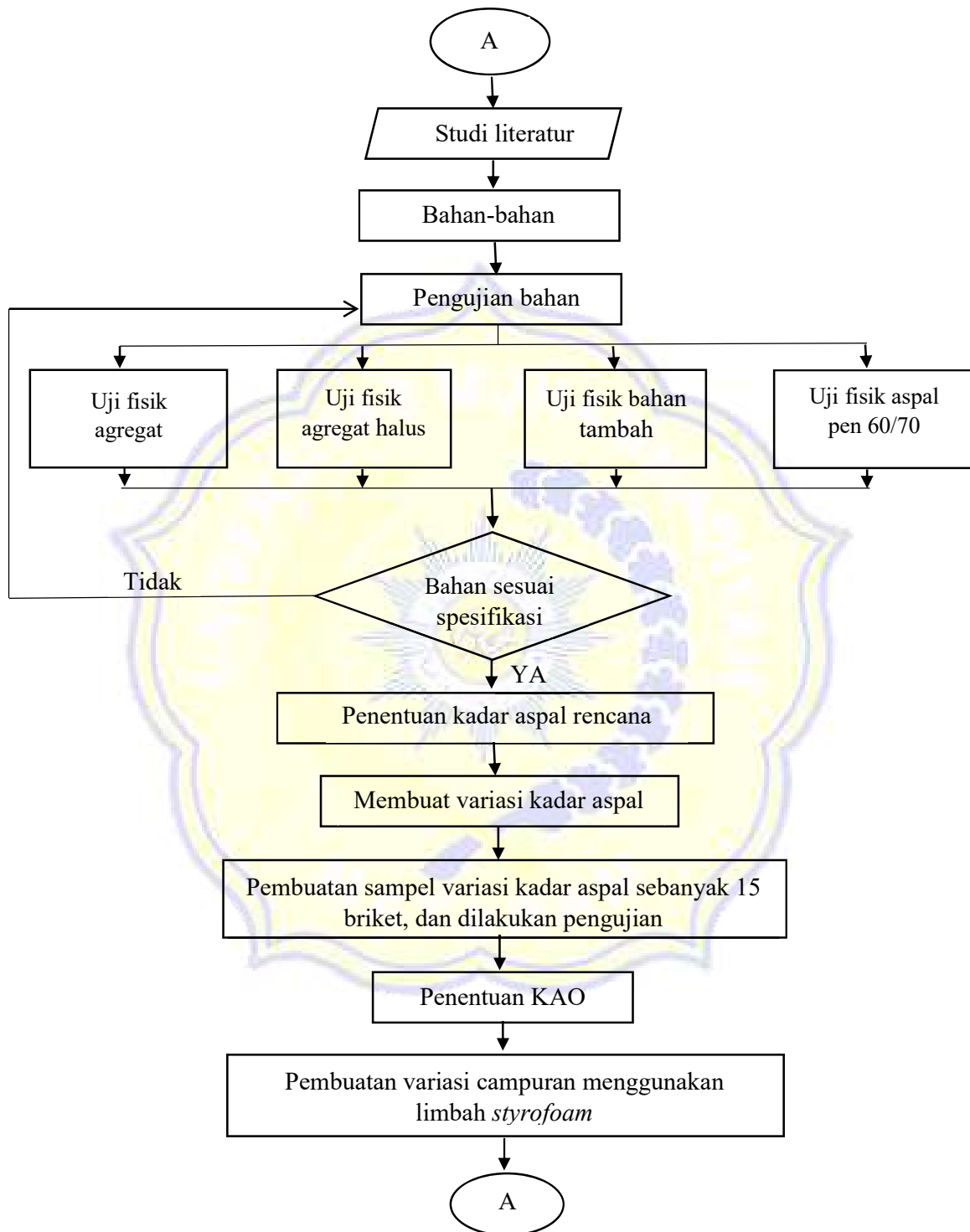
- Mencatat nilai lelehan (laju aliran) yang ditunjukkan oleh penunjuk pengukur lelehan ketika beban maksimum tercapai.

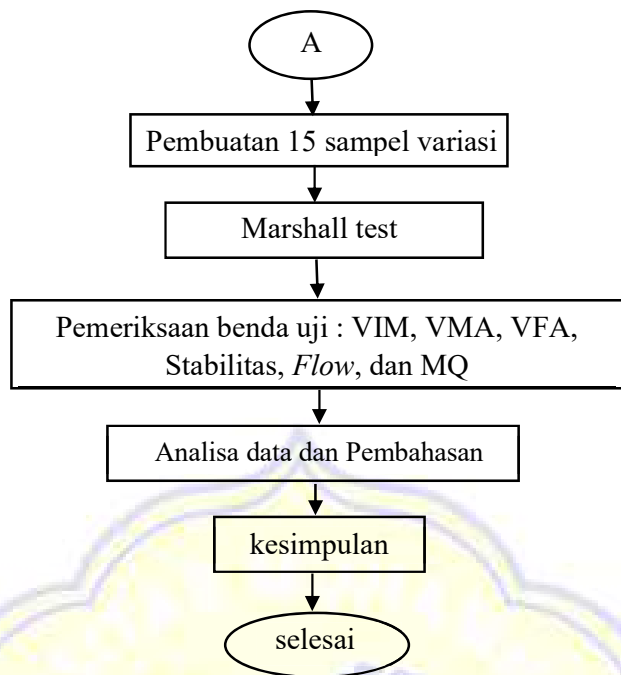
3.6. *Marshall Test*

Pengujian *marshall* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal. Sesuai dengan nilai kestabilan campuran, nilai aliran akan semakin besar bila campuran semakin stabil. Mengingat aspal mempunyai nilai kestabilan yang tinggi maka dapat disimpulkan bahwa aspal mampu memikul beban.



3.7. Tahap Penelitian





Gambar 3. 18 Bagan Alir Penelitian