

TUGAS AKHIR/SKRIPSI
“PENGUNAAN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI FILLER
TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN AC-BC”

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi Pada Program Studi

Teknik Sipil Jenjang Strata I

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun Oleh:

MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN

2019D1B154

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
TAHUN 2023

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

**Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Filler
Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran AC-BC**

Disusun Oleh :

MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN

2019DIB154

Mataram, 14 Juni 2023

Pembimbing I



Titik Wahyuningsih, ST.,MT

NIDN : 0819097401

Pembimbing II



Anwar Ependy, ST.,MT

NIDN : 0811079502

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Dekan



Dr. H. Ali Syaileendra Baidillah, ST.,M.Sc

NIDN. 0806027101

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

**PENGGUNAAN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI FILLER
TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN AC-BC**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

NAMA : MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN

NIM : 2019D1B154

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada Tanggal : 20 Juni 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Penguji I : Titik Wahyuningsih, ST.,MT.


Penguji II : Anwar Efendy, ST.,MT.

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

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan


Dr. H. Aji Saalendra Ubaidillah, ST., M.Sc.
NIDN : 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

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

“PENGUNAAN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI FILLER
TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN AC-BC”

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, 23 Juni 2023

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN

NIM: 2019D1B154



**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 : MUHAMMAD HIYAN ULUMUDIN
 NIM : 2010018154
 Tempat/Tgl Lahir : Betentuk 10 Juli 2000
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 No. Hp : 087 752 098 251
 Email : muhammad.hiyan.01@gmail.com

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

Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Filler Terhadap
 Parameter Marshall Pada Campuran AC-BC

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 428

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.

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

Mataram, 05 Juli2023
 Penulis


 MUHAMMAD HIYAN ULUMUDIN
 NIM. 2010018154

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 : MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN
 NIM : 2019018159
 Tempat/Tgl Lahir : Gerentuk 10 Juli 2000
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 No. Hp/Email : Muhammad.ihyan.01@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:

.....
 PENERBUKANN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI FILLER
 TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN 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, 05 Juli2023
 Penulis

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT


 MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN
 NIM. 2019018159


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

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah, 2: 286)

“Apapun Yang Menjadi Takdirmu Akan Mencari Jalannya Menemukanmu”

(Ali Bin Abi Thalib)



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal skripsi yang berjudul “Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Filler Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran 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.

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, 02, Maret 2023

MUHAMMAD IHYAN ULUMUDIN

2019D1B154

UCAPAN TERIMA KASIH

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. Kedua Orang Tua saya yang tercinta Bapak Zainal Muttakin dan Ibu Rehanah, yang selalu mendukung dan mendoakan saya disetiap waktunya.
2. Bapak Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Bapak Adryan Fitrayudha, ST.,MT., selaku Ketua Program studi Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Ibu Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku dosen pembimbing utama.
5. Bapak Anwar Efendy, ST., MT., selaku dosen pembimbing pendamping.
6. Petugas Laboratorium Pengujian Bahan Jalan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Provinsi NTB.
7. Kerabat dan Sahabat tercinta, Muhammad Irwan, Muhammad Tamimi, Muchammad Faizt Fahriyan, Riki Martin, Yudi Rizwan Sapriadi dan Andri Parianto yang telah membantu selama penyusunan Skripsi.

ABSTRAK

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan dilakukan substitusi dengan bahan pengisi (filler). Dalam penelitian ini digunakan bahan alternatif berupa abu cangkang kemiri sebagai *filler*. Cangkang kemiri merupakan limbah dari pengupasan buah kemiri yang sudah tua yang akan diambil biji inti dari buah kemiri. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, kemiri mempunyai dua lapisan kulit yaitu kulit buah dan kulit cangkang, dimana dari setiap kilogram biji kemiri akan dihasilkan 30% biji inti dan 70% cangkang. Cangkang ini biasanya hanya dibuang begitu saja atau dibakar agar tidak berserakan di lingkungan rumah dan belum dikelola secara efisien.

Untuk menentukan stabilitas maupun kelelahan pada campuran aspal AC-BC ini menggunakan metode *marshall*. Metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 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).

Dari beberapa hasil sifat-sifat campuran AC-BC untuk abu cangkang kemiri sebagai filler pada variasi 0%, 1%, 2%, dan 3% dengan memakai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,1% diperoleh hasil untuk nilai VMA, VFB, Stabilitas, *Flow*, dan MQ dapat terpenuhi berdasarkan spesifikasi yang dipersyaratkan. Sedangkan untuk nilai VIM ini tidak dapat memenuhi persyaratan karena sedikit melebihi batas spesifikasi yang dipersyaratkan. Berarti untuk penggunaan abu cangkang kemiri sebagai *filler* pada campuran AC-BC ini tidak memenuhi atau tidak dapat dipakai dalam proses pencampuran beraspal.

Kata kunci : Abu Cangkang Kemiri, *Marshall*, AC-BC.

ABSTRACT

To enhance the quality of the roadway pavement, filler materials are substituted. As a filler in this research, hazelnut shell ash was employed as an alternative material. Candlenut shells are leftovers from peeling ancient hazelnuts extracted from the candlenut fruit's seeds. According to the Ministry of Agriculture of the Republic of Indonesia, candlenut has two layers of epidermis: fruit skin and shell, with 30% of the kernel and 70% of the shell produced per kilogram of candlenut seeds. These shells are typically discarded or burned so they do not scatter throughout the home but are not managed efficiently.

Using the Marshall method, the stability and yield of the AC-BC bitumen mixture were determined. The Marshall method investigates stability and dissolving (flow) and analyzes the solid mixture's density and pore density. Marshall specimens are cylindrical, measuring 4 inches (10.2 cm) in diameter and 2.5 inches (6.35 cm) in height. The Marshall test procedure adheres to the Highways Specification Method 2010 Revision 4 (2018 edition) as of 2018.

VMA, VFB values were derived from some of the properties of the AC-BC mixture with candlenut shell ash as infill at variations of 0%, 1%, 2%, and 3% using Optimum Asphalt Content (KAO) of 5.1%. , Stability, Flow, and MQ can be met based on the specified requirements. In the meantime, the VIM value cannot satisfy the requirements because it exceeds them by a small margin. It indicates that the hazelnut shell ash in the AC-BC mixture as a filler is insufficient or cannot be used in the bitumen mixing process.

Keywords: Pecan shell ash, Marshall, AC-BC.

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM

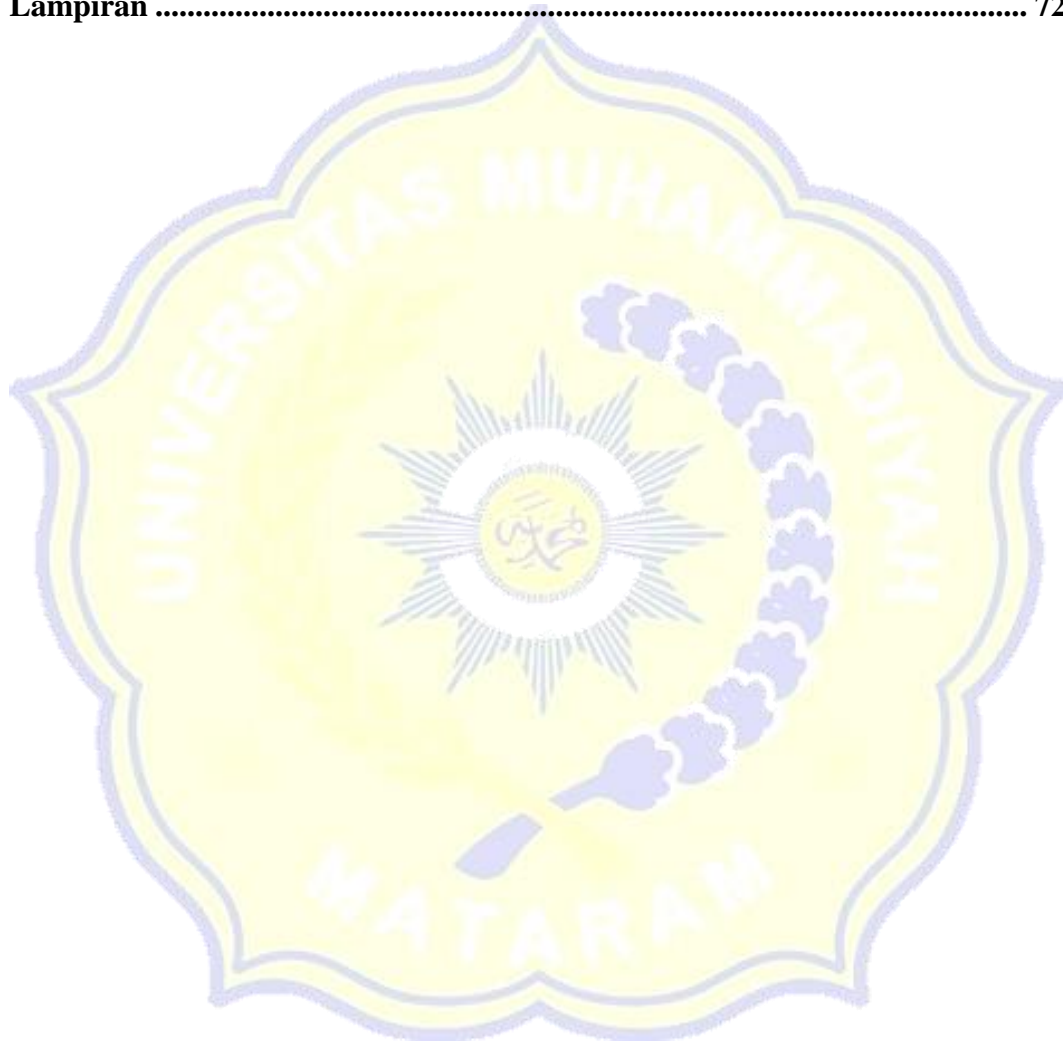


DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH vi	
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
UCAPAN TERIMA KASIH	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Perkerasan Jalan	7
2.3 Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	8
2.4 Aspal.....	10
2.4.1 Pengertian Aspal.....	10
2.4.2 Kandungan Aspal.....	11
2.4.3 Jenis Aspal.....	12

2.4.4	Campuran Aspal AC-BC (<i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>).....	14
2.5	Agregat	16
2.5.1	Jenis Agregat.....	18
2.6	<i>Filler</i>	21
2.6.1	Semen Portland	21
2.6.2	Abu Cangkang Kemiri	22
2.7	Perhitungan Kadar Aspal Rencana	23
2.8	Pengujian Volumetrik Campuran	23
2.9	Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall).....	25
BAB III	METODE PENELITIAN	30
3.1	Lokasi Penelitian dan Metode Penelitian	30
3.2	Teknik Pengumpulan Data	30
3.3	Peralatan	31
3.4	Bahan	37
3.5	Rancangan Campuran Aspal Untuk Memperoleh KAO	39
3.6	Tahapan Penelitian	40
3.6.1	Tahap Persiapan	40
3.6.2	Pembuatan benda uji.....	40
3.6.3	Tahap Pengujian Material	42
3.7	Volumetrik Test.....	42
3.8	Marshall Test	43
3.9	Diagram Alir.....	44
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Umum	46
4.2	Properties agregat	46
4.2.1	Agregat Kasar Dan Agregat Halus	46
4.2.2	<i>Filler</i>	50
4.3	Propeties aspal	51
4.4	Gradasi gabungan Campuran AC-BC	51
4.5	Proporsi Agregat dan Filler berdasarkan Kadar Aspal Optimum.....	64

4.6	Analisa sifat – sifat campuran AC-BC dengan penambahan Filler Cangkang Kemiri	65
BAB V PENUTUP.....		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran	70
Daftar Pustaka.....		71
Lampiran		72



DAFTAR NOTASI

D_{15}	= Diameter butir pada persen lolos 15%
D_{85}	= Diameter butir pada persen lolos 85%
P_b	= Perkiraan kadar aspal tengah terhadap campuran (persentase berat terhadap campuran)
CA	= Agregat tertahan saringan No.8 (Agregat lolos saringan 3/4 - agregat lolos saringan No.8)
FA	= Agregat tertahan saringan No.8 dan tertahan saringan No.200 (Agregat lolos saringan No.8 - agregat lolos saringan No.200)
FF	= Bahan pengisi lolos saringan No.200 (Agregat lolos saringan No.200)
K	= Kira-kira konstanta 0,5 - 1 untuk laston
$Bulk$	= Berat Jenis
SSD	= Berat jenis kering permukaan
$APPT$	= Berat jenis semu
A	= Berat benda contoh uji kering oven (gram)
B	= Berat benda contoh uji kering permukaan jenuh (gram)
C	= Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (g)
BK	= Berat kering
B	= Berat piknometer + berat air (gram)
Bt	= Berat piknometer + berat benda uji + berat air (gram)
APP	= Berat jenis Apparent gabungan
V	= Berat jenis efektif
U	= Berat jenis bulk gabungan
f	= Nilai Flow
S	= Stabilitas
P	= Kalibrasi proving ring pada 0
r	= Nilai pembacaan arloji stabilitas
MQ	= Marshall Quotient
t	= Nilai kelelahan/flow
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).
i	= Bj benda uji
j	= Bj campuran maksimal
VFA (<i>Foid Filled with</i> f)	= rongga terisi aspal persen terhadap VMA.
VMA (<i>Void Mineral Ag</i>)	= rongga di antara mineral agregat.
VIM (<i>Void In The Mix</i>)	= rongga di dalam campuran
I	= Persentase volume agregat
VFB (<i>Void Filled Bitum</i>)	= nilai presentase rongga yang terisi aspal efektif

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Campuran Lapis Beton.....	10
Tabel 2. 2 Persyaratan Aspal Minyak	14
Tabel 2. 3 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal.....	15
Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar	19
Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus	20
Tabel 2. 6 Ketentuan Filler	21
Tabel 2. 7 Komponen Kimia Cangkang Kemiri (Lempang, dkk, 1997).....	22
Tabel 2. 8 Angka koreksi pada Perhitungan Stabilitas Marshall	27
Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Pengujian	40
Tabel 3. 2 Angka Koreksi Pada Perhitungan Stabilitas Marshall	42
Tabel 4. 1 Gradasi Agregat 3/4	47
Tabel 4.2 Berat Jenis Agregat 3/4	47
Tabel 4. 3 Gradasi Agregat 3/8	48
Tabel 4.4 Berat Jenis Agregat 3/8	48
Tabel 4. 5 Gradasi Abu Batu.....	49
Tabel 4. 6 Berat Jenis Abu Batu.....	49
Tabel 4. 7 Gradasi Filler.....	50
Tabel 4. 8 Berat Jenis Filler	51
Tabel 4. 9 Rekap Pengujian Properties Aspal 60-70	51
Tabel 4. 10 Gradasi Gabungan Filler 0%	52
Tabel 4. 11 Pengujian Variasi Aspal dengan Metode Marshall.....	54
Tabel 4. 12 Pengujian Variasi Aspal dengan Metode Marshall dan Kepadatan Mutlak (PRD) pada Campuran AC-BC	54
Tabel 4. 13 Hasil Rekap 0% dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,1%	55
Tabel 4. 14 Gradasi Gabungan Filler 1 %	59
Tabel 4. 15 Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,1% dengan Penambahan Filler 1% 60	
Tabel 4. 16 Gradasi Gabungan Filler 2 %	61
Tabel 4. 17 Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,1% dengan Penambahan Filler 2% 62	
Tabel 4. 18 Gradasi Gabungan Filler 3 %	62

Tabel 4. 19 Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,1% dengan Penambahan Filler 3%	63
Tabel 4. 20 Proporsi Campuran Berdasarkan KAO untuk Filler 0%	64
Tabel 4. 21 Proporsi Campuran Berdasarkan KAO untuk Filler 1%	64
Tabel 4. 22 Proporsi Campuran Berdasarkan KAO untuk Filler 2%	65
Tabel 4. 23 Proporsi Campuran Berdasarkan KAO untuk Filler 3%	65
Tabel 4. 24 Rekap hasil Pengujian Sifat –sifat Campuran AC-BC.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Abu cangkang kemiri	2
Gambar 2. 1 Ilustrasi Komposisi dari aspal	12
Gambar 3. 1 Lokasi Pengujian	30
Gambar 3. 2 Saringan Standar STM	31
Gambar 3. 3 Alat Pengujian Volumetrik.....	32
Gambar 3. 4 Oven atau Pemanas Agregat	32
Gambar 3. 5 Timbangan Digital	33
Gambar 3. 6 Termometer	33
Gambar 3. 7 Cetakan Benda Uji Briket	34
Gambar 3. 8 Alat Penumbuk.....	34
Gambar 3. 9 Dongkrak Hidrolis.....	35
Gambar 3. 10 Water Bath.....	35
Gambar 3. 11 Satu Set Uji Alat Marshall	36
Gambar 3. 12 Panci.....	36
Gambar 3. 13 Wajan, Spatula, dan Kompor Gas	37
Gambar 3. 14 Sarung Tangan.....	37
Gambar 3. 15 Agregat kasar dan agregat halus.....	38
Gambar 3. 16 Aspal cair.....	38
Gambar 3. 17 Abu Cangkang Kemiri yang lolos saringan No.200	38
Gambar 3. 18 Air.....	39
Gambar 3. 19 Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 4. 1 Kurva Batas-batas Gradasi Campuran Filler 0%	53
Gambar 4. 2 Grafik VMA (Void Mix Agregat).....	56
Gambar 4. 3 Grafik VIM (Void In Mix).....	56
Gambar 4. 4 Grafik VFB (Void Filled Bitumen).....	57
Gambar 4. 5 Grafik Stabilitas Marshall	58
Gambar 4. 6 Grafik Perhitungan Kadar Aspal Optimum.....	58
Gambar 4. 7 Kurva Batas-batas Gradasi Campuran Filler 1%	60
Gambar 4. 8 Kurva Batas-batas Gradasi Campuran Filler 2%	61

Gambar 4. 9 Kurva Batas-batas Gradasi Campuran Filler 3%	63
Gambar 4. 10 Grafik VIM (Voild In Mix).....	67
Gambar 4. 11 Grafik VMA (Void Mix Agregat).....	68
Gambar 4. 12 Grafik VFB (Void Filled Bitumen).....	68
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengujian Stabilitas Marshall.....	69



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi darat, berfungsi sebagai sistem pendukung vital untuk berbagai aktivitas manusia. Ini mencakup semua segmen jalan, termasuk bagian tambahan yang secara khusus ditujukan untuk keperluan lalu lintas. Jalan raya terdiri dari empat lapisan yang berbeda, yakni lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, lapis pengikat, dan lapis aus. Peningkatan status ekonomi suatu negara sangat dipengaruhi oleh kualitas infrastruktur jalan. Saling ketergantungan antara manfaat jalan dan efisiensi fasilitasi transportasi, khususnya di sektor perdagangan dan sektor ekonomi terkait.

Proses pembangunan jalan raya memerlukan perencanaan yang matang, terutama dalam hal pemilihan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan. Umur rencana jalan sangat dipengaruhi oleh kualitas perkerasannya. Kualitas perkerasan dapat ditingkatkan melalui desain dan perencanaan yang efektif, serta fungsi yang tepat dari semua komponen utama dalam sistem perkerasan. Oleh karena itu, pemilihan konstituen campuran aspal memainkan peran penting dalam memastikan kualitas dan efektivitas campuran secara keseluruhan, serta kemampuannya untuk mengatasi kerusakan jalan.

Beton aspal, yang umum digunakan di Indonesia, merupakan jenis campuran yang lazim. Beton aspal, komponen penting dalam konstruksi jalan, terdiri dari campuran aspal dan agregat yang tahan lama. Campuran ini mengalami proses agregasi terus menerus, diikuti dengan pencampuran menyeluruh, penghamparan, dan pemadatan pada suhu tertentu (Bina Marga, 2018). Beton aspal umumnya digunakan untuk keperluan aplikasi permukaan, serta untuk fungsi meratakan dan mengikat.

Beton adalah bahan konstruksi utama yang digunakan secara luas dalam skala global. Meningkatnya prevalensi penggunaan beton menunjukkan peningkatan yang sesuai dalam permintaan beton di periode mendatang. Namun demikian, telah terjadi penurunan ketersediaan bahan baku alami

untuk beton, membuat para peneliti memasukkan bahan alternatif dengan sifat serupa ke dalam campuran beton. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan abu sekam padi dan limbah kulit kemiri. Pemanfaatan abu sekam padi dan kulit kemiri sebagai bahan pengisi beton sangat diantisipasi.

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan secara keseluruhan, praktik penggantian bahan pengisi digunakan. Penelitian ini menggunakan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi, sebagai bahan alternatif. Cangkang kemiri merupakan hasil sampingan yang dihasilkan dari penghilangan lapisan luar buah kemiri yang sudah matang, khususnya diekstraksi dari biji bagian tengah buah kemiri. Menurut data Kementerian Pertanian Republik Indonesia, kemiri memiliki dua lapisan kulit yang berbeda, yaitu kulit buah dan kulit cangkang. Telah diamati bahwa untuk setiap kilogram biji kemiri, sekitar 30% merupakan kernel, sedangkan 70% sisanya merupakan cangkang. Biasanya, cangkang ini dibuang atau dibakar untuk mencegah penyebarannya di dalam rumah tangga, dan pengelolaannya belum dilakukan dengan keberhasilan yang optimal. Pemanfaatan abu cangkang kemiri pada penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya limbah abu cangkang kemiri di Desa Setanggor Kecamatan Sukamulia Kabupaten Lombok Timur yang masih belum dimanfaatkan dan sebagian besar belum diketahui oleh penduduk setempat. Substitusi bahan alternatif dalam campuran aspal untuk perkerasan jalan.. Berikut merupakan Gambar 1.1 mengenai abu cangkang kemiri.



Gambar 1. 1 Abu cangkang kemiri
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

Lapisan perkerasan jalan terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan pondasi atas, lapisan tengah yang dikenal dengan AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Coarse), dan lapisan permukaan. Lapisan AC-BC merupakan komponen lapisan permukaan yang terletak di antara lapisan pondasi paling atas dan lapisan aus. Hal ini dicirikan oleh agregat bergradasi agregat padat atau menerus, biasanya digunakan dalam konstruksi jalan yang mengalami beban lalu lintas yang signifikan. Lapisan yang dimaksud tidak secara langsung terkait dengan kondisi meteorologi, tetapi harus memiliki ketebalan dan integritas struktural yang memadai untuk secara efektif mengurangi tegangan dan regangan yang disebabkan oleh beban kendaraan, yang selanjutnya akan ditransmisikan ke lapisan di bawahnya, yaitu lapisan dasar dan bawah. tanah dasar. Stabilitas dianggap sebagai atribut paling penting dari campuran khusus ini. Stabilitas dan rendemen campuran aspal AC-BC ditentukan dengan menggunakan metode Marshall.

Penjelasan sebelumnya menguraikan pertanyaan yang ada, yang berkaitan dengan dampak potensial dari penambahan abu cangkang kemiri sebagai pengisi pada parameter marshall dalam campuran aspal AC-BC. Dengan demikian penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul skripsi: “PENGUNAAN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI FILLER TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN AC-BC”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- 1) Berapa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal AC-BC menggunakan abu cangkang kemiri sebagai filler?
- 2) Bagaimana nilai karakteristik marshall terhadap campuran aspal AC-BC menggunakan abu cangkang kemiri sebagai filler?

1.3 Tujuan Penelitian

Rumusan masalah yang disajikan di atas memerlukan identifikasi tujuan penelitian yang ingin dicapai oleh penulis melalui usaha penelitian mereka. Tujuan dari penelitian ini mencakup tujuan berikut:

- 1) Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal AC-BC dengan menggunakan abu tempurung kemiri sebagai bahan pengisi.
- 2) Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal AC-BC dengan memasukkan abu tempurung kemiri sebagai bahan pengisi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini dilakukan untuk meninjau seberapa besar pengaruh abu cangkang kemiri sebagai filler terhadap nilai karakteristik campuran dalam aspal AC-BC.
- 2) Spesifikasi campuran aspal AC-BC mengacu pada spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018.
- 3) Aspal penetrasi 60/70
- 4) Pengujian benda uji dilakukan dengan Marshall test.
- 5) Abu cangkang kemiri yang digunakan merupakan limbah alam yang tidak terpakai.
- 6) Penelitian ini tidak membahas tentang reaksi kimia maupun ikatan kimia.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki potensi pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi campuran perkerasan jalan, dengan harapan dapat menjadi bahan alternatif yang layak untuk meningkatkan sifat temperatur. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk mendapatkan wawasan tentang pemanfaatan sumber daya yang kurang dimanfaatkan, seperti limbah yang berasal dari kulit kemiri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu.

- a. Purwati, dkk (2015) melakukan penelitian mengenai penggunaan abu cangkang kemiri sebagai agregat halus (Filler) terhadap parameter marshall pada pencampuran aspal AC-BC diharapkan mampu meningkatkan kinerja campuran aspal beton. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki potensi pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi campuran perkerasan jalan, dengan harapan dapat menjadi bahan alternatif yang layak untuk meningkatkan sifat temperatur. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk mendapatkan wawasan tentang pemanfaatan sumber daya yang kurang dimanfaatkan, seperti limbah yang berasal dari kulit kemiri.
- b. Fatmawati (2012), filler adalah abu mineral tembus ayakan No.200. Jenis bahan filler secara umum terdiri dari : debu batu kapur, debu dolomit, semen Portland, abu layang atau fly ash, atau bahan mineral tidak plastis lainnya.
- c. Agustian, dkk (2021), Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji dampak penggunaan ACK (Kemiri Shell Ash) sebagai bahan pengisi pengganti terhadap karakteristik marshall campuran AC-BC. Metodologi penelitian diawali dengan penyiapan sampel uji dengan persentase aspal yang bervariasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal yang optimal untuk setiap persentase substitusi ACK (Abu Kulit Kemiri) terhadap berat bahan pengisi dalam campuran. Persentase yang dipertimbangkan adalah 0%, 10%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ACK 20% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 2.373,06 kg. Penambahan proporsi Asphalt Cement Kiln (ACK) dalam komposisi campuran aspal menyebabkan penurunan nilai Viscosity Index Modifier (VIM) dan pelelehan, sekaligus

mengakibatkan peningkatan nilai rongga yang terisi aspal. (VFA) dan hasil bagi Marshall (MQ). Tidak ada perubahan signifikan yang diamati pada nilai densitas dan VMA. Nilai durabilitas mencapai maksimum pada konsentrasi 20% ACK, menghasilkan nilai 101,8%.

- d. Safariska, dkk (2020), Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC, Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penambahan abu cangkang kemiri sebagai pengganti bahan pengisi pada campuran aspal beton lapis AC-WC. Dengan memasukkan abu kemiri pada berbagai proporsi 25%, 50%, dan 100%. Studi ini berkaitan dengan Revisi Spesifikasi Jalan Raya 2010. Temuan menunjukkan bahwa penggabungan abu kemiri berpotensi meningkatkan stabilitas. Komposisi filler tempurung kemiri 25% dengan kadar aspal 6,50%, nilai Voids in Mineral Aggregate (VIM) 3,70%, nilai Voids in Mineral Aggregate (VMA) 19,49%, nilai flow 3,30 mm, dan nilai stabilitas sebesar 1541,70 kg sejalan dengan nilai karakteristik yang ditentukan oleh Bina Marga (2014) untuk memenuhi persyaratan.
- e. Refiyanni, dkk (2020), Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC, Secara umum bahan perkerasan campuran AC-WC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Material yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan terdiri dari sumber daya yang tidak dapat diperbaharui yaitu agregat dan aspal. Dengan pertumbuhan penduduk, ada peningkatan yang sesuai dalam kegiatan konstruksi jalan, yang mengarah pada peningkatan permintaan bahan dasar yang dibutuhkan untuk konstruksi perkerasan jalan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengeksplorasi solusi alternatif yang melibatkan pemanfaatan sumber daya alam terbarukan sebagai pengganti yang layak untuk bahan dasar perkerasan jalan. Ilustrasi sumber daya alam terbarukan adalah kemiri. Kemiri, secara ilmiah dikenal sebagai *Aleurites moluccanus*, adalah tanaman berbiji. Dalam aplikasi kuliner, biji kemiri berfungsi sebagai bumbu, sedangkan

cangkang biasanya dibuang. Perlu diketahui bahwa luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia selama tahun 2017 adalah sebesar 4,75 hektar dengan total produksi sebesar 11,31 juta ton per tahun. Produksi ini meliputi minyak kelapa sawit dan bahan limbah terkait. Limbah tersebut di atas merupakan bahan baku utama yang digunakan dalam proses ekstraksi minyak kelapa sawit, sehingga menghasilkan furnace slag. Melihat konteks tersebut di atas, maka perlu dilakukan kajian penerapan limbah cangkang kemiri dan slag tungku sebagai agregat halus dalam campuran aspal AC-WC. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan spesifikasi umum Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi yang berbeda, yaitu variasi 1 (terdiri dari 75% tempurung kemiri dan 25% terak tungku), variasi 2 (terdiri dari 50% tempurung kemiri dan 50% terak tungku), dan variasi 3 (terdiri dari 25 % kulit kemiri dan 75% terak tungku). Nilai masing-masing KAO adalah 5,08%, 5,14%, dan 5,22%. Nilai stabilitas untuk variasi 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 1263,56 kilogram, 1250,25 kilogram, dan 1235,35 kilogram. Hal ini menunjukkan bahwa nilai memenuhi kriteria yang ditentukan. Sementara itu, perlu dicatat bahwa nilai aliran untuk ketiga variasi tersebut juga memenuhi kriteria yang dapat diterima untuk lapisan perkerasan campuran AC-WC, khususnya masing-masing sebesar 3,45%, 3,58%, dan 3,76%.

2.2 Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2003), bagian jalan raya yang diperkuat dengan lapisan khusus disebut dengan perkerasan jalan raya, perkerasan jalan raya memiliki kekuatan, ketebalan, kekakuan, dan kestabilan khusus sehingga menyalurkan beban kendaraan dan lapis permukaan menuju tanah dasar dengan aman. Lapis yang berada diantara lapisan tanah dasar dengan roda kendaraan berfungsi melayani transportasi dan direncanakan agar tidak terjadi kerusakan. Perkerasan jalan adalah hasil pencampuran bahan pengikat dengan agregat dengan tujuan menahan beban kendaraan di atasnya. Agregat yang digunakan antara lain adalah batu kali, batu belah, batu pecah, atau sisa dari

peleburan baja. Sebagai pengikatnya digunakan antara lain semen, aspal, atau tanah liat.

2.3 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang biasanya terdiri dari lapisan atas yang terdiri dari aspal dan lapisan bawah yang terbuat dari bahan butiran. Dimasukkannya lapisan perkerasan yang fleksibel memberikan kontribusi untuk meningkatkan kenyamanan bagi kendaraan yang melintasi jalan. Konfigurasi perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

1. Lapisan permukaan (*Surface Course*).

Lapisan permukaan merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan jalan (Sukirman, 2010), fungsi utamanya yaitu sebagai berikut:

- a. Sebagai lapisan penahan beban 8emperat dari kendaraan, oleh karena itu lapisan harus memiliki stabilitas tinggi selama masa pelayanan.
- b. Sebagai lapisan aus (*wearing course*) karena menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan yang mengerem.
- c. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atas lapisan permukaan tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang berakibat rusaknya struktur perkerasan jalan.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapis pondasi.

2. Lapis pondasi (*Base Course*).

Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan dinamakan lapisan pondasi (*base course*). Jika tidak digunakan lapis pondasi bawah, maka lapis pondasi diletakkan langsung di atas permukaan tanah dasar (Sukirman, 2010). Adapun fungsi lapis pondasi antara lain sebagai berikut:

- a. Bagian struktur perkerasan yang menahan gaya 8emperat dari beban kendaraan dan disebarkan ke lapis di bawahnya.
- b. Lapis peresap untuk pondasi bawah.
- c. Bantalan atau perletakan lapis permukaan.

3. Lapis pondasi bawah (*Subbase Course*).

Menurut Sukirman (2010), lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi dan tanah dasar. Lapisan subbase melayani beberapa fungsi, yang meliputi:

- a. Struktur perkerasan berfungsi untuk memberikan dukungan dan mendistribusikan beban yang dibebankan oleh kendaraan secara merata ke tanah dasar. Stabilitas lapisan ini harus memenuhi kriteria yang dipersyaratkan, antara lain memiliki nilai California Bearing Ratio (CBR) sama dengan atau melebihi 20%, serta nilai Plastic Index (IP) sama dengan atau kurang dari 10% . .
- b. Pemanfaatan bahan hemat biaya untuk meningkatkan efisiensi, sehingga memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan atasnya.
- c. Lapisan kedap air harus diterapkan untuk mencegah akumulasi air tanah di dalam pondasi.
- d. Lapisan awal diperlukan untuk memfasilitasi pekerjaan pada overhang, karena kondisi lapangan memerlukan cakupan tanah dasar yang segera untuk melindunginya dari dampak cuaca atau untuk mengimbangi kapasitas penahan beban yang terbatas dalam mendukung alat berat.
- e. Tujuan dari lapisan filter adalah untuk menghambat pergerakan partikel halus yang berasal dari tanah dasar menuju lapisan pondasi. Karena alasan ini, sangat penting bahwa lapisan subbase memenuhi kriteria berikut:

$$\frac{D_{15\text{pondasi}}}{D_{15\text{tanahdasar}}} \geq 5$$

$$\frac{D_{15\text{pondasi}}}{D_{85\text{tanahdasar}}} < 5$$

Dengan:

D_{15} = diameter butir pada persen lolos = 15%.

D_{85} = diameter pada butir persen lolos = 85%.

Tabel 2. 1 Persyaratan Campuran Lapis 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: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Direktorat Jenderal Bina Marga 2018.

2.4 Aspal.

2.4.1 Pengertian Aspal.

Menurut Silvia Sukirman, (2007) Aspal dicirikan sebagai zat viskoelastik, berwarna gelap, biasanya berpenampilan hitam atau coklat tua, terutama terdiri dari bitumen. Aspal dapat terjadi secara alami atau berasal sebagai produk sampingan dari proses pemurnian minyak bumi. Aspal adalah bahan padat hingga agak padat yang menunjukkan perilaku termoplastik bila dipertahankan pada suhu kamar. Aspal menunjukkan fenomena transisi fase di mana ia mengalami peleburan setelah mencapai ambang suhu tertentu, dan kemudian mengeras kembali pada penurunan suhu. Dalam hubungannya dengan agregat, aspal merupakan campuran bahan komposit yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. Kandungan aspal dalam campuran perkerasan bervariasi antara 4-10% berat atau 10-15% volume campuran.

Selanjutnya, seperti yang dikemukakan oleh Sukirman (1992), aspal memiliki kemampuan sebagai komponen yang sangat penting dalam konstruksi perkerasan jalan:

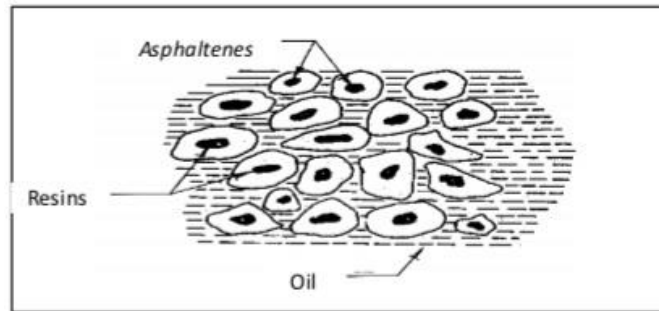
- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal dengan bahan pengikat itu sendiri.
- b. Bahan pengisi, mengisi antara rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

2.4.2 Kandungan Aspal.

Pada dasarnya aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Secara garis besar unsur kimiawi yang terdapat dalam aspal terdiri dari:

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

Secara umum, komposisi molekul aspal meliputi tiga komponen utama: *asphaltenes*, *resin*, dan minyak. *Ashpaltena* terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon, ditandai dengan penampilan hitam atau coklat tua dan ketidaklarutan dalam *n-heptana*. *Asphaltene* menyebar dalam larutan yang dikenal sebagai maltenes. Malten menunjukkan kelarutan dalam heptana, yang ditandai dengan viskositas tinggi dan komposisi resin dan minyak. Resin adalah zat cair yang menunjukkan warna kuning atau coklat tua, berfungsi sebagai agen yang memberikan karakteristik perekat pada aspal. Sifat perekat ini rentan terhadap kehilangan atau penurunan dari waktu ke waktu sebagai akibat penggunaan jalan. Sebaliknya, minyak yang berwarna lebih terang berfungsi sebagai media untuk aspal dan resin dalam komposisi aspal. Menurut Sukirman (2016), maltena merupakan konstituen yang memiliki kepekaan tinggi terhadap variasi suhu dan lamanya penggunaan perkerasan jalan. Gambar 2.1 menyajikan gambaran ilustratif dari unsur penyusun aspal.



Gambar 2.1 Ilustrasi Komposisi dari aspal

(Sumber: Sukirman, S.,2012)

2.4.3 Jenis Aspal.

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal alam dan aspal minyak (Sukirman, 2016).

- a. Aspal alami mengacu pada terjadinya aspal dalam keadaan alaminya, yang dapat berwujud sebagai batu atau aspal itu sendiri. Di negara Indonesia terdapat endapan aspal batuan yang biasa disebut Aspal Batuan Alam yang terletak di Pulau Buton. Deposit khusus ini dikenal sebagai Asbuton, yang menunjukkan aspal batu Buton. Selain itu, perlu dicatat bahwa aspal alam juga dapat dijumpai dalam bentuk aspal danau, khususnya yang dikenal dengan Aspal Danau Trinidad, yang banyak terdapat di wilayah Trinidad.
- b. Aspal minyak mengacu pada zat sisa yang diperoleh dari proses penyulingan minyak bumi. Setiap sampel minyak mentah menghasilkan residu yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis: minyak mentah dasar aspal, minyak mentah dasar parafin, atau minyak mentah dasar campuran, tergantung pada kandungan aspal, parafin, atau kombinasi keduanya. Berdasarkan pengolahan hasil residu aspal minyak dapat berbentuk aspal cair, aspal emulsi, aspal hembus (*blown asphalt*) (Sukirman, 2016).
 - 1) Aspal padat mengacu pada aspal yang ada dalam keadaan padat atau semi-padat pada suhu ruangan yang khas, biasanya disebut semen aspal. Sebelum digunakan sebagai pengikat agregat, semen aspal membutuhkan aplikasi panas. Aspal padat merupakan komponen

utama residu minyak bumi, dan jenis tambahan aspal minyak dapat diperoleh melalui pemrosesan selanjutnya.

- 2) Aspal cair, juga dikenal sebagai aspal potong, adalah bentuk aspal yang mempertahankan keadaan cair saat terkena suhu kamar. Proses pencarian aspal melibatkan pemanfaatan semen aspal, yang diperoleh dengan mencampurkannya dengan pengencer yang berasal dari penyulingan minyak bumi, seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Pencair mampu membedakan aspal cair menjadi komponen yang berbeda.
 - a) *Rapid curing cutback asphalt* (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
 - b) *Medium curing cutback asphalt* (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
 - c) *Slow curing cutback asphalt* (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair (minyak disel), SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.
- 3) Aspal emulasi (*Emulsified Asphalt*), adalah Prosesnya melibatkan kombinasi aspal, air, dan pengemulsi di dalam pabrik pencampur. Aspal emulsi menunjukkan tingkat fluiditas yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal cair konvensional. Aspal emulsi melibatkan pembubaran bitumen dalam air. Untuk mengurangi aglomerasi butir aspal menjadi agregat yang lebih besar, muatan listrik diberikan ke masing-masing butir.

Semen aspal, penyusun aspal minyak, mewakili varian aspal tertentu. Ciri khas semen aspal terletak pada nilai penetrasi atau viskositasnya. Di Indonesia, praktik yang berlaku melibatkan penggunaan aspal Pen 60, khususnya semen aspal yang ditandai dengan nilai penetrasi berkisar antara 60 hingga 70. American Society for Testing and Materials (ASTM) dan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) telah mengklasifikasikan semen aspal menjadi lima

kategori berbeda: 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.

Semen aspal penetrasi rendah biasanya digunakan di daerah yang ditandai dengan kondisi cuaca panas atau volume lalu lintas yang tinggi. Sebaliknya, aspal semen penetrasi tinggi umumnya digunakan di daerah yang mengalami cuaca dingin atau memiliki volume lalu lintas yang rendah. Dalam konteks Indonesia, penggunaan semen aspal dengan nilai penetrasi 60/70 dan 80/100 merupakan praktik umum. Persyaratan aspal minyak 60/70 dapat dilihat pada Tabel 2.1 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 °	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.

2.4.4 Campuran Aspal AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Lapisan AC-BC adalah komponen dari sistem perkerasan yang terletak di antara lapisan keausan yang disebut juga lapisan aus dan lapisan pondasi yang biasa disebut dengan lapisan dasar. Lapisan yang dimaksud tidak terkait langsung dengan kondisi meteorologi. Namun, lapisan ini harus memiliki ketebalan dan kekuatan yang memadai untuk secara efektif mengurangi tegangan atau regangan akibat beban kendaraan, yang

selanjutnya akan diteruskan ke lapisan di bawahnya, yaitu lapisan dasar dan tanah dasar. Stabilitas dianggap sebagai atribut yang paling signifikan dari campuran ini.

Pemanfaatan lapis aspal beton yang biasa disebut Laston sebagai bahan pengikat dikenal di lapangan sebagai AC-BC yang merupakan singkatan dari Asphalt Concrete-Binder Course. Lapisan yang dimaksud adalah komponen lapisan paling atas yang terletak di antara base course dan wear course. Ini memiliki gradasi agregat yang kompak atau tidak terputus dan biasanya digunakan dalam pembangunan jalan yang mengalami beban lalu lintas kendaraan yang signifikan (Silvia Sukirman, 2008).

Susunan butiran agregat pada lapisan beton AC-BC disebut sebagai gradasi agregat, yang didasarkan pada ukuran butiran individu. Penentuan ukuran butir dapat dicapai melalui pemanfaatan analisis pengayakan. Konsep gradasi agregat dikuantifikasikan dengan persentase bahan yang lolos atau tertahan, ditentukan oleh berat agregat (Sukirman, 1999). 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: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Direktorat Jenderal Bina Marga. Tabel 6.3.2.3. Spesifikasi Umum 2018

2.5 Agregat

Agregat mengacu pada kompilasi partikel batu hancur atau mineral lainnya, baik dalam keadaan alami atau setelah mengalami pemrosesan. Agregat ini berfungsi sebagai bahan utama untuk membangun jalan.

Agregat umumnya dicirikan sebagai formasi padat dan padat di dalam kerak bumi. Menurut ASTM, agregat didefinisikan sebagai zat yang terdiri dari mineral padat yang ada sebagai massa besar atau sebagai potongan-potongan yang terfragmentasi. Konstituen utama dari struktur perkerasan jalan adalah agregat, yang biasanya mencapai 90-95% dari berat total atau 75-85% dari total volume. Penentuan kualitas perkerasan jalan bergantung pada karakteristik agregat dan hasil kombinasinya dengan bahan lain (Sukirman, 2016).

Pemilihan agregat untuk konstruksi perkerasan memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap sifat-sifat agregat, khususnya:

1. Gradasi

Agregat yang dimaksud dibedakan berdasarkan gradasinya yang signifikan dalam aplikasinya di lapangan, baik untuk penggunaan lapisan agregat tanpa bahan pengikat aspal maupun untuk campuran aspal. Gradasi mengacu pada pengaturan dan klasifikasi partikel menurut ukuran kolektifnya. Ukuran rongga antar butir, yang berperan penting dalam menentukan stabilitas dan kemudahan penggunaan di lapangan, dipengaruhi oleh gradasi agregat. Gradasi agregat dibedakan atas:

- 1) Agregat yang diratakan secara terus-menerus memiliki kemampuan untuk menghasilkan lapisan perkerasan yang ditandai dengan peningkatan stabilitas, berat volume yang besar, dan ketahanan gelincir yang meningkat. Campuran komposit tersebut digunakan sebagai campuran agregat dalam produksi beton aspal (AC).
- 2) Agregat bertingkat celah mengacu pada agregat yang memiliki satu fraksi yang hilang atau satu fraksi kecil. Agregat khusus ini menghasilkan lapisan perkerasan yang dicirikan oleh sifat stabilitas campuran sedang, serta tingkat ketahanan selip yang relatif rendah.

Stabilitas berasal dari mortar. Gradasi agregat yang dijelaskan umumnya digunakan dalam konstruksi campuran aspal untuk lapisan beton aspal, juga dikenal sebagai Lataston, atau Hot Rolled Sheet (HRS).

3) Agregat bergradasi terbuka terdiri dari agregat yang ukurannya seragam. Agregat yang dihasilkan akan menghasilkan lapisan perkerasan yang dicirikan oleh sifat permeabilitasnya yang tinggi, stabilitas yang berkurang, dan bobot satuan yang rendah.

2. Kebersihan.

Zat subtansi asing, termasuk vegetasi, partikel halus, dan gumpalan lumpur, perlu dihilangkan dari agregat sebelum dapat digunakan dalam campuran perkerasan. Adhesi aspal ke batu dapat dipengaruhi secara negatif oleh adanya zat asing, akibatnya menimbulkan efek potensial pada perkerasan jalan.

3. Kekuatan dan Kekerasan.

Kekuatan agregat adalah Resistensi agregat mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan kekuatan mekanik atau kimia tanpa dihancurkan atau dihancurkan. Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan harus memiliki kemampuan untuk menahan degradasi, yang dapat terjadi selama proses pencampuran dan pemadatan, serta di bawah beban lalu lintas berulang dan gaya merusak yang dialami sepanjang umur layanan jalan.

4. Bentuk Permukaan.

Konfigurasi topografi agregat berdampak langsung pada integritas struktur lapisan perkerasan yang terdiri dari agregat tersebut. Partikel kuboid dengan sudut tajam menunjukkan sifat interlocking yang ditingkatkan, menjadikannya sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan konstruksi di perkerasan jalan.

5. Tekstur Permukaan.

Tekstur permukaan yang ditandai dengan kekasaran dan kekasaran mampu menghasilkan gaya gesek yang lebih tinggi, sehingga

memungkinkan batuan menahan gaya pemisah yang diberikan padanya. Selain itu, tekstur kasar juga meningkatkan sifat adhesi antara material aspal dan batuan. Batuan halus memiliki kerentanan yang lebih tinggi untuk dilapisi dengan aspal, namun menunjukkan kapasitas yang terbatas untuk menahan aspal secara efektif. Secara umum, peningkatan kekasaran permukaan cenderung sesuai dengan peningkatan stabilitas dan daya tahan campuran.

6. Porositas

Nilai ekonomis suatu campuran lapisan perkerasan sangat dipengaruhi oleh porositasnya. Ada korelasi positif antara porositas batuan dan jumlah aspal yang digunakan. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan peningkatan daya serap batuan dibandingkan dengan aspal.

Adhesi terhadap aspal juga dipengaruhi oleh karakteristik agregat air. Batuan granit dan silika diklasifikasikan sebagai agregat hidrofilik, yang mengacu pada kecenderungan bawaannya untuk menunjukkan sifat penyerapan air. Agregat khusus ini tidak cocok untuk digunakan sebagai campuran aspal.

2.5.1 Jenis Agregat.

Agregat dapat diklasifikasikan menurut kategori peristiwa pemrosesan dan ukuran partikel penyusunnya. Perbedaan antara batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf dapat dicapai dengan mempertimbangkan proses pembentukan agregat. Dalam konteks klasifikasi agregat, dimungkinkan untuk mengkategorikan agregat menjadi tiga jenis berbeda: agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi, dengan masing-masing jenis dibedakan berdasarkan ukuran butirnya. Berdasarkan spesifikasi teknis yang diberikan oleh ASTM dan Depkimpraswil pada tahun 2010, pengelompokan agregat dibedakan menjadi beberapa jenis :

- a. Agregat Kasar, adalah Kerikil adalah jenis agregat yang terbentuk melalui pemecahan batuan alam atau melalui produksi batu pecah atau pecah di industri pemecah batu. Ini biasanya terdiri dari partikel yang lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm) tetapi lebih kecil dari

saringan 1½ inci (150 mm). Tabel 2.4 menyajikan istilah yang digunakan untuk menggambarkan agregat kasar.

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%
Kelekatatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}
	Lainnya		95/90 ^{**)}
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 Divisi 6 Perkerasan Aspal.

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.

a. Agregat Halus.

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (= 4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No. 200 (= 0,075 mm) adalah 10%. Ketentuan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nila 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 Divisi 6 Perkerasan Jalan.

1) Abu batu

Abu batu dihasilkan melalui proses penghancuran batu pecah dengan alat stone crusher. Abu batu yang digunakan dalam konteks ini merujuk secara khusus pada abu batu yang tertahan dalam saringan No. 200.

2) Filler (Bahan Pengisi).

Filler mengacu pada bagian agregat halus yang memiliki kemampuan lolos saringan No. 200 yang memiliki ukuran 0,075 mm. Menurut penelitian Silvia Sukirman tahun 2016, *filler* disyaratkan minimal 75% dari total agregat halus. Dimasukkannya bahan pengisi dalam semen harus dalam kisaran yang ditentukan 1% sampai 2% dari berat total agregat. Dalam konteks SMA (Sekolah Menengah Atas), penting untuk dicatat bahwa tingkatan yang diperbolehkan tidak dibatasi. Namun perlu diketahui bahwa penggunaan semen dilarang sesuai dengan peraturan yang tertuang dalam pedoman Bina Marga divisi 6 tahun 2018. Bahan pengisi harus dihindari tercampur dengan

tanah atau bahan lainnya. Selain itu, bahan pengisi yang digunakan harus dalam keadaan kering, dengan kadar air tidak melebihi 1%.

2.6 Filler

Filler mengacu pada zat yang digunakan sebagai bahan di dalam lapisan aspal. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa komposisi dan karakteristik bahan pengisi berperan penting dalam menentukan sifat elastis dan kepekaan campuran (Rahaditya, 2012). Spesifikasi mengenai penambahan filler dalam campuran aspal, sebagaimana tertuang dalam Bina Marga 2010 revisi 1, adalah sebagai berikut:

1. Bahan pengisi yang ditambahkan ke dalam campuran terdiri dari debu batu kapur, kapur terhidrasi, semen, atau abu terbang, yang semuanya harus bersumber dari pemasok yang disetujui oleh Insinyur.
2. Pengisi yang dimasukkan harus memiliki konsistensi kering dan tidak mengandung gumpalan. Untuk menjamin kualitasnya harus melalui uji saringan sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990. Pengujian ini mensyaratkan bahwa bahan pengisi harus memiliki persentase berat minimal 75% yang lolos saringan dengan ukuran mesh No.200, setara dengan 75 mikron.
3. Untuk memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan, semua campuran aspal harus mengandung bahan pengisi, yang harus ditambahkan dalam kisaran tidak kurang dari 1% dan tidak lebih dari 2% dari total berat agregat. Dapat dilihat ketentuan dari filler pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Ketentuan Filler

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

2.6.1 Semen Portland

Semen Portland berasal dari kombinasi batu kapur dan berbagai mineral, yang kemudian dicampur dan mengalami suhu tinggi di dalam tungku. Setelah proses ini, bahan yang dihasilkan diperoleh dalam bentuk bubuk. Ketika bubuk dikombinasikan dengan air, reaksi kimia terjadi,

menghasilkan pengerasan zat dan pembentukan ikatan yang kuat. (Putrowijoyo, 2006).

2.6.2 Abu Cangkang Kemiri

Sifat cangkang kemiri yang kaku dan kuat dapat dikaitkan dengan komposisi jaringan sklerenkim, khususnya sklereid. Sklereid ini memiliki dinding sel sekunder yang kaya akan lignin, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap tekanan dan benturan. Komponen kimia cangkang kemiri dapat dilihat dari Tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2. 7 Komponen Kimia Cangkang Kemiri (Lempang, dkk, 1997).

No	Komponen (<i>Component</i>)	Kadar (<i>Content</i>),%
1	Holoselulosa (<i>Hobsellulose</i>)	49,22
2	Pentosa (<i>Pentosan</i>)	14,55
3	Lignin	54,46

Berdasarkan informasi yang disajikan pada Tabel 2.7, terlihat bahwa cangkang kemiri mengandung 49,22% holoselulosa. Cangkang kemiri menunjukkan kandungan holoselulosa yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu, berada dalam kisaran 65% - 75% (Fengel dan Wegener, 1995). Namun, ini menunjukkan kandungan holoselulosa sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kulit kacang Brazil, yang dilaporkan 48,5% (Bonelli, 2001). Metode gravimetrik digunakan untuk menentukan kandungan pentosa pada kulit buah kemiri, menghasilkan nilai 14,55%.

Lignin adalah konstituen kimia yang ditemukan di berbagai jaringan tanaman, biasanya ditemukan bersamaan dengan selulosa. Ini berbeda dari karbohidrat dan terutama terdiri dari bagian aromatik yang dikenal sebagai fenilpropana. Lignin sebagian besar terletak di dalam lamela tengah dan dinding sel primer dalam komposisi jaringan kayu (Fengel dan Wegener, 1995). Cangkang kemiri memiliki kandungan lignin sebesar 54,68%. Cangkang kemiri menunjukkan kandungan lignin yang sebanding dengan kandungan lignin yang ditemukan di kulit kacang Brazil, seperti yang dilaporkan 54,9% (Bonelli et al., 2001). Namun, itu

melampaui kandungan lignin yang biasanya diamati pada kayu, yang biasanya berkisar antara 20% hingga 40% (Fengel dan Wegener, 1995).

2.7 Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Kadar Aspal Optimum (KAO) mengacu pada kadar aspal yang memberikan stabilitas terbesar pada lapisan keris, sekaligus memenuhi persyaratan lain seperti Stabilitas, leleh (aliran), VIM, VFA, VMA, dan faktor lain yang relevan. Pada akhirnya, ini mengarah pada pencapaian aspal berkualitas tinggi. Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan menentukan kadar aspal rencana secara empiris dengan persamaan 2.1 dibawah ini.

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

dengan:

Pb = Perkiraan kadar aspal tengah terhadap campuran (presentase berat terhadap campuran) .

CA = Agregat tertahan saringan No.8 (agregat lolos saringan $\frac{3}{4}$ " – agregat lolos saringan No. 8).

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

FF = Bahan pengisi lolos saringan No.200 (agregat lolos saringan No.200).

K = Kira-kira konstanta 0,5– 1 untuk laston.

(modul – 03C pengambilan contoh dan pengujian campuran aspal dan agregat untuk campuran beraspal hal 3 – 30).

Hasil perhitungan disesuaikan untuk mendekati kandungan aspal tengah (Pb) yang direncanakan hingga mendekati 0,5%. Penelitian ini menggunakan tiga skema kadar aspal untuk menetapkan kadar aspal di atas kadar Pb dan kadar aspal lain di bawah kadar Pb, yang masing-masing berbeda 0,5%.

2.8 Pengujian Volumetrik Campuran

Pengujian volumetrik adalah metode yang digunakan untuk memastikan nilai kerapatan, berat jenis, dan porositas masing-masing benda

uji dalam suatu campuran. Pengujian meliputi berbagai pengukuran seperti tinggi, diameter, berat solid-state drive (SSD), berat di udara, berat sampel di air, dan berat jenis agregat, bahan pengisi, dan aspal. Sebelum melakukan uji Marshall, dilakukan uji volumetrik pada masing-masing benda uji. Data-data yang diperoleh dari penelitian laboratorium, dianalisis dengan menggunakan rumus-rumus berikut ini :

1. Berat Jenis.

- a. Berat jenis agregat kasar dengan persamaan 2.2, persamaan 2.3, persamaan 2.4, dan persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$Bulk = \frac{A}{(B-C)} \quad (2.2)$$

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

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

$$Penyerapan = \frac{(B-A)}{BA} \times 100\% \quad (2.5)$$

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 2.6, persamaan 2.7, persamaan 2.8, dan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$Bulk = \frac{BK}{(B+500-Bt)} \quad (2.6)$$

$$SSD = \frac{500}{(Bc+500-BD)} \quad (2.7)$$

$$APPT = \frac{BK}{(B+BK-Bt)} \quad (2.8)$$

$$Penyerapan = \frac{500-BK}{BK} \times 100 \quad (2.9)$$

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 2.10 sebagai berikut:

$$U = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{b}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{c}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{d}{B_j a Bulk}\right)} \quad (2.10)$$

- d. Berat jenis $Apparent$ gabungan (App) dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$App = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a App}\right) + \left(\frac{b}{B_j a App}\right) + \left(\frac{c}{B_j a App}\right) + \left(\frac{d}{B_j a App}\right)} \quad (2.11)$$

- e. Berat jenis efektif (V) dengan persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$V = \frac{U + App}{2} \quad (2.12)$$

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

2.9 Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall)

Mixed design yang didasarkan pada metode Marshall dikembangkan oleh Bruce Marshall dan selanjutnya distandarisasi oleh ASTM atau AASHTO melalui berbagai modifikasi, antara lain ASTM D 1559-76 dan AASHTO T-245-90. Prinsip dasar dari metode Marshall mencakup evaluasi karakteristik stabilitas dan aliran, di samping pemeriksaan densitas dan karakteristik pori dalam campuran padat yang dihasilkan. Alat Marshall adalah alat tekan hidrolik yang dilengkapi dengan cincin pembuktian, yang memiliki kapasitas maksimum 22,2 kilonewton (5000 pon), dan pengukur aliran. Proving ring digunakan untuk pengukuran nilai stabilitas, sedangkan flow meter digunakan untuk pengukuran pelelehan atau aliran plastik. Spesimen Marshall menunjukkan morfologi silinder, ditandai dengan diameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). Prosedur pengujian

Marshall mengikuti Metode Spesifikasi Jalan Raya 2010 Revisi 4 (2018). Secara umum, uji Marshall mencakup beberapa langkah kunci, yaitu persiapan benda uji, penentuan berat jenis curah, evaluasi stabilitas dan nilai aliran, dan perhitungan sifat volumetrik benda uji. Pada persiapan benda uji, ada 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 = r didapat dari pembacaan arloji flow yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm.

- b. Stabilitas

Stabilitas mengacu pada kemampuan lapisan kaku untuk menahan pengaruh beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen, seperti pembentukan gelombang, alur, atau munculnya aspal di permukaan. Nilai stabilitas spesimen ditentukan dengan mengukur pembacaan pada jam stabilitas pengukur tekanan Marshall. Angka yang diberikan telah disesuaikan dengan menggunakan nomor kalibrasi alat dan nomor koreksi ketebalan khusus untuk benda uji.

Nilai stabilitas (stability) dapat dihitung dengan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$S = P \times r \quad (2.13)$$

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)

Marshall Quotient (MQ) adalah metrik yang melibatkan perbandingan nilai stabilitas dan nilai aliran. Hubungan antara nilai Marshall Quotient (MQ) dengan sifat-sifat campuran dapat digambarkan sebagai berikut: semakin besar nilai MQ, campuran cenderung menunjukkan sifat yang lebih kaku, sedangkan penurunan nilai MQ sesuai dengan sifat campuran yang lebih fleksibel.

Perhitungan nilai Marshall Quotient dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$MQ = \frac{S}{t} \quad (2.14)$$

Dengan:

S = Nilai stabilitas terpadang (Kg).

t = Nilai kelelahan/flow (mm).

MQ = Nilai Marshall Quotient (Kg/mm).

d. Density

Kepadatan mengacu pada tingkat kekompakan yang ditunjukkan oleh campuran aspal setelah proses pemadatan. Kepadatan campuran meningkat ketika nilai kerapatannya meningkat. Kepadatan suatu bahan tergantung pada berbagai faktor, termasuk komposisi dan karakteristik bahan penyusunnya, distribusi ukuran partikel dalam campuran, tingkat pemadatan yang diterapkan, suhu saat pemadatan terjadi, dan proporsi aspal yang ada.

Nilai kepadatan (density) dapat dihitung dengan 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 adalah nilai persentase rongga udara yang ada dalam campuran, untuk mendapatkan nilai VIM dihitung dengan 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 adalah nilai presentase rongga yang terisi aspal efektif, nilai VFA dapat dihitung dengan 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 adalah Kehadiran rongga udara di dalam butir agregat dalam campuran agregat aspal kompak merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan. Ini termasuk rongga udara itu sendiri dan kadar aspal efektif, yang mengacu pada persentase volume rongga dalam agregat yang terisi aspal, dinyatakan sebagai persentase dari volume total.

VMA adalah persentase kadar mineral pada sample briket yang dapat dihitung dengan persamaan 2.19 sebagai berikut :

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

Dengan:

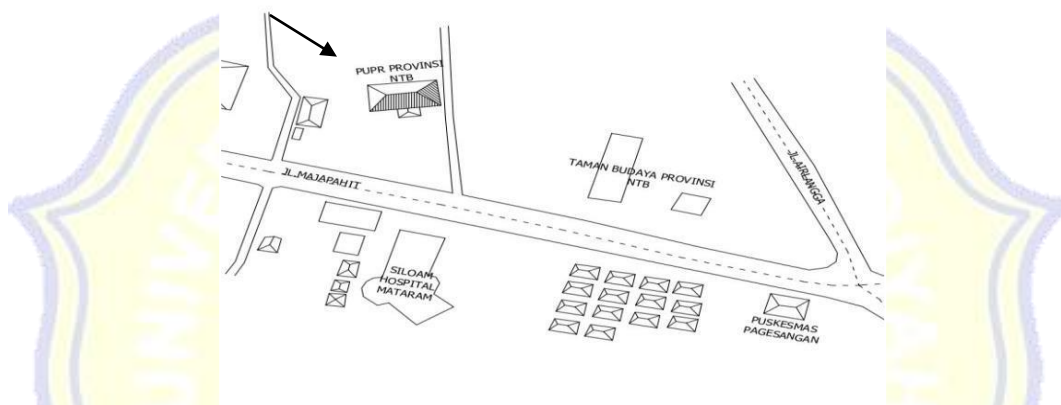
l = Persentase volume agregat

Kadar aspal optimal (KAO) dapat ditentukan berdasarkan kriteria uji Marshall tersebut di atas. Penentuan apakah suatu campuran memenuhi standar Bina Marga dapat dilakukan berdasarkan kadar aspal yang optimal. Spesifikasi Divisi 6 Bina Marga menguraikan persyaratan yang diperlukan untuk campuran beton aspal AC, juga dikenal sebagai laston.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian dan Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Provinsi Nusa Tenggara Barat Jl. Majapahit No.08 Mataram NTB. Dimana dalam penelitian ini akan menggunakan Marshall test dengan filler pengganti abu cangkang kemiri, Metode yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Lokasi Pengujian
(Sumber: AutoCAD, 2023)

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini yaitu:

1. Data Primer

Data primer mengacu pada informasi yang dikumpulkan secara sistematis melalui metode independen, seperti pengungkapan bertahap dari penelitian yang sedang berlangsung atau penerapan prosedur pengujian. Analisis hasil pengujian dalam penelitian ini menggabungkan data primer yang meliputi hasil pengujian Marshall, pengujian kadar aspal efektif, hasil pengujian Marshall untuk kadar aspal optimum, dan volume benda uji.

2. Data Sekunder

Data sekunder ialah informasi yang dikumpulkan langsung oleh peneliti, sedangkan data sekunder mengacu pada data yang telah dikumpulkan oleh peneliti atau sumber lain dan dapat diakses untuk digunakan dalam upaya penelitian selanjutnya. Bentuk data khusus ini bersumber dari peneliti yang melakukan upaya pengumpulan data dengan tujuan tertentu, selanjutnya menyebarluaskan data yang diperoleh untuk memudahkan pemanfaatannya oleh sesama peneliti.

3.3 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 saringan standar (yang terdiri dari ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " #4, #8, #16, #30, #50, dan #200. Untuk mengurutkan ukuran agregat dari yang terkecil sampai terbesar seperti pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Saringan Standar STM

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

b) Satu set alat Pengujian Volumetrik

Untuk mengukur volume cairan dan/atau memanipulasinya dengan presisi sesuai dengan karakteristik spesifiknya. Seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Alat Pengujian Volumetrik
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

2. Oven dan pengatur suhu.

Suatu alat digunakan untuk memfasilitasi proses pengeringan benda uji pada kondisi suhu tertentu untuk memperoleh data yang diperlukan. Seperti pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Oven atau Pemanas Agregat
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

3. Timbangan Digital

Alat yang digunakan untuk mengukur berat benda uji pada penelitian ini terdiri dari timbangan dengan ketelitian 0,1 gram. Seperti pada Gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3.5 Timbangan Digital
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

4. Termometer

Alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur aspal. Seperti pada Gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3.6 Termometer
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

5. Alat pembuat briket campuran aspal hangat terdiri dari :
- Satu set cetakan (mold) berbentuk silinder dengan diameter 101,45 mm, tinggi 80 mm lengkap dengan plat atas dan leher sambung. Seperti pada Gambar 3.7 sebagai berikut:



Gambar 3.7 Cetakan Benda Uji Briket
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

- 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 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.8 Alat Penumbuk
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

- c. Satu Set Alat Pengangkat Briket (Dongkrak Hidrolis) yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji didalam mold. Seperti pada Gambar 3.9 sebagai berikut:



Gambar 3.9 Dongkrak Hidrolis

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

6. Satu Set Water Bath yang digunakan untuk merendam benda uji didalam suhu 60°C selama 30 menit. Seperti pada Gambar 3.10 sebagai berikut:



Gambar 3.10 Water Bath

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

7. Satu set alat Marshall, terdiri dari :
- Kepala penekan yang berbentuk lengkung (Breaking Head), dengan jari – jari bagian dalam 50,8 mm (2 in)
 - 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.

Fungsi dari alat marshall untuk mengetahui nilai stabilitas dan keelehan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Seperti pada Gambar 3.11 sebagai berikut:



Gambar 3.11 Satu Set Uji Alat Marshall
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

- 8. Alat Penunjang
 - a. Panci, berfungsi sebagai wadah untuk campuran agregat campuran aspal. Seperti Gambar 3.12 sebagai berikut:



Gambar 3.12 Panci
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

- b. Wajan, spatula dan kompor gas yang berfungsi untuk memanaskan aspal. Seperti pada Gambar 3.13 sebagai berikut:



Gambar 3.13 Wajan, Spatula, dan Kompor Gas

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

- c. Sarung tangan, berfungsi untuk melindungi tangan ketika memanaskan campuran aspal. Seperti pada Gambar 3.14 sebagai berikut:



Gambar 3.14 Sarung Tangan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

3.4 Bahan

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

1. Agregat kasar dan agregat halus



Gambar 3.15 Agregat kasar dan agregat halus
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

2. Aspal penetrasi 60 / 70



Gambar 3.16 Aspal cair
(Sumber: Google, 2023)

3. Filler atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu cangkang kemiri, Gambar 3.17 abu cangkang kemiri dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 3.17 Abu Cangkang Kemiri yang lolos saringan No.200
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

4. Air



Gambar 3.18 Air

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

3.5 Rancangan Campuran Aspal Untuk Memperoleh KAO

Proses penentuan jumlah benda uji yang akan dilakukan meliputi penentuan median kadar aspal (P_b). Selanjutnya kadar aspal antara digunakan sebagai acuan untuk pembuatan benda uji, dengan tujuan untuk mencapai kadar aspal optimal (KAO) dalam suatu campuran. Dalam merumuskan komposisi campuran aspal, penentuan kadar aspal optimal dilakukan dengan menggunakan rumus yang diturunkan dari spesifikasi Depkimpraswil tahun 2002, seperti diuraikan di bawah ini:

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (FF) + \text{Konstanta} \dots (3.1)$$

Dengan:

P_b = kadar aspal rencana perkiraan

CA = agregat kasar (tertahan saringan No. 4)

FA = agregat halus (lolos No. 4 tertahan saringan No. 200)

FF = bahan pengisi (lolos saringan No. 200)

K = 0,5-1 untuk laston

Rencana setelah mendapatkan kadar aspal yaitu membuat variasi campuran menggunakan abu cangkang kemiri sebagai *filler* dengan variasi campuran 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Adapun jumlah dari sampel yang dibutuhkan pada saat melakukan pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Pengujian

	Variasi <i>Filler</i>	<i>Marshal test</i>
	0	3 Buah
	1	3 Buah
	2	3 Buah
	3	3 Buah
	Total	12 Buah

3.6 Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan:

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

3.6.1 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.

3.6.2 Pembuatan benda uji

Desain campuran dilakukan sebelum produksi benda uji. Perencanaan desain campuran mencakup berbagai komponen seperti perencanaan gradasi agregat, penentuan kadar aspal, dan pengukuran komposisi masing-masing fraksi, termasuk agregat, aspal, dan bahan pengisi. Gradasi yang digunakan mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) dan mengikuti gradasi rencana campuran yang dituangkan dalam Spesifikasi Jalan Raya Umum Tahun 2018.

Prosedur pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap I

Sebelum memulai tugas, penting untuk mengumpulkan dan mengatur alat dan bahan yang diperlukan. Selanjutnya, komposisi campuran yang tepat dapat ditentukan dengan menimbang butiran agregat untuk setiap komponen, sesuai dengan proporsi yang ditentukan. Proses ini memastikan tercapainya komposisi yang diinginkan.

2. Tahap II

Tentukan massa bahan pengisi, agregat, dan penetrasi aspal 60/70, kemudian gabungkan semua bahan penyusun untuk mencapai massa kumulatif campuran sebesar 1200 gram.

3. Tahap III

Setelah agregat dipanaskan di dalam oven, agregat dipindahkan ke dalam panci yang telah ditempatkan pada timbangan digital. Selanjutnya, jumlah agregat yang telah ditentukan dituangkan ke dalam panci, sesuai dengan komposisinya. Berat aspal kemudian ditentukan dengan menuangkannya ke agregat.

4. Tahap IV

Setelah agregat digabungkan dengan aspal, campuran tersebut diaduk secara menyeluruh di atas kompor gas untuk memastikan permukaan agregat tertutup sepenuhnya dengan aspal. Setelah agregat tercampur rata, agregat dibiarkan tidak terganggu sampai suhu mencapai kisaran 120°C hingga 140°C untuk memfasilitasi pemadatan. Selanjutnya, campuran tersebut ditempatkan ke dalam cetakan dan lapisan kertas diterapkan baik di bagian bawah dan atas cetakan penumbuk.

5. Tahap V

Solusi yang telah dimasukkan ke dalam wadah dan kemudian disegel dengan lapisan kertas mengalami total 75 tumbukan pada permukaan atas dan bawahnya. Setelah penerapan gaya pada benda uji dan pendinginan berikutnya selama kira-kira dua jam, benda uji yang

didinginkan diekstraksi dari cetakan mol dengan menggunakan dongkrak yang telah disiapkan sebelumnya.

6. Tahap VI

Setelah spesimen telah diekstraksi dari cetakan mol, selanjutnya dilakukan pengukuran berat di udara dan air, serta saat jenuh. Setelah ini, spesimen direndam dalam bak air selama 30 menit. Selanjutnya, dilakukan uji volumetrik dan Marshall.

3.6.3 Tahap Pengujian Material

Angka koreksi dapat ditentukan berdasarkan tebal benda uji, dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Angka Koreksi Pada Perhitungan 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	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	1.37			

3.7 Volumetrik Test

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui VIM dari masing-masing benda uji. Adapun tahap pengujian nya adalah sebagai berikut :

1. Tahap I

Benda uji dipilah berdasarkan ukurannya untuk dilakukan perendaman selama 1 hari dengan tujuan agar dapat menghilangkan debu, setelah direndam lalu kemudian dilakukan penjemuran.

2. Tahap II

Volume *bulk* dan *densitas* dihitung dengan rumus yang ada pada volumetrik test setelah ditemukan hasil pengukuran tinggi, berat, dan diameter benda uji.

3. Tahap III

Pada tahap ini dilakukan perhitungan berat jenis terhadap setiap benda uji.

4. Tahap IV

Pemeriksaan dan perhitungan ciri-ciri sifat marshall dilakukan pada tahap ini.

5. Tahap V

Setelah perhitungan yang dilakukan pada tahap sebelumnya akan diperoleh grafik yang nantinya akan digabungkan dengan grafik pada tahap ini.

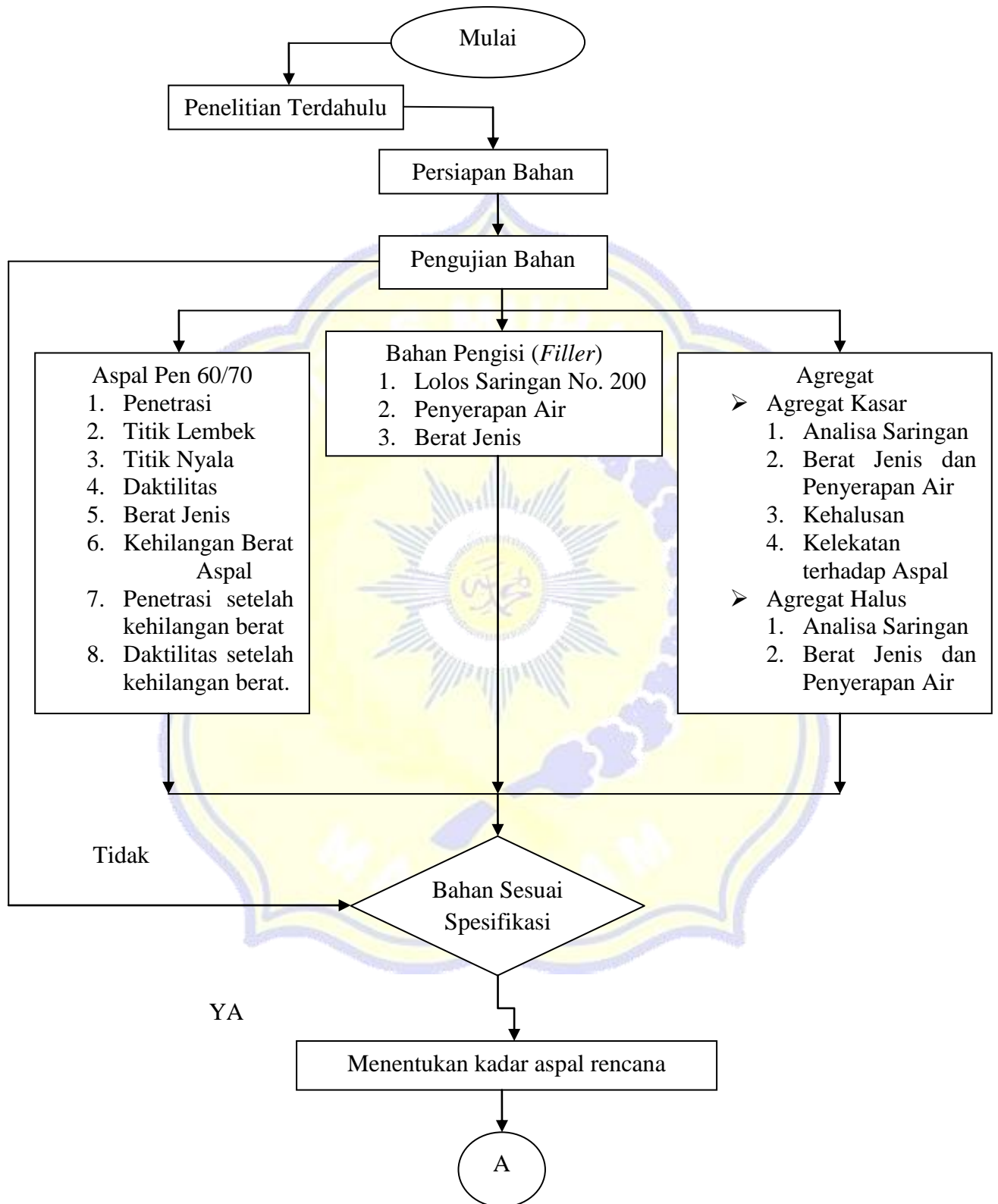
3.8 Marshall Test

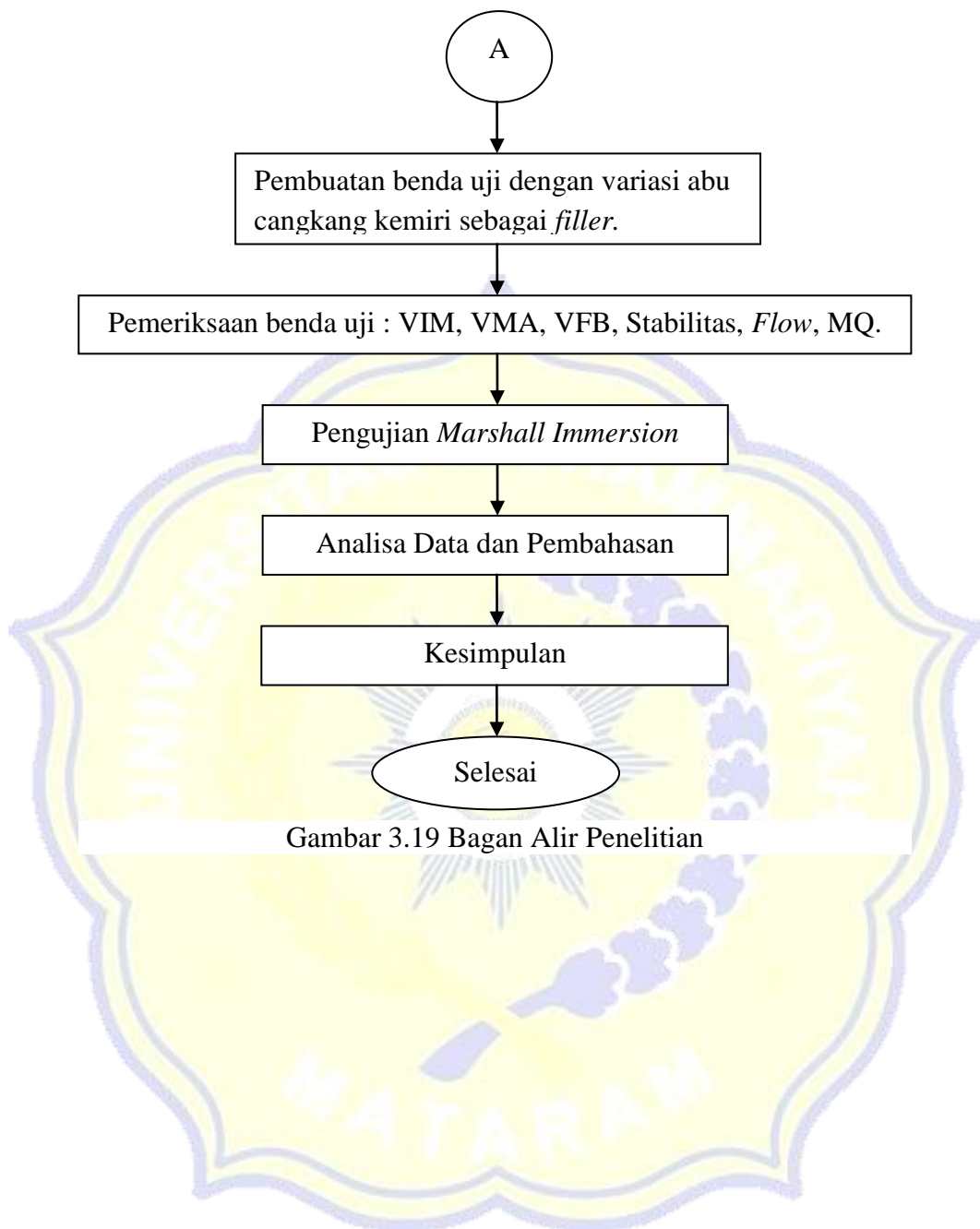
Pengujian Marshall adalah Eksperimen dilakukan untuk menilai ketahanan (stabilitas) campuran aspal terhadap peleburan (aliran) plastik. Ada korelasi positif antara nilai stabilitas campuran dan nilai aliran yang sesuai, sehingga peningkatan nilai stabilitas menyebabkan peningkatan nilai aliran yang sesuai. Berdasarkan nilai stabilitasnya yang tinggi, dapat disimpulkan bahwa aspal memiliki kemampuan menahan berbagai beban.

Langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji direndam selama kurang lebih 24 jam sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Benda uji direndam dalam Water Bath (bak perendam) selama 30 – 40 menit dengan suhu 60 °C.
3. Benda uji dikeluarkan kemudian diletakkan pada alat uji Marshall untuk dilakukan pengujian.
4. Dari hasil pengujian ini didapat nilai stabilitas dan kelelahan (flow).
5. Perhitungan nilai stabilitas dan Marshall quotient di dapatkan dengan rumus persamaan 3.2.

3.9 Diagram Alir





Gambar 3.19 Bagan Alir Penelitian