

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LIMBAH ABU ARANG KAYU MINDI
SEBAGAI BAHAN PENGISI TERHADAP
KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED
ASPHALT (HRA)*
*UTILIZATION OF MINDI WOOD CHARCOAL ASH
WASTE AS A FILLER MATERIAL ON THE
CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT
(HRA) MIXTURES***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Fadlurrohman Asshiddiqi
20511221**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LIMBAH ABU ARANG KAYU MINDI
SEBAGAI BAHAN PENGISI TERHADAP
KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED
ASPHALT (HRA)*
(UTILIZATION OF MINDI WOOD CHARCOAL ASH
WASTE AS A FILLER MATERIAL ON THE
CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT
(HRA) MIXTURES)**

Disusun oleh

Fadlurrohman Asshiddiqi
20511221

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 22 Juli 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Ir. Muhammad Abdul Hadi, M.T.
NIK: 215111307

Penguji 1

Pravogo Afang Pravitno, M.Sc.
NIK: 205111303

Penguji II

Dr. Eng. Faizul Chasanah, M.Sc.
NIK: 145110101

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Yonalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

30/7/2025

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,

Fadlurrohman Asshiddiqi

(20511221)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Pemanfaatan Limbah Arang Kayu Mindi Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu upaya untuk mencari alternatif bahan material yang dapat digunakan dalam pembangunan infrastruktur jalan raya, khususnya dalam campuran *HRA*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas Akhir ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungannya. Terutama kepada:

1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. dan Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. Sebagai dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran, pengetahuan baru, serta masukan yang sangat berarti.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Staff Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, yang telah membantu dan membimbing dalam penelitian.
5. Bapak Sukahar, S.T. dan Ibu Shofi Noor Aini S.T., sebagai orang tua penulis serta keluarga, yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang sangat berarti selama saya menajalni proses pendidikan ini. Tanpa mereka, saya tidak akan mampu menghadapi segala tantangan yang ada.

6. Teman teman selama perkuliahan yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi selama penyusunan laporan Tugas Akhir. Wiji, Yoga, Dony, Bibit, Bastyan, Axsyal, Fredy, Mukti, Rakha, dan teman teman Angkatan 2020.

Yogyakarta, 28 Juli 2025

Penulis,



Fadlurrohman Ashiddiqi
(20511221)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTARCT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Abu Arang sebagai Bahan Pengisi pada Campuran Aspal	5
2.2 Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	7
2.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	8
BAB III LANDASAN TEORI	15

3.1	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	15
3.2	Penggunaan Bahan Pengisi dalam Campuran Aspal	15
3.3	Sifat dan Karakteristik Material Penyusun <i>HRA</i>	16
3.3.1	Agregat	16
3.3.2	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	18
3.3.3	Gradasi Agregat <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	18
3.3.4	Aspal	19
3.3.5	Abu Arang Kayu Mindi	20
3.4	Karakteristik <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	21
3.4.1	Daya Tahan (<i>Durability</i>)	21
3.4.2	Fleksibilitas (<i>Flexibility</i>)	21
3.4.3	Stabilitas (<i>Stability</i>)	22
3.4.4	Tahanan Gelincir (<i>Skid Resistance</i>)	22
3.5	Pengujian <i>Marshall</i>	22
3.5.1	Pengujian Stabilitas	22
3.5.2	<i>Flow</i>	23
3.5.3	<i>Marshall Quotient</i>	24
3.5.4	<i>Density</i>	25
3.5.5	Pengujian Jenis Volume Pori	25
3.6	<i>Index of Retained Strenght (IRS)</i>	29
3.7	<i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	29
3.8	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	30
3.9	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	30
BAB IV METODE PENELITIAN		31
4.1	Metode Penelitian	31

4.2	Metode Pengambilan Data	31
4.3	Metode Pengambilan Sampel	31
4.4	Tahapan Penelitian	32
4.4.1	Persiapan dan Pemeriksaan Material	32
4.4.2	Persiapan Alat	34
4.4.3	Persiapan Bahan	35
4.4.4	Perencanaan Campuran	35
4.4.5	Pembuatan Campuran Benda Uji	39
4.4.6	Pengujian <i>Marshall</i>	40
4.4.7	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	41
4.4.8	Pengujian <i>Indeks of Retained Strength (IRS)</i>	41
4.4.9	Pengujian <i>Tensile Strenght Ratio (TSR)</i>	42
4.4.10	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	42
4.5	Analisis Data	42
4.5.1	Analisis Karakteristik <i>Marshall</i>	42
4.5.2	Analisis Pengujian <i>IRS</i>	43
4.5.3	Analisis Pengujian <i>ITS</i>	44
4.5.4	Analisis Nilai <i>TSR</i>	44
4.5.5	Analisis Nilai <i>CL</i>	44
4.6	Bagan Alir Penelitian	44
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		47
5.1	Hasil Pengujian dan Bahan Campuran	47
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	47
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	47

5.1.3	Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	48
5.2	Pembahasan	52
5.2.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	52
5.2.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	54
5.2.3	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	54
5.2.4	Hasil Pengujian Karakteristik Bahan pengisi (<i>filler</i>)	55
5.2.5	Pembahasan Kadar Aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	56
5.3	Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi Filler Abu Arang Kayu Mindi	72
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		77
6.1	Kesimpulan	77
6.2	Saran	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya	9
Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar	17
Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus	17
Tabel 3.3 Batasan Gradasi Agregat Campuran <i>HRA</i> Tipe C	18
Tabel 3.4 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Laston (AC)	19
Tabel 3.5 Ketentuan Aspal Keras Penetrasi 60/70	20
Tabel 3.6 Kandungan Yang Terdapat Dalam Arang Kayu	21
Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> Tipe C	35
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%	37
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%	37
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%	37
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%	38
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7,5%	38
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO	38
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji yang Dibutuhkan untuk Setiap Pengujian KAO	39
Tabel 5.1 Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	47
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	48
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus	48
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	48

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	48
Tabel 5.6 Berat Abu Batu dan AAK Mindi	50
Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> pada KAO AAK Mindi	51
Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian <i>IRS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi	51
Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian <i>ITS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi	51
Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian <i>TSR</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi	52
Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian <i>Cantabro Loss</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi	52
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi pada Campuran <i>HRA</i>	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas	23
Gambar 3.2	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	24
Gambar 3.3	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	24
Gambar 3.4	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	27
Gambar 3.5	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	28
Gambar 3.6	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	28
Gambar 4.1	Gradasi Agregat Campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> Tipe C	36
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 5.1	Penentuan KAO dengan Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi	47
Gambar 5.2	Gambar <i>Filler</i> AAK Mindi	48
Gambar 5.3	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas	56
Gambar 5.4	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Flow</i>	57
Gambar 5.5	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>MQ</i>	57
Gambar 5.6	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VITM</i>	58
Gambar 5.7	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VFWA</i>	59
Gambar 5.8	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VMA</i>	59
Gambar 5.9	Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai <i>IRS</i>	60
Gambar 5.10	Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi pada Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai Stabilitas	61
Gambar 5.11	Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi pada	

Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>Flow</i>	62
Gambar 5.12 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>MQ</i>	63
Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>ITS</i>	64
Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>VITM</i>	65
Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>VFWA</i>	66
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>VMA</i>	67
Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>IRS</i>	69
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>TSR</i>	70
Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi <i>Filler AAK</i> Mindi pada	
Campuran <i>HRA</i> terhadap Nilai <i>CL</i>	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	83
Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal	84
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar	85
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	86
Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas	87
Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4 / TCE	88
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	89
Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	90
Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar	91
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	92
Lampiran 11 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	93
Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu	94
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Abu Arang Kayu Mindi	95
Lampiran 14 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Menentukan KAO	96
Lampiran 15 Pengujian <i>IRS</i> Untuk Menentukan KAO	97
Lampiran 16 Rekapitulasi Perhitungan KAO	98
Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall Pada <i>Filler</i> Abu Arang Kayu Mindi	99
Lampiran 18 Hasil Pengujian <i>IRS</i>	100
Lampiran 19 Hasil Pengujian <i>ITS</i>	101
Lampiran 20 Hasil Pengujian <i>TSR</i>	102

Lampiran 21 Rekap Hasil Penelitian <i>ITS</i> dan <i>IRS</i>	103
Lampiran 22 Hasil Pengujian <i>CL</i>	104
Lampiran 23 Rekapitulasi Pengujian <i>Filler</i> AAK Mindi	105

DAFTAR NOTASI

A_0	= Konstanta
A	= Persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)
B	= Berat akhir piring penampung (gr)
C	= Berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)
a	= Persentase aspal terhadap batu
b	= Persentase aspal terhadap campuran
c	= Berat benda uji sebelum direndam (gr)
d	= Berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr)
e	= Berat dalam air (gr)
f	= Volume (cm ³)
g	= Nilai <i>density</i> (gr/cc)
G_{CA}	= Berat jenis <i>bulk</i> dari fraksi campuran agregat kasar
G_{mb}	= Berat jenis <i>bulk</i> dari campuran aspal yang telah dipadatkan
h	= Berat jenis maksimum teoritis campuran
L	= Persentase kehilangan berat (%)
I	= Nilai <i>VMA</i> (%)
m	= Nilai rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>) (%)
MQ	= Nilai <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
Mo	= Berat sebelum diabrasi (gr)
Mi	= Berat setelah diabrasi (gr)

n	= Nilai rongga dalam campuran (<i>VITM</i>) (%)
PCA	= Persentase campuran agregat kasar dalam total campuran aspal
q	= Angka stabilitas (kg)
r	= angka koreksi tebal benda uji
r	= Indeks penurunan stabilitas (%)
S ₁	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah direndam selama 0,5 jam
S ₂	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah direndam selama 24 jam
T1	= Rata-rata nilai <i>ITS</i> tanpa rendaman
T2	= Rata-rata nilai <i>ITS</i> setelah perendaman 24 jam (kg)
t _{l+1}	= Periode perendaman

DAFTAR SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>America Association of State Highway and Transport</i>
<i>AAK</i>	= Abu Arang Kayu
<i>BS</i>	= <i>British Standard</i>
<i>HRA</i>	= <i>Hot Rolled Asphalt</i>
<i>IRS</i>	= <i>Index of Retained Stenght</i>
<i>ITS</i>	= <i>Indirect Tensile Stenght</i>
<i>KAO</i>	= Kadar Aspal Optimum
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>MS</i>	= <i>Marshall</i>
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>TSR</i>	= <i>Tensile Strenght Ratio</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Void Filled With Asphalt</i>
<i>VITM</i>	= <i>Void in the Total Mix</i>
<i>VMA</i>	= <i>Void in Mineral Agregate</i>

ABSTRAK

Fasilitas jalan raya yang berkualitas dapat mendukung berbagai aktivitas dan kebutuhan manusia dalam hal kepentingan mobilitas hingga mencapai tujuan. Kebutuhan dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur, terutama pada jalan raya terus meningkat. Sebagai alternatif atas meningkatnya permintaan bahan material, campuran diganti dengan menggunakan abu arang kayu mindi sebagai bahan pengisi (*filler*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu arang kayu mindi sebagai substitusi *filler* pada karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* yang meliputi kekuatan struktur, volumetrik, dan durabilitas.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap pengujian laboratorium. Tahapan pertama yakni dengan menguji sifat material agregat dan aspal. Tahap ke kedua menentukan kadar aspal optimum pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan variasi kadar aspal sebesar 5,5%, 6%, 6.5%, 7%, dan 7.5%. Tahap selanjutnya dilakukan beberapa pengujian berdasarkan pembagian parameter yakni berdasarkan volumetrik, kekuatan dan durabilitas. Pengujian tersebut terdiri dari *VITM*, *VMA*, *VFWA*, Stabilitas, *flow*, *MQ*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL* dengan menggunakan bahan pengganti pada *filler* abu arang kayu dengan kadar variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan stabilitas pada campuran *HRA* terjadi hingga kadar 50% *filler*, mencapai 1179,48 kg, kemudian turun hingga 100%. *Flow* terus menurun hingga 100% kadar *filler* dengan nilai 3,30 mm, tetapi masih dalam spesifikasi. Nilai *ITS* terus menurun hingga 100% dengan nilai 476,01 kPa. *IRS* menunjukkan peningkatan hingga kadar 50% *filler* mencapai 95,41% kemudian menurun hingga 100%. Nilai *CL* terus meningkat hingga 100% kadar arang kayu mindi dengan nilai 8,10%.

Kata Kunci : *hot rolled asphalt*, abu arang kayu, bahan pengisi

ABSTARCT

High-quality road infrastructure can support various human activities and needs in terms of mobility to reach destinations. The demand for infrastructure development and maintenance, particularly for roads, continues to grow. As an alternative to the increasing demand for construction materials, the mixture is replaced using mindi wood charcoal ash as a filler material. This study aims to investigate the effect of mindi wood charcoal ash as a filler substitute on the characteristics of Hot Rolled Asphalt mixtures, including structural strength, volumetric properties, and durability.

In this study, several stages of laboratory testing were conducted. The first stage involved testing the properties of aggregate and asphalt materials. The second stage determined the optimum asphalt content in Hot Rolled Asphalt mixtures with varying asphalt contents of 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, and 7.5%. The subsequent stages involved several tests based on parameter divisions, namely volumetric, strength, and durability. These tests included VITM, VMA, VFWA, Stability, Flow, MQ, IRS, ITS, TSR, and CL, using a substitute material for wood charcoal filler with varying concentrations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%.

The results of the study show that the stability of the HRA mixture increases up to a filler content of 50%, reaching 1179.48 kg, then decreases to 100%. The flow continues to decrease to a filler content of 100% with a value of 3.30 mm, but is still within specifications. The ITS value continues to decrease to 100% with a value of 476.01 kPa. The IRS shows an increase up to a 50% filler content, reaching 95.41%, then decreases to 100%. The CL value continues to increase up to a 100% mindi wood charcoal content with a value of 8.10%.

Keywords: *hot rolled asphalt, wood charcoal ash, filler material*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan jalan besar yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan lain (Mashuri dkk, 2021). Fasilitas jalan raya yang berkualitas dapat mendukung berbagai aktivitas dan kebutuhan manusia dalam hal kepentingan mobilitas hingga mencapai tujuan. Tetapi, saat ini masih banyak terdapat jalan yang rusak, dikarenakan kualitas jalan yang kurang baik, dengan banyak ruas jalan yang mengalami kerusakan dengan meningkatnya beban lalu lintas. Pengelolaan yang efektif terhadap berbagai dampak pembangunan jalan raya adalah hal yang mutlak diperlukan. Hanya dengan cara ini kita dapat menjamin bahwa pembangunan jalan raya bersifat berkelanjutan dan memberikan keuntungan bagi semua pihak yang terlibat. Hal ini menunjukkan perlunya perbaikan dan pemeliharaan rutin pada jalan raya guna memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan serta meningkatkan efisiensi transportasi secara keseluruhan.

Perkerasan lentur menjadi salah satu jenis perkerasan jalan yang umum digunakan untuk infrastruktur. Perkerasan ini mengandalkan kombinasi beberapa lapis material yang berbeda untuk menyebarkan beban dan memberikan permukaan yang rata dan nyaman. Saat ini, kebutuhan dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur, terutama pada jalan raya terus meningkat. Dengan peningkatan permintaan untuk bahan material konstruksi, terutama pada bahan pengisi campuran aspal atau *filler*. Diperlukan alternatif lain untuk mengatasi kebutuhan pada *filler* yang semakin meningkat.

Bahan pengisi (*filler*) tidak dapat diabaikan dalam perkerasan karena berperan dalam meningkatkan kekuatannya. Fungsi bahan pengisi menurut Sukirman (2016) untuk mengisi rongga antar partikel agregat dan pori-pori yang ada di dalam partikel agregat itu sendiri. Peningkatan limbah dari kegiatan industri juga berpotensi memberikan manfaat ganda karena dapat digunakan sebagai bahan

pengisi tersebut. Bahan pengisi abu arang kayu dapat menjadi alternatif sebagai bahan pengganti, karena ketersediaannya cukup banyak. Menurut Ihsanu (2022) Abu arang kayu (AAK) merupakan produk dari proses kimia yang terjadi saat kayu terbakar. Proses pembakaran kayu menghasilkan abu yang memiliki warna cerah keunguan. Variasi umur pohon juga dapat mempengaruhi komposisi kimia kayu. Parameter seperti kadar abu, silika, kelarutan dalam NaOH 1%, dan air panas, menunjukkan variasi respons yang tidak stabil seiring dengan bertambahnya usia tanaman. Abu arang kayu sudah cukup banyak digunakan penelitian sebagai *filler* pada campuran beraspal, antara lain Laras dkk. (2022) pada campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course*, Rohman (2020) pada *Aspal Hot Rolled Sheet – Wearing Course* dan *Asphalt Concrete – Wearing Course*, Putra dan Firdausi (2019) dan Maulana (2023) pada campuran perkerasan *Asphalt Concrete – Wearing Course*. Dengan menggunakan alternatif abu arang kayu sebagai *filler* dapat memberikan dampak positif terhadap campuran aspal.

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan campuran panas aspal – agregat bergradasi senjang, memiliki sifat tahan keausan, perubahan cuaca, serta lebih lentur. Jumlah fraksi agregat halus dan bahan tambah adalah salah satu kunci kekuatan campuran, *HRA* memiliki perbedaan sifat dengan Beton Aspal, (Riyanto dkk. 2022). Sedangkan menurut Lalamentik (2016) *Hot Rolled Asphalt (HRA)* adalah campuran aspal yang memiliki sifat elastis yang tinggi dan mengandung lebih banyak agregat halus daripada campuran aspal lainnya. Oleh karena itu, bahan pengisi (*filler*) memainkan peran yang sangat penting untuk menentukan kekuatan campuran. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi timpang, *filler*, dan aspal keras yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Campuran *HRA* memiliki ketahanan terhadap beban lalu lintas yang berat, memiliki kemampuan menyesuaikan dengan perubahan suhu, kandungan pengikat yang baik.

Harapan penelitian ini sebagai penambah referensi tentang pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai *filler* pengganti pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dan mendapatkan hasil yang baik dari abu batu.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa pertanyaan yang mungkin menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan AAK mindi sebagai pengganti *filler* terhadap kekuatan struktur pada campuran *HRA*?
2. Bagaimana pengaruh AAK mindi sebagai *filler* pengganti campuran *HRA* terhadap parameter volumetrik?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan AAK mindi sebagai *filler* pengganti terhadap durabilitas pada campuran *HRA*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian tugas akhir:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan AAK mindi sebagai filler pengganti terhadap kekuatan struktur pada campuran *HRA*.
2. Mengetahui pengaruh AAK mindi sebagai *filler* pengganti terhadap volumetrik pada campuran *HRA*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan AAK mindi sebagai *filler* pengganti terhadap durabilitas pada campuran *HRA*.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, Standar Nasional Indonesia dan *British Standard 594-1* : 2005.
2. Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan abu arang kayu mindi sebagai *filler*.
3. Tidak melakukan pengujian kandungan unsur mineral yang terdapat dalam limbah AAK mindi.
4. Persentase pada limbah abu arang kayu mindi yang diganti adalah 25%, 50%, 75%, dan 100% *filler* terhadap berat agregat lolos saringan No. 200.

5. Aspal yang digunakan untuk pengujian berjenis aspal penetrasi Pertamina 60/70, dan sifat kimia aspal penetrasi tidak dibahas secara menyeluruh.
6. Nilai kadar aspal yang digunakan untuk menentukan nilai KAO adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.
7. Bahan abu arang kayu mindi sebagai substitusi *filler* diambil di PT. Karya Cipta Unggul Nusantara, Kab.Demak.
8. Komposisi mineral unsur abu arang kayu mindi tidak diuji dalam penelitian ini.
9. Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia digunakan untuk melakukan penelitian ini.
10. Pengujian dilakukan dengan mengevaluasi karakteristik volumetrik campuran aspal berdasarkan parameter *VMA*, *VFWA*, dan *VITM*.
11. Evaluasi pengujian terhadap kekuatan struktur didasarkan pada stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *ITS*.
12. Evaluasi pengujian terhadap durabilitas berdasarkan pada parameter *IRS*, *TSR*, dan *CL*.
13. Penelitian ini tidak menyertakan pengujian stabilitas dinamis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Abu Arang sebagai Bahan Pengisi pada Campuran Aspal

Studi ini memerlukan *review* literatur untuk mengidentifikasi dan memetakan masalah yang terkait dengan penggunaan limbah abu arang sebagai bahan pengisi dalam campuran *HRA*, serta untuk mempersempit fokus permasalahan yang ada. Analisis literatur ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini. Beberapa hasil dari analisis literatur yang relevan adalah sebagai berikut.

Pratama dan Hadi (2024) melakukan penelitian menggunakan abu arang kayu mindi sebagai pengganti bahan pengisi pada campuran *Stone Matrix Asphalt* (*SMA*). menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas campuran *SMA* terjadi hingga kadar 25% *filler* abu arang kayu, mencapai 1028,53 kg, kemudian turun pada kadar 50% hingga 100% ke stabilitas 934,99 kg. Nilai *flow* meningkat pada kadar abu arang kayu 25% hingga 100%. Nilai *IRS* meningkat hingga 50% namun menurun pada 75% dan 100% dengan nilai tetap di atas standar 90%. Nilai *ITS* terus menurun hingga 100% dengan hasil 454,14 kPa, dan *draindown* menurun hingga 0,03% pada kadar 100%. *CL* meningkat hingga 15,59% pada kadar abu arang kayu 100%, namun masih sesuai standar < 20%. Campuran dengan *filler* abu arang kayu 25% memiliki stabilitas tinggi namun *flow* rendah, menjadikannya kurang plastis dan mudah retak.

Syukuriah dkk. (2023) telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan serbuk arang tempurung kelapa sebagai *filler* pengganti pada campuran Laston *Asphalt Concrete – Wearing Course*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar abu arang kayu (KAO) yang diperoleh adalah sebesar 5,55% dengan penambahan *filler* sebesar 5,1% dari berat total campuran pada pengujian. Pengaruh serbuk arang tempurung kelapa sebagai bahan pengisi pada komposisi *filler* campuran perkerasan AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), dengan menggunakan

metode *Marshall* berdasarkan analisa yaitu *VMA*, *VIM*, *VFB*, *Stability*, *Flow*, *MQ*, memenuhi sesuai spesifikasi Bina Marga.

Septiani dkk. (2021) menganalisis campuran Laston Lapis Aus dengan metode pencampuran basah pada *styrofoam* sebagai bahan substitusi pada *filler*. Hasil penelitian menunjukkan Kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran aspal biasa adalah 6,50%. Kombinasi terbaik antara abu serbuk kayu (ASK) dan semen *Portland* (PC) adalah dengan perbandingan 25% ASK dan 75% PC, yang menghasilkan KAO sebesar 6,05%. Sementara itu, nilai stabilitas tertinggi dicapai dengan penambahan *styrofoam* sebesar 9%, dengan KAO 6,50% dan nilai stabilitas 1249,01 kg. Pada pengujian durabilitas, kombinasi *filler* saja tidak memenuhi standar spesifikasi dengan nilai 81,76%, namun kombinasi *styrofoam* dengan *filler* abu serbuk kayu dan semen *Portland* mencapai 96,51%, yang memenuhi standar Bina Marga Revisi 4 tahun 2018 (>90%).

Rohman dkk. (2020) sudah melaksanakan penelitian dengan memanfaatkan arang kayu sebagai bahan substitusi untuk bahan pengisi campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* dan *Asphalt Concrete – Wearing Course*. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kadar aspal optimum untuk campuran *AC-WC* adalah 5,30%, sedangkan untuk campuran *HRS-WC* adalah 7,89%. Dari pengujian campuran *AC-WC*, nilai stabilitas optimum dari uji *Marshall* adalah 1511,9 kg pada kadar *filler* 0%, dan semakin menurun dengan penambahan *filler* sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Sementara itu, pada campuran *HRS-WC*, nilai stabilitas optimum dari uji *Marshall* adalah 1899,17 kg pada kadar *filler* 0%, dan juga menurun dengan penambahan *filler* sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.

Nisumanti dan Yusuf (2019) menggunakan limbah arang cangkang kelapa sawit sebagai bahan substitusi pada campuran Laston *Asphalt Concrete – Wearing Course*. Hasil *Marshall* menunjukkan bahwa penambahan arang cangkang kelapa sawit pada aspal meningkatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi (1566,6) diperoleh pada kadar arang 4%, sementara pada kadar 3,5% dan 4,5% nilainya masing-masing adalah 1375,6 dan 1138,9. Semua nilai ini lebih tinggi dari nilai stabilitas aspal konvensional (1341,6) dan melampaui batas spesifikasi (>800 kg/mm). Namun, penggunaan arang cangkang kelapa sawit sebagai *filler*

menyebabkan nilai *VIM*, *flow*, dan *FVB* tidak memenuhi spesifikasi, sehingga tidak layak digunakan sebagai pengganti *filler* dalam campuran aspal beton. Nilai *flow* yang rendah berpotensi menyebabkan keretakan, nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat menyebabkan kerusakan rongga dan membuat aspal menjadi kedap air serta getas, dan nilai *FVB* yang rendah akan mengakibatkan campuran bersifat porous.

2.2 Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Perlu *review* literatur untuk mengidentifikasi dan memetakan masalah yang terkait dengan karakteristik dalam campuran *HRA*, serta untuk mempersempit fokus permasalahan yang ada. Analisis literatur ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini. Beberapa hasil dari analisis literatur yang relevan adalah sebagai berikut.

Riyanto dan Pramesti (2022) sudah memanfaatkan limbah plastik pada *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan teknologi daur ulang ditinjau dari aspek *Properties Marshall*, nilai ketidakrataan, dan durabilitas. Dalam penelitian ini, penambahan limbah plastik pada campuran menghasilkan Kadar Plastik Optimum (KPO) sebesar 4,7% dengan nilai Stabilitas mencapai 2133,67 kg, *flow* 3,67 mm, *VFWA* 83,48%, *VMA* 21,13%, *VITM* 3,49%, dan *MQ* 499,76 kg/mm. Ditemukan bahwa nilai ketidakrataan mencapai 1,692 m/km, menunjukkan bahwa kondisi perkerasan jalan benda uji termasuk dalam kategori baik berdasarkan indikator kondisi perkerasan jalan. Penambahan limbah plastik juga berdampak positif pada nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), meningkatkan nilainya hingga 91,60% dari nilai stabilitas normal. Spesifikasi IKS menetapkan nilai minimal sebesar 80% dari nilai stabilitas normal, sehingga campuran dengan limbah plastik dapat dianggap *durable*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran *HRA* dengan penambahan limbah plastik dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi ketidakrataan pada lapis perkerasan, serta mengurangi jumlah limbah plastik yang ada di Indonesia.

Putri dan Ritonga (2021) melakukan penelitian pengaruh suhu pemadatan terhadap indeks workabilitas dengan menggunakan *filler* abu vulkanik Gunung Sinabung pada campuran *HRA*. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi suhu

pemadatan, yaitu 90°C, 100°C, dan 120°C, terhadap indeks workabilitas *HRS-WC*. Pengujian ini melibatkan pengukuran penurunan ketinggian pada setiap interval penumbukan (15 tumbukan), dengan total 150 tumbukan untuk memperoleh nilai Indeks Workabilitas. Berdasarkan hubungan antara log jumlah putaran alat Gyratory dan porositas, *Workability Index (WI)* dari masing-masing campuran aspal panas dapat dihitung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *WI* pada campuran *HRA-HRS* dengan kadar aspal 6,1% pada suhu 90°C, 100°C, dan 120°C adalah 2,285, 2,421, dan 3,019. Hasil ini mengindikasikan adanya peningkatan *WI* seiring dengan kenaikan suhu pemadatan. Pada pengujian *Marshall*, hasil untuk 6 benda uji dengan berat 1185 gr, 1188 gr, dan 1188,2 gr menunjukkan peningkatan nilai stabilitas yang mengikuti kenaikan suhu pemadatan, yaitu 750, 804, dan 1010. Sedangkan nilai *flow* yang dihasilkan pada suhu 90°C, 100°C, dan 120°C adalah 3,8, 3,6, dan 3,5.

Lalamentik (2016) studi ini memanfaatkan mikro asbuton pada durabilitas campuran *HRA* sebagai bahan pengisi. Campuran aspal yang menggunakan mikro asbuton sebagai *filler* menunjukkan indeks kekuatan sisa yang lebih unggul, yaitu 82,3%, dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai *filler* dengan indeks 76,7%. Hal ini dapat diatributkan kepada kandungan kapur dalam asbuton yang berpotensi bereaksi dengan aspal, meningkatkan kekuatan campuran seiring berjalannya waktu. *Filler* dalam campuran *HRA*, yang merupakan salah satu komponen penting, bisa digantikan dengan bahan lain yang memiliki gradasi yang serupa tetapi lebih mudah didapatkan. Mikro asbuton terbukti memenuhi kriteria dasar campuran *HRA* dan memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dari campuran dengan *filler* semen, menunjukkan bahwa mikro asbuton adalah alternatif yang layak. Selain itu, campuran dengan mikro asbuton menjanjikan durabilitas yang lebih baik, berdasarkan hasil pengujian perendaman menggunakan metode *Marshall* standar dan modifikasi.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan *review* studi sebelumnya, terdapat perbedaan-perbedaan dengan penelitian yang dilakukan penulis. Perbedaan-perbedaan ini dapat dilihat dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriyah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	Penulis
1	Judul Penelitian	Penggunaan Mikro Asbuton sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) terhadap Durabilitas Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	Penggunaan <i>Filler</i> Arang Kayu pada Aspal <i>HRS – WC</i> dan Aspal <i>AC – WC</i>	Penggunaan <i>Styrofoam</i> dan Abu Serbuk Kayu pada Campuran Laston Lapis Aus dengan Metode Pencampuran Basah	Pemanfaatan Limbah Plastik dengan Teknologi Daur Ulang pada <i>Hot Rolled Asphalt</i> Ditinjau dari Aspek Properties <i>Marshall</i> , Nilai Ketidakrataan, dan Durabilitas	Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) Terhadap Karakteristik Laston <i>AC-WC</i>	Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai <i>Filler</i> Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran <i>Store Matrix Asphalt (SMA)</i>	Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi sebagai Bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>
2	Jenis Campuran	<i>Hot Rolled Asphalt</i>	<i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course</i> dan <i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>	<i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>	<i>Hot Rolled Asphalt</i>	<i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	<i>Hot Rolled Asphalt</i>
3	Bahan Ikat	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70
4	Bahan Tambah	Mikro Asbuton	Arang Kayu	<i>Styrofoam</i> dan Abu Serbuk Kayu	Limbah Plastik	Serbuk Arang Tempurung Kelapa	Abu Arang Kayu Mindi	Abu Arang Kayu Mindi

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Riyanto dan Pramesti (2022), Syukuriyah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	Penulis
5	Pengujian	<i>Marshall, Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i> dan <i>Marshall Imerssion</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall, ITS, IRS, TSR, Cantabro, dan Draindown</i>	<i>Marshall, ITS, IRS, TSR, dan Cantabro</i>
6	Hasil Pengujian	Campuran aspal yang menggunakan mikro asbuton sebagai <i>filler</i> menunjukkan indeks kekuatan sisa yang lebih unggul, yaitu 82,3%, dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai <i>filler</i> dengan indeks 76,7%. Hal ini dapat diatributkan	Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kadar aspal optimum untuk campuran <i>AC-WC</i> adalah 5,30%, sedangkan untuk campuran <i>HRS-WC</i> adalah 7,89%. Dari pengujian campuran <i>AC-WC</i> , nilai stabilitas optimum dari uji <i>Marshall</i> kg pada kadar <i>filler</i> 0%, dan semakin menurun dengan	Hasil penelitian diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yaitu 6,50%, kombinasi campuran abu serbuk kayu dan semen Portland yang terbaik didapat dengan perbandingan 25% ASK dan 75% PC dengan nilai KAO 6,05%, nilai stabilitas tertinggi didapat pada variasi	Dalam penelitian ini, penambahan limbah plastik pada campuran menghasilkan Kadar Plastik Optimum (KPO) sebesar 4,7% dengan nilai Stabilitas mencapai 2133,67 kg, <i>flow</i> 3,67 mm, <i>VFWA</i> 83,48%, <i>VMA</i> 21,13%, <i>VIM</i> 3,49%, dan <i>MQ</i> 499,76. Ditemukan bahwa	Nilai <i>VMA</i> , <i>VIM</i> , <i>VFB</i> , <i>Stability</i> , <i>flow</i> , dan <i>MQ</i> pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% harus memenuhi persyaratan dan standar yang ditetapkan. Beberapa tes dilakukan untuk menentukan parameter yang diperlukan seperti uji <i>Marshall</i> , uji	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas campuran <i>SMA</i> terjadi hingga kadar 25% <i>filler</i> abu arang kayu, mencapai 1028,53 kg, kemudian turun pada kadar 50% hingga 100% ke stabilitas 934,99 kg. Nilai <i>flow</i> meningkat pada kadar abu arang kayu 25%	Didapatkan kadar aspal optimum pada campuran <i>HRA</i> untuk variasi substitusi <i>filler</i> sebesar 6,95%. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan stabilitas pada campuran <i>HRA</i> terjadi hingga kadar 50% <i>filler</i> , mencapai

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Riyanto dan Pramesti (2022), Syukuriah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriyah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	Penulis
		kepada kandungan kapur dalam asbuton yang berpotensi bereaksi dengan aspal, meningkatkan kekuatan campuran seiring berjalannya waktu. <i>Filler</i> dalam campuran <i>HRA</i> , yang merupakan salah satu komponen penting, bisa digantikan dengan bahan lain yang memiliki gradasi	penambahan <i>filler</i> sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Sementara itu, pada campuran <i>HRS-WC</i> , nilai stabilitas optimum dari uji <i>Marshall</i> adalah 1899,17 kg pada kadar <i>filler</i> 0%, dan juga menurun dengan penambahan <i>filler</i> sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.	<i>styrofoam</i> 9% dengan KAO 6,50% yaitu 1249,01 kg. Nilai durabilitas pada kombinasi <i>filler</i> tidak memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 81,76 % dan kombinasi campuran <i>styrofoam</i> dengan <i>filler</i> abu serbuk kayu dan semen Portland didapat sebesar 96,51% sesuai dengan spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 4	nilai ketidakrataan mencapai 1,692 m/km, menunjukkan bahwa kondisi perkerasan jalan benda uji termasuk dalam kategori baik berdasarkan indikator kondisi perkerasan jalan. Penambahan limbah plastik juga berdampak positif pada nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), meningkatkan nilainya hingga 91,60% dari nilai stabilitas	jenis berat pengisi, uji berat agregat, dan desain tingkat aspal optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada setiap parameter yang dibutuhkan, uji <i>Marshall</i> dengan <i>filler</i> serbuk arang tempurung kelapa menghasilkan kadar aspal optimal sebesar 5,55% yang memenuhi	hingga 100%. Nilai <i>IRS</i> meningkat hingga 50% namun menurun pada 75% dan 100% dengan nilai tetap di atas standar 90%. Nilai <i>ITS</i> terus menurun hingga 100% dengan hasil 454,14 kPa, dan <i>draindown</i> menurun hingga 0,03% pada kadar 100%. <i>CL</i> meningkat hingga 15,59%	1179,48 kg, kemudian turun hingga 100%. <i>Flow</i> terus menurun hingga 100% kadar <i>filler</i> dengan nilai 3,30 mm, tetapi masih dalam spesifikasi. Nilai <i>ITS</i> terus menurun hingga 100% dengan nilai 476,01 kPa. <i>IRS</i>

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Riyanto dan Pramesti (2022), Syukuriyah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	Penulis
		yang serupa tetapi lebih mudah didapatkan. Mikro asbuton Terbukti memenuhi kriteria dasar campuran <i>HRA</i> dan memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dari campuran dengan <i>filler</i> semen, menunjukkan bahwa mikro asbuton adalah alternatif yang layak. Selain itu, campuran		tahun 2018 yaitu > 90%.	normal. Spesifikasi IKS menetapkan nilai minimal sebesar 80% dari nilai stabilitas normal, sehingga campuran dengan limbah plastik dapat dianggap durable.	spesifikasi Bina Marga untuk lapisan perkerasan AC-WC.	pada kadar abu arang kayu 100%, namun masih sesuai standar < 20%. Campuran dengan <i>filler</i> abu arang kayu 25% memiliki stabilitas tinggi namun <i>flow</i> rendah, menjadikannya kurang plastis dan mudah retak.	menunjukkan pengingkatan hingga kadar 50% <i>filler</i> mencapai 95,41% kemudian menurun hingga 100%. Nilai <i>CL</i> terus meningkat hingga 100% kadar arang kayu mindi dengan nilai 8,10%. Substitusi <i>filler</i> abu arang kayu mindi pada campuran <i>HRA</i>

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Riyanto dan Pramesti (2022), Syukuriah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						Penulis
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	
		dengan mikro asbuton menjanjikan durabilitas yang lebih baik. arang kayu 25% hingga 100%. diatributkan kepada kandungan kapur dalam asbuton yang berpotensi bereaksi dengan aspal, meningkatkan kekuatan campuran seiring berjalannya						menunjukkan hasil yang baik hingga kadar substitusi 50%. Hasil pada campuran <i>HRA</i> dengan substitusi <i>filler</i> abu arang kayu mindi masih sesuai standar Spesifikasi Bina Marga (2020).

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Riyanto dan Pramesti (2022), Syukuriah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan antara Penelitian Saat Ini dengan Penelitian yang Telah Dilakukan Sebelumnya

No	Aspek	Peneliti						
		Lalamentik (2016)	Rohman dkk. (2020)	Septiani dkk. (2021)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Syukuriah dkk. (2023)	Pratama dan Hadi (2024)	Penulis
		waktu. <i>Filler</i> dalam campuran <i>HRA</i> , yang merupakan salah satu komponen penting, bisa digantikan						

Sumber : Lalamentik (2016), Rohman dkk. (2020), Riyanto dan Pramesti (2022), Septiani dkk. (2021), Syukuriah dkk. (2023), dan Pratama dan Hadi (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

HRA merupakan campuran aspal – agregat bergradasi senjang yang memiliki workabilitas tinggi sehingga mudah dalam pengerjaannya (Riyanto dan Pramesti, 2022). Campuran aspal ini terdiri dari agregat halus, agregat kasar, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat. Setiap komponen memiliki peran penting dalam menentukan sifat mekanik dan durabilitas pada campuran aspal. *HRA* memiliki kepadatan yang tinggi, stabilitas dan kekuatan, ketahanan terhadap air, dan ketahanan aus. Metode pembuatan perkerasan yang menggunakan aspal panas bisa mengacu pada *British Standard* sebagai salah satu metode. Metode ini menekankan pada peran agregat halus dibandingkan agregat kasar, sehingga membuat campuran *HRA* menjadi sangat fleksibel dan nyaman untuk dilalui oleh kendaraan. Namun, kelemahan campuran ini adalah kurangnya fleksibilitas terhadap suhu tinggi dan sering terjadinya *blending*.

3.2 *Penggunaan Bahan Pengisi dalam Campuran Aspal*

Bahan pengisi atau *filler* adalah material halus yang ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk mengisi celah-celah di antara partikel-partikel agregat. Menurut Lamentik (2016) dalam campuran *HRA*, *filler* aspal membentuk material pasta dan berperan sebagai pelumas serta mengikat pasir untuk membentuk bahan mortar. *Filler* memiliki peran penting dalam meningkatkan kepadatan, stabilitas, dan kinerja mekanis dari campuran aspal. *Filler* yang umum digunakan termasuk semen, kapur, abu terbang, dan berbagai jenis material limbah industri. Bahan pengisi memiliki beberapa fungsi dan manfaat dalam campuran aspal, yaitu; meningkatkan kepadatan, mengurangi porositas, meningkatkan stabilitas, dan meningkatkan durabilitas. *Filler* memiliki berbagai jenis, yaitu; semen, kapur, abu terbang, abu vulkanik, dan limbah industri. Penggunaan limbah sebagai *filler* dalam campuran aspal adalah langkah yang berkelanjutan dan ekonomis. Limbah seperti

abu arang kayu mindi dapat dimanfaatkan sebagai *filler* untuk mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan dan mengurangi pemakaian sumber daya alam baru.

3.3 Sifat dan Karakteristik Material Penyusun *HRA*

Dua komponen utama dalam campuran aspal panas adalah agregat dan aspal. Namun, dalam penggunaannya, kombinasi aspal dan agregat dapat bervariasi tergantung pada metode dan tujuan yang diinginkan.

3.3.1 Agregat

Agregat umumnya didefinisikan sebagai partikel-partikel butiran mineral yang digunakan dikombinasi dengan berbagai jenis bahan perekat seperti aspal sebagai bahan dasar perkerasan jalan (Dzulhadi dkk. 2022). Agregat memiliki peran yang sangat penting dalam struktur perkerasan jalan, karena selain memberikan kekuatan, juga berfungsi untuk menahan beban yang diterima oleh jalan. Agregat adalah komponen utama dalam struktur perkerasan jalan, Kandungan dari agregat antara 90-95% berdasarkan berat atau 75-85% berdasarkan volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan juga dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil campurannya dengan material lain. Menurut Bina Marga 2020, agregat umumnya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Agregat Kasar

Menurut Bina Marga (2020), agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 8 (2,36 mm). Fraksi agregat kasar harus berasal dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran yang sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan. Agregat kasar membantu membuat lapisan perkerasan menjadi lebih stabil dan memiliki daya tahan terhadap selip (*skid resistance*) yang tinggi, sehingga meningkatkan keamanan bagi pengendara. Selain itu, agregat kasar juga berperan penting dalam mendukung distribusi beban yang diterima oleh perkerasan jalan, sehingga meningkatkan kekuatan struktural jalan secara keseluruhan. Penggunaan agregat kasar yang tepat juga dapat mengurangi resiko deformasi pada lapisan jalan akibat beban lalu lintas yang berat. Persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk 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	SNI 2417:2008	Maks. 6 %
		500 putaran		Maks. 30 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8 %
		500 putaran		Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287:2016	Maks. 5 %
		Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1 %

Sumber : Bina Marga (2020)

2. Agregat Halus

Menurut Bina Marga (2020), agregat halus dari sumber manapun harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah, serta terdiri dari bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen pada perkerasan melalui *interlocking* dan gesekan antar butiran. Selain itu, agregat halus juga berperan dalam meningkatkan kelekatan antara agregat kasar dan aspal. Persyaratan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3. 2 Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber : Bina Marga (2020)

3.3.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *Filler* adalah pengisi rongga-rongga dari campuran aspal. Selain itu, kadar dan jenis *filler* akan mempengaruhi kepadatan lapisan perkerasan. Menurut Bina Marga 2018, ketentuan *filler* dalam campuran aspal sebagai berikut:

- a. *filler* yang ditambahkan dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO 8303-89 (2014), atau abu terbang tipe C dan F atau semen yang sumbernya disetujui,
- b. bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan. Saat diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136 : 2012, bahan tersebut harus mengandung setidaknya 75% material yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) berdasarkan beratnya,
- c. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi tambahan sebanyak minimal 1% dan maksimal 2% dari berat total agregat.

3.3.3 Gradasi Agregat *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Gradasi agregat adalah distribusi butir agregat berdasarkan ukurannya, yang dapat ditentukan melalui analisis saringan. Ukuran butiran diperiksa melalui pemeriksaan analisis saringan. Untuk menentukan stabilitas perkerasan, gradasi berdasarkan agregat sangat penting. Batasan gradasi agregat dalam campuran *HRA* dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Batasan Gradasi Agregat Campuran HRA Tipe C

Sieve (mm)	Percent Passing			% Retained (<i>Middle Gradation</i>)
	<i>Upper Limit</i>	<i>Lower Limit</i>	<i>Middle Limit</i>	
20	100	100	100	0
14	100	85	92,5	7,5
10	90	60	75	17,5
2,36	72	60	66	9
0,600	45	25	35	31
0,212	30	15	22,5	12,5
0,075	12	8	10	12,5
Pan				10

Sumber : British Standards (2005)

Tabel 3.4 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat – Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0.075mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Max	1,6		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3,0		
	Max	5,0		
	Max	65	65	65
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
	Max	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Max	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa Setelah perendaman selama 24 Jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		

Sumber : Bina Marga (2020)

3.3.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai cairan lengket atau padatan yang terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon atau turunannya, yang larut dalam *trichloroethylene*, tidak mudah menguap, melembut secara bertahap saat dipanaskan, berwarna hitam atau kecokelatan, tahan air, dan bersifat perekat. Menurut Dzulhadi dkk. (2022) Dalam campuran perkerasan, banyak aspal berkisar antara 4–10 persen dari berat campuran atau 10–15 persen dari volume campuran. Aspal dibedakan berdasarkan tingkat kekerasannya, juga dikenal sebagai nilai penetrasi. Penelitian ini menggunakan aspal pen 60/70, sehingga memberikan keseimbangan yang baik antara kelekatan dan kekakuan, cocok untuk digunakan pada kondisi lalu lintas berat.

a. Aspal Pertamina Pen 60/70

Aspal Pertamina Pen 60/70 merupakan jenis aspal keras yang dihasilkan dari residu minyak bumi yang padat. Persyaratan untuk Aspal Pen 60/70 dapat ditemukan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Ketentuan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2.	Viskositas Kinematis 135°C	ASTM D2160-10	≥ 300
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 2432:2011	≥ 48
4.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7.	Berat Jenis	SNI 2434:2011	$\geq 1,0$
8.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2

Sumber : Bina Marga (2020)

3.3.5 Abu Arang Kayu Mindi

Abu arang kayu mindi adalah residu dari pembakaran kayu mindi (*Melia azedarach*). Abu ini mengandung beberapa komponen kimia seperti silika (SiO_2), kalsium oksida (CaO), dan beberapa oksida logam lainnya. Sifat fisik seperti ukuran partikel yang halus membuat abu arang kayu mindi menjadi bahan pengisi yang potensial dalam campuran aspal.

Partikel halus dari abu arang kayu mindi memiliki kemampuan untuk mengisi rongga-rongga di antara partikel agregat dalam campuran *HRA*. Hal ini membantu meningkatkan kepadatan campuran, yang pada gilirannya meningkatkan stabilitas dan daya tahan perkerasan. Ukuran partikel yang seragam membantu dalam menciptakan campuran yang lebih homogen, yang penting untuk menjaga kualitas dan performa perkerasan jalan.

Dengan memanfaatkan abu arang kayu mindi sebagai bahan pengisi, kebutuhan akan bahan pengisi konvensional seperti semen atau kapur dapat berkurang. Ini tidak hanya mengurangi biaya produksi tetapi juga mengurangi eksploitasi sumber daya alam. Penggunaan abu arang kayu mindi membantu dalam mengurangi jumlah limbah yang perlu dibuang. Ini memberikan solusi yang ramah lingkungan untuk pengelolaan limbah kayu, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Pemanfaatan abu arang kayu mindi sebagai bahan pengisi dalam campuran *HRA* menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kualitas dan kinerja

perkerasan jalan. Sifat dan ukuran partikel yang halus dari abu arang kayu mindi dapat memberikan manfaat signifikan dalam hal stabilitas, kepadatan, dan durabilitas campuran aspal. Selain itu, aspek keberlanjutan dan ekonomi dari penggunaan limbah ini mendukung praktik pembangunan yang lebih ramah lingkungan dan efisien secara sumber daya. Penelitian lebih lanjut dan pengujian lapangan diperlukan untuk memastikan proporsi optimal dan efek jangka panjang dari penggunaan abu arang kayu mindi dalam campuran *HRA*. Berikut merupakan tabel kandungan pada arang kayu.

Tabel 3.6 Kandungan yang Terdapat dalam Arang Kayu

No	Nama Senyawa	Nilai Kadar (%)
1.	Karbon (C)	85 - 98
2.	Hidrogen (H)	0,2 – 5
3.	Hidrokarbon (HC)	1,53 – 5,67

Sumber : Efiyanti dkk. (2020)

3.4 Karakteristik *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* sebagai berikut.

3.4.1 Daya Tahan (*Durability*)

Durabilitas adalah kemampuan aspal dalam menerima beban lalu lintas secara berulang seperti gesekan antara roda kendaraan dan beban kendaraan pada permukaan jalan, serta menahan keausan akibat iklim dan cuaca. Dengan memiliki sifat aspal yang tidak mudah rapuh, serta sifat plastis yang tahan terhadap perubahan temperatur.

3.4.2 Fleksibilitas (*Flexibility*)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan aspal menyesuaikan diri akibat penurunan dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadiretak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas atau penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli. Fleksibilitas campuran yang tinggi dapat diperoleh dengan menambahkan kadar aspal berdaya dukung tinggi, mengurangi tebal lapis perkerasan, dan menggunakan gradasi agregat yang relatif terbuka.

3.4.3 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas aspal adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen atau kerusakan struktural. Ini berarti campuran mampu menahan tekanan dari kendaraan tanpa perubahan bentuk yang signifikan, yang penting untuk menjaga permukaan jalan tetap rata dan aman. Campuran aspal harus memiliki kekuatan ikatan yang cukup antara partikel agregat dan aspal agar tidak mudah terlepas atau hancur di bawah tekanan. Stabilitas juga mencakup kemampuan campuran aspal untuk menahan siklus pembebanan berulang tanpa mengalami keretakan atau kelelahan material.

3.4.4 Tahanan Gelincir (*Skid Resistance*)

Tahanan gelincir pada aspal mengacu pada kemampuan permukaan aspal untuk memberikan cengkeraman yang cukup bagi ban kendaraan, sehingga mencegah tergelincirnya kendaraan, terutama dalam kondisi basah atau licin. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan gelincir, yaitu tekstur permukaan, jenis agregat, kondisi permukaan, desain campuran aspal, keausan permukaan, kecepatan kendaraan yang melintas, dan pengaruh cuaca.

3.5 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan menggunakan alat *Marshall Testing Machine* yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) dan *flowmeter*. Prosedur pengujian meliputi persiapan bahan, pemadatan, pengujian stabilitas, dan pengukuran kelelahan. Hasil pengamatan pada pengujian *Marshall* memungkinkan penentuan kadar aspal optimum berdasarkan kriteria batas untuk mendapatkan campuran yang sesuai dengan Standar Bina Marga. Metode ini membantu menentukan komposisi campuran aspal yang tepat dengan berbagai karakteristik, yaitu stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, kepadatan (*density*), *Void In Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in Total Mix (VITM)* dan *Volume of Void Filled With Asphalt (VFWA)*.

3.5.1 Pengujian Stabilitas

Stabilitas mengukur kemampuan lapisan perkerasan aspal untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang atau alur.

Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan antara partikel agregat, bentuk permukaan, dan gradasi agregat.

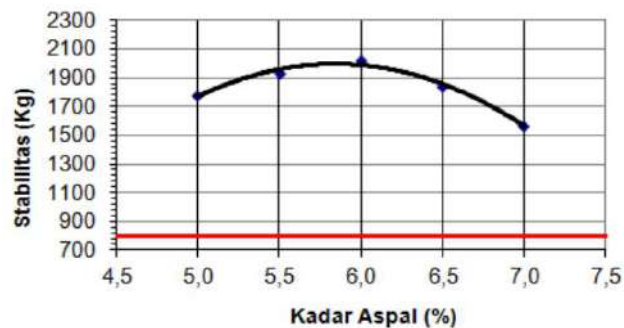
$$S = p \times r \quad (3.1)$$

Keterangan :

S = nilai stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

r = angka koreksi tebal benda uji.

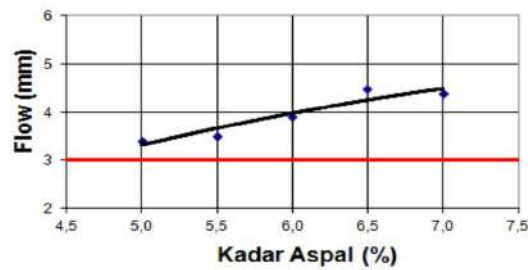


Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

(Sumber : Sukirman, 2003)

3.5.2 Flow

Kelelahan adalah deformasi vertikal yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban. Semakin tinggi nilai *flow*, semakin besar deformasi yang terjadi. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, dan temperatur pemadatan. Nilai *flow* bisa diukur dalam satuan panjang menggunakan *flowmeter* untuk menentukan deformasi yang terjadi akibat beban. Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai kelelahan dan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

(Sumber : Sukirman, 2003)

3.5.3 Marshall Quotient

Nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) menggambarkan kekakuan campuran. Nilai *MQ* yang terlalu tinggi dapat membuat campuran terlalu kaku dan rentan retak, sementara nilai *MQ* yang terlalu rendah membuat perkerasan kurang stabil dan terlalu lentur. Oleh karena itu, nilai *MQ* dapat digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kinerja campuran perkerasan karena memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas perkerasan. Nilai *MQ* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2, dan grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

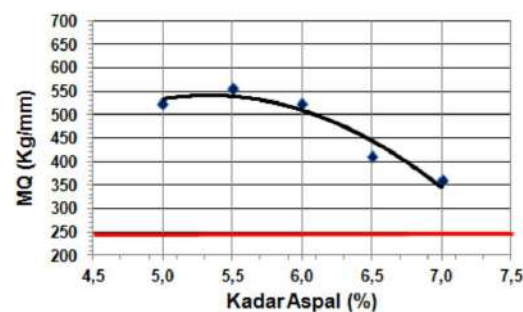
$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),

q = Nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai *flow* (mm).



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

(Sumber : Sukirman, 2003)

3.5.4 Density

Kepadatan (*density*) adalah berat campuran yang diukur per satuan volume. Peningkatan kadar aspal menyebabkan kenaikan kepadatan, karena aspal melumasi partikel, memudahkan pemadatan, dan mendesak partikel agar lebih rapat dan mengisi rongga. Nilai kepadatan atau *density* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.3)$$

$$f = d - e \quad (3.4)$$

Keterangan :

- g = Nilai *density* (gr/cc),
- c = Berat benda uji sebelum direndam (gr),
- d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr),
- e = Berat dalam air (gr), dan
- f = Volume / isi (cm³).

3.5.5 Pengujian Jenis Volume Pori

Menurut Sukirman (2003), sifat volumetrik aspal padat dapat diukur dengan beberapa parameter, termasuk volume *bulk* (V_{mb}), *VMA*, *VITM*, dan *VFWA*.

1. Berat jenis *bulk* beton aspal padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* beton aspal diukur dengan menggunakan hukum Archimedes, sebagai berikut.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.5)$$

Keterangan :

- G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,
- B_k = berat kering beton aspal padat (gram),
- B_{ssd} = berat kering permukaan dari beton aspal dipadatkan (gram),
- B_a = berat beton aspal padat di dalam air (gram),
- $B_{ssd} - B_a$ = volume *bulk* dari beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan sama dengan 1.

2. Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori atau udara, yang ditentukan melalui penelitian.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3.6)$$

Keterangan :

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

P_s = berat jenis aspal,

G_a = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat.

G_{se} = berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah jumlah pori di antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika lapisan aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat, *VMA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.7. sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dapat dan nilai *VMA* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

$$VMA = (100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}) \quad (3.7)$$

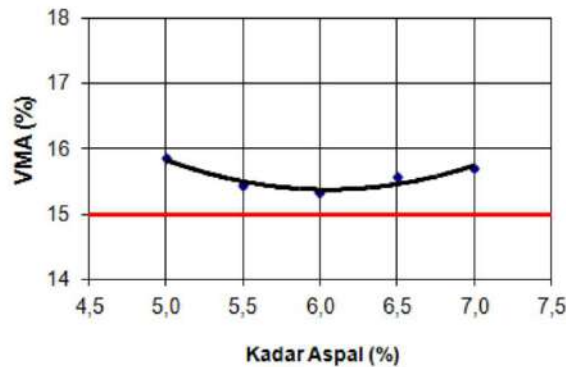
Keterangan :

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat,

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat,

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat, dan

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

(Sumber : Sukirman, 2003)

4. *Void in Total Mix (VITM)*

VITM adalah volume pori yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. *VITM* dibutuhkan sebagai ruang untuk pergerakan butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan oleh beban lalu lintas, atau sebagai ruang jika aspal melunak akibat kenaikan suhu. *VITM* yang terlalu besar akan mengurangi kedekatan air beton aspal, meningkatkan proses oksidasi aspal, mempercepat penuaan, dan menurunkan durabilitas beton aspal. Sebaliknya, *VITM* yang terlalu kecil akan menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika suhu meningkat. *VITM* dinyatakan sebagai persentase volume beton aspal padat.

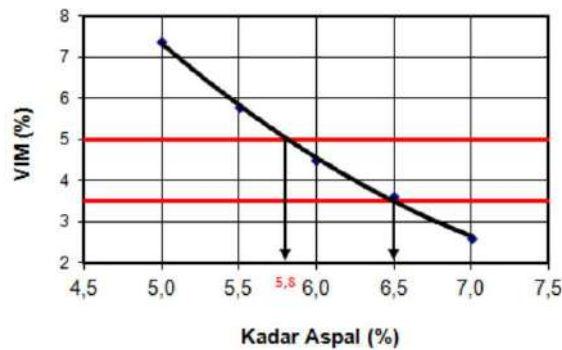
$$VITM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (3.8)$$

Keterangan :

VITM = volume pori beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat,

G_{mb} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan,

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

(Sumber : Sukirman, 2003)

5. *Volume of Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume pori beton aspal padat yang diisi oleh aspal, atau volume lapisan aspal. Aspal yang mengisi *VFWA* berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat dalam beton aspal padat, sehingga *VFWA* merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi lapisan aspal.

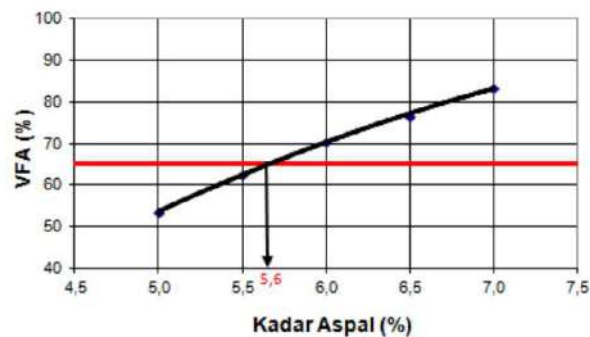
$$VFMA = \frac{100 (VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.9)$$

Keterangan :

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari *VMA*,

VMA = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat,

VITM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat.



Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

((Sumber : Sukirman, 2003))

3.6 *Index of Retained Strenght (IRS)*

Pengujian *IRS* adalah metode untuk mengevaluasi campuran perkerasan terhadap pengaruh air. Hasil pengujian ini berupa persentase nilai stabilitas campuran setelah perendaman selama 0,5 jam dan 24 jam (*S2*) dibandingkan dengan campuran biasa (*S1*). Perhitungan uji *IRS* dapat dilihat melalui Persamaan 3.14 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan :

*S*₁ = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam, dan

*S*₂ = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam.

3.7 *Indirect Tensile Strenght (ITS)*

Kuat Tarik Tidak Langsung atau *ITS* adalah metode uji yang digunakan untuk mengukur kekuatan tarik material, terutama dalam konteks perkerasan jalan seperti beton aspal. Uji ini bertujuan untuk menentukan kemampuan campuran aspal dalam menahan gaya tarik akibat beban lalu lintas, yang dapat menyebabkan retak pada lapisan perkerasan. Pengujian *ITS* dilakukan dengan memberikan beban tekan secara diametral pada spesimen silinder beton aspal. Beban ini menghasilkan tegangan tarik pada bidang yang tegak lurus dengan arah beban, memungkinkan untuk menentukan kuat tarik material secara tidak langsung.

Nilai kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.11.

$$ITS = \frac{2 \times p}{\pi \times d \times h} \quad (3.11)$$

Keterangan :

ITS = Kuat tarik tidak langsung (N/mm²),

P = Nilai Stabilitas (N),

h = Tinggi benda uji (mm), dan

d = Diameter benda uji (mm).

3.8 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai daya tahan Tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada waterbath dengan suhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga didapatkan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$TSR = \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \times 100 \quad (3.12)$$

Keterangan :

T1 = rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg), dan

T2 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).

3.9 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *CL* adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengukur ketahanan terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang, yang menyebabkan perkerasan menjadi aus dan kehilangan kekuatan. Ujian ini dilakukan menggunakan alat mesin *Los Angeles* dengan kondisi benda uji yang sudah dipadatkan pada kedua sisinya sebanyak 2 x 50 tumbukan. Setelah itu, benda uji diletakkan di dalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 kali putaran. Persamaan 3.13 berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai *Cantabro Loss*.

$$L = \frac{m_o - m_i}{m_o} \times 100\% \quad (3.13)$$

Keterangan:

L = persentase kehilangan berat (%),

m_o = berat sebelum diabrasi (gr), dan

m_i = berat setelah diabrasi (gr).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu langkah atau prosedur yang biasanya digunakan oleh peneliti untuk mencapai tujuan penelitian. Penelitian menggunakan berbagai teknik dan alat untuk mempelajari fenomena, menguji hipotesis, dan memperoleh informasi baru. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang melibatkan manipulasi satu atau lebih variabel independent untuk mengamati efeknya pada variabel terikat dalam kondisi yang dikendalikan dan bertujuan menentukan hubungan sebab-akibat antara variabel. Pada penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan mengacu kepada peraturan Spesifikasi Umum Bina, Standar Nasional Indonesia (SNI), dan *British Standard*. Hasil penelitian ini ditulis bersama dengan data pengujian.

4.2 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini dilakukan selama pengujian. Melakukan berbagai metode untuk mengumpulkan data penelitian agar sesuai dengan target penelitian. Pengelompokan benda uji dilakukan untuk menyederhanakan dalam pengambilan data. Dengan mengelompokkan benda uji mendapatkan data yang berupa nilai kadar aspal optimum, stabilitas, *flow*, *VMA*, *VITM*, *VFWA*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *CL*.

4.3 Metode Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling*, adalah jenis sampel yang dipilih berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Dengan melakukan pemilihan metode pengambilan sampel yang tepat akan membantu memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat untuk menguji hipotesis penelitian. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan pengisi (*filler*) limbah arang kayu yang diperoleh dari hasil pengolahan pabrik

furniture PT.Karya Cipta Unggul Nusantara Kab. Demak, Provinsi Jawa Tengah. Menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 untuk jenis aspal yang digunakan pada penelitian.

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah persiapan dan pemeriksaan, persiapan alat, pembuatan benda uji, perencanaan campuran, pembuatan campuran benda uji, pengujian *Marshall*, *IRS*, pengujian *ITS*, pengujian *TSR*, dan *CL*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.4.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini dalam pembuatan benda uji campuran *HRA*, yaitu agregat, *filler*, dan aspal. Spesifikasi yang digunakan sebagai acuan yaitu *British Standard*, Standar Nasional Indonesia (SNI), dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2020.

1. Pengujian Agregat
 - a. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar diuji sesuai dengan SNI 1969:2016. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menghitung berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh saturasi (*SSD*), dan angka penyerapan air.
 - b. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus diuji sesuai dengan SNI 1970:2016.
 - c. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal mengacu pada SNI 2439:2011. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.
 - d. Pengujian *sand equivalent* didasarkan pada SNI 03-4428-1997. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur kadar lumpur atau debu dan bahan lempung pada agregat halus.
 - e. Pengujian abrasi *Los Angeles* mengikuti SNI 2417:2008. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat kasar akibat keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*.

- f. SNI ASTM C136-2012 digunakan untuk pemeriksaan saringan. Dalam pengujian ini, satu set saringan digunakan untuk mengukur gradasi agregat kasar, agregat halus, dan *filler*.

2. Pengujian Aspal

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas aspal, yang digambarkan di bawah ini. Aspal AC 60/70 adalah bahan ikat yang umum digunakan saat membangun jalan raya.

- a. Pengujian berat jenis aspal mengacu pada SNI 2441:2011. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan nilai berat dari jenis aspal yang akan digunakan.
- b. SNI 2432:2011 adalah standar untuk pemeriksaan daktilitas. Pengujian ini dilakukan pada suhu 25 °C untuk mengukur kelenturan dan kohesi aspal. Aspal diletakkan pada dua cetakan dan ditarik dengan kecepatan 50 mm/menit. Setelah itu, kita dapat mengukur daktilitasnya dengan mengukur jarak terpanjang aspal sebelum putus.
- c. Uji penetrasi didasarkan pada SNI 2456:2011. Dengan menggunakan jarum berukuran 0,1 mm, beban, dan waktu tertentu, pengujian ini dilakukan untuk mengukur kekerasan bitumen.
- d. Pengujian kelarutan pada *trichloroethylene* (*TCE*) mengacu pada AASHTO T44-14. Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui tingkat kelarutan aspal dengan menggunakan larutan *TCE*. Ini juga akan membantu mengetahui nilai kemurnian aspal.
- e. Pengujian titik nyala dan bakar mengacu pada SNI 2433:2011 Pengujian ini dilakukan untuk mengukur suhu aspal dengan melakukan nyala singkat di atas permukaannya (titik nyala), dan aspal terbakar selama sekitar lima detik pada titik bakar.
- f. Pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434:2011 Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan titik lembek aspal, yang nilainya berkisar dari 30 °C hingga 200 °C.

3. Pengujian *Filler*

Filler adalah material yang ditambahkan ke campuran aspal untuk meningkatkan sifat mekanik dan kinerja dari campuran tersebut, *filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0,074 mm). Pengujian *filler* harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002.

4.4.2 Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian ini tersedia di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berikut peralatan yang akan digunakan.

1. Alat pengujian agregat, seperti satu set analisa saringan, mesin *los angeles*, tabung *sand equivalent*, dan *vibrator*.
2. Alat pengujian aspal seperti alat uji daktilitas, penetrasi, kelarutan aspal, titik nyala, titik bakar, dan titik lembek.
3. Cetakan benda uji (*mold*) yang berdiameter 10 cm dengan tinggi 7,5 cm.
4. Alat pengujian *marshall*, sebagai berikut.
 - a. Cincin penguji dengan kapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
 - b. Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
 - d. Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
5. *Compactor* adalah alat penumbuk benda uji yang memiliki berat 4,536 kg dan tinggi jatuhnya beban 45,7 cm.
6. Alat yang digunakan untuk mengeluarkan objek uji dari cetakan.
7. Timbangan 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan 5 kg dengan ketelitian 1 gram yang dilengkapi dengan penggantung.
8. Sebelum benda uji diuji, bak perendam atau *waterbath* dilengkapi dengan pengatur suhu minimal 20 °C.
9. Benda uji dipanaskan oleh oven dengan pengatur suhu yang dapat diatur hingga (200 ± 3) °C.
10. Alat uji *ITS* yang meliputi sebagai berikut.
 - a. Cincin penguji ber kapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
 - b. Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).

- c. Arloji tekan yang memiliki ketelitian 0,0025 cm.
- d. Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm dan tambahan.

4.4.3 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Agregat kasar (*split*) dan agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan (*split*), agregat ini berada di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII),
2. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang berada di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII),
3. *Filler* yang digunakan adalah abu arang kayu yang didapatkan dari *furniture* PT.Karya Cipta Unggul Nusantara Kab. Demak, Provinsi Jawa Tengah.

4.4.4 Perencanaan Campuran

Agregat dan aspal yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran *HRA*. Dalam penelitian ini, perkerasan *HRA* digunakan dengan acuan gradasi yang disesuaikan dengan standar *British Standard (BS)*.

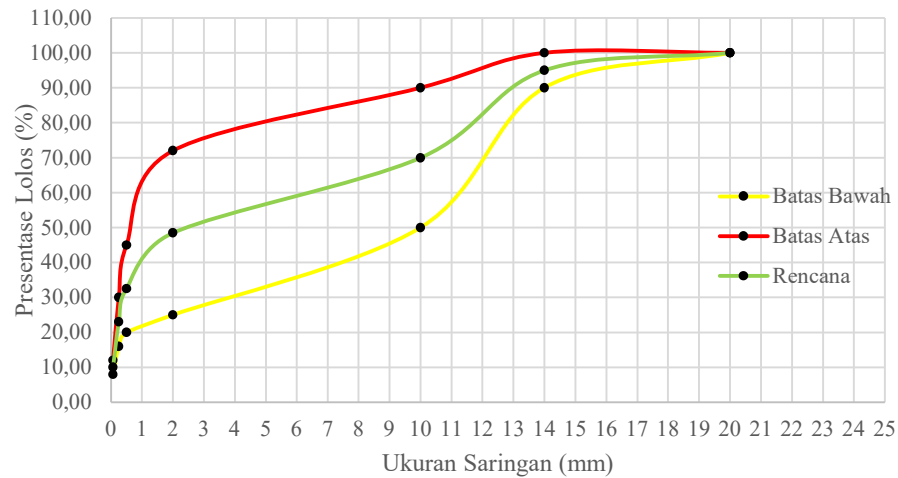
Agregat dengan gradasi tipe C digunakan untuk membentuk campuran *HRA*.

Tabel 4.1 menunjukkan gradasi agregat campuran aspal *HRA*.

Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran *Hot Rolled Asphalt* Tipe C

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan
¾ “	20 mm	100	100	100	0
½ “	14 mm	85	100	93	8
3/8 “	10 mm	60	90	75	25
No. 8	2 mm	60	72	66	34
No. 30	0,5 mm	25	45	35	65
No. 70	0,25 mm	15	40	27,5	72,5
No. 200	0,063 mm	7	11	9	91
Pan		0	0	0	100

Sumber : British Standard, *BS 594*



Gambar 4.1 Gradasi Agregat Campuran *Hot Rolled Asphalt* Tipe C

Setelah perencanaan gradasi agregat selesai, perhitungan kadar aspal optimum rencana (KAO) dilakukan. Persamaan 4.1 berikut dapat digunakan untuk menemukan perhitungan ini.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \quad (4.1)$$

Keterangan:

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar yang tertahan saringan No.8,

FA = agregat halus yang lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus yang lolos saringan No.200, dan

K = konstanta di rentang (0,5 % – 1%)

Nilai kadar aspal optimum didapatkan berdasarkan persamaan 4.1, sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K$$

$$P_b = 0,035 \times (34\%) + 0,045 \times (57\%) + 0,18 (9\%) + 1\%$$

$$P_b = 6,375\% \text{ dibulatkan menjadi } 6,5\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai P_b adalah 6,5%. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kadar yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% terhadap berat campuran secara keseluruhan.

Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 berikut menunjukkan kebutuhan total untuk tiap kadar aspal.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat Tertahan (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
20 mm (3/4")	100	100	100	0	0	0
14 mm (1/2")	85	100	93	8	85,05	85,05
10 mm (3/8")	60	90	66	34	198,45	283,50
2 mm (No.8)	60	72	35	65	102,06	385,56
0,5 mm (No.30)	25	45	27,5	72,5	351,54	737,10
0,25 mm (No.70)	15	40	9	91	85,05	822,15
0,063 mm (No. 200)	7	11	0	100	209,79	1031,94
PAN	0	0	66	34	102,06	1134,00
TOTAL						1.134

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat Tertahan (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Min	Jumlah
20 mm (3/4")	100	100	100	0	0,00	0,00
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	84,60	84,60
10 mm (3/8")	60	90	75	25	197,40	282,00
2 mm (No.8)	60	72	66	34	101,52	383,52
0,5 mm (No.30)	25	45	35	65	349,68	733,20
0,25 mm (No.70)	15	30	22,5	77,5	84,60	817,80
0,063 mm (No. 200)	8	12	10	90	208,68	1026,48
PAN	0	0	0	100	101,52	1128,00
TOTAL						1.128

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat Tertahan (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Min	Jumlah
20 mm (3/4")	100	100	100	0	0,00	0,00
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	84,15	84,15
10 mm (3/8")	60	90	75	25	196,35	280,50
2 mm (No.8)	60	72	66	34	100,98	381,48
0,5 mm (No.30)	25	45	35	65	347,82	729,30
0,25 mm (No.70)	15	30	22,5	77,5	84,15	813,45
0,063 mm (No. 200)	8	12	10	90	207,57	1021,02
PAN	0	0	0	100	100,98	1122,00
TOTAL						1.122

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat Tertahan (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Min	Jumlah
20 mm (3/4")	100	100	100	0	0,00	0,00
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	83,70	83,70
10 mm (3/8")	60	90	75	25	195,30	279,00
2 mm (No.8)	60	72	66	34	100,44	379,44
0,5 mm (No.30)	25	45	35	65	345,96	725,40
0,25 mm (No.70)	15	30	22,5	77,5	83,70	809,10
0,063 mm (No. 200)	8	12	10	90	206,46	1015,56
PAN	0	0	0	100	100,44	1116,00
TOTAL						1.116

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat Tertahan (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Min	Jumlah
20 mm (3/4")	100	100	100	0	0,00	0,00
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	83,25	83,25
10 mm (3/8")	60	90	75	25	194,25	277,50
2 mm (No.8)	60	72	66	34	99,90	377,40
0,5 mm (No.30)	25	45	35	65	344,10	721,50
0,25 mm (No.70)	15	30	22,5	77,5	83,25	804,75
0,063 mm (No. 200)	8	12	10	90	205,35	1010,10
PAN	0	0	0	100	99,90	1110,00
TOTAL						1.110

Tabel 4.7 berikut menunjukkan jumlah benda uji yang digunakan untuk menghasilkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO

Kadar Aspal (%)	Pengujian	
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>
5	3	3
5,5	3	3
6	3	3
6,5	3	3
7	3	3
Jumlah Benda Uji	15	15
Total Keseluruhan	30	

Setelah memperoleh nilai KAO, setiap nilai diuji. Tabel 4.8 berikut menunjukkan jumlah benda uji yang diperlukan untuk setiap pengujian KAO.

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji yang Dibutuhkan untuk Setiap Pengujian KAO

Pengujian	Kadar <i>Filler</i> Abu Arang Kayu Mindi (%)				
	0	25	50	75	100
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3
<i>IRS</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3
<i>TSR</i>	3	3	3	3	3
<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3	3
Jumlah Benda Uji	15	15	15	15	15
Total	75				

Penelitian ini menggunakan 105 item uji, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

4.4.5 Pembuatan Campuran Benda Uji

Setelah tahapan perencanaan campuran selesai, pembuatan campuran untuk benda uji dimulai dengan penyaringan agregat untuk membedakan distribusi butir agregat sesuai dengan nomor saringan yang digunakan. Agregat yang tertahan ditimbang di setiap nomor saringan.

Proses berikut digunakan untuk membuat campuran benda uji.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memanaskan aspal pada suhu tertentu, pada penelitian ini menggunakan aspal AC 60/70 yang dipanaskan mencapai suhu 160°C.
3. Agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan serat selulosa harus dipanaskan sampai suhu 170°C. Kemudian, tambahkan persentase aspal yang telah ditentukan dan aduk sampai rata.
4. Membersihkan cetakan benda uji dan mengolesi bagian dalamnya dengan oli.
5. Pada bagian bawah, letakkan kertas yang telah dicetak sesuai dengan ukuran cetakan. Kemudian, secara merata, masukkan campuran benda uji sebanyak 1/3 volume cetakan dan tusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 25 kali. Lakukan hal yang sama sampai cetakan penuh, lalu letakkan kertas di atasnya.

6. Mengatur mesin pemadat sebanyak lima puluh tumbukan di setiap sisi setelah meletakkan benda uji di dalam cetakan di atasnya.
7. Setelah selesai pemadatan, benda uji dikeluarkan dari mesin pemadat dan didiamkan agar tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan dengan pompa pengeluaran hidrolis, kemudian mendiamkan benda uji dan mengambil kertas pada kedua sisinya.

4.4.6 Pengujian *Marshall*

Berikut langkah-langkah pengujian *Marshall* :

1. Mempersiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.
2. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
4. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi *SSD*, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan *SSD*.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit.
7. Memeriksa mesin *marshall* beserta dial pelengkapanya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Berikut langkah-langkah pengujian *ITS*.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai dengan perencanaan menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari hasil pengujian *marshall*.
3. Meletakkan benda uji pada mesin *ITS*.
4. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

4.4.8 Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
3. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
4. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi *SSD*, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan *SSD*.
5. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
6. Memeriksa mesin *marshall test* beserta dial pelengkapanya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
7. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
8. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
9. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
10. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.9 Pengujian *Tensile Strenght Ratio (TSR)*

Berikut ini adalah prosedur untuk menguji *TSR*.

1. Menghasilkan benda uji dengan nilai KAO yang diperoleh dari pengujian *Marshall*,
2. Untuk benda uji *TSR*, benda uji direndam selama satu hari di dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu air 60 ± 1 °C.
3. Untuk melakukan pengujian, letakkan benda uji pada alat uji *TSR*,
4. Observasi pembacaan dial dan tulis hasilnya, dan
5. Menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan.

4.4.10 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Proses pengujian *CL* adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan benda uji dengan nilai KAO yang diperoleh dari pengujian *Marshall*,
2. Sebelum melakukan pengujian, timbang benda uji,
3. Memasukkan benda uji ke dalam mesin *Los Angeles*,
4. Menjalankan mesin di *Los Angeles* dan mengatur mesin untuk melakukan 300 putaran,
5. Setelah tes, timbang benda uji, dan
6. Menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan.

4.5 Analisis Data

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian, maka dilakukan analisis data untuk mendapatkan parameter hasil pengujian secara lengkap.

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall*

Parameter hasil pengujian *marshall* diperoleh data sebagai berikut.

1. Berat benda uji kering udara (gram)
2. Berat benda uji dalam air (gram)
3. Berat benda uji *SSD* (gram)
4. Tebal benda uji (mm)
5. Pembacaan dial stabilitas (kg)
6. Pembacaan dial *flow* (m)

Karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan persamaan 4.2 berikut.

$$B_j \text{ Aspal} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.2)$$

Keterangan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

C = berat piknometer berisi aspal, dan

D = berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

$$B_j \text{ Agregat} = \frac{(A \times F_1) + (B \times F_2)}{100} \quad (4.3)$$

Keterangan :

A = persentase agregat kasar (%)

B = persentase agregat halus (%)

F₁ = berat jenis agregat kasar, dan

F₂ = berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.

4. Nilai *flow* diperoleh dari hasil pembacaan dial *flow*.

5. Nilai *MQ* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2.

6. Nilai *density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan 3.4.

7. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7.

8. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.8.

9. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9.

4.5.2 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.10.

4.5.3 Analisis Pengujian *ITS*

Nilai pengujian *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.11.

4.5.4 Analisis Nilai *TSR*

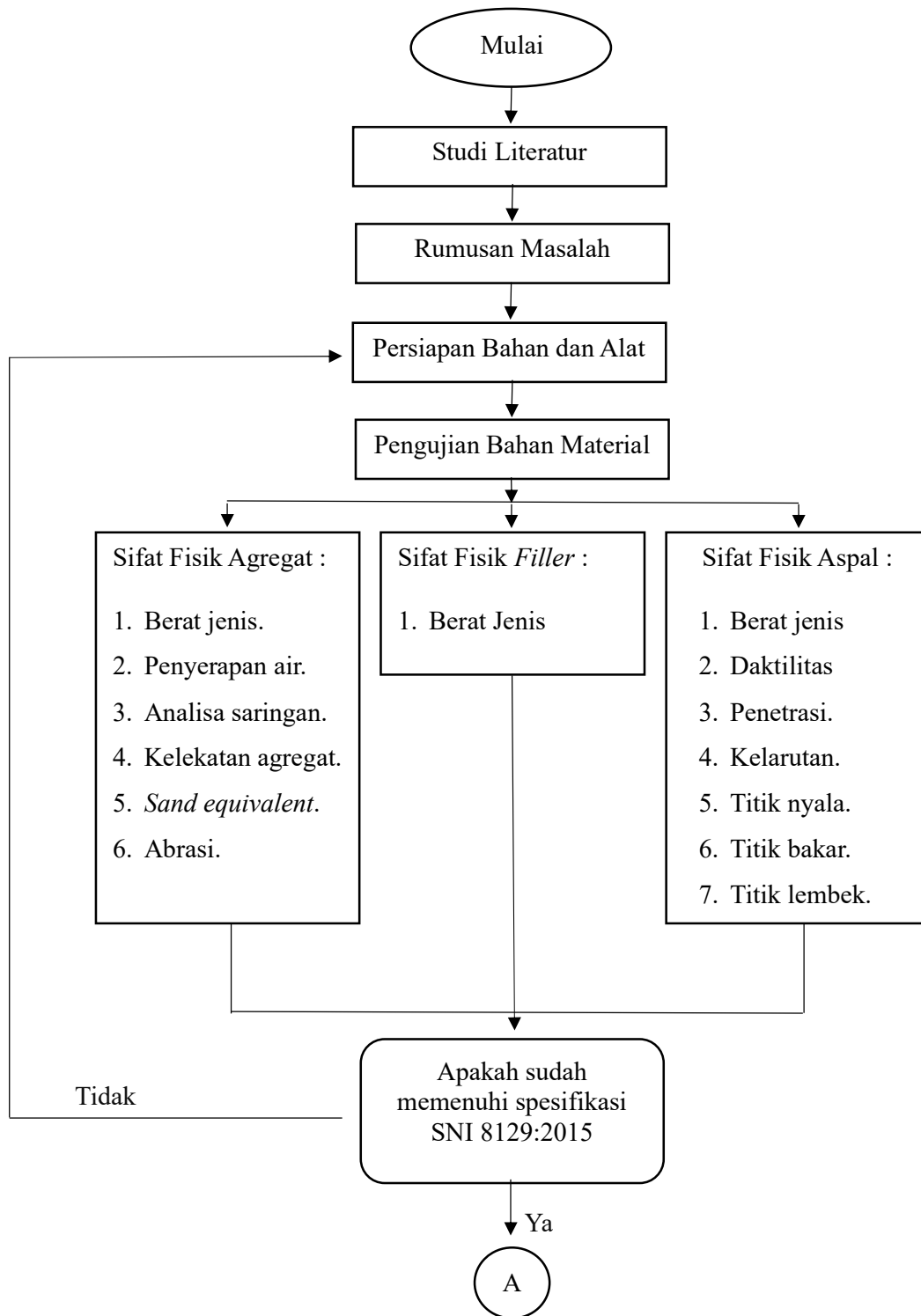
Nilai pengujian *TSR* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.12.

4.5.5 Analisis Nilai *CL*

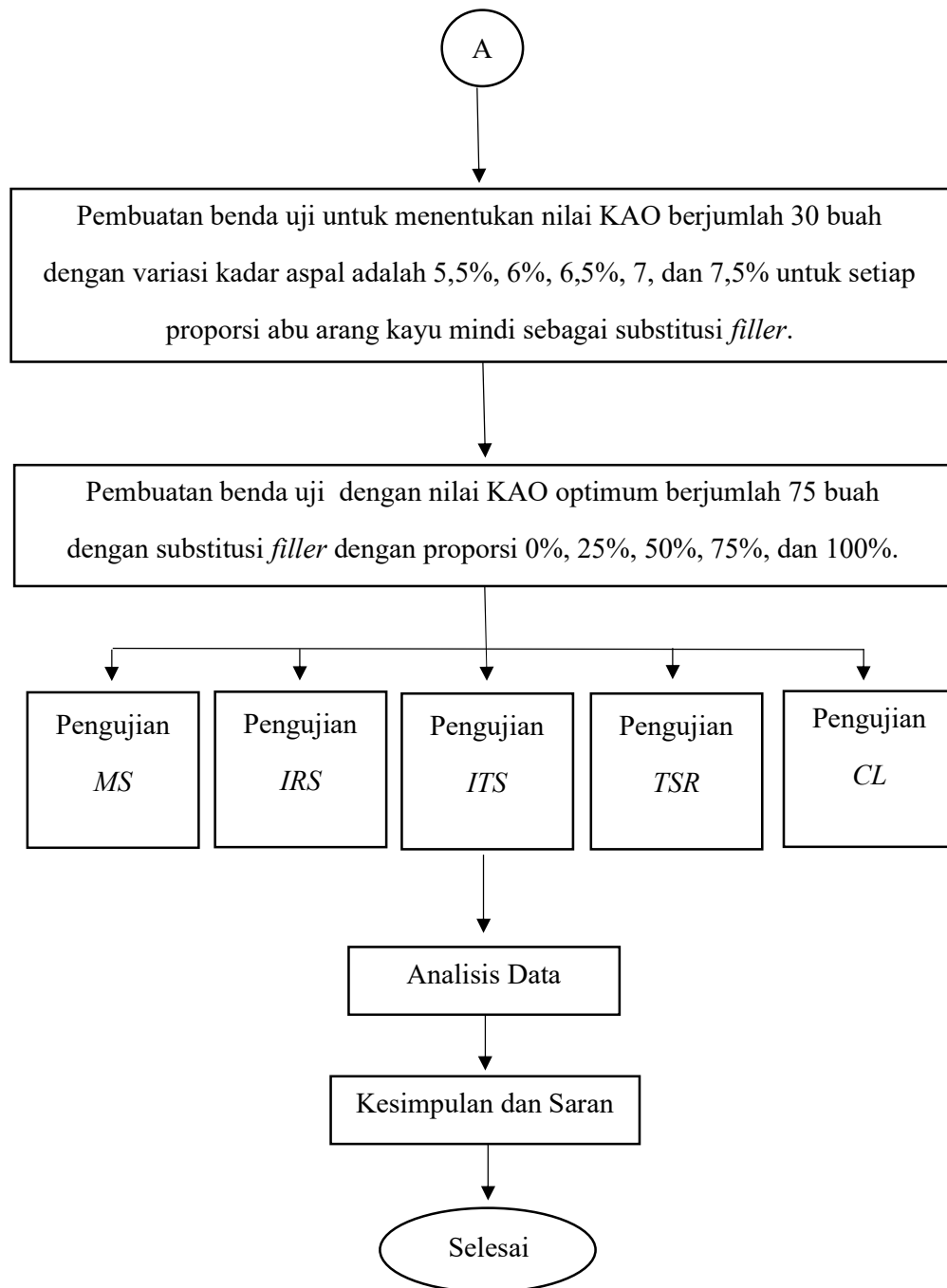
Nilai pengujian *CL* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian menunjukkan alir atau tahapan dari suatu penelitian yang dilakukan secara lebih singkat dan jelas. Pada penelitian ini, bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.2 Lanjutan Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian dan Bahan Campuran

Berdasarkan serangkaian pengujian yang telah dilakukan, hasil dari setiap pengujian diperoleh sebagai berikut:

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan aspal jenis Pen 60/70 dan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai panduan hasil. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,028	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60-70	66,60	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48,5	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	315	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	320	Memenuhi
7	Kelarutan pada <i>TCE</i> (%)	≥ 99	99,32	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini melibatkan agregat kasar, agregat halus, dan *filler*, serta mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil pengujian dapat ditemukan pada Tabel 5.2 hingga Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,61	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,96	Memenuhi
3	Penyerapan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	19,32 °C	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,72	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,42	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 95	92,84	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis (Debu Batu)	2,56
2	Berat Jenis (AAK Minda)	1,46

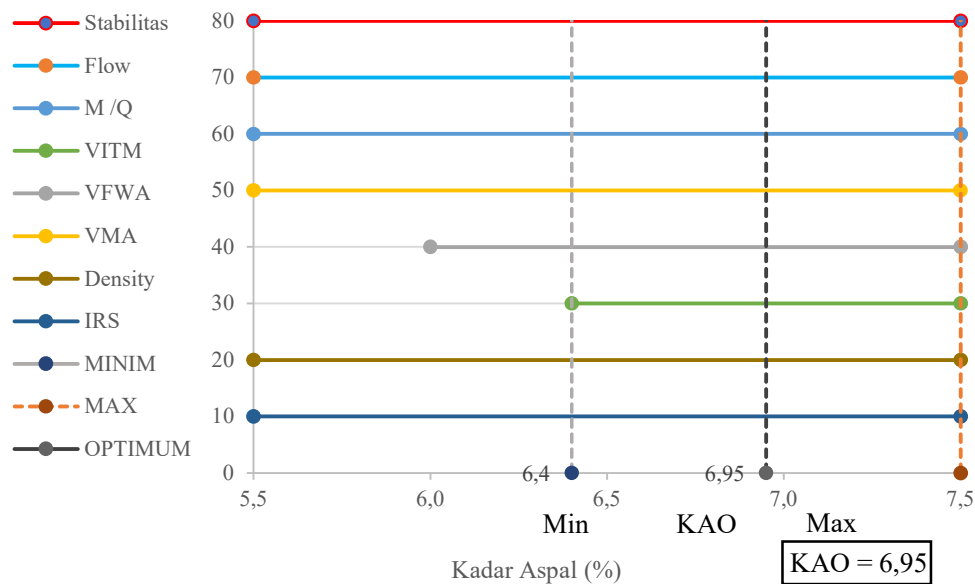
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai KAO pada campuran *HRA* dengan menggunakan aspal jenis Pen 60/70. Parameter hasil pengujian yang diperoleh meliputi nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VITM*, *IRS*, *VFWA*, *Density*, dan *MQ*.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

Pengujian	5,5	6	6,5	7	7,5	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	1.063,45	1.117,75	1.218,37	1.172,12	1.118,18	≥ 600
<i>Flow</i> (mm)	2,89	3,10	3,52	3,72	3,97	2 – 4,5
<i>MQ</i> (kg/mm)	367,55	360,57	346,46	315,37	281,89	≥ 250
<i>VITM</i> (%)	6,44	5,43	4,96	4,80	4,25	3 – 5
<i>VFWA</i> (%)	64,85	70,59	73,95	75,88	79,18	≥ 68
<i>VMA</i> (%)	18,33	18,45	19,04	19,88	20,39	≥ 17
<i>Density</i>	2,25	2,26	2,25	2,24	2,24	≥ 2
<i>IRS</i> (%)	90,22	91,47	92,87	93,38	94,59	≥ 90

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, nilai KAO campuran *HRA* diperoleh melalui perhitungan secara grafis. Hasil pengujian menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70 untuk mendapatkan nilai KAO. Nilai KAO tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Substitusi *Filler* AAK Mindi

Pada Gambar 5.1, terlihat bahwa KAO yang digunakan untuk variasi substitusi *filler* adalah 6,95%. Kadar penelitian ini menggunakan variasi substitusi *filler* pada 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penelitian ini menggunakan *filler* berupa AAK mindi sebagai pengganti *filler* debu batu, di mana keduanya memiliki berat jenis yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis abu arang kayu adalah 1,46 gr/cm³, sedangkan debu batu memiliki berat jenis 2,556 gr/cm³. Oleh karena itu, untuk memperoleh perbandingan berat volume yang setara, dilakukan pengolahan data. Rekapitulasi hasil perbandingan masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Berat Abu Batu dan AAK Mindi

Kadar Variasi Substitusi <i>Filler</i> (%)	Berat Abu Batu (gr)	Berat AAK Mindi (gr)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	100,49	0,00	6,95
25	75,37	14,36	
50	50,25	28,72	
75	25,12	43,08	
100	0,00	57,44	

Pada tabel 5.6 berat abu batu dan AAK mindi digunakan sebagai kadar variasi substitusi *filler* pada pembuatan benda uji setelah KAO.

Berikut adalah contoh perhitungan berat abu batu dan AAK Mindi.

Dengan kadar variasi substitusi *filler* 25% :

Berat Abu Batu : $B_1 - (B_1 \times \text{kadar } filler)$

Berat Abu Batu : $(B_j \text{ Abu Batu} - (B_1 \times \text{kadar } filler)) / B_j \text{ AAK Mindi}$

Berat Jenis Abu Batu = 2,556

Berat Jenis Abu Arang Kayu Mindi = 1,461

Berikut ini adalah limbah abu arang kayu mindi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5.2 *Filler* AAK Mindi**

Diperoleh data hasil pengujian campuran *HRA* pada KAO dengan substitusi serbuk AAK mindi sebagai *filler* pengganti dengan pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *CL*.

Tabel 5.7 Relakapitulasi Pengujian *Marshall* pada KAO AAK Mindi

Kadar Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	1090,40	3,93	277,21	4,97	75,62	20,39	2,28
25	1168,86	3,70	315,99	4,76	76,50	20,21	2,29
50	1179,48	3,62	326,02	4,36	78,07	19,88	2,30
75	1073,24	3,43	313,06	4,04	79,41	19,61	2,30
100	977,28	3,30	295,99	4,00	79,58	19,58	2,30
Spesifikasi	>600	2-4,5	>250	3-5	> 65	> 17	> 2

Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi

Kadar Substitusi AAK Mindi (%)	<i>IRS</i> (%)
0	91,78
25	93,27
50	95,41
75	92,31
100	90,32
Spesifikasi	> 90

Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi

Kadar Substitusi AAK Mindi (%)	<i>ITS</i> (Kpa)
0	683,46
25	673,20
50	643,36
75	561,93
100	476,01

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi

Kadar Substitusi AAK Mindi (%)	<i>TSR</i> (%)
0	89,99
25	85,90
50	83,39
75	81,89
100	80,45

Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian *Cantabro Loss* pada KAO Setiap Kadar Substitusi AAK Mindi

Kadar Substitusi AAK Mindi (%)	Kehilangan Berat (%)
0	3,66
25	3,95
50	4,07
75	5,57
100	8,10

5.2 Pembahasan

Hasil uji yang dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah pembahasan terkait hasil pengujian tersebut.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Penelitian ini menggunakan bahan ikat aspal jenis Pertamina Pen 60/70 pada campuran *Hot Rolled Asphalt*, dengan pengujian karakteristik aspal merujuk pada Bina Marga edisi 2018 revisi ke-2. Penjelasan ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Menurut SNI 2441-2011, berat jenis aspal dihitung dengan membandingkan berat jenis aspal dan berat air suling pada suhu uji. Hasil pengujian menunjukkan berat jenis aspal sebesar 1,028, yang memenuhi standar Bina Marga 2018 revisi ke-2, yakni $>1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal menunjukkan tingkat kelembutan atau kekerasan aspal tersebut. Pada pengujian penetrasi aspal dengan suhu 25°C, diperoleh nilai

66,60 mm, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu 60 – 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas aspal menunjukkan tingkat elastisitas dan sifat kohesifnya. Pengujian daktilitas menghasilkan nilai 164 cm, yang sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 100 cm.

4. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal adalah suhu di mana aspal mengalami perubahan, dengan indikasi berupa percikan api yang muncul sekejap. Ini disebabkan oleh sifat *thermoplastic* aspal, yang sifatnya berubah-ubah bergantung pada suhu. Hasil uji titik nyala aspal adalah 315 °C, yang memenuhi ketentuan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu > 232 °C.

5. Titik Bakar Aspal

Titik bakar aspal merupakan suhu di mana aspal mengalami perubahan yang ditandai dengan munculnya api dalam waktu sekitar 5 detik. Hal ini disebabkan oleh sifat *thermoplastic* aspal, yang sifatnya berubah-ubah tergantung pada suhu. Hasil pengujian titik bakar aspal adalah 320 °C, yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 232 °C.

6. Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal adalah suhu di mana aspal mengalami perubahan, yang ditandai dengan aspal mulai menjadi lunak. Perubahan ini terjadi karena sifat *thermoplastic* aspal, yang berubah tergantung pada suhu yang ada. Hasil pengujian titik lembek aspal menunjukkan 48,5°C, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu > 48°C.

7. Kelarutan dalam *Trychloroethyne* (TCE)

Kelarutan aspal dalam TCE menunjukkan sejauh mana aspal dapat mengikat agregat. Hasil uji kelarutan dalam TCE adalah 99,32%, yang sesuai dengan ketentuan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 99%.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Agregat halus yang digunakan dalam campuran *HRA* pada penelitian ini diperoleh dari Clereng, Kulon Progo. Berikut adalah uraian mengenai pengujian karakteristik agregat halus tersebut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Penyerapan Air oleh Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar adalah perbandingan antara berat jenis agregat dalam kondisi jenuh dengan berat air suling pada suhu pengujian. Data yang digunakan dalam pengujian meliputi berat jenis dalam kondisi jenuh, berat benda saat direndam dalam air, dan berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven. Pada penelitian ini, diperoleh hasil berat jenis agregat kasar sebesar 2,61, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu $>2,5$.

2. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Nilai kelekatan agregat kasar mengindikasikan seberapa besar persentase permukaan agregat yang terlapisi aspal. Hasil pengujian kelekatan agregat kasar pada penelitian ini adalah 98%, yang sudah memenuhi standar Bina Marga 2018 revisi ke-2, yakni lebih dari 95%.

3. Penyerapan Air pada Agregat Kasar

Penyerapan air oleh agregat kasar menunjukkan tingkat kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui pori-pori yang ada pada agregat. Dalam penelitian ini, hasil penyerapan air pada agregat kasar tercatat sebesar 1,96%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu $< 2\%$.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

Nilai keausan agregat kasar yang diuji menggunakan mesin *Los Angeles* menunjukkan ketahanan agregat terhadap abrasi. Dalam penelitian ini, hasil keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles* tercatat sebesar 19,32%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu $< 40\%$.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam campuran *HRA* pada penelitian ini diperoleh dari Clereng, Kulon Progo. Berikut adalah uraian mengenai pengujian karakteristik agregat halus tersebut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus adalah rasio antara berat jenis agregat dalam kondisi jenuh dengan berat air suling pada suhu pengujian. Data yang digunakan dalam pengujian ini mencakup berat jenis dalam keadaan jenuh, berat benda saat direndam dalam air, dan berat benda uji yang sudah dikeringkan dalam oven. Hasil pengujian menunjukkan berat jenis agregat halus sebesar 2,72, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan Air pada Agregat Halus

Tingkat penyerapan air pada agregat halus menunjukkan seberapa besar kemampuan agregat dalam menyerap air melalui pori-porinya. Dalam penelitian ini, hasil penyerapan air pada agregat halus tercatat sebesar 1,42%, yang sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018 revisi ke-2, yakni $< 2\%$.

3. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* menunjukkan kadar kotoran berupa debu, lumpur, atau kotoran lain yang terdapat pada agregat halus. Dalam penelitian ini, hasil *sand equivalent* pada agregat halus tercatat sebesar 92,84%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi ke-2, yaitu $> 50\%$.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan pengisi (*filler*)

Penelitian ini menggunakan bahan pengisi dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* yang terdiri dari abu batu asal Clereng, Kulon Progo, serta abu arang kayu mindi yang didapat dari PT. Karya Cipta Unggul Nusantara, Kab. Demak. Pengujian karakteristik *filler* dijelaskan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Abu Batu

Berat jenis abu batu adalah rasio antara berat jenis abu batu dengan berat air suling pada suhu pengujian. Dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh menunjukkan berat jenis *filler* abu batu sebesar 2,56.

2. Berat Jenis AAK Mindi

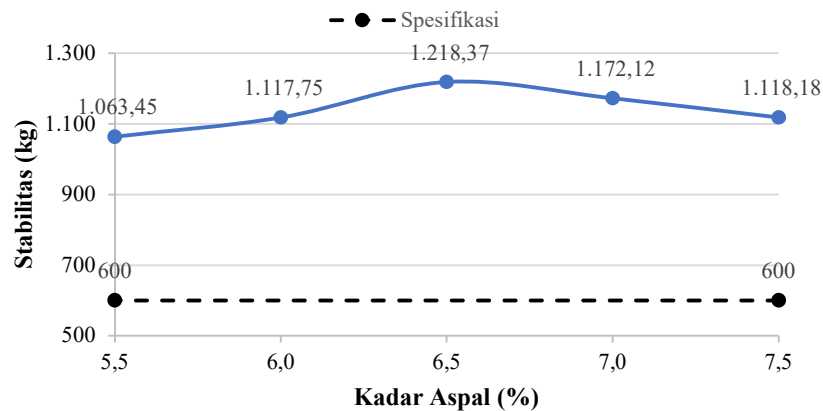
Berat jenis AAK mindi adalah rasio antara berat jenis abu arang kayu mindi dengan berat air suling pada suhu pengujian. Dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh menunjukkan berat jenis *filler* AAK mindi sebesar 1,46.

Setelah berat jenis setiap bahan pengisi (*filler*) ditentukan, nilai-nilai tersebut digunakan untuk menyetarakan antar bahan pengisi. Ini dilakukan untuk menyamakan berat jenis antara abu batu dan AAK mindi, di mana berat jenis AAK, yang digunakan sebagai pengganti *filler*, lebih kecil daripada berat jenis abu batu. Penyetaraan volume telah dijelaskan pada persamaan 4.1 sebelumnya.

5.2.5 Pembahasan Kadar Aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas dalam Menentukan KAO

Stabilitas adalah kemampuan permukaan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk. Hasil pengujian nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.3.

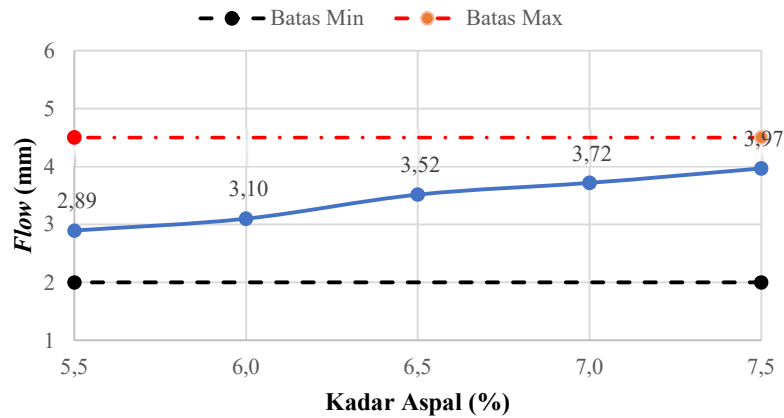


Gambar 5. 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 5.3, terlihat bahwa nilai stabilitas meningkat hingga mencapai titik optimum, kemudian mengalami penurunan. Nilai stabilitas meningkat sampai titik optimum, namun kemudian menurun karena tingginya kandungan aspal dalam campuran. Aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat, pada akhirnya beralih fungsi menjadi pengisi rongga-rongga dalam campuran saat nilai stabilitas mencapai titik maksimum.

2. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Flow* dalam menentukan KAO.

Kelelehan atau flow merujuk pada perubahan yang terjadi pada campuran aspal akibat beban yang diterima. Hasil pengujian nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.4.

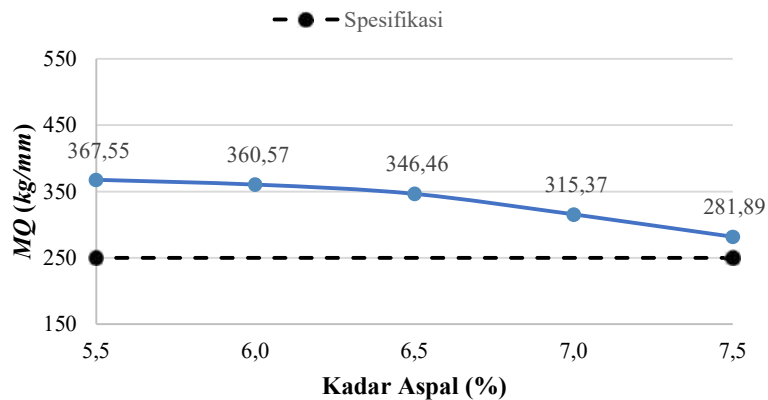


Gambar 5. 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4, terlihat bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Kenaikan kadar aspal menyebabkan lapisan aspal menjadi lebih tebal. Akibatnya, campuran menjadi lebih plastis, sehingga saat diberi beban, campuran akan mengalami perubahan bentuk.

3. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *MQ* dalam Menentukan KAO

Nilai *MQ* adalah hasil perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Hasil pengujian nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.5.



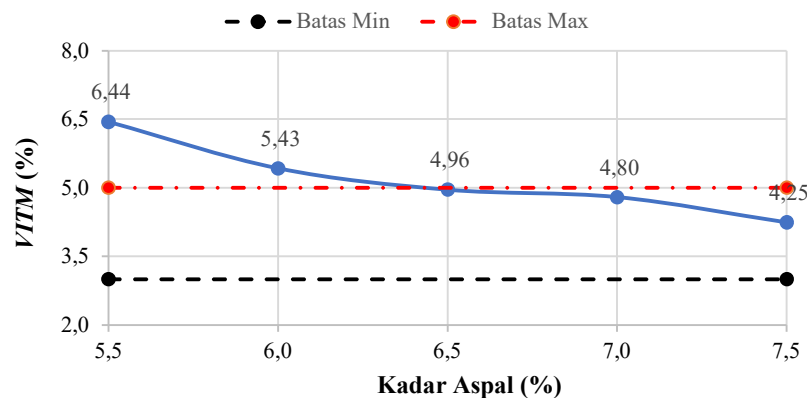
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5, terlihat bahwa nilai *MQ* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Penurunan ini disebabkan oleh perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow* pada

setiap kadar aspal. Hasil ini sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu nilai MQ lebih dari 250 kg/mm.

4. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai $VITM$ dalam Menentukan KAO

Nilai $VITM$ menunjukkan persentase volume rongga dalam campuran aspal setelah dipadatkan. Hasil pengujian nilai $VITM$ dapat dilihat pada Gambar 5.6.

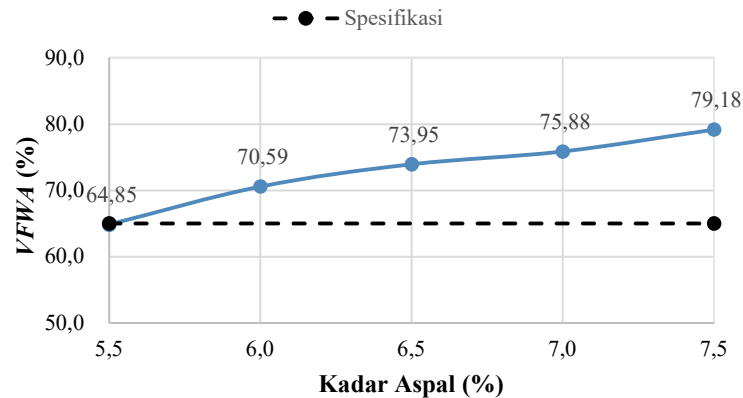


Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai $VITM$

Berdasarkan grafik di Gambar 5.6, terlihat bahwa nilai $VITM$ menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Penurunan nilai $VITM$ dapat menyebabkan terjadinya kegemukan atau *bleeding* saat suhu meningkat. Selain itu, hal ini membuat campuran menjadi lebih kedap air dan rongga-rongga dalam campuran menjadi lebih padat. Apabila nilai $VITM$ terlalu besar, campuran akan kehilangan kekedapannya, yang menyebabkan peningkatan oksidasi, mempercepat penuaan aspal, dan mengurangi sifat durabilitas campuran. Hasil ini sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu nilai $VITM$ antara 3% hingga 5%.

5. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai $VFWA$ dalam Menentukan KAO

Nilai $VFWA$ menunjukkan persentase *volume* rongga antar agregat yang terisi oleh aspal. Hasil pengujian nilai $VFWA$ dapat dilihat pada Gambar 5.7.

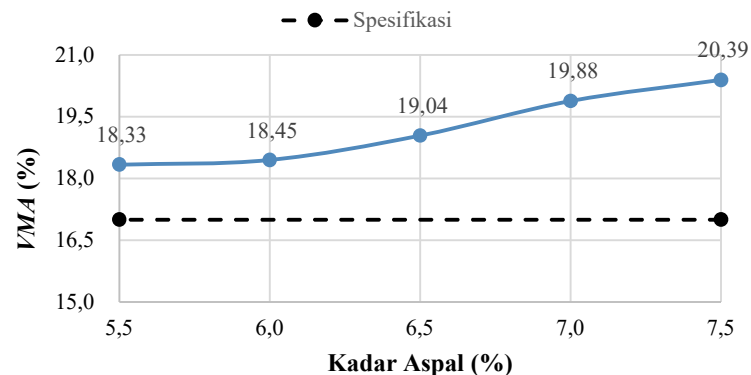


Gambar 5. 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik yang ada pada Gambar 5.7, terlihat bahwa nilai *VFWA* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Semakin tinggi kadar aspal dalam campuran, lapisan aspal akan mengalami kegemukan atau *bleeding*. Akibatnya, rongga yang terbentuk akibat jarak antar agregat yang semakin besar akan terisi oleh aspal. Dengan demikian, rongga dalam campuran aspal semakin mengecil karena aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat beralih fungsi menjadi pengisi rongga-rongga. Hasil ini sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu nilai *VFWA* lebih dari 68%.

6. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *VMA* dalam Menentukan KAO

Nilai *VMA* menunjukkan persentase volume rongga dalam campuran agregat. Hasil pengujian nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.8.

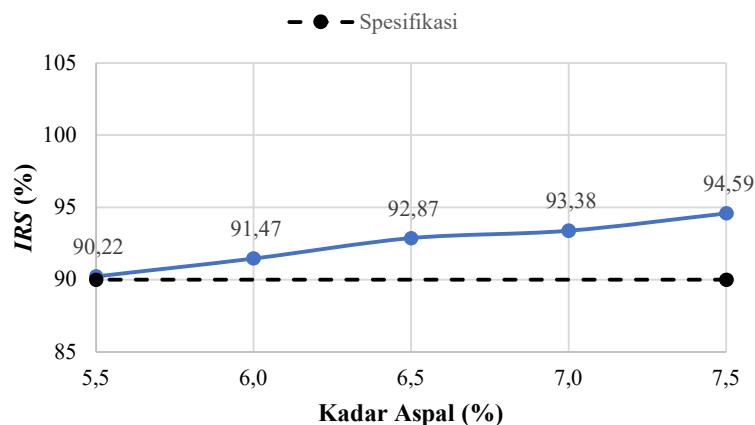


Gambar 5. 8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 5.8, terlihat bahwa nilai *VMA* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Peningkatan kadar aspal menyebabkan peningkatan nilai *VMA*. Semakin tinggi kadar aspal, aspal akan mengisi rongga-rongga di antara agregat, sehingga agregat akan terbungkus dan jarak antar rongga agregat menjadi semakin besar. Hasil ini sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu nilai *VMA* lebih dari 17%.

7. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *IRS* dalam Menentukan KAO

Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 0,5 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C. Hasil pengujian nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9, terlihat bahwa nilai *IRS* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh penurunan nilai *VITM* yang menyebabkan campuran mengalami proses *bleeding* atau kegemukan, sehingga campuran menjadi lebih sensitif terhadap perubahan suhu. Hasil ini sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu nilai *IRS* lebih dari 90%.

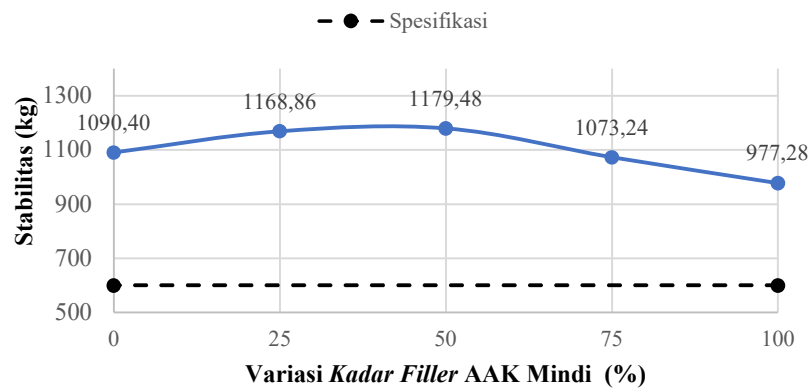
5.2.6 Pembahasan Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu Mindi pada KAO

Berdasarkan hasil pengujian – pengujian diatas pada campuran *HRA*, didapatkan nilai nilai KAO campuran sebesar 6,95%. Sehingga berikut merupakan hasil pengujian pengaruh substitusi *filler* AAK dengan menggunakan metode konvensional terhadap campuran aspal.

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* terhadap Nilai Kekuatan Campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*)

1.1 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai Stabilitas

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi terhadap nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai Stabilitas

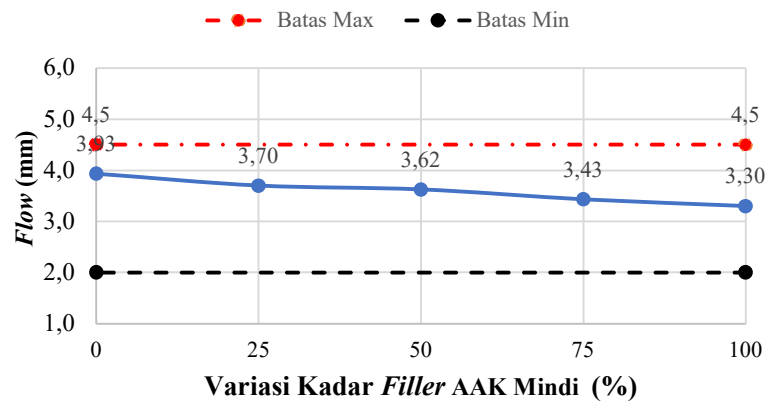
Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.10, nilai stabilitas pada campuran *HRA* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase substitusi *filler* AAK mindi. Namun setelah mencapai titik stabilitas tertinggi, nilai stabilitas menurun. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase peningkatan dan penurunan pada tiap interval dapat dihitung, yaitu peningkatan sebesar 7,20% terjadi pada rentang 0% hingga 25%, kemudian 0,91% pada 25% hingga 50%, terjadi penurunan 9,01% pada 50% hingga 75%, dan penurunan 8,94% pada 75% hingga 100%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin

tinggi persentase substitusi *filler* hingga mencapai titik optimum nilai stabilitas meningkat, setelah mencapai titik optimum nilai stabilitas mulai menurun.

Pada campuran *filler* AAK mindi variasi 0% hingga 50% nilai stabilitas meningkat. *Filler* AAK meningkatkan kohesi dan kerapatan campuran, memperbaiki kontak serta *interlocking* antar agregat sehingga stabilitas meningkat. Namun, pada substitusi AAK 75% dan 100%, stabilitas menurun karena partikel halus AAK membentuk mastik dengan viskositas rendah yang berlebihan, melemahkan ikatan antar butiran dan menurunkan stabilitas campuran. Penelitian ini sejalan dengan Nisumanti dan Yusuf (2019) yang melakukan penelitian arang cangkang kelapa sawit sebagai substitusi *filler*, nilai stabilitas mencapai pada titik optimal dan memenuhi spesifikasi persyaratan.

1.2 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *Flow*

Pengaruh variasi substitusi *filler* campuran *HRA* terhadap nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *Flow*

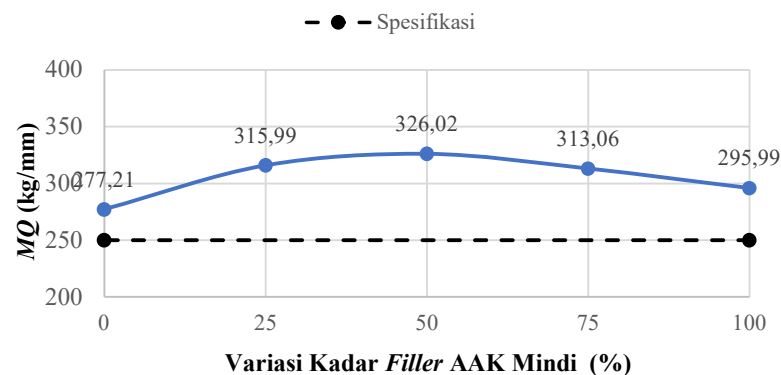
Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.11, terlihat bahwa nilai *flow* pada campuran *HRA* menurun sejalan dengan peningkatan persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai

ini, dapat dihitung persentase penurunan pada setiap interval, yaitu penurunan terbesar sebesar 5,85% terjadi antara 0% sampai 25%, diikuti penurunan 2,16% pada interval 25% sampai 50%, kemudian 5,25% pada rentang 50% sampai 75%, dan penurunan sebesar 3,79% antara 75% sampai 100%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi substitusi *filler*, semakin menurun nilai *flow*.

Penurunan nilai *flow* tersebut membuat aspal menjadi lebih kaku, campuran yang makin kaku cenderung lebih rapuh dan rentan retak pada saat perubahan suhu atau beban berulang. AAK mindi meningkatkan kepadatan campuran dan mengurangi ruang kosong, sehingga campuran menjadi lebih padat dan kaku. Demikian penelitian ini sejalan dengan Rohman dkk. (2020) dengan penambahan *filler* serbuk arang kayu pada campuran *HRS – WC* mengalami penurunan pada nilai *flow*.

1.3 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

Pengaruh variasi substitusi *filler* campuran *HRA* terhadap nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *MQ*

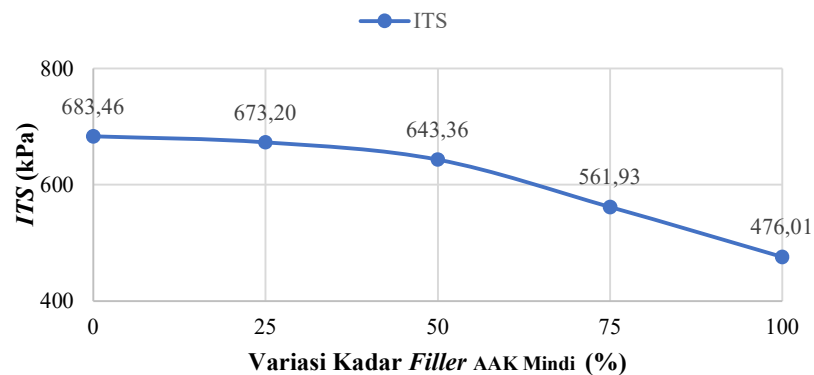
Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.12, nilai *MQ* pada campuran *HRA* mengalami peningkatan hingga variasi kadar *filler* 50% kemudian menurun hingga kadar 100%. Dengan membandingkan nilai-nilai

tersebut, persentase peningkatan dan penurunan pada tiap interval dapat dihitung, yaitu peningkatan sebesar 13,99% terjadi pada rentang 0% hingga 25%, kemudian 3,17% pada 25% hingga 50%, terjadi penurunan 3,97% pada 50% hingga 75%, dan penurunan 5,45% pada 75% hingga 100%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi *filler* hingga mencapai titik optimum nilai *MQ* meningkat, setelah mencapai titik optimum nilai *MQ* mulai menurun.

Nilai *MQ* meningkat hingga variasi *filler* mencapai 50%, lalu menurun pada kadar 75% dan 100%, sejalan dengan pola stabilitas campuran yang optimum pada 50%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar AAK mengurangi kefleksibilitasan campuran. Pada titik optimum, *MQ* mencerminkan fleksibilitas rendah sehingga campuran lebih tahan terhadap deformasi. Namun, setelah melewati titik tersebut, fleksibilitas campuran meningkat, membuatnya lebih mudah mengalami deformasi. Pada penelitian Akifah dkk. (2024) sejalan dan kenaikan nilai *MQ* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow* pada campuran.

1.4 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengaruh variasi substitusi *filler* campuran *HRA* terhadap nilai *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Minda pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *ITS*

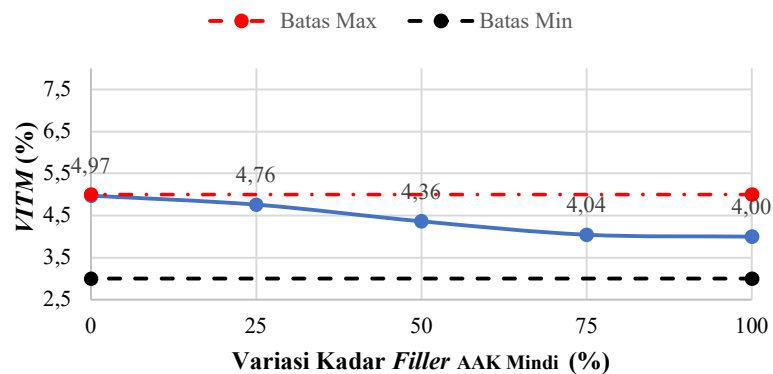
Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.13, terlihat bahwa nilai *ITS* pada campuran *HRA* menurun sejalan dengan peningkatan persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai ini, dapat dihitung persentase penurunan pada setiap interval, yaitu penurunan terjadi sebesar 9,90% terjadi antara 0% sampai 25%, diikuti penurunan 4,40% pada rentang 25% sampai 50%, kemudian 12,66% pada rentang 50% sampai 75%, dan penurunan sebesar 15,29% antara 75% sampai 100%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi substitusi *filler*, semakin menurun nilai *ITS*.

Penurunan nilai *ITS* terjadi karena *filler* AAK dapat menyerap aspal karena memiliki sifat penyerapan yang tinggi. Akibatnya, ikatan antar agregat melemah dan kekuatan tarik tidak langsung menurun. Meskipun *filler* AAK meningkatkan kepadatan campuran, kekurangan aspal yang efektif pada permukaan agregat menyebabkan penurunan kekuatan tarik campuran.

2. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* terhadap Nilai Volumetrik Campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*)

2.1 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *VITM* (*Void In Total Mix*)

Berdasarkan hasil uji, Nilai *VITM* pada *filler* AAK mindi yang digunakan sebagai substitusi dalam campuran *HRA*, dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



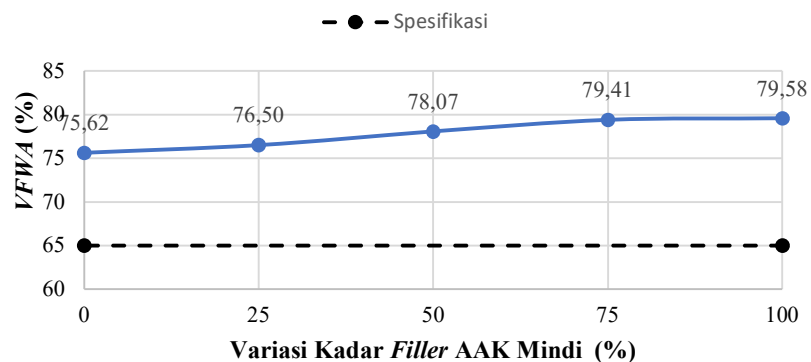
Gambar 5. 14 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.14, Nilai *VITM* pada campuran *HRA* menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase penurunan pada setiap interval dapat dihitung, di mana antara 0% hingga 25% terjadi penurunan 4,23%, antara 25% hingga 50% terjadi penurunan terbesar mencapai 8,40%, 50% hingga 75% terjadi penurunan 7,34%, dan pada rentang 75% hingga 100% terjadi penurunan 0,99%.

Nilai *VITM* yang menurun disebabkan *filler* AAK mindi yang memiliki partikel sangat halus, cenderung mengisi rongga-rongga mikro diantara agregat mineral dan aspal, sehingga campuran menjadi lebih padat. Hal ini dikarenakan sifat porositas yang tinggi pada AAK mindi yang menyebabkan rongga udara dalam campuran berkurang, dapat membuat campuran terlalu padat, sehingga jadi rapuh. Penelitian ini sejalan dengan Akifah dkk. (2024) dengan menggunakan abu arang kayu pada campuran aspal porus menunjukkan rongga dalam campuran kecil, karena sifat arang kayu menyebabkan kekentalan pada aspal.

2.2 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi terhadap nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



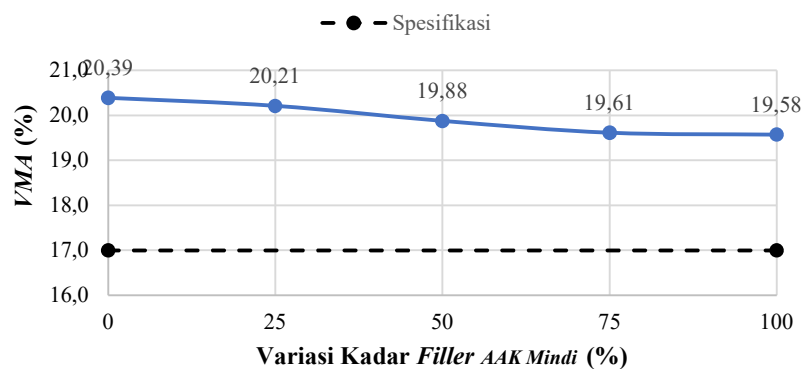
Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.15, Nilai *VFWA* pada campuran *HRA* menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase peningkatan pada setiap interval dapat dihitung, di mana antara 0% hingga 25% terjadi peningkatan mencapai 1,16%, antara 25% hingga 50% terjadi peningkatan terbesar 2,05%, 50% hingga 75% terjadi peningkatan 1,72%, dan pada rentang 75% hingga 100% terjadi penurunan 0,21%..

Kondisi ini terjadi karena *filler* AAK menyerap aspal secara berlebihan. Karena sifatnya yang poros, *filler* ini mampu menyerap lebih banyak aspal sehingga rongga-rongga yang seharusnya berperan dalam drainase dan penyerapan deformasi menjadi terisi penuh. Akibatnya, campuran menjadi terlalu lunak atau mengandung aspal berlebih, yang menyebabkan penurunan stabilitas dan membuat campuran mengalami deformasi plastis. Pada penelitian yang dilakukan oleh Riyanto dan Pramesti (2022) dengan penambahan *filler* limbah plastik pada campuran *HRA* memiliki pengaruh terhadap hasil *VFWA* dan memenuhi spesifikasi dengan nilai naik pada grafik.

2.3 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai *VMA* (*Void In Mineral Aggregate*)

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi terhadap nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.16, Nilai *VMA* pada campuran *HRA* menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase penurunan pada setiap interval dapat dihitung, di mana antara 0% hingga 25% terjadi penurunan mencapai 0,88%, antara 25% hingga 50% terjadi penurunan terbesar 1,63%, 50% hingga 75% terjadi penurunan 1,36%, dan pada rentang 75% hingga 100% terjadi penurunan 0,15%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat substitusi *filler*, semakin menurun nilai *VMA*.

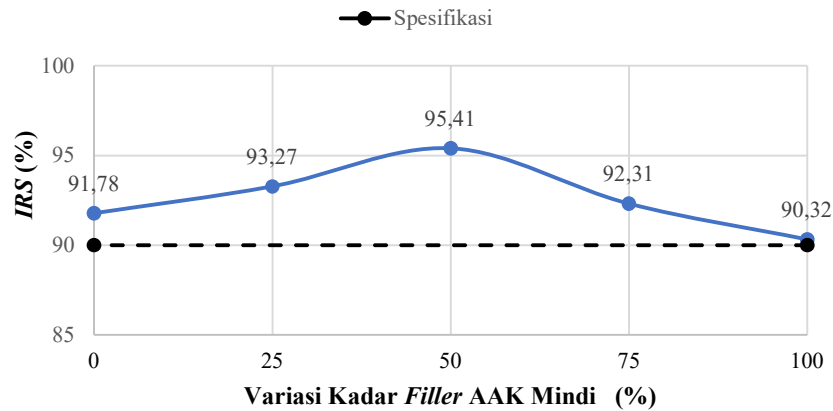
Penurunan nilai *VMA* menunjukkan bahwa jarak antara butiran agregat semakin menyempit. Hal ini terjadi karena volume rongga dalam agregat mineral yang tersedia untuk diisi aspal menjadi berkurang. Kondisi ini biasanya disebabkan oleh peningkatan kandungan *filler* atau material halus yang mengisi ruang antar agregat, sehingga total ruang kosong dalam campuran mengecil. Akibatnya, kapasitas rongga untuk menampung aspal juga menurun. Penurunan *VMA* ini dapat memengaruhi kinerja campuran, seperti menurunkan daya tahan pada aspal. Penelitian ini sejalan dengan Laras dkk. (2022) dengan melakukan penambahan arang kayu tumbuk pada campuran *HRS-WC* juga mengalami penurunan.

3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* terhadap Nilai Durabilitas Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

3.1. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Campuran *HRA* terhadap Nilai

Index of Retained Strength (IRS)

Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan stabilitas campuran setelah perendaman selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C dengan stabilitas campuran yang direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *IRS*

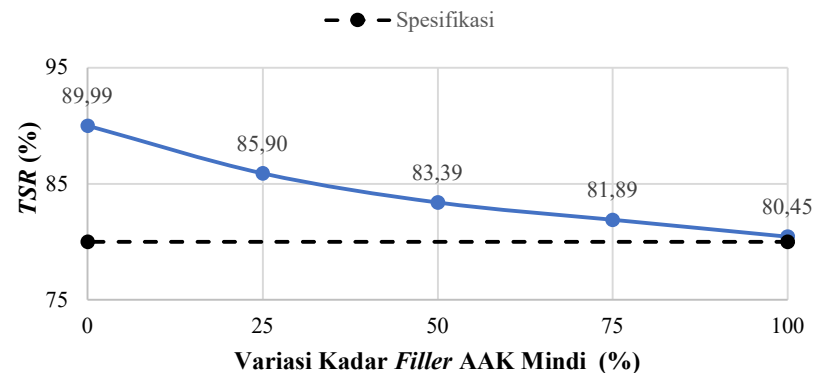
Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.17, nilai *IRS* pada campuran *HRA* mengalami peningkatan hingga kadar variasi substitusi 50% dan mengalami penurunan di 75% hingga 100%. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase peningkatan dan penurunan pada tiap interval dapat dihitung, yaitu peningkatan sebesar 1,62% terjadi pada rentang 0% hingga 25%, kemudian sebesar 2,33% pada 25% hingga 50%, penurunan terbesar sebesar 3,25% pada 50% hingga 75%, dan penurunan 2,16% pada 75% hingga 100%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi *filler* hingga mencapai titik optimum nilai *IRS* meningkat, setelah mencapai titik optimum nilai *IRS* mulai menurun.

Pada kadar yang lebih rendah, AAK berperan dalam memperbaiki ikatan antara aspal dan agregat, serta mengurangi porositas dalam campuran, sehingga meningkatkan daya tahan terhadap kelembapan. Namun, pada kadar *filler* AAK antara 50% hingga 100%, nilai *IRS* menurun. Hal ini terjadi karena kelebihan *filler* yang mengurangi efektivitas aspal dalam melapisi agregat dan mengisi rongga campuran. Pada kadar tinggi, *filler* cenderung menyerap lebih banyak aspal sehingga mengurangi aspal yang tersedia untuk membentuk ikatan adhesi yang kuat. Akibatnya, campuran menjadi lebih rapuh dan

kurang tahan terhadap kelembapan, sehingga nilai *IRS* turun. Penelitian ini juga sejalan dengan Pratama dan Hadi (2024) yang mencapai titik optimal, kemudian nilai *IRS* turun karena kelebihan *filler* yang menyerap aspal.

3.2. Pengaruh Variasi Substitusi Filler Campuran *HRA* terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan nilai *ITS* campuran yang telah direndam selama 24 jam dalam waterbath pada suhu 60°C dengan nilai *ITS* campuran yang direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Grafik yang menggambarkan pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi menggunakan dapat dilihat pada Gambar 5.18.



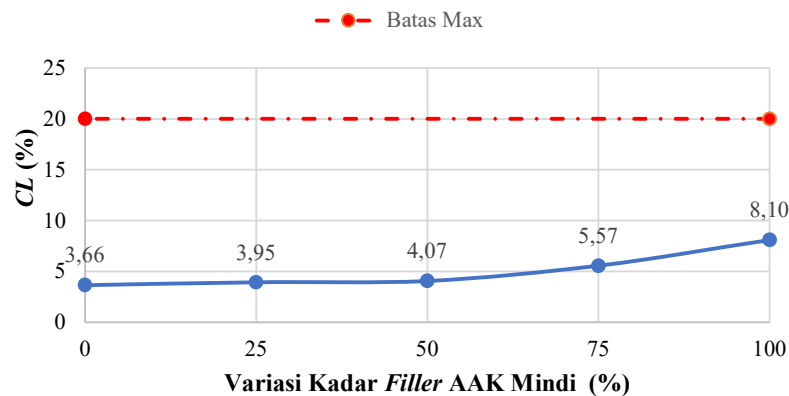
Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *TSR*

Dari grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.18, terlihat bahwa nilai *TSR* pada campuran *HRA* menurun sejalan dengan peningkatan persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai ini, dapat dihitung persentase penurunan pada setiap interval, yaitu penurunan sebesar 1,69% terjadi antara 0% sampai 25%, diikuti penurunan terbesar dengan nilai 2,60% pada interval 25% sampai 50%, kemudian 1,56% pada rentang 50% sampai 75%, dan penurunan sebesar 0,97% antara 75% sampai 100%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi substitusi *filler*, semakin menurun nilai *TSR*.

Penurunan nilai *TSR* pada campuran *HRA* dengan *filler* AAK mindi disebabkan oleh sifat daya serap yang tinggi terhadap aspal, sehingga ikatan antar agregat dan aspal melemah akibat *filler* yang menyerap aspal berlebih, campuran menjadi lebih rentan terhadap degradasi akibat air.

3.3. Pengaruh Variasi Substitusi Filler Campuran *HRA* terhadap Nilai *Cantabro Loss (CL)*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* AAK mindi terhadap nilai *CL* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA* terhadap Nilai *CL*

Berdasarkan grafik pengaruh variasi *filler* pada gambar 5.19, Nilai *CL* pada campuran *HRA* menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi *filler* AAK mindi. Dengan membandingkan nilai-nilai tersebut, persentase peningkatan pada setiap interval dapat dihitung, di mana antara 0% hingga 25% terjadi peningkatan terbesar mencapai 7,92%, antara 25% hingga 50% terjadi peningkatan 3,04%, 50% hingga 75% terjadi peningkatan 36,86%, dan pada rentang 75% hingga 100% terjadi peningkatan 45,42%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat substitusi *filler*, semakin meningkat nilai *CL*. Penelitian yang dilakukan oleh Pratama dan Hadi (2024) nilai *CL* meningkat seiring

bertambahnya *filler* AAK disebabkan oleh lemahnya ikatan antar agregat dan aspal.

5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu Mindi

Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* AAK Mindi dapat dilihat pada tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi %					Keterangan
		0%	25%	50%	75%	100%	
Kekuatan Struktur	Stabilitas (kg)	1090,40	1168,86	1179,48	1073,24	977,28	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK hingga mencapai titik optimal pada variasi substitusi 50% membuat peningkatan nilai Stabilitas pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi, kemudian nilai stabilitas menurun.
	<i>Flow</i> (mm)	3,93	3,70	3,62	3,43	3,30	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK membuat penurunan nilai <i>flow</i> pada campuran sehingga membuat campuran menjadi lebih padat dan kaku.
	<i>MQ</i> (kg/gr)	277,21	315,99	326,02	313,06	295,99	Nilai substitusi <i>filler</i> AAK hingga mencapai titik optimal pada variasi substitusi 50% membuat peningkatan nilai <i>MQ</i> pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi, kemudian variasi 75% hingga 100% mengalami penurunan.

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi %					Keterangan
		0%	25%	50%	75%	100%	
Kekuatan Struktur	<i>ITS</i> (kpa)	683,46	673,20	643,36	561,93	476,01	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK membuat penurunan nilai <i>ITS</i> substitusi pada campuran sehingga kurang mampu menahan kuat tarik.
Volumetrik	<i>VITM</i> (%)	4,97	4,76	4,36	4,04	4,00	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK membuat penurunan nilai <i>VITM</i> pada campuran hal ini membuat rongga pada campuran mengecil sehingga lebih padat dan kedap terhadap air.
	<i>VFWA</i> (%)	75,62	76,50	78,07	79,41	79,58	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK membuat kenaikan nilai <i>VFWA</i> pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga aspal mampu mengisi rongga – rongga secara optimal.

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi %					Keterangan
		0%	25%	50%	75%	100%	
Volumetrik	<i>VMA</i> (%)	20,39	20,21	19,88	19,61	19,58	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> AAK membuat Penurunan nilai <i>VMA</i> pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga campuran lebih padat.
Durabilitas	<i>IRS</i> (%)	91,78	93,27	95,41	92,31	90,32	Semakin besar substitusi <i>filler</i> AAK, nilai <i>IRS</i> mengalami peningkatan pada variasi substitusi 50%, kemudian mengalami penurunan hingga variasi 100%. Sehingga campuran kurang tahan terhadap air, suhu, dan udara.
	<i>TSR</i> (%)	89,99	85,90	83,39	81,89	80,46	Semakin besar substitusi <i>filler</i> AAK, nilai <i>TSR</i> cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga mengakibatkan campuran menjadi lebih rentan terhadap efek kelembapan dan air.

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* AAK Mindi pada Campuran *HRA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> AAK Mindi %					Keterangan
		0%	25%	50%	75%	100%	
Durabilitas	<i>CL</i> (%)	3,66	3,95	4,07	5,57	8,10	Semakin besar substitusi <i>filler</i> AAK, nilai <i>CL</i> cenderung mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran kurang mampu menerima benturan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* yang pada variasi substitusi *filler* abu arang kayu mindi pada kadar 0%, 50%, 25%, 75%, dan 100% didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Pengaruh penggunaan AAK mindi sebagai variasi substitusi *filler* berpengaruh terhadap stabilitas dan *MQ* pada kadar optimal 50%. Nilai *flow* terus menurun hingga variasi 100%, membuat campuran kurang fleksibel dan rentan terhadap deformasi. Pada pengujian *ITS* mengalami penurunan sehingga kurang mampu menahan kuat tarik.
2. Penurunan nilai *VITM* dan *VMA* hingga variasi 100% dan kenaikan nilai *VFWA* menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kepadatan yang lebih tinggi sehingga campuran lebih stabil dan tahan terhadap kerusakan, namun perlu dipastikan bahwa campuran memiliki sifat elastisitas yang baik dan bisa bertahan dalam jangka panjang.
3. Nilai *IRS* meningkat pada kadar 50% AAK, kemudian menurun hingga 100%. Peningkatan *IRS* menunjukkan ketahanan campuran terhadap cuaca dan beban lalu lintas. Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *TSR* cenderung mengalami penurunan, sehingga mengakibatkan campuran mengalami penurunan terhadap kekuatan tarik. Nilai *CL* juga meningkat seiring dengan kadar AAK, sehingga campuran kurang mampu menerima benturan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* yang pada substitusi *filler* abu arang kayu mindi, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut.

1. Pengujian terhadap kandungan senyawa dari *filler* AAK mindi dilakukan untuk mengetahui dampak reaksi senyawa saat dicampurkan dengan campuran *HRA*.
2. Penggunaan AAK mampu menggantikan abu batu pada campuran, tetapi tidak melebihi dari 50% pada kadar *filler* AAK mindi untuk menjaga stabilitas dan fleksibilitas dari campuran. Pada penelitian jika digunakan diatas yang disarankan, dapat mengakibatkan kekuatan struktural campuran bisa menurun, dan lebih rentan terhadap kerusakan.
3. Peningkatan inovasi dengan melakukan penelitian pada *filler* AAK mindi pada campuran lainnya dan bisa dilakukan dengan metode bertahap. Untuk mengetahui campuran yang lebih efisien pada penggunaan *filler* AAK sebagai substitusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akifah, F., Jaya, Z. dan Supardin, S., 2024. Efek Penambahan Karbon Abu Arang Kayu ke Dalam Bitumen dan Campuran Aspal Beton Porous. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 7(01).
- Bina Marga. 2020. Persyaratan Spesifikasi Agregat Halus. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Bina Marga. 2020. Pesyaratan Spesifikasi Agregat Kasar. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Bina Marga. 2020. Pesyaratan Spesifikasi Aspal Keras *AC 60/70*. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- BS*, 2005, *Bristish Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, Part I: Spesification for Constituen Material Mixtures, 2nd Edition, British Standard Instutution*, London.
- Efiyanti, L., Wati, S.A., Setiawan, D. dan Dan Pari, G., 2020. Sifat Kimia Dan Kualitas Arang Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat (*Chemical Properties And Charcoal Quality Of Five Wood Species From West Kalimantan*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(1), pp.55-68.
- Isdyanto, A. dan Adha, A.N., 2023, December. Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (*Filler*) Terhadap Karakteristik Laston *AC-WC*. In *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Keteknikan dan Informatika* (Vol. 1, No. 1, pp. 225-234). Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat.
- Lalamentik, L., 2016. Penggunaan Mikro Asbuton Sebagai Bahan pengigsi (*Filler*) Terhadap Durabilitas Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. *Jurnal Sipil Statik*, 4(6).

- Laras, H.P., Murniati, dan Desriantomy., 2022. Karakteristik *Marshall* pada Campuran *HRS-WC* dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk sebagai Bahan Pengisi (*Filler*). *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 6(1), pp.1-9.
- Mashuri, M.K.I.M., Musa, S.M.S., Kassim, N., Zainal, R. dan Noh, H.M., 2021. Kajian Keberkesanan Penggunaan Getah dalam Pembinaan Jalan Raya. *Research in Management of Technology and Business*, 2(2), pp.509-522.
- Nisumanti, S. dan Yusuf, M., 2019. Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti *Filler* Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Tekno Global*, 8(2).
- Pratama, F.Y. dan Hadi, M.A., 2024. Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*: Indonesia. *AGREGAT*, 9(2), pp.1162-1170.
- Putra, K. H., dan Firdausi, M., 2020. Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu dengan Kadar 10% Terhadap *Filler* Semen pada Campuran Perkerasan AC–WC. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 7-10.
- Putri, W.N., Ritonga, E.D.E. and Politeknik, S.P.J.T.S., 2021. Pengaruh Variasi Suhu Pemadatan Terhadap Indeks Workabilitas *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Dengan Menggunakan *Filler* Abu Vulkanik Gunung Sinabung.
- Riyanto, A., dan Pramesti, Y., 2022. Pemanfaatan Limbah Plastik dengan Teknologi Daur Ulang pada *Hot Rolled Asphalt* Ditinjau dari Aspek Properties *Marshall*, Nilai Ketidakrataan, dan Durabilitas. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 18-27.
- Rohman, M. F., Hasanuddin, A., dan Wicaksono, L. A., 2020. Penggunaan *Filler* Arang Kayu Pada Aspal Lataston Dan Aspal Laston. *JURNAL SIMETRIK*, 10(2), 368-371.
- Septiani, R., Saleh, S.M. dan Lulusi, L., 2021. Penggunaan Styrofoam dan Abu Serbuk Kayu pada Campuran Laston Lapis Aus dengan Metode Pencampuran Basah. *Journal of The Civil Engineering Student*, 3(1), p.63.

Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.

Sukirman, S. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Institut Teknologi Nasional. Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	15,39	15,63
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	25,95	25,92
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	10,56	10,29
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	16,42	16,78
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,03	1,15
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	26,01	25,94
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	9,59	9,16
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	0,97	1,13
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,06	1,018
10	Rata-rata BJ Aspal	1,040	



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

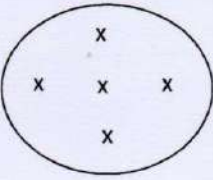
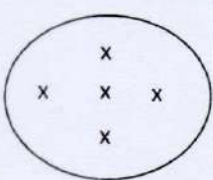
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN: AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	65	66			
2	64	65			
3	68	68			
4	66	65			
5	67	69			
Rata2	66	66,6			
Rata2	66,3				

Ditentukan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

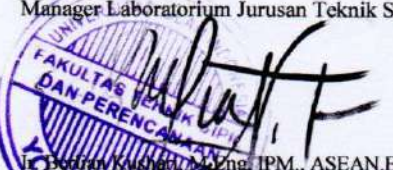
- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	310 °C	10.20 WIB	

HASIL PENGAMATAN

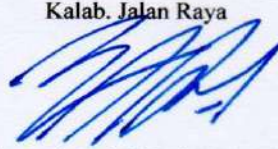
No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	315 °C	320 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	315 °C	320 °C	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Iqbal Kusnanto, S.T., M.T., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti



Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

· RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	48 °C	13.30 WIB	

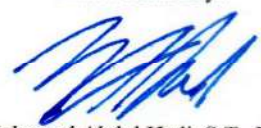
HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	525 detik	527 detik	48°C	49°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Burhan Hushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
 Peneliti


Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 - 74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diperiksa tg : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	164 cm	

Disahkan Oleh
Manager / Koordinator Jurusan Teknik Sipil

(Berlian Kusnary), Eng. I.P.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


(Muhamad Abdul Hadi), S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
 Peneliti


(Fadlurrohmah Asshiddiqi)
NIM : 20 511 221

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30 WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40 WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45 WIB	28 °C
		Selesai	14.15 WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15 WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30 WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	58,580 gr	56,110 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,110 gr	57,530 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,530 gr	1,420 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,540 gr	0,550 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,550 gr	0,560 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,010 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,654 %	0,704 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,346 %	99,296 %	
	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,321	%	



Disahkan Oleh
Muhammad Nurrohmah, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalah, Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

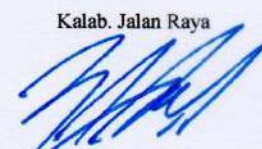
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1629,10	1631,25	1630,18
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,40	1000,49	1000,45
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1597,78	1599,89	1598,84
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,541	2,536	2,539
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,591	2,586	2,589
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,675	2,669	2,672
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,960	1,960	1,960
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,608	2,603	2,605

Disahkan Oleh
Manager/ Koordinator Jurusan Teknik Sipil

D. Berhan Kusuma, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025
 Peneliti


Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

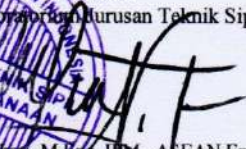
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	25°C	08.00 WIB	
	Selesai	150°C	08.15 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai	150°C	08.15 WIB	
	Selesai	25°C	09.45 WIB	
3	Perendaman benda uji			
	Mulai	25°C	09.45 WIB	
	Selesai	25°C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	99%	
2	Sampel 2	97%	
	Rata-rata	98%	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bedjan Kusnan, M.Eng., I.T.M., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti


Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

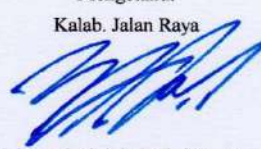
AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

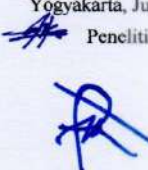
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00		
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00		
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4595,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4595,00	3649,00	
13	KEAUSAN $100x = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		8,100	20,588	
17	Rata-rata Keausan (%)		14,34		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng, IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025

Peneliti
Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	704,53	693,30	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1020,73	1007,28	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	492,46	493,55	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,679	2,653	2,666
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,720	2,688	2,704
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,794	2,749	2,771
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,531	1,307	1,419
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,737	2,701	2,719

Yogyakarta, Juli 2025
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

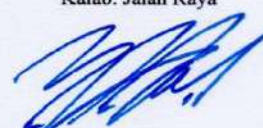
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama ($\pm$ 10.1 menit).	Mulai	15.40	15.40	
		Selesai	15.50	15.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl_2)	Mulai	15.55	15.55	
		Selesai	16.15	16.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,42	4,52	-4,47
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,10	4,20	4,15
6	$\text{Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		92,76	92,92	92,84
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		7,24	7,08	7,16

Disahkan Oleh
Mengetahui
M. Eng. I.P.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101




Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti



Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler Abu Batu*
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,45	23,81	
2	Berat Vicnometer + Air gr	42,87	46,97	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,42	23,16	
4	Berat Vicnometer + Filler gr	28,54	30,29	
5	Berat Filler (4-1) gr	8,090	6,480	7,29
6	Berat Vicnometer + Filler + Aquadest gr	47,800	50,910	49,36
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,260	20,620	19,94
8	Volume Filler (3-7) gr	3,160	2,540	2,85
9	Berat Jenis Filler = Berat/Vol (5/8)	2,560	2,551	2,556

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusuma, M.Eng, II^M, ASEAN.Eng.
NIK: 015110101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Abu Arang Kayu Mindi*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* ABU ARANG KAYU MINDI

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler* Abu Arang Kayu Mindi
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,55	24,10	23,83
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,83	47,29	47,06
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,28	23,19	23,24
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	27,08	27,54	27,31
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	3,530	3,440	3,49
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	47,930	48,390	48,16
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,850	20,850	20,85
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	2,430	2,340	2,39
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	1,453	1,470	1,461

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

Tanggal Pengujian
Type Campuran
Hot Rolled Asphalt

Agustus 2024

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (%)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VIM (%)	n	o	p	q Koreksi Tebal	r Stab. (kg)	s Flow (mm)
5,5%	66,30	5,82	5,50	1166,87	1172,24	654,80	517,44	2,255	2,403	11,926	81,920	6,154	18,08	6,15	58	1113,84	0,9375	1044,23	2,83	
5,5%	64,57	5,82	5,50	1165,68	1170,80	652,80	518,00	2,250	2,403	11,901	81,748	6,351	18,25	6,35	58	1113,84	0,9733	1084,05	2,25	
5,5%	67,03	5,82	5,50	1166,20	1171,23	650,34	520,89	2,239	2,403	11,840	81,331	6,829	18,67	6,83	60	1152,25	0,9218	1062,09	3,10	
								2,248					18,33	6,44				1063,45	2,89	
6,0%	64,05	6,38	6,00	1167,67	1172,86	654,81	518,05	2,254	2,386	13,004	81,446	5,550	18,55	5,55	62	1190,66	0,9863	1174,29	3,10	
6,0%	67,72	6,38	6,00	1168,06	1172,60	654,91	517,69	2,256	2,386	13,017	81,530	5,453	18,47	5,45	64	1229,07	0,9045	1111,69	3,25	
6,0%	66,85	6,38	6,00	1161,67	1166,16	652,28	513,88	2,261	2,386	13,042	81,685	5,273	18,31	5,27	60	1152,25	0,9263	1067,27	2,95	
								2,257					18,45	5,43				1117,75	3,10	
6,5%	65,96	6,95	6,50	1176,43	1182,18	660,37	521,81	2,255	2,370	14,091	81,033	4,877	18,97	4,88	67	1286,68	0,9439	1214,47	3,10	
6,5%	64,38	6,95	6,50	1176,80	1176,46	654,53	521,93	2,243	2,370	14,020	80,626	5,354	19,37	5,35	62	1190,66	0,9780	1164,47	3,50	
6,5%	64,41	6,95	6,50	1188,80	1194,14	668,09	526,05	2,260	2,370	14,124	81,225	4,651	18,78	4,65	68	1305,89	0,9773	1276,18	3,95	
								2,253					19,04	4,96				1218,37	3,52	
7,0%	63,40	7,53	7,00	1164,42	1170,18	650,80	519,38	2,242	2,354	15,090	80,150	4,760	19,85	4,76	60	1152,25	1,003	1155,13	3,5	
7,0%	63,36	7,53	7,00	1168,02	1171,90	650,03	521,87	2,238	2,354	15,064	80,014	4,922	19,99	4,92	61	1171,46	1,004	1175,56	3,8	
7,0%	64,30	7,53	7,00	1166,66	1181,98	661,91	520,07	2,243	2,354	15,099	80,197	4,704	19,80	4,70	63	1209,86	0,980	1185,67	3,85	
								2,241					19,88	4,80				1172,12	3,72	
7,5%	65,75	8,11	7,50	1168,55	1173,71	650,45	523,26	2,233	2,338	16,105	79,408	4,487	20,59	4,49	61	1171,46	0,9478	1110,32	3,70	
7,5%	64,09	8,11	7,50	1158,69	1164,22	648,09	516,13	2,245	2,338	16,190	79,826	3,984	20,17	3,98	60	1152,25	0,9853	1135,26	4,70	
7,5%	64,35	8,11	7,50	1155,55	1162,57	646,33	516,24	2,238	2,338	16,142	79,593	4,265	20,41	4,26	59	1133,05	0,9788	1108,97	4,50	
								2,239					20,39	4,25				1118,18	3,97	

Disetujui Oleh
Mengetahui
Fakultas Teknik Sipil
Dan Perencanaan
Yogyakarta

Mengetahui
Kuliah
Muhammad Abdul Haq, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohmah Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 15 Hasil Pengujian IRS

PENGUJIAN IRS

Persen Aspal	Tebal Sampel (mm)	koreksi	Arloji Stability			Flow (mm)		Stability (kg)			Angka Koreksi					
			Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi		Koreksi	
5,5%	1	65,10	0,96	51	19,20	979,41	305	940,24		600	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	2	67,33	0,91	52	19,20	998,62	265	912,99	959,41	600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
	3	66,36	0,94	57	19,20	1094,64	285	1024,99		600	66,7	68,3	0,93	0,93	0,89	0,93
6,0%	1	65,65	0,95	58	19,20	1113,84	280	1057,80		600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
	2	66,04	0,94	56	19,20	1075,44	300	1013,46	1022,38	600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
	3	63,61	1,00	52	19,20	998,62	310	995,87		600	63,5	65,1	1	1	0,96	0,96
6,5%	1	65,28	0,96	63	19,20	1209,86	320	1157,39		600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
	2	62,97	1,01	59	19,20	1133,05	300	1148,06	1131,50	600	61,9	63,5	1,04	1	1	0,96
	3	64,39	0,98	58	19,20	1113,84	290	1089,06		600	63,5	65,1	1	1	0,96	0,96
7,0%	1	65,76	0,95	57	19,20	1094,64	300	1037,31		600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
	2	64,74	0,97	62	19,20	1190,66	330	1153,75	1094,53	600	63,5	65,1	1	1	0,96	0,96
	3	66,56	0,93	61	19,20	1171,46	320	1092,53		600	65,1	66,7	0,96	0,96	0,93	0,93
7,5%	1	62,12	1,03	55	19,20	1056,23	340	1092,67		600	61,9	63,5	1,04	1	1	0,96
	2	65,03	0,96	54	19,20	1037,03	320	997,36	1057,73	600	63,5	65,1	1	1	0,96	0,96
	3	63,92	0,99	57	19,20	1094,64	350	1083,15		600	63,5	65,1	1	1	0,96	0,96

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Yogyakarta, 10 Juli 2025
NIK : 511 0101

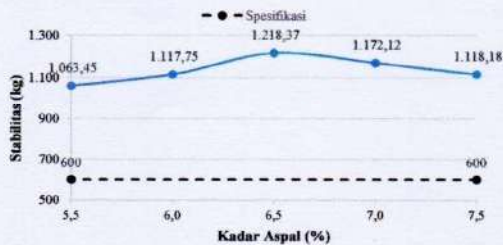
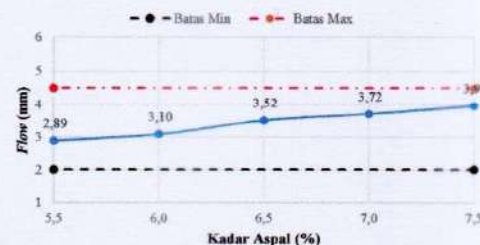
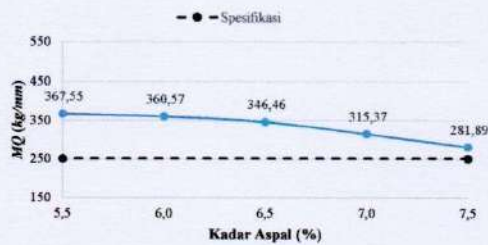
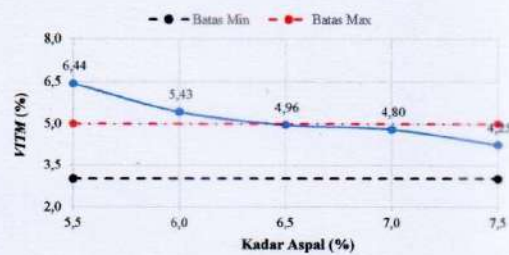
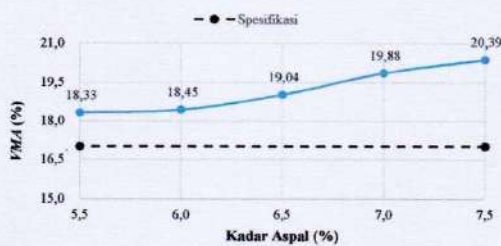
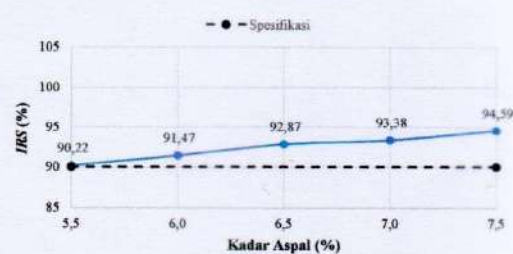
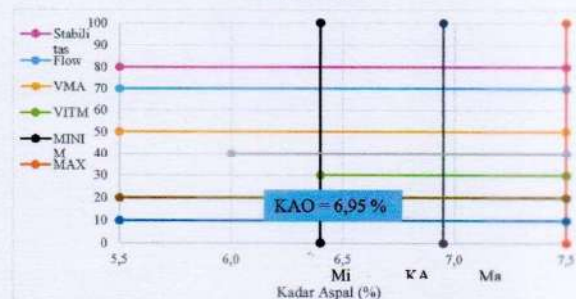
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Asshididqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 16 Rekapitulasi Perhitungan KAO

REKAPITULASI PERHITUNGAN KAO

SPEKIFIKASI Stone Matrix Asphalt	Kadar Aspal (%)	Stabilitas 0 Jam (kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VMA (%)	Stabilitas 24 Jam (kg)	IRS (%)	MQ	Density
	5,5	1063,45	2,89	6,44	18,33	959,41	90,22	367,55	2,248
	6	1117,75	3,10	5,43	18,45	1022,38	91,47	360,57	2,257
	6,5	1218,37	3,52	4,96	19,04	1131,50	92,87	346,46	2,253
	7	1172,12	3,72	4,80	19,88	1094,53	93,38	315,37	2,241
	7,5	1118,18	3,97	4,25	20,39	1057,73	94,59	281,89	2,239
BINA MARGA 2018 REV 2		> 600	2-4,5	3 - 5	> 17	> 600	>90	>250	



Pengetahuan
Manajemen Laboratorium
Jurusan Teknik Sipil
YOGYAKARTA

Dr. Berlian Kusnadi, M.Eng, I.B.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL PADA FILLER ABU ARANG KAYU MINDI

Tanggal Pengujian
Type Campuran

Agustus 2024
Hot Rolled Asphal

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFA (%)	n VTM (%)	o	p	q Korrelasi Total	r Stat. (Sig)	s Flow (mm)	MO
0%	62,56	7,47	6,95	1152,52	1157,65	652,64	505,01	2,282	2,400	15,429	79,666	4,905	20,33	75,879	4,90	55	1056,23	1,0255	1084,25	3,90	278,01
0%	62,68	7,47	6,95	1150,43	1155,57	650,62	504,95	2,278	2,400	15,403	79,531	5,066	20,47	75,251	5,07	58	1113,84	1,0266	1136,77	4,10	277,22
0%	62,99	7,47	6,95	1136,34	1143,66	645,53	498,13	2,281	2,400	15,423	79,633	4,945	20,37	75,723	4,94	54	1037,03	1,0127	1050,16	3,80	276,36
								2,281					20,39	75,62	4,97				1090,21	3,93	277,21
25	65,27	7,47	6,95	1156,35	1165,79	656,02	509,77	2,268	2,400	15,336	79,185	5,479	20,82	73,676	5,48	62	1190,66	0,9614	1144,65	3,70	309,36
25	62,00	7,47	6,95	1160,05	1166,36	659,66	506,70	2,289	2,400	15,478	79,919	4,603	20,08	77,080	4,60	60	1152,25	1,0374	1195,37	3,80	314,57
25	61,82	7,47	6,95	1157,07	1165,21	661,94	503,27	2,299	2,400	15,544	80,257	4,199	19,74	78,731	4,20	58	1113,84	1,0473	1166,58	3,60	324,05
								2,286					20,21	76,50	4,76				1168,86	3,70	315,99
50	62,16	7,47	6,95	1156,44	1164,57	658,50	506,07	2,285	2,400	15,449	79,770	4,781	20,23	76,567	4,78	63	1209,86	1,0377	1255,46	3,52	356,67
50	63,81	7,47	6,95	1152,24	1163,39	662,59	500,80	2,301	2,400	15,555	80,317	4,128	19,68	79,026	4,13	58	1113,84	0,9922	1105,12	3,70	298,68
50	63,93	7,47	6,95	1154,09	1162,78	660,92	501,86	2,300	2,400	15,547	80,276	4,177	19,72	78,821	4,18	62	1190,66	0,9853	1177,86	3,65	322,70
								2,295					19,88	78,07	4,36				1179,48	3,62	326,01
75	64,81	7,47	6,95	1147,66	1154,89	659,47	495,42	2,317	2,400	15,661	80,866	3,473	19,13	81,851	3,47	59	1133,05	0,967	1096,03	3,4	322,36
75	67,45	7,47	6,95	1150,51	1169,10	663,67	505,43	2,294	2,400	15,510	80,083	4,407	19,92	77,872	4,41	58	1113,84	0,911	1014,90	3,2	317,16
75	65,82	7,47	6,95	1170,55	1177,48	668,05	509,43	2,298	2,400	15,534	80,211	4,255	19,79	78,499	4,25	61	1171,46	0,947	1108,78	3,7	299,67
								2,303					19,61	79,41	4,04				1073,24	3,43	313,06
100	69,21	7,47	6,95	1170,35	1099,54	592,41	507,13	2,308	2,400	15,602	80,561	3,837	19,44	80,261	3,84	60	1152,25	0,8930	1025,50	3,40	301,63
100	66,12	7,47	6,95	1168,06	1101,69	595,45	506,24	2,307	2,400	15,599	80,544	3,857	19,46	80,178	3,86	55	1056,23	0,9377	990,41	3,30	300,13
100	67,06	7,47	6,95	1167,03	1101,40	593,23	508,17	2,297	2,400	15,526	80,168	4,206	19,83	78,287	4,31	52	998,62	0,9172	915,93	3,20	286,22
								2,304					19,58	79,58	4,00				977,28	3,30	295,99



Mengapit
Kendri-Alan Raga
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrahman Asshiddiqy
NIM : 20 511 221

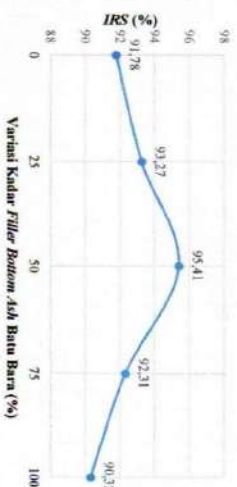
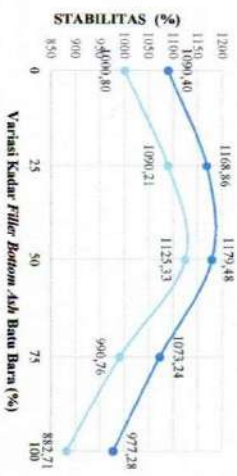
Lampiran 18 Hasil & Rekap Pengujian /RS

HASIL PENGUJIAN IRS

Kadar Filler	Tebal Sampel (mm)				Rata-Rata	koreksi	Adapt Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi					
	1	2	3				Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	ratat	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
0,0%	1	64,29	65,38	63,26	64,31	0,98	53	19,20	1017,82	1002,32	1000,80	600	61,9	66,7	1,04	0,93	0,96
	2	65,00	63,65	62,72	63,79	0,99	52	19,20	998,62	991,38	1008,69	600	61,9	65,1	1,04	0,96	0,96
	3	62,46	62,96	63,87	63,10	1,01	52	19,20	998,62	1008,69	1090,21	600	61,9	65,1	1,04	0,96	0,96
25,0%	1	64,64	65,67	65,79	65,37	0,96	58	19,20	1113,84	1088,36	1090,21	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
	2	64,32	66,17	64,36	64,95	0,97	60	19,20	1152,25	1115,70	1090,21	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
	3	64,89	64,36	64,19	64,48	0,98	58	19,20	1113,84	1088,36	1090,21	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
50,0%	1	61,92	62,50	63,39	62,60	1,02	57	19,20	1094,64	1119,18	1125,33	600	61,9	63,5	1,04	0,96	0,96
	2	63,94	63,74	62,57	63,42	1,00	60	19,20	1152,25	1154,65	1125,33	600	61,9	65,1	1,04	0,96	0,96
	3	64,27	64,29	63,20	63,92	0,99	58	19,20	1113,84	1102,15	1125,33	600	61,9	65,1	1,04	0,96	0,96
75,0%	1	63,81	65,17	64,46	64,48	0,98	56	19,20	1075,44	1052,38	990,76	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
	2	63,95	64,01	64,95	64,30	0,98	53	19,20	1017,82	997,38	990,76	600	63,5	65,1	1	0,96	0,96
	3	65,57	67,86	68,32	67,58	0,92	52	19,20	998,62	922,51	882,71	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
100,0%	1	65,81	66,53	66,09	66,14	0,94	46	19,20	883,39	830,78	882,71	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
	2	64,78	65,52	64,96	65,09	0,97	50	19,20	960,21	926,88	882,71	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93
	3	65,41	64,83	64,92	65,05	0,97	48	19,20	921,80	890,48	882,71	600	63,5	66,7	1	0,93	0,93

REKAP IRS

Variasi Substitusi (%)	KA0 (%)	Stabilitas 0 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS
0		1090,40	1000,80	91,78
25	6,95	1168,86	1090,21	93,27
50		1179,48	1125,33	95,41
75		1073,24	990,76	92,31
100		977,28	882,71	90,32



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Fakultas Teknik Sipil
Dan Perencanaan
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIM : 21 511 1307

Mengetahui
Kalih, Jatin Raya

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Asiddiqi
NIM : 20 511 221



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 19 Hasil Pengujian /75

HASIL PENGUJIAN ITS

Kedar Aspal	Subtest	Tebal Sampel (mm)				Diameter Sampel (inch)				A0	Aspek Stability			Stability (kg)			Aspek Koreski Tebal						Aspek Koreski Diameter Koreski						ITS 0,7MM		
		1	2	3	rerata	1	2	3	rerata		Mean	Kalibrasi	Adjust	awal	rerata	MIN	Tebal Sampel		Koreski		Tebal Sampel		Koreski		awal	rata2	MIN				
																	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX							
0,0%	1	63,85	62,28	63,50	63,21	4,07	4,05	4,05	4,06	0,16	28	19,89	556,79	254,39		600	61,9	65,1	1,04	0,96	0,96	0,96	4	4,1	0,164	0,16	638,36	683,46	600		
	2	64,28	64,39	64,75	64,75	4,08	4,05	4,04	4,05	0,16	32	19,89	616,33	281,61		600	63,5	65,1	1	0,96	0,96	0,96	4	4,1	0,16	0,156	677,13		600		
	3	65,92	64,63	64,27	64,94	4,06	4,01	4,03	4,00	0,16	36	19,89	715,87	313,05		600	63,5	65,1	1	0,96	0,96	0,96	4	4,1	0,156	0,152	734,88		600		
25,0%	1	65,92	64,55	64,94	65,14	4,00	4,00	4,01	4,00	0,16	40	19,89	795,41	347,88		600	63,5	66,7	1	0,93	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	816,21		600		
	2	71,49	71,72	71,83	71,68	4,02	4,01	4,00	4,01	0,16	31	19,89	616,44	231,10		600	71,4	73	0,83	0,81	0,81	0,81	4	4,1	0,156	0,152	699,97	673,20	600		
	3	66,08	65,06	66,71	65,95	4,01	4,01	4,01	4,01	0,16	36	19,89	715,87	307,31		600	61,3	66,7	1	0,93	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	711,41		600		
50,0%	1	65,28	66,17	66,09	65,85	4,01	4,01	4,01	4,01	0,16	31	19,89	616,44	264,52		600	65,1	66,7	0,96	0,93	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	612,67		600		
	2	66,00	65,18	66,98	66,05	4,00	4,03	4,02	4,02	0,16	35	19,89	695,98	276,49		600	65,1	68,3	0,96	0,89	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	683,45	643,36	600		
	3	66,48	65,36	66,27	66,04	3,98	3,98	3,99	3,98	0,16	32	19,89	616,33	272,02		600	63,1	66,7	0,96	0,93	0,93	0,93	3,9	4	0,16	0,156	633,95		600		
75,0%	1	65,83	66,59	66,99	66,47	3,99	4,00	4,00	4,00	0,16	28	19,89	556,79	234,89		600	65,1	68,3	0,96	0,89	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	541,30		600		
	2	66,54	66,63	67,87	67,01	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	30	19,89	596,56	248,45		600	65,1	68,3	0,96	0,89	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	568,88	561,93	600		
	3	66,60	67,24	65,89	66,58	4,03	4,01	4,01	4,01	0,16	30	19,89	596,56	251,03		600	63,1	68,3	0,96	0,89	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	575,61		600		
100,0%	1	65,26	65,23	66,43	65,64	4,08	4,05	4,07	4,06	0,15	24	19,89	477,24	205,63		600	65,1	66,7	0,96	0,93	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	471,30		600		
	2	66,36	67,40	66,72	66,83	4,07	4,05	4,07	4,06	0,15	25	19,89	497,13	207,96		600	65,1	68,3	0,96	0,89	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	468,43	476,01	600		
	3	66,48	65,67	65,63	65,93	4,06	4,04	4,04	4,05	0,15	25	19,89	497,13	212,98		600	65,1	66,7	0,96	0,93	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	488,32		600		



Mengesah
Kedat: Adnan Rasya
Mahaend: Abdul Hek: S.T., MT.
NIM: 21.511.1307

Yogyakarta, Juli 2025
Pondit
Endrotruman Ashiddiq
NIM: 20.511.221



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat@uii.ac.id
W. ftopui.ac.id

Lampiran 20 Hasil Pengujian TSR

HASIL PENGUJIAN TSR

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inch)				AO	Area Stability			Stability			Angka Koreksi			Angka Koreksi			ITS 24 JAM				
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		28	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	rata2	MIN	MAX	
6.5%	0.0%	1	64.31	65.28	66.10	65.23	3.98	3.97	3.98	3.98	0.157	28	19.89	556.79	243.09		63.5	66.7	1.04	0.93	3.9	4	0.1600	0.156	573.22			
		2	62.95	64.55	65.35	65.62	4.00	4.06	4.08	4.07	0.15	30	19.89	596.56	269.81	259.81	600	61.9	65.1	1.04	0.96	4	4.1	0.156	0.152	637.29	615.06	600
		3	64.60	62.82	64.85	64.09	4.09	4.00	4.03	4.01	0.16	30	19.89	596.56	266.61		61.9	65.1	1.04	0.96	4	4.1	0.156	0.152	634.65			
	25.0%	1	63.28	62.67	61.90	62.62	1.02	4.06	4.06	4.05	0.154	28	19.89	556.79	258.14		61.9	65.1	1.04	1	4	4.1	0.156	0.152	621.56			
		2	65.02	63.72	65.39	64.71	0.97	4.01	4.00	4.02	0.155	26	19.89	517.02	228.31	243.72	600	63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	573.29	578.29	600
		3	65.19	65.95	63.62	64.92	0.97	4.01	4.00	4.01	0.156	28	19.89	556.79	244.71		63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	575.73			
	50.0%	1	64.98	63.24	65.03	64.42	0.98	4.03	4.02	4.05	0.15	28	19.89	556.79	246.77		63.5	65.1	1	0.96	4	4.1	0.156	0.152	581.15	556.50	600	
		2	64.59	66.38	65.77	65.58	0.95	4.01	4.02	4.03	0.16	25	19.89	497.13	213.77	233.10	600	63.5	65.1	1	0.96	4	4.1	0.156	0.152	496.00		
		3	62.39	63.07	63.40	62.95	1.01	4.01	4.01	4.00	0.16	24	19.89	477.24	219.44		63.5	65.1	1.04	1	4	4.1	0.156	0.152	523.34			
	75.0%	1	65.91	66.32	66.08	66.10	0.94	4.05	4.04	4.05	0.15	26	19.89	517.02	220.73		65.1	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	504.93			
		2	66.65	66.00	65.05	65.90	0.95	4.07	4.06	4.05	0.15	23	19.89	457.36	196.57	200.79	600	63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	449.18	400.15	600
		3	67.28	65.92	65.84	66.35	0.93	4.00	4.01	4.00	0.16	22	19.89	457.47	185.09		65.1	68.3	0.96	0.89	4	4.1	0.156	0.152	476.53			
100.0%	1	66.04	65.63	64.73	65.47	0.96	4.05	4.08	4.07	0.15	21	19.89	417.39	181.27		63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	416.39	382.96	600		
	2	65.34	64.68	65.23	65.08	0.97	4.01	4.02	4.02	0.16	18	19.89	357.93	156.74	164.81	600	63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	366.84			
	3	64.83	65.21	65.47	65.17	0.96	4.03	4.02	4.00	0.16	18	19.89	357.93	156.43		63.5	66.7	1	0.93	4	4.1	0.156	0.152	365.64				



Mengesahkan
Kedua Rana
Mohamad Abdul Hafid, S.T., M.T.
NIK. 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Pencat
Fadlurrahman Asyiddin
NIM : 20 511 221

Lampiran 21 Rekap Hasil Pengujian ITS & IRS

REKAP HASIL PENELITIAN ITS & IRS

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	6,95	683,46	615,06	89,99
25		673,20	578,29	85,90
50		643,36	536,50	83,39
75		561,93	460,15	81,89
100		476,01	382,96	80,45



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Muhammad Kusni M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 22 Hasil & Rekap Pengujian *Cantabro Loss*

HASIL PENGUJIAN CANTABRO LOSS

Substitusi	No.	Keterangan	Benda uji			
			Rumus	1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi		1157,56	1150,64	1163,15
	2	Berat Sesudah Abrasi		1081,95	1123,80	1138,43
	3	Persentase Kehilangan Berat		6,53	2,33	2,13
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,66		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi		1158,77	1154,88	1158,76
	2	Berat Sesudah Abrasi		1121,60	1110,92	1102,82
	3	Persentase Kehilangan Berat		3,21	3,81	4,83
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,95		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi		1130,64	1144,57	1136,29
	2	Berat Sesudah Abrasi		1097,79	1092,00	1082,68
	3	Persentase Kehilangan Berat		2,91	4,59	4,72
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,07		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi		1127,13	1126,79	1124,22
	2	Berat Sesudah Abrasi		1064,41	1066,39	1059,07
	3	Persentase Kehilangan Berat		5,56	5,36	5,80
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,57		
100%	1	Berat Sebelum Abrasi		1112,74	1114,65	1116,52
	2	Berat Sesudah Abrasi		1026,82	1022,43	1023,94
	3	Persentase Kehilangan Berat		7,72	8,27	8,29
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		8,10		

REKAP CANTABRO LOSS

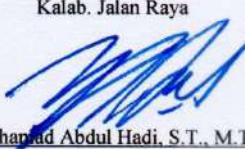
Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
0	6,4	3,66
25		3,95
50		4,07
75		5,57
100		8,10



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berling Kachan, M.Engg.PDM, ASEAN Eng.
NIK : 20 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

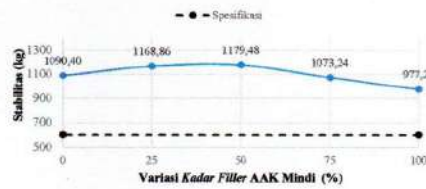
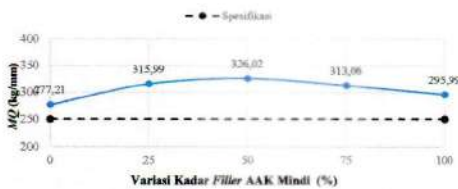
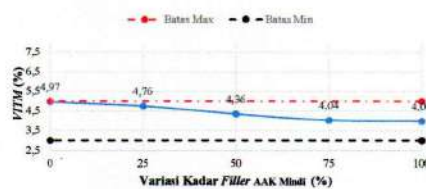
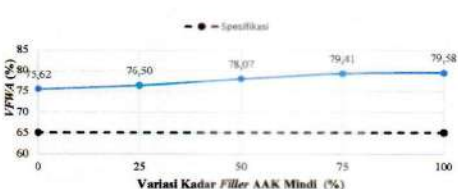
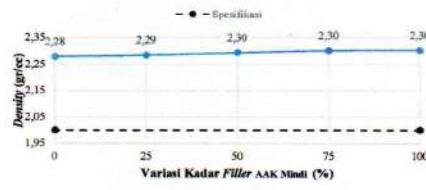
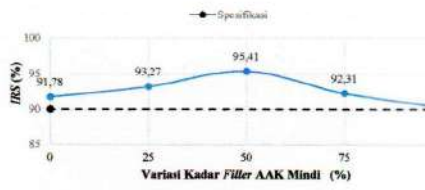
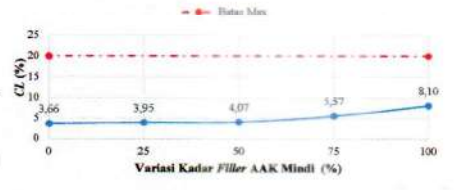
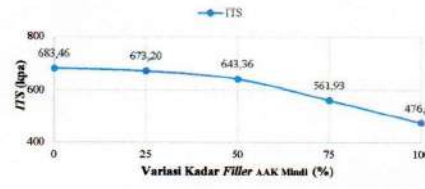
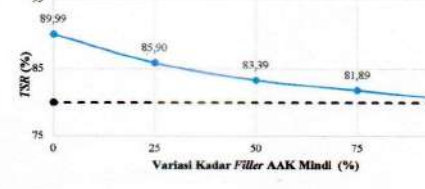
Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti


Fadlurrohman Asshiddiqi
NIM : 20 511 221

Lampiran 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian AAK Minda

REKAPITULASI PENGUJIAN FILLER AAK MINDI

SPEKIFIKASI Hot Rolled Asphalt (HRA)	Kadar Filler (%)	Stabilitas 0 Jam (kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VMA (%)	Stabilitas 24 Jam (kg)	IRS (%)	MO (kg/mm)	VFWA (%)	Density	ITS	TSR	CL
	0	1090,40	3,93	4,97	20,39	1000,80	91,78	277,21	75,62	2,28	683,46	89,99	3,66
	25	1168,86	3,70	4,76	20,21	1090,21	93,27	315,99	76,50	2,29	673,20	85,90	3,95
	50	1179,48	3,62	4,36	19,88	1125,33	95,41	326,02	78,07	2,30	643,36	83,39	4,07
	75	1073,24	3,43	4,04	19,61	990,76	92,31	313,06	79,41	2,30	561,93	81,89	5,57
	100	977,28	3,30	4,00	19,58	882,71	90,32	295,99	79,58	2,30	476,01	80,45	8,10
BINA MARGA 2018		> 600	2-4,5	3-5	> 17	> 600	> 90	> 250	> 65	> 2		> 80	< 20



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Yogyakarta
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti
Fadlurrohman Ashiddiqi
NIM : 20 511 221